

Avaliação da influência de diferentes tipos de cimentos nas propriedades da argamassa estabilizada

Gabriela Peres Mendes¹
Angela Zamboni Piovesan²

Resumo

O mercado da construção civil conta com os mais diversos materiais, entre eles, os diferentes tipos de cimento Portland que podem se adequar aos mais variados tipos de obra. Durante o processo de moagem do clínquer, são inseridas adições que, basicamente, definem as diferenças entre um tipo e outro. Essas adições têm como finalidade melhorar as características dos subprodutos dos cimentos, agindo nas propriedades dos estados fresco e endurecido de concretos e argamassas. Nesse sentido, a fim de verificar a influência da troca do cimento nas propriedades das argamassas estabilizadas, foram confeccionadas amostras de argamassas convencional e aditivada utilizando três diferentes tipos de cimento, sendo eles CP II-F, CP II-Z e CP IV. Os resultados obtidos mostraram que as amostras produzidas com cimento Portland com adição de material carbonático em grande quantidade, ou seja, com CP II-F, resultaram em melhores índices de consistência e resistência mecânica, apresentando até 53% mais resistência à tração na flexão e 110% mais resistência à compressão axial, no entanto, apresentam tempo de início de pega inferior. Já as amostras preparadas com cimento que continham adição pozolânica alcançaram o período de estabilização pré-estabelecido, porém, apresentam inconsistência de resultados principalmente quanto à absorção de água por capilaridade e densidade de massa, já que as amostras com cimento Portland CP IV, teoricamente menos permeáveis pela maior quantidade de adição na sua composição, resultaram nos valores mais expressivos de absorção total, de 2,15 g/cm² nas amostras de argamassa convencional e 1,40 g/cm² nas aditivadas. Também resultaram em valores de densidade de massa muito semelhantes às amostras com cimento Portland CP II-Z, levando a crer que ambos os cimentos possuem composição semelhante. Dessa forma, julga-se necessário o conhecimento das propriedades inerentes à cada tipo de cimento para fundamentar os resultados, como por exemplo a análise da finura e da superfície específica dos grãos a partir do Método de Blaine e, principalmente, tipo e quantidade de adição presente na composição.

Palavra-Chave: Cimento Portland. Adições. Argamassa estabilizada. Estado fresco. Estado endurecido.

¹ Graduanda em Engenharia Civil na Universidade do Oeste de Santa Catarina de Joaçaba; gabiperesmendes@hotmail.com.

² Professora na Universidade do Oeste de Santa Catarina; angela.piovesan@unoesc.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor com alto teor de avanço tecnológico. A todo momento esse campo é atualizado, seja com o desenvolvimento ou melhoramento de materiais, criação de mecanismos de produção diferenciados ou reelaboração de hábitos construtivos. Aliado ao desenvolvimento técnico, está a preocupação com a sustentabilidade, redução de custos, qualidade e durabilidade da obra.

No âmbito da evolução dos materiais, a argamassa estabilizada é um produto industrializado que se destaca por várias vantagens: seu processo de confecção diminui o desperdício de materiais, aumenta a produtividade dos profissionais, melhora o aproveitamento do espaço no canteiro de obra além de propiciar maior controle tecnológico na dosagem. Segundo Macioski (2014), possui como principal característica a capacidade de se manter trabalhável por longos períodos de tempo, graças à incorporação de aditivos à mistura que retardam as reações químicas entre o cimento e a água. Uma vez aplicada, seu comportamento é semelhante ao das argamassas convencionais.

Ao que se refere à qualidade e durabilidade de uma obra, é imprescindível que seja feita a seleção apropriada dos produtos empregados no seu desenvolvimento. Atualmente, o mercado de materiais de construção conta com cerca de dez tipos de cimento Portland, onde a diferença se dá pelo tipo e quantidade de adição inserida na sua matéria-prima. Tais adições têm por finalidade alterar características e propriedades de resistência, trabalhabilidade, durabilidade e permeabilidade.

Da mesma forma que o tipo e proporção de aditivo, é interessante analisar o tipo de cimento empregado na mistura da argamassa estabilizada, para que se obtenha máxima eficiência de todos os componentes envolvidos. Nesse sentido, esse artigo apresenta a avaliação do desempenho de amostras de argamassa estabilizada confeccionadas com três tipos de cimento, com relação às suas propriedades do estado fresco e endurecido.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ARGAMASSA ESTABILIZADA

O mercado da construção civil está sempre buscando aprimorar os materiais e técnicas utilizados através da realização de pesquisas, com o objetivo de aumentar a qualidade e diminuir os custos (PRADO FILHO, 2014).

Segundo Silva e Nakakura (2011), uma alternativa que visa a melhoria de rendimento e consequente redução dos custos de mão-de-obra é a utilização de produtos manufaturados.

Visando amplificar a qualidade dos insumos empregados na construção e aumentar a produtividade, foram desenvolvidas as argamassas estabilizadas, que são derivadas das industrializadas. Na sua composição são inseridos aditivos que melhoram a sua trabalhabilidade sem provocar efeitos negativos às propriedades no estado endurecido (PRADO FILHO, 2014).

O emprego de aditivos estabilizadores de hidratação nas argamassas tem a função de controlar o início das reações químicas entre o cimento e a água, permitindo a estabilização da mistura no estado fresco por algumas horas ou até mesmo dias (BENINI; CINOTTO, 2007).

Entretanto, em meio às tantas vantagens, Casali et al. (2011) e Matos (2013) apontam algumas desvantagens desse método construtivo em relação às argamassas convencionais, como a necessidade de um planejamento preciso da quantidade de argamassa a ser usada, evitando a falta ou o desperdício, e a redução da fluidez ao longo de tempo de estabilização.

2.2 CIMENTO PORTLAND

É um pó fino com propriedades aglomerantes, ou seja, de unir outros materiais. É um ligante hidráulico, o que significa que endurece sob ação da água; depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o cimento Portland não se decompõe mais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002). É composto por clínquer, principal componente presente em todos os tipos de cimento e adições que, basicamente, definem as diferenças entre um tipo e outro.

