

ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO E TECNOLÓGICO DE ARGAMASSA MODIFICADA COM PROTEÍNAS

Leonardo Proença Mendes de Almeida Godoy (IC) e Maria Thereza de Moraes Gomes Rosa (Orientador).

Apoio: PIBIC Mackenzie

RESUMO

A utilização de argamassa na construção civil, sendo empregada de diversas maneiras nos edifícios em que são construídos, como por exemplo no assentamento de blocos e revestimento de paredes e tetos. Deste modo, para a construção possuir uma segurança ideal, muitos estudos são levados em consideração para evitar eventuais acidentes possíveis dentro de uma obra ou depois dela ser produzida, afim de que a argamassa tenha uma boa qualidade e suporte as cargas que ocasionalmente são feitas na construção. Dessa forma, uma opção para que a argamassa tenha melhorias em seu comportamento é a de fazer o uso de aditivos em sua composição. Porém, dos estudos da influência que esses aditivos resultam, pouco estudo é direcionado à adição de proteínas no comportamento mecânico e tecnológico das argamassas. Sendo assim, a intenção desta pesquisa foi a de avaliar as mudanças no comportamento mecânico e tecnológico de argamassa de cimento, feitas com a incorporação de proteína do soro do leite e albumina, nos teores de 2 e 10% em relação à massa de cimento. Com isso, as proteínas escolhidas tiveram forte influência nos estados fresco e endurecido da argamassa, tendo algumas alterações significantes no teor de ar incorporado e na resistência mecânica, demonstrando que maiores concentrações de proteínas podem acabar reagindo de forma inesperada na mistura dos materiais, mostrando um aumento no teor de ar incorporado, e com isso, afetando as demais propriedades da argamassa. Dentre os resultados obtidos, uma proteína na concentração de 2% mostrou uma melhora efetiva da trabalhabilidade, enquanto as concentrações de 10% das proteínas tiveram um comportamento peculiar, notando-se que as amostras tiveram uma perda drástica de sua resistência.

Palavras-chave: Construção Civil. Albumina. Proteína do Soro do Leite.

ABSTRACT

The use of mortar in civil construction is currently very common, being used in various ways in the buildings in which they are built, for example in the laying of blocks, and cladding of walls and ceilings. Therefore, for the construction to have an ideal safety, many studies are taken into account to avoid possible accidents within a work or after it is produced, so that the mortar has good quality and supports the loads occasionally made in the construction. Thus, an option for the mortar to have improvements in its behavior is to make use of additives in your

composition. However, from the studies of the influence that these additives result, little study is directed to the addition of proteins in the mechanical and technological behavior of mortars. Therefore, the intention of this research was to evaluate the changes in the mechanical and technological behavior of cement mortar, made with the incorporation of whey protein and albumin, in the contents of 2 and 10% in relation to the mass of cement. The selected proteins had a strong influence on the fresh and hardened mortar states, with some significant changes in the incorporated air content and mechanical strength, demonstrating that higher concentrations of proteins may unexpectedly react in the mixture of materials, showing an increase in the content of air incorporated, and with that, affecting the other properties of the mortar. Among the results obtained, a protein in the concentration of 2% showed an effective improvement of the workability, while the concentrations of 10% of the proteins had a peculiar behavior, noting that the test sample had a drastic loss of their resistance.

Keywords: Civil Construction. Albumine. Whey Protein.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Problema de pesquisa

A argamassa possui ampla utilização na construção civil, sendo muito observada no assentamento de alvenarias e nos revestimentos de paredes de alvenaria, tanto na vedação interna, quanto na vedação externa (DA SILVA, 2006). Devido à sua complexidade, com a sua composição e tipo de aplicação na obra, ela recorre a vários fatores para a seleção dos materiais a serem utilizados em sua formação, de maneira a torná-la mais viável para o tipo de aplicação, na qual será inserida.

As argamassas usualmente utilizadas em obras são classificadas como argamassa de cal, formadas por cal, agregado miúdo e água; argamassa de cimento, composta por cimento Portland, agregado miúdo e água; ou argamassa mista, que contém cal, cimento Portland, agregado miúdo e água. Dependendo de sua aplicação na obra, sua seleção é efetuada com base em seu desempenho. O desempenho da argamassa de cal é geralmente de uma boa plasticidade e elasticidade, que a torna recomendada na utilização para emboço e reboco. A argamassa de cimento apresenta uma elevada resistência mecânica em pouco tempo, enfrentando os problemas de pouca trabalhabilidade e baixa retenção de água, sendo então bastante utilizada no assentamento de revestimentos e de alvenaria (DA SILVA, 2006).