O clínquer tem como matérias-primas o calcário e a argila. Em proporções adequadas, esses dois materiais são cozidos num forno rotativo à 1450 °C, transformados em pelotas e depois finamente moídos. O clínquer em pó tem a peculiaridade de desenvolver uma reação química em presença de água, onde ele, primeiramente, torna-se pastoso e, em seguida, endurece, adquirindo elevada resistência e durabilidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002).

2.2.1 Adições

As adições são outras matérias-primas que, misturadas ao clínquer na fase da moagem, permitem a fabricação dos diversos tipos de cimento Portland hoje disponíveis no mercado. Sua incorporação tem como finalidade melhorar as características dos estados fresco e endurecido de concretos e argamassas (dependendo do tipo e quantidade, as adições podem aumentar a resistência à compressão, por exemplo), bem como obter soluções mais econômicas e ambientalmente corretas, uma vez que a utilização dessas adições não só constitui um reaproveitamento de resíduos de outras indústrias, como permite uma redução das emissões de CO₂ associadas ao consumo de concretos (GOMES; PINTO; PINTO, 2013). Os produtos mais utilizados nos cimentos compostos são os materiais pozolânicos, carbonáticos e a escória de alto-forno.

As adições pozolânicas proporcionam ao cimento maior estabilidade no uso com agregados reativos e em ambientes de ataque de sulfatos, maior resistência a meios agressivos como esgotos e água do mar, além de diminuir o calor de hidratação, o que o torna bastante recomendável na concretagem de grandes volumes e sob temperaturas elevadas (PUGLIESI, [201-]). Além do mais, conferem maior impermeabilidade aos concretos e argamassas, por exemplo.

Conforme cita Pugliesi ([201-]), a adição de escória granulada de alto-forno no processo de moagem do cimento confere, além de maior impermeabilidade, resistência à expansão devido à reação álcali-agregado, além de ser menos poroso e mais durável a longo prazo.

Já o efeito da adição de filer consiste fundamentalmente no preenchimento dos espaços vazios entre as partículas dos agregados de menores dimensões e as areias, contribuindo para o aumento da compacidade da mistura, incrementando a resistência mecânica. Em resumo, a ação do filer é fundamentalmente física, não sendo a ação química relevante (GOMES; PINTO; PINTO, 2013).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a execução das argamassas dessa pesquisa adotou-se um traço denominado rico na proporção em volume de 1:2:6 (cimento: cal: areia), frequentemente usado na região oeste de Santa Catarina.

Os cimentos Portland utilizados foram dos tipos CP II-Z, CP II-F e CP IV, todos da marca Votorantin. A massa específica absoluta e massa específica aparente foram fornecidas pelo fabricante, se enquadrando nos intervalos de 2,8 g/cm³ a 3,2 g/cm³ e 0,9 g/cm³ a 1,2 g/cm³ à 20°C, respectivamente.

Ainda como aglomerante, foi utilizada a cal hidratada CH III, da marca Hidra, que teve sua massa específica determinada em laboratório, resultando em 2,26 g/cm³. O agregado miúdo utilizado foi areia natural, cujas características estão resumidas na Tabela 1:

Tabela 1 – Caracterização física da areia

	Abertura das peneiras (mm)	% retida acumulada
Granulometria	4,75	1
	2,36	5
	1,18	9
	0,6	16
	0,3	55
	0,15	93
	Fundo	100
Módulo de Finura		1,78
Dimensão Máx. Característica		2,36
Massa Específica (g/cm ³)		2,59
Massa Unitária Seca (g/cm ³)		1,49
Umidade Crítica (%)		5,40
Coef. de Inchamento Médio		1,54

Fonte: os autores.

A quantidade de água necessária para o amassamento foi definida após a realização de testes de consistência em uma mistura utilizando o cimento Portland composto CP II-Z e nenhuma porcentagem de aditivo. Seguindo os procedimentos descritos pela NBR

13276 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016), logo após a preparação da argamassa foi feita a determinação do índice de consistência, de modo a obter um espalhamento máximo de 23 ± 2 cm. A relação água/cimento foi mantida constante para todas as misturas, ou seja, a partir dos testes realizados com o cimento CP II-Z, fixou-se a relação em 2,04, independente do uso do aditivo.

Nas amostras de argamassa aditivada, foi incorporado à água de amassamento o aditivo estabilizador de hidratação EcoTec Mix, da empresa Grace. Seguindo o princípio de adotar como variável somente o tipo de cimento, o teor de AEH inserido nas argamassas foi fixado em 1,7% em relação à massa de cimento, objetivando a estabilização por um período próximo a 48 h, valores determinados por Pivetta (2015).

3.1 MÉTODOS DE ENSAIOS

Para a avaliação da influência de diferentes tipos de cimento nas propriedades das argamassas estabilizadas, foram realizados ensaios nos estados fresco e endurecido, em conformidade com as normas pertinentes a cada estudo. Os ensaios realizados no estado fresco foram: determinação do índice de consistência, densidade de massa e teor de ar incorporado e tempo de início de pega. Para o estado endurecido foram avaliadas a resistência à tração na flexão e compressão axial e a absorção das argamassas por capilaridade.

O ensaio de determinação do índice de consistência foi feito seguindo os preceitos da NBR 13276 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016). Constitui-se da medida do espalhamento de uma porção de argamassa previamente moldada em tronco cônico sobre a mesa de ensaio. O objetivo foi determinar a capacidade da argamassa em manter a consistência ao longo do seu tempo de aplicação. As argamassas utilizadas para este ensaio foram mantidas dentro de uma caixa de isopor, em potes devidamente tampados, sendo retiradas dessa condição somente para aferir os espalhamentos, a fim de evitar a perda de água. O acompanhamento da consistência deu-se em intervalos de 12h para as argamassas estabilizadas, totalizando 4 leituras. Não foi possível realizar a leitura após 48h do amassamento, pois ambas as argamassas perderam água e acabaram secando, tornando impraticável a aferição. Já para as argamassas convencionais as leituras foram realizadas em intervalos menores, a cada 90 minutos, sendo efetuadas 5 verificações no total, pois após esse período também se tornou inexecutável a medida da consistência.

A densidade de massa no estado fresco foi feita baseando-se no que normatiza a NBR 13278 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a). Para este ensaio, foi preenchido com argamassa um recipiente cilíndrico metálico de volume e massa previamente calibrados, sendo que após o adensamento do material e limpeza do molde, o conjunto foi pesado. Os valores obtidos servem para a determinação, através de uma equação, da massa específica da argamassa e da quantidade de ar incorporado nas misturas.