As maiores patologias e falhas encontradas nos perfis de argamassa de revestimento são as de fissuração, descolamento, perda de coesão, falta de impermeabilização, eflorescência e deficiência de comportamento térmico, problemas causados face aos esforços mecânicos, físicos e cíclicos, reações químicas e o ambiente no qual ela está exposta. Dentre as avarias encontradas nos perfis de argamassa de assentamento nota-se os

desprendimentos de blocos, fissuração, formação de manchas nos elementos cerâmicos, fissuração de juntas de revestimento, eflorescência, descoloração das juntas de revestimento, falta de impermeabilização e a falta de resistência/coesão das juntas entre os blocos (SILVA, 2006; MONTEIRO, 2008).

Devido aos problemas enfrentados pela argamassa, muitas pesquisas são realizadas com o intuito de encontrar aditivos que corrijam essas patologias. Com isso, o uso de polímeros sintéticos como aditivo na composição da argamassa vem crescendo nos últimos quarenta anos, com um grande interesse nas influências que eles podem proporcionar na composição da argamassa. Os principais polímeros sintéticos adicionados são o polietileno, polipropileno, cloreto de polivinila, poliuretanas, polímeros MS (silano modificado), silicones e polioxiolefinas. E até hoje os primeiros polímeros sintéticos são estudados e utilizados na composição da argamassa, recebendo modificações e novas aplicações (NUNES *et al.*, 2002) (VILAR, 2002).

Porém, o uso desses polímeros sintéticos pode trazer riscos à saúde do executor de obra, pois nessa composição pode haver liberação de substâncias nocivas, como por exemplo o benzeno, um composto orgânico derivado do petróleo, matéria-prima que serve como base para síntese de vários polímeros sintéticos, como o poliestireno, policarbonato, resina epóxi, resina fenólicas, algumas borrachas e plásticos. O risco que a exposição de benzeno promove é de um efeito cancerígeno genotóxico em humanos (LIMA, 2013).

Desta forma, o uso de biopolímeros, dos grupos dos polipeptídios, proteínas, polinucleotídeos, polissacarídeos, gomas, resinas e elastômeros naturais (NUNES E LOPES, 2014) torna-se bastante atrativo no preparo da argamassa e de acordo com BEZERRA (2006), os principais motivos para sua utilização no preparo de pastas de cimento Portland se deve aos seguintes motivos: alto poder de absorção, poder de quelação de cálcio e devido à forma de fibra dos biopolímeros.

Dentre as vantagens da utilização dos biopolímeros na mistura da argamassa, pode-se observar o menor custo em relação aos polímeros sintéticos, ser ambientalmente mais aceitável e possuir a chance de resultar em comportamentos diferentes em determinadas propriedades da argamassa como a impermeabilidade, durabilidade, capacidade de adesão em outros substratos, reologia, dentre outras (SILVA *et al.*, 2001; PLANK, 2004).

Dos grupos de biopolímeros citados anteriormente, a aplicação de proteína na composição de argamassa, se dá desde o século XII, onde teve sua origem da Rotunda de Santa Catarina em Znojmo (Moravia, República Checa), uma das igrejas mais antigas e significativas do país, que ainda se encontra em um estado bem conservado (KUCKOVA *et al.*, 2009).

Segundo KUCKOVA *et al.* (2009), as proteínas surtem diferentes efeitos quando adicionadas na composição da argamassa, tanto em seu estado fresco, quanto em seu estado endurecido, nas quais as mudanças observadas foram uma aceleração e retardo de pega, efeito plastificante, efeito adesivo e aumento da resistência com a adição da clara de ovo, leite, caseína, queijo e sangue, o que tornam esses aditivos mais atrativos para a mistura de argamassa de assentamento.

Para que a argamassa de assentamento apresente propriedades mais adequadas, dois tipos de proteínas serão incorporados em sua formulação com a finalidade de avaliar seu desempenho mecânico e trabalhabilidade.

1.2 Justificativa

Diversos pesquisadores são a favor do uso de aditivos, em especial fibras, em matrizes cimentícias, com o intuito de diminuir efeitos de retração, beneficiando o efeito de fissuração do composto cimentício, atuando como ponte de transferência de tensões, que contribuem para um aumento de resistência, aumento da capacidade de deformação e um aumento da tenacidade do compósito, e assim, a argamassa tende a apresentar resultados significativos, como uma maior durabilidade, diminuição das chances de corrosão de armaduras e redução do ingresso de agentes agressivos (umidade, oxigênio e cloretos), tornando a argamassa com um elevado potencial a ser utilizada na aplicação de assentamento (BENTUR E MINDESS, 2006; SILVA, 2006).

A literatura aborda de forma abrangente temas com o estudo de influências de diversos aditivos na composição das argamassas, com análises a partir de suas principais características, para identificar as alterações nas quais elas resultarão com o acréscimo de determinado aditivo, e assim, ver em qual aplicação ela melhor se adequará, de acordo com a sua função. Porém, desses aditivos que são avaliados, pouco estudo é direcionado à adição de proteínas no comportamento mecânico das argamassas e na sua trabalhabilidade é um fator condicionante para sua correta aplicação.

O comportamento mecânico de argamassas de assentamento é um dos principais requisitos para se analisar, pois permite a compreensão do quanto ela aguentará os esforços nos quais será submetida em sua aplicação na estrutura. No caso das alvenarias, quando expostas a um carregamento vertical, manifestam-se tensões horizontais na argamassa que unem os blocos, deste modo, pode-se atingir a tensão limite de cisalhamento e comprometer a aderência existente na interface da unidade e junta, devido a esses fatores, a perda de coesão é prejudicada. Assim, o estudo do comportamento mecânico é uma forma de prevenir falhas pelas forças nas quais serão expostas na argamassa de assentamento, além de

permitir a identificação de aspectos e relações importantes para o uso propício do composto, como sua durabilidade, segurança e qualidade (MOHAMAD *et al.*, 2006).

1.3 Objetivos

O objetivo principal desta pesquisa é o de avaliar o comportamento mecânico e trabalhabilidade de argamassa de cimento confeccionadas com a incorporação de proteínas, com vista ao seu emprego em assentamento, e com a intenção de melhorar diversas propriedades da mesma frente aos esforços nas quais estão habituadas a suportar na sua aplicação em estruturas de construção civil.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Argamassa

A argamassa é um elemento crucial na construção civil, possuindo amplas funções de acordo com a sua aplicação na obra, como na construção de alvenarias, revestimento ou assentamento de paredes e tetos, revestimento ou assentamento de pisos, revestimento ou assentamento cerâmico, para recuperação de estrutura, para suporte de pavimento. Os materiais comumente utilizados para a formação da argamassa são os agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos (cimento e cal) e água, sendo que em sua constituição pode haver o acréscimo de aditivos que resultam diferentes efeitos nos perfis da argamassa.

Em seu estado fresco, a argamassa pode apresentar diversas anomalias, que acabam interferindo durante seu processo de secagem até encontrar-se em seu estado endurecido. As principais manifestações patológicas mais frequentemente encontradas são as fissuras, as trincas, perda de aderência ao substrato, falta de impermeabilização, descoloração e manchas, deficiências de comportamento térmico (SILVA, 2006; MONTEIRO, 2008). Essas avarias acabam apresentando resultados negativos em suas propriedades mecânicas (como o Módulo de Elasticidade, resistência à tração, resistência à compressão), reológicas e tecnológicas (como a trabalhabilidade), afetando seu desempenho na estrutura na qual está introduzida e possivelmente diminuindo sua vida útil (SILVA, 2006).

Devido a diversidade de anomalias presentes na argamassa, diversos estudos foram realizados em busca do acréscimo de aditivos, com o objetivo de melhorar as suas propriedades tanto no estado fresco, como no estado endurecido. Contudo, é importante ressaltar que a preparação da argamassa com a incorporação de aditivo, se prende a necessidade de se produzir materiais de construção específicos com determinadas características e isso implica na precisão da dosagem dos aditivos adicionados.

Os aditivos químicos influenciam nas propriedades reológicas da argamassa e modificam as reações de hidratação do cimento, onde há uma menor necessidade da relação água/cimento (A/C). A influência de cada aditivo varia de acordo com o seu teor inserido para produzir a argamassa e são capazes de melhorar a trabalhabilidade, desenvolver a resistência mecânica, alterar a viscosidade e atuar na retenção de água (MATTANA E COSTA, 2010).