O tempo de início de pega foi determinado aferindo a resistência dos traços confeccionados à penetração de uma agulha sob uma carga total de 300g, com o auxílio

do aparelho de Vicat. O tempo de início de pega dá-se quando a agulha penetra até uma profundidade de 4 ± 1 mm da placa base. O ensaio foi realizado tendo como referência a NBR NM 65 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003), necessitando de algumas adaptações. Para maior precisão de dados, a cada leitura eram selecionados 4 pontos distintos em diferentes regiões do corpo de prova, pois devido à interferência dos grãos da areia, a agulha apresentava penetrações irregulares a cada leitura. Nos intervalos dos ensaios de penetração, os moldes contendo a argamassa foram mantidos dentro de uma caixa de isopor, em temperatura de $19 \pm 2^\circ\text{C}$.

Para a avaliação das propriedades no estado endurecido das argamassas produzidas, logo após o preparo foram moldados seis corpos de prova para cada traço, conforme as recomendações da NBR 13279 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b). Destes, 3 foram destinados ao ensaio de resistência à tração na flexão e compressão axial e 3 ao ensaio da absorção por capilaridade. Passadas 24 h da produção das argamassas estabilizadas, foram moldados mais três corpos de prova de cada amostra, a fim de aferir variações na resistência à tração e à compressão causadas pelo uso do AEH. Estas argamassas foram mantidas em potes tampados, atribuídos apenas para este fim, dentro de uma caixa de EPS para que a mistura não perdesse água e para que a interferência da temperatura fosse a mínima possível. Os corpos de prova permaneceram por 48 ± 24 h nos moldes, envolvidos com plástico filme, em temperatura de $19 \pm 3^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar de $70 \pm 10\%$. Passado este período, foram desmoldados e condicionados em mesmas condições para cura ambiente, por 28 dias.

Após o período de cura dos corpos de prova, os mesmos foram ensaiados seguindo as orientações da NBR 13279 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b) para a determinação da tração na flexão e da compressão axial. Os corpos de prova foram posicionados nos dispositivos de apoio do equipamento de ensaio e, então, aplicou-se carga até a ruptura dos mesmos. Através do cálculo da tensão de tração, ocorreu a determinação da resistência à tração na flexão. Para a resistência à compressão foi aplicado uma carga vertical em dois fragmentos do corpo de prova submetido anteriormente ao ensaio de resistência à tração na flexão.

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi feito com base no que indica a NBR 9779 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012), e para isso foram utilizados três corpos de prova de cada amostra, moldados após a produção das argamassas, curados em temperatura ambiente e ensaiados aos 28 dias de idade.

3.2 NOMENCLATURA ADOTADA

Para facilitar a análise dos resultados, foi adotada a nomenclatura demonstrada na Tabela 2:

Tabela 2 – Nomenclatura adotada para cada amostra

Traço	Nomenclatura
Argamassa convencional de traço 1:2:6, com cimento Portland CP II-Z	AZ
Argamassa de traço 1:2:6 + 1,7% de AEH, com cimento Portland CP II-Z (corpos de prova moldados imediatamente após preparo da mistura)	AZ _{ad}
Argamassa de traço 1:2:6 + 1,7% de AEH, com cimento Portland CP II-Z (corpos de prova moldados 24 h após preparo da mistura)	APZ _{ad}
Argamassa convencional de traço 1:2:6, com cimento Portland CP II-F	AF
Argamassa de traço 1:2:6 + 1,7% de AEH, com cimento Portland CP II-F (corpos de prova moldados imediatamente após preparo da mistura)	AF _{ad}
Argamassa de traço 1:2:6 + 1,7% de AEH, com cimento Portland CP II-F (corpos de prova moldados 24 h após preparo da mistura)	APF _{ad}
Argamassa convencional de traço 1:2:6, com cimento Portland CP IV	AIV
Argamassa de traço 1:2:6 + 1,7% de AEH, com cimento Portland CP IV (corpos de prova moldados imediatamente após preparo da mistura)	AIV _{ad}
Argamassa de traço 1:2:6 + 1,7% de AEH, com cimento Portland CP IV (corpos de prova moldados 24 h após preparo da mistura)	APIV _{ad}

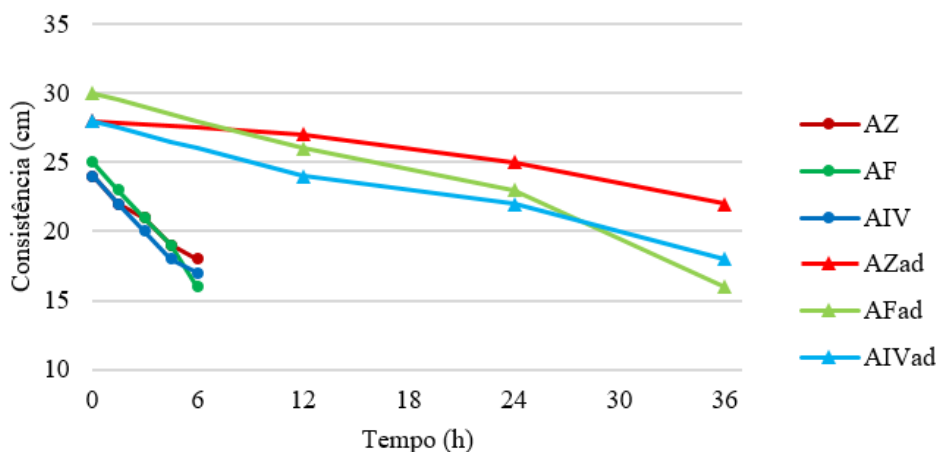
Fonte: os autores.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 CONSISTÊNCIA DAS ARGAMASSAS AO LONGO DO TEMPO

O ensaio de índice de consistência foi realizado ao longo do tempo de utilização das argamassas com o intuito de avaliar a perda e/ou manutenção de consistência das amostras. A partir do Gráfico 1 é possível analisar de forma mais clara a perda de espalhamento.

Gráfico 1 – Perda de consistência ao longo do tempo



Fonte: os autores.

Verifica-se que, de forma geral, as argamassas convencionais demonstraram linearidade na perda de abatimento desde a sua confecção até 4h30min após seu amassamento. Após esse período a amostra AF, que já tinha apresentado consistência inicial

superior às outras, configurou uma perda brusca de espalhamento de 3 cm, enquanto para as outras amostras esse valor foi de 1 cm. Esse mesmo padrão é observado nas argamassas aditivadas, entretanto a perda de abatimento no último período de análise foi ainda mais acentuada, de até 7 cm para a amostra AF_{ad} .

Ambas as amostras confeccionadas com CP II-F apresentaram índices superiores de espalhamento, indo ao encontro do preceito de que a adição de material carbonático confere maior poder de trabalhabilidade aos cimentos. Estas também apresentaram o maior valor de perda de abatimento, de modo que ao final do acompanhamento da consistência da amostra aditivada AF_{ad} , obteve-se um valor de espalhamento 14 cm menor que o aferido logo após o amassamento, ou seja, uma perda de 53,3% nas propriedades de trabalhabilidade da mistura.

As amostras de argamassa que contém adição de material pozolânico na sua composição AZ e AIV manifestaram igualdade na leitura inicial e seguiram um padrão para a perda de abatimento, ou seja, 6 e 7 cm respectivamente, não configurando uma discrepância considerável.

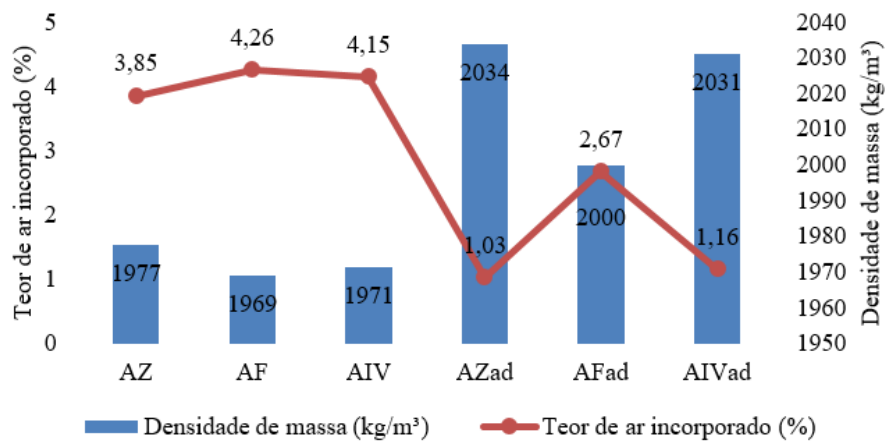
Seguindo o mesmo padrão, as argamassas aditivadas AZ_{ad} e AIV_{ad} também apresentaram mesmas leituras iniciais, no entanto, a perda de abatimento da amostra AZ_{ad} foi de 21,4%, enquanto para a amostra AIV_{ad} esse valor foi superior a 37%, ou seja, a perda de consistência foi mais acentuada no traço que, teoricamente, possui maior quantidade de adição. Estes números configuram desacordo com o que cita Pivetta (2015), pois uma das causas da perda de trabalhabilidade é o consumo de água pelas reações químicas de hidratação do cimento, ou seja, quanto mais adição, menor a quantidade de clínquer e mais retardado o enrijecimento da pasta.

Outra causa para a perda de trabalhabilidade é a evaporação da água de amassamento. No entanto, considerando que as amostras foram expostas às mesmas condições ambientais, exclui-se a oscilação climática e conseqüente variação na taxa de evaporação como razão dos resultados obtidos. A partir disso, surge a necessidade de se conhecer exatamente o tipo e a quantidade de adição presente nos cimentos para que suas propriedades possam ser melhor analisadas.

4.2 DENSIDADE DE MASSA E TEOR DE AR INCORPORADO

A partir dos dados obtidos com o ensaio para determinação da densidade de massa, foram calculados também os teores de ar incorporado respectivos à cada amostra. O Gráfico 2 ilustra os resultados e sua correlação:

Gráfico 2 – Densidade de massa e teor de ar incorporado das amostras



Fonte: os autores.

Inicialmente percebe-se que as amostras aditivadas apresentaram densidades de massa superiores às convencionais, enquanto que a quantidade de ar incorporado foi menor. Isso se deve ao aumento da plasticidade que o AEH proporciona, ocasionando melhor conformação dos grãos que, conseqüentemente, resulta na diminuição dos vazios da mistura.

Nota-se, também, que as amostras com maiores índices de consistência AF e AF_{ad} apresentaram menor massa específica e maior teor de ar incorporado. No entanto, esses valores são inferiores aos esperados, pois a presença de material carbonático na composição destes traços deveria conferir melhor empacotamento granulométrico e conseqüente diminuição de vazios, aumentando a densidade de massa dessas amostras. Uma causa dessa alteração pode estar ligada à massa específica das adições dos cimentos, ou seja, conforme cita Isaia (2011), a massa específica dos materiais constituintes da argamassa pode influenciar na densidade de massa e teor de ar incorporado. Levando em conta essa linha de raciocínio, neste caso, os materiais carbonáticos tendem a ser mais leves que os pozolânicos.