2.2 Aditivos que interferem nas propriedades da argamassa

Segundo a norma brasileira NBR 11768 (ABNT, 2011a), os aditivos redutores de água permitem uma redução do teor de água sem modificar a consistência no estado fresco ou aqueles que aumentam o abatimento e a fluidez sem alterar o conteúdo de água. O primeiro aditivo redutor de água utilizado pela indústria da construção civil foi um polímero plastificante a base de lignina, os lignossulfonatos, com capacidade de redução de água de 5 a 10% (AÏTCIN, 2000).

Já os incorporadores de ar, segundo a norma brasileira NBR 11768 (ABNT, 2011a) são aditivos que permitem incorporar uma quantidade controlada de pequenas bolhas de ar. Onde o procedimento consiste na adição de bolhas de ar microscópicas, que permitem a melhora significativa da argamassa em seu estado fresco, mostrando uma melhoria em sua trabalhabilidade, por deixarem ela mais leves e mais coesas, facilitando seu manuseio (Gava, 2015). Dentre os aditivos mais utilizados nos setores industriais, cita-se as resinas de madeira neutralizadas, sais de ácidos graxos, alquilaril sulfonatos, alquil sulfatos e os fénois-etoxilatos (MAILVAGANAM E RIXOM, 2002).

De acordo com a norma brasileira NBR 11768 (ABNT, 2011a) os aditivos aceleradores ou retardadores de pega promovem a redução ou o aumento do tempo de pega na sua transição, respectivamente. Dentre exemplos de aditivos aceleradores, cita-se o nitrito de cálcio, formiato de cálcio e formiato de sódio (NEVILLE, 2016).

2.3 Uso de polímeros

Os polímeros dividem-se entre polímeros naturais (biopolímeros), que contém os grupos dos polipeptídios, proteínas, polinucleotídeos, polissacarídeos, gomas e resinas, e os sintéticos, classificados nos grupos de elastômeros, termoplásticos e termofixos (NUNES E LOPES, 2014). Diversos estudos sobre a adição de polímeros em argamassa e concreto vêm sendo estudados nos últimos anos, e entre eles podem ser destacados: uso de polipropileno, fibra de carbono, polissacarídeo, amido. A adição desses polímeros prende-se com a melhoria de propriedades como a aderência, a resistência à flexão, maior resistência à penetração de água, entre outras (RIBEIRO *et al.*, 2007). MELO (2009) cita que a influência dos polímeros nas propriedades da argamassa é devido a diversos fatores característicos de cada um deles, pois os tamanhos minúsculos das partículas poliméricas auxiliam no preenchimento dos

vazios na preparação da argamassa, como também, é de grande relevância o potencial de aumento da resistência, ou retardado da propagação de fissuras e agentes de reação químicas de hidratação do cimento Portland, proveniente do polímero.

De acordo com TORGAL E JALALI (2010) a utilização de polímeros em argamassas possui uma atenção crescente por parte da comunidade científica e do mercado da construção, pois permitem a obtenção de desempenhos superiores em termos dos parâmetros de durabilidade e uma maior resistência ao ataque químico. Entretanto, os autores constataram que a impregnação com o polímero melamina nas condições analisadas não é muito eficaz na resistência ao ataque químico por ácido sulfúrico.

2.4 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas definem o comportamento de um determinado material quando exposto à aplicação de cargas e a sua capacidade de resistir ou distribuir essas cargas sem se fraturar ou deformar de maneira descontrolada (ROSA, 2013). Dentre as propriedades mais importantes a se analisar na argamassa têm-se: a resistência à compressão e à tração e o módulo de elasticidade. Segundo CALDARONE (2009), essas propriedades são influenciadas pela proporção dos materiais utilizados na mistura e pelas características microestruturais da sua pasta. A estrutura que a argamassa possui é de um caráter bastante heterogêneo e complexo, fazendo com que alguns materiais influenciem mais sobre determinados tipos de propriedades na argamassa.

A resistência pode ser descrita como o quanto o material resiste às tensões sem ocorrer sua ruptura. A resistência à compressão é uma propriedade com bastante importância para engenheiros e projetistas, pois desta, pode-se estimar outras propriedades da argamassa (CALDARONE, 2008). As resistências à compressão e à tração estão estreitamente ligadas entre si, embora não haja uma proporcionalidade direta entre elas. Conforme há um aumento na resistência à compressão, a resistência à tração tende a aumentar, porém a intensidade desse aumento tende a diminuir, o que em outras palavras, significa que quanto maior a resistência à compressão, menor é a relação entre a resistência à tração (MONTEIRO E MEHTA, 2006).