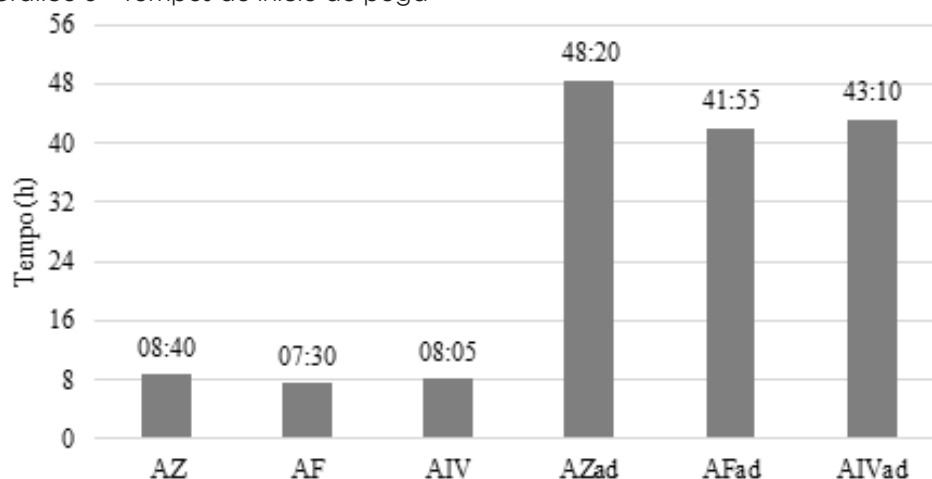
As amostras AZ e AZ_{ad} resultaram em valores de densidade maior que AIV e AIV_{ad} respectivamente, pois em sua composição apresentam maior quantidade de clínquer do que de adição. O clínquer, por sua vez, é um material derivado de rocha e agrega maior valor de massa ao cimento, enquanto que as adições são materiais mais leves. Dessa forma, quanto maior o teor de adição, menor a densidade de massa. Entretanto, a variação de densidade de massa entre as amostras citadas foi muito pequena, levando a crer que os cimentos CP II-Z e CP IV possuem composição semelhante.

Por via de regra, em todos os casos quanto maior foi a densidade de massa, menor o teor de ar incorporado à mistura.

4.3 TEMPO DE INÍCIO DE PEGA

As amostras de argamassa aditivada foram dosadas com teor fixo de AEH, objetivando a estabilização por aproximadamente 48h. Entretanto, obteve-se valores variados conforme a troca do tipo de cimento. Gerou-se o Gráfico 3, onde os dados podem ser melhor compreendidos e as variações nos tempos de início de pega ficam evidentes.

Gráfico 3 – Tempos de início de pega



Fonte: os autores.

De início, é possível perceber que tanto a amostra AF quanto a AF_{ad} demoraram menos tempo para iniciar a pega se comparadas às outras amostras, e isso explica-se pelo fato de terem sido confeccionadas com cimento do tipo CP II-F, o qual possui em sua composição uma porcentagem de material carbonático substituindo o clínquer. De acordo com Gomes, Pinto e Pinto (2013) esse tipo de adição não participa de forma ativa nas reações químicas de endurecimento da pasta de cimento, sendo seu efeito fundamental o de preencher os espaços vazios. Dessa forma, as argamassas confeccionadas com esse material contam com menor teor de aluminato tricálcico (C₃A), responsável pelo tempo de pega e presente na composição do clínquer, diminuindo o tempo transcorrido entre o contato da água com o cimento e o início do processo de endurecimento.

Comparando as argamassas produzidas com cimento com adição de material pozolânico, nota-se que as amostras confeccionadas com cimento Portland CP IV apresentaram tempos de pega inferior às amostras AZ e AZ_{ad}. Os resultados contrariam o que citam Gomes, Pinto e Pinto (2013), pois a substituição direta de determinada quantidade de cimento pela mesma massa de material pozolânico deve-se traduzir em maiores tempos de pega. Como o cimento tipo CP IV possui, teoricamente, quantidade superior de adição se comparado ao CP II-Z, os subprodutos desse material deveriam demorar mais para iniciar o processo de endurecimento. Assim sendo, esse fato pode ser explicado pela proximidade dos limites admissíveis de adição inseridas nesses cimentos, de modo que ambos podem apresentar quantidades semelhantes de material pozolânico em sua composição.

A argamassa convencional AIV apresentou tempo de pega 6,77% menor em relação à AZ, enquanto na argamassa aditivada AIV_{ad} essa redução foi um pouco mais expressiva, de 10,69% em relação à AIV_{ad}. Uma possível causa dessa inconstância pode ser as condições ambientais à que as amostras foram submetidas, visto que as determinações foram realizadas em dias diferentes, com variação de temperatura e umidade. Todavia, a análise química dos cimentos Portland CP II-Z e CP IV utilizados nesta pesquisa poderia esclarecer a causa dos resultados adversos encontrados.

Deve-se considerar também, que as amostras foram ensaiadas em parcial desconformidade com a norma, não sendo realizado o ensaio em pastas de consistência normal. Desse modo, a areia ou a cal podem ter interferido nos resultados obtidos.

De forma geral, a presença do AEH não alterou a variação total do tempo de início de pega, pois tanto para as argamassas convencionais quanto nas aditivadas esse valor foi de 13%, aproximadamente.

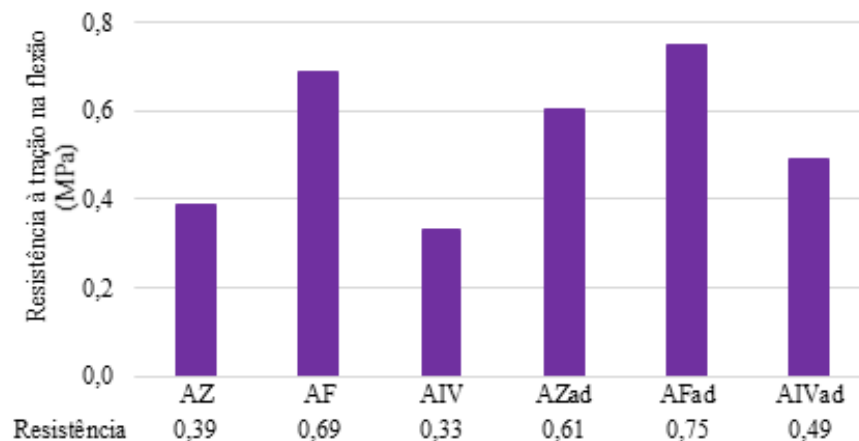
4.4 RESISTÊNCIA MECÂNICA

Todas as amostras foram mantidas em cura ambiente nas mesmas condições de temperatura e umidade relativa do ar, sendo que o rompimento ocorreu 28 dias após a moldagem dos corpos de prova.

4.4.1 Resistência à tração na flexão

O Gráfico 4 representa os valores de resistência à tração na flexão das amostras de argamassa moldadas logo após o amassamento, sendo que, seguindo o que prescreve a norma, adotou-se como resultado final a média de resistência de três rupturas para cada amostra.

Gráfico 4 – Resistência à tração na flexão



Fonte: os autores.

Notoriamente, as amostras com cimento Portland com adição de filer AF e AF_{ad} destacam-se por atingirem os maiores valores de resistência à tração na flexão representando, no caso das argamassas convencionais, valor até duas vezes maior, e nas argamassas aditivadas, acréscimo de até 53%. Segundo Gomes, Pinto e Pinto (2013), isso acontece, pois, o efeito da adição de material carbonático na moagem do clínquer contribui para o aumento da compacidade da mistura, incrementando a resistência mecânica.

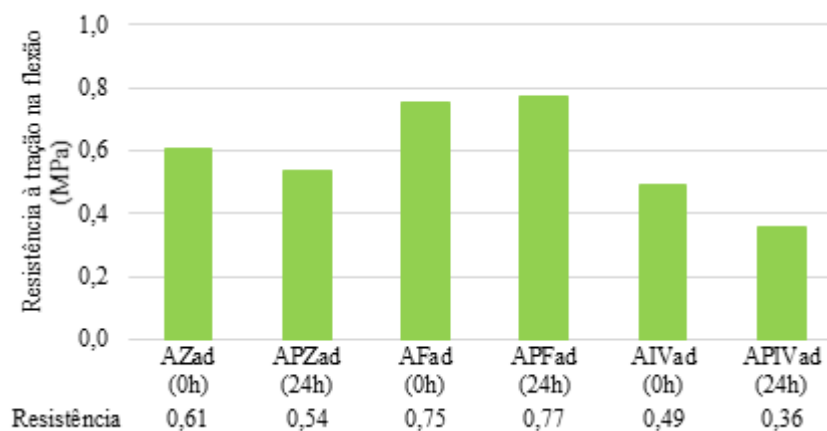
No geral, todas as amostras que receberam o aditivo estabilizador de hidratação apresentaram aumento de resistência, pois a melhora da plasticidade proporcionada pelo AEH significa que as partículas de agregado imersas no interior da pasta de aglomerante resistirão menos ao deslizamento, facilitando a expulsão do ar durante o adensamento da mistura.

Para a amostra AZ_{ad}, o aumento de resistência foi de 56,4%, para AF_{ad} um incremento de pouco mais de 8%, e para AIV_{ad}, melhoria de 48,5%. Esses resultados demonstram que as adições pozolânicas apresentam melhor compatibilidade com esse tipo de aditivo, visto que o incremento na resistência das amostras com adição de filer foi muito inferior. Conforme a empresa Grace (2014), o aditivo EcoTec Mix é compatível com todos os tipos de cimento, ao passo que recomenda que sua dosagem seja determinada através de ensaios laboratoriais.

As argamassas compostas de CP II-Z apresentaram valores de resistência superiores às compostas de CP IV, pois teoricamente, a composição química das primeiras apresenta maior quantidade de clínquer, aumentando o índice de silicatos responsáveis pela formação dos cristais de resistência.

Os corpos de prova moldados 24h após o amassamento das argamassas estabilizadas serviram para verificar o comportamento da resistência destas durante o período de utilização. Dessa forma, o Gráfico 5 apresenta uma comparação entre as resistências à tração dos corpos de prova moldados logo após o amassamento e as amostras moldadas após 24h:

Gráfico 5 – Influência do tempo na resistência à tração na flexão



Fonte: os autores.

Após 24 horas do amassamento das argamassas aditivadas houve diminuição na resistência à tração das amostras AZ_{ad} e AIV_{ad} de 11,5% e 26,5%, respectivamente. Após algum tempo, mesmo que não iniciada a pega, alguns cristais de resistência já estão formados, e com o manuseio das amostras essas ligações são rompidas de modo que não podem mais ser restituídas.

Contrariamente, a amostra APF_{ad} mostrou ter adquirido resistência mecânica ao longo do tempo de utilização. Por menor que seja esse incremento (menos de 3%), ele denota que, provavelmente, parte da água dessa amostra evaporou durante o período anterior à moldagem do corpo de prova, diminuindo o fator a/c e consequentemente elevando a resistência.

4.4.2 Resistência à compressão axial

O Gráfico 6 a seguir representa os valores de resistência à compressão axial das amostras de argamassa moldadas logo após o amassamento, sendo que, seguindo o que prescreve a norma, adotou-se como resultado final a média de resistência de seis rupturas para cada amostra, sendo duas para cada corpo de prova.

Gráfico 6 – Resistência à compressão axial



Fonte: os autores.

Igualmente à resistência à tração na flexão, a inserção de aditivo também melhorou o desempenho das argamassas à compressão, pois o AEH provoca o aumento da massa específica da mistura, grandeza proporcional à resistência mecânica. O aumento chegou a 26,3% no traço reproduzido com cimento Portland CP II-F, 24,8% na amostra AZ_{ad} e 10% na AIV_{ad} .

O uso de Cimento Portland composto com adição de fíler também atuou positivamente na compacidade da mistura, e promoveu um aumento de resistência de até 82% nas argamassas convencionais e 110% nas aditivadas, valores ainda mais expressivos se comparados aos resultados de resistência à tração na flexão.

Pondo em comparação as argamassas com cimento com adição pozolânica, as amostras feitas com CP II-Z alcançaram resistência superior às feitas com CP IV, com valores até 33% maiores no caso das aditivadas. No quesito resistência mecânica, as argamassas com pior desempenho foram as produzidas com cimento CP IV.

Em suma, a troca do tipo de cimento influencia fortemente as propriedades de resistência mecânica das argamassas, provocando diferenças até maiores que o dobro de um material para o outro.

O Gráfico 7 apresenta uma comparação entre as resistências à compressão dos corpos de prova moldados logo após o amassamento e as amostras moldadas após 24h:

Gráfico 7 – Influência do tempo na resistência à compressão axial



Fonte: os autores.

Da mesma forma que houve queda na resistência à tração na flexão, houve diminuição nas resistências à compressão axial das amostras AZ e AIV. A perda de propriedade foi de, em média, 11% enquanto a argamassa com adição de fíler apresentou acréscimo de 8,3%, possivelmente ocasionado pela evaporação de parte da sua água de amassamento durante o manuseio.

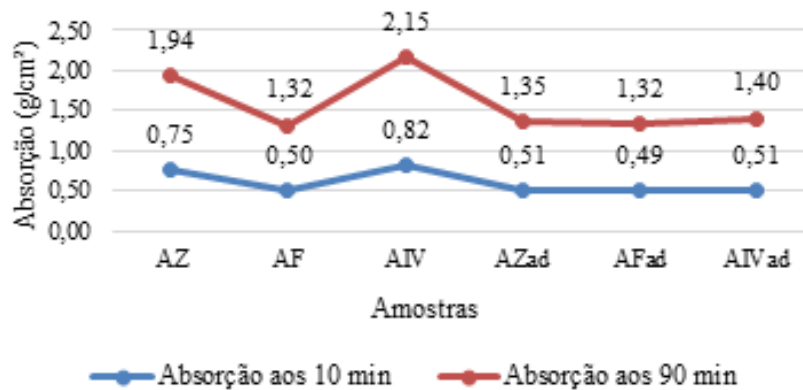
A amostra de argamassa AF desenvolveu uma película de água sobre a mistura dentro do recipiente em que foi mantida até o momento da moldagem dos corpos de prova. Este recipiente foi mantido fechado dentro de uma caixa de isopor para evitar troca de temperatura com o meio, no entanto, a simples formação desta película pode ter facilitado a evaporação da água. A perda de água faz diminuir a relação a/c, diretamente relacionada com o aumento de resistência, e faz existir mais uma variável de análise além da troca do tipo de cimento, o que não é o foco desta pesquisa.

A perda de trabalhabilidade ao longo do tempo também pode ter auxiliado do decréscimo de resistência das argamassas, pois durante o processo de adensamento dos corpos de provas, argamassas com menor consistência apresentam maior dificuldade de expulsar os vazios.

4.5 ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE

Como foram ensaiadas somente amostras moldadas minutos após a confecção das argamassas, não foi analisada a influência do tempo em relação à absorção por capilaridade. Para melhor compreensão, gerou-se o Gráfico 8, onde se pode ter um melhor parâmetro de comparação entre os valores obtidos:

Gráfico 8 – Absorção de água por capilaridade



Fonte: os autores.

É possível perceber que, de modo geral, as argamassas que receberam o AEH em suas misturas apresentaram índices inferiores de absorção nos dois momentos de leitura, quando comparadas às convencionais, com exceção da amostra confeccionada com CP II-F. O uso do aditivo possibilitou melhora na absorção por capilaridade pois foi responsável pela redução do ar incorporado nas misturas, diminuindo a rede de poros permeáveis.

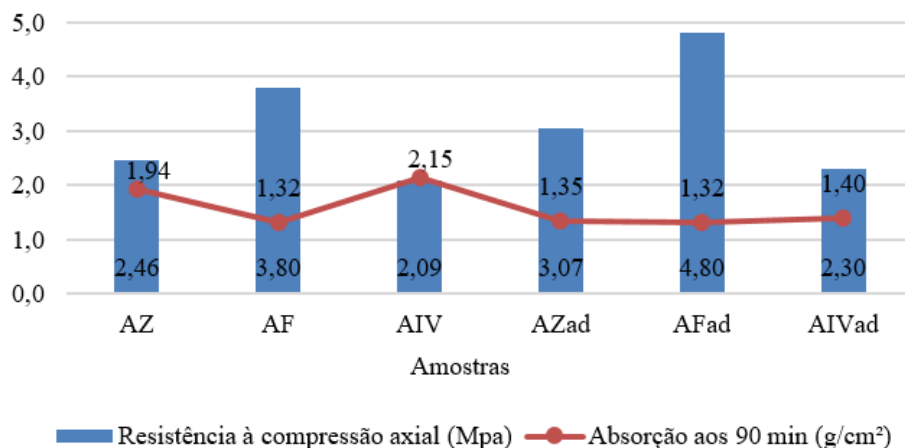
As amostras AF e AF_{ad} mantiveram praticamente o mesmo padrão de absorção tanto para o traço convencional quanto para o aditivado, além de manifestar resultados inferiores às argamassas produzidas com os outros tipos de cimento. As partículas finas inertes de fíler preenchem com mais facilidade os poros da mistura, impedindo a sucção da água para o interior da argamassa.

Avaliando a absorção total, a amostra AZ obteve uma absorção 47% superior à AF, e a amostra AIV alcançou valor 63% maior. Enquanto nas argamassas aditivadas AZ_{ad} e AIV_{ad} a divergência foi de apenas 2,3% e 6,1%, respectivamente. A partir disso, conclui-se que o uso do AEH ameniza os efeitos da troca do tipo de cimento quando se analisa a absorção por capilaridade.

As amostras com adição pozolânica em sua composição manifestaram os maiores índices de absorção por capilaridade, tanto nas argamassas convencionais quanto nas aditivadas. Contrariamente, a Associação Brasileira de Cimento Portland (2002) cita que uma das principais vantagens da adição desse tipo de material na composição do cimento é de conferir maior impermeabilidade aos concretos e argamassas, por exemplo. O uso do CP IV nas argamassas resultou nos valores mais críticos.

O Gráfico 9 serve para relacionar absorção de água por capilaridade com a resistência mecânica, considerando os valores de resistência à compressão axial:

Gráfico 9 – Relação entre resistência mecânica e absorção de água por capilaridade



Fonte: os autores.

É possível perceber que a absorção é inversamente proporcional à resistência à compressão. A amostra AF_{ad} apresenta-se como exceção, tendo aumento de resistência mesmo quando a taxa de absorção é mantida, se comparada com as outras amostras da mesma categoria. Esse comportamento pode ter sido causado por problema na moldagem dos corpos de prova do ensaio de absorção por capilaridade, que os tornou mais porosos que os usados para o rompimento à compressão axial.

5 CONCLUSÃO

As argamassas confeccionadas com CP II-F apresentaram os melhores índices de consistência, tanto para argamassa convencional como para aditivada, pois é exatamente a melhora na trabalhabilidade um dos principais impactos causados pela adição de materiais carbonáticos à composição do cimento. No entanto, estas amostras também configuraram as maiores perdas de abatimento ao longo do tempo, chegando a 53% menos espalhamento do que sua medição inicial. As amostras com adição pozolânica resultaram em índices de consistência inicial semelhantes e perda de trabalhabilidade linear. No entanto, a perda de consistência foi mais acentuada no traço que, teoricamente, possui maior quantidade de adição em sua composição. Vale ressaltar que, como não se tem o conhecimento do tipo e quantidade de adição inserida em cada cimento, não é possível afirmar que este seja o motivo da inconsistência dos resultados.

Em relação à densidade de massa no estado fresco, observou-se, também, desempenhos incomuns. As amostras com CP II-Z e CP IV demonstraram resultados muito semelhantes, com variação menor do que 1,5%, sustentando ainda melhor a ideia de que seria necessário o conhecimento das propriedades inerentes à cada cimento para explicar os

acontecimentos. Os traços AF e AF_{ad} resultaram nos menores valores de densidade, quando esta deveria ser aumentada em virtude do melhor empacotamento granulométrico causado pela adição de finos inertes. Ainda assim, em todos os casos quanto maior foi a densidade de massa, menor o teor de ar incorporado à mistura.

O tempo de estabilização de 48 horas inicialmente proposto foi atingido pela amostra AZ_{ad}, enquanto os menores tempos de início de pega aconteceram nas argamassas de cimento Portland CP II-F, totalizando déficit de 13% com relação ao maior tempo alcançado pelas amostras de CP II-Z. As amostras confeccionadas com CP IV resultaram em tempos de início de pega ligeiramente inferiores aos apresentados pelas confeccionadas com CP II-Z, denotando que a proporção de adição na composição desses cimentos tende a ser semelhante.

Foi observado um comportamento padrão quanto à resistência mecânica, ou seja, tanto na resistência à tração por flexão quanto à compressão axial as amostras convencionais e aditivadas seguiram a mesma tendência de resultados. As amostras AF e AF_{ad} se destacaram com os índices mais satisfatórios, representando até o dobro da resistência à tração na flexão alcançada pelas outras amostras do tipo convencional e aumento de 53% no caso das aditivadas. Isso se explica pelo fato de que, havendo adição de material carbonático à matéria-prima do cimento, há um incremento na resistência dos seus subprodutos. Em ambas as categorias (convencional ou aditivada) as argamassas de cimento Portland CP IV representaram os menores índices resistentes, com média de 20% menos resistência à compressão axial e 17% menos resistência à tração na flexão, comparando às amostras confeccionadas com CP II-Z.

As amostras que obtiveram maiores índices de absorção por capilaridade foram as desenvolvidas com cimento com adição de pozolana, material que, em tese, confere maior impermeabilidade aos concretos e argamassas. A diferença chegou a 63% mais absorção na amostra AIV se comparada com a amostra convencional AF, enquanto nas argamassas aditivadas a divergência foi quase insignificante, revelando que o uso do AEH ameniza os efeitos da troca do tipo de cimento quando se analisa a absorção por capilaridade. É válido ressaltar que o ensaio para determinação dessa propriedade foi realizado somente 28 dias após a moldagem dos corpos de prova, de modo que, com o passar do tempo, as reações de hidratação desenvolvidas pelas pozolanas podem continuar preenchendo os vazios do material, diminuindo essa diferença.

Com base em tudo que foi exposto conclui-se que, de fato, o tipo de cimento está estreitamente relacionado com as propriedades das argamassas, pois cada uma revelou um material mais adequado, o qual apresentou resultados mais satisfatórios. Entretanto, devido às discrepâncias apresentadas principalmente pelos cimentos com adição pozolânica, julga-se necessário o conhecimento das características intrínsecas de cada cimento, como tipo e quantidade de adição, para explicar os acontecimentos.

Existem muitos tipos de materiais pozolânicos e o teor de adição destes à matéria-prima do cimento é bastante variável. Unindo isso ao fato de que essas informações não são

fornecidas pelos fabricantes de cimento Portland, torna-se incerto o controle das propriedades dos seus subprodutos, uma vez que quantidade e tipo de adição são fatores preponderantes para o bom desempenho de concretos e argamassas.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7. ed. São Paulo, 2002. 28 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779 – Argamassas e concretos endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**. Rio de Janeiro, 2005a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2005b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 65: Cimento Portland – Determinação do tempo de pega**. Rio de Janeiro, 2003.
- BENINI, Humberto Ribeiro; CINCOTTO; Maria Alba. **Reaproveitamento do concreto fresco dosado em central com uso de aditivo estabilizador de hidratação**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.
- CASALI, Juliana Machado *et al.* Avaliação das propriedades do estado fresco e endurecido da argamassa estabilizada para revestimento. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSA*, 9., 2011, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte, 2011. 13 p.
- GOMES, Augusto; PINTO, Ana Paula Ferreira; PINTO, João Bessa. **Cimento Portland e adições**. Belo Horizonte: Instituto Superior Técnico, 2013. 52 p.
- GRACE. **Aditivo para concreto: EcoTec-Mix estabilizador de argamassa por tempo prolongado**. Sorocaba, 2014.
- ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: Ibracon, 2011. 1946 p.
- MACIOSKI, Gustavo. **Avaliação do comportamento de argamassas estabilizadas para revestimento**. 2014. 116 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- MATOS, Paulo Ricardo de. **Estudo da utilização de argamassa estabilizada em alvenaria estrutural de blocos de concreto**. 2013. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- PIVETTA, Darli Mateus. **Desempenho de argamassas estabilizadas: influência do aditivo estabilizador de hidratação nas propriedades físicas e mecânicas**. 2015. 88 f. Relatório de Estágio Supervisionado II (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, 2015.

PRADO FILHO, Hayrton Rodrigues do. **As normas técnicas para as argamassas estabilizadas.** 2014. Disponível em: <https://qualidadeonline.wordpress.com/2014/10/27/argamassas-estabilizadas-e-as-normastecnicas/>. Acesso em: 18 abr. 2017.

PUGLIESI, Nataly. **Cimento:** diferentes tipos e aplicações. [201-]. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/cimento-diferentes-tipos-e-aplicacoes_11959_0_1. Acesso em: 21 abr. 2017.

SILVA, Claudio Oliveira; NAKAKURA, Elza Hissae. **A utilização de argamassa de revestimento em obras de pequeno porte – Avaliação de estudo de caso de argamassa preparada em obras x argamassa industrializada.** [S. l.: s. n.], 2011. 12 p.