A análise das propriedades mecânicas da argamassa possui grande relevância para conclusão do seu potencial comportamento quando aplicada, pois através delas, consegue-se inferir se em seu estado endurecido ela suporta ações mecânicas das mais diversas naturezas e visualizar através do corpo de prova como são as respostas dos esforços de compressão e tração na presença das variações de temperatura que ocorrem no meio ambiente (SILVA, 2006).

3. METODOLOGIA

3.1 Preparo da argamassa

Para o estudo em questão, três misturas foram preparadas com cimento Portland CP II-Z-32, de agregado miúdo foi utilizado areias de granulometria de malha #30, #50, #100, no qual cada parte foi inserida nas porcentagens de 20, 20, e 60%, respectivamente. Os aditivos em questão utilizados foram a proteína do soro do leite (PSL) e albumina (ALB), nas concentrações de 2 e 10% em relação à massa de cimento. As proteínas foram adquiridas comercialmente e foram selecionadas pela maior pureza. As proteínas utilizadas foram selecionadas sendo produtos comerciais, sendo que a escolha delas levou-se em consideração a menor adição de demais elementos que não são característicos da PSL e ALB, ou seja, da forma menos alterada possível, no qual estes materiais não apresenta uma aplicação na Engenharia Civil, não havendo uma possível reutilização da mesma após a mistura. Desta forma, ambos aditivos apresentavam um perfil com textura fina e macia, em especial a proteína do soro do leite, e uma coloração branca vanilla.

A mistura dos materiais foi efetuada levando em consideração a homogeneização dos materiais, e assim, tratando-se do agregado miúdo, após a pesagem das partes de areia de malha #30, #50 e #100, com auxílio de uma balança modelo AD 2000 (0,01 g de precisão), juntavam-se os agregados miúdos em um recipiente, e então, durante um período de 30 s, foi feito a mistura dele com auxílio de uma colher, e posteriormente, vertia-se a mistura em outro recipiente similar, repetindo esse processo de mistura três vezes. E em sequência foi realizado a cura da argamassa em câmara úmida com umidade relativa do ar superior a 95%.

Em relação ao cimento, inicialmente foi feito a separação por peneiração de malha 1,18 mm, e então pesava o material, e caso foi acrescentado algum aditivo no ensaio, fazia-se a mistura de maneira equivalente ao já mencionado pela areia.

Com todos os materiais pesados, foi colocado em um mesmo recipiente a areia misturada e o cimento, em seguida fazia a execução da mistura com a colher durante 30 s, vertendo logo em seguida a mistura em outro recipiente similar, refazendo o processo cinco vezes.

A preparação da argamassa seguiu a norma NBR 16541 (ABNT, 2016), no qual foi adotado um traço de massa para argamassa de (1:3:0,7), e então vertia-se uma massa total de 2,5 kg dos materiais na cuba, considerando a massa de materiais secos. Após ter sido colocado os materiais na cuba, foi medido duas porções, em massa, de água de torneira, no qual uma porção continha 75% do total de água e a outra os 25% restantes.

Feito a separação de todos os materiais e aparatos necessários, a argamassadeira foi ligada em velocidade lenta, até completar 30 s, no qual durante essa mistura, se colocava a porção de 75% de água no 10 s iniciais do ensaio. Em sequência, foi trocado para velocidade

alta por mais 60 s, e então a argamassadeira foi desligada, retirando a pá de mistura e fazendo a raspagem de toda a superfície interna e da pá, de modo que a mistura ficasse aderida ao fundo da cuba, efetuando esse procedimento durante o intervalo de 90 s. Terminado os 90 s, foi ligado a argamassadeira em velocidade baixa, colando os 25% restantes de água durante os primeiros 10 s, fazendo a mistura em 30 s. E por fim, misturava-se por 30 s em velocidade alta.

3.2 Caracterização dos materiais constituintes da argamassa

3.2.1 Massa específica do cimento Portland

Para determinação da massa específica do cimento Portland utilizado, seguiu-se as instruções de acordo com a norma NBR 23 (NM, 2000), no qual o processo consistiu em fazer a separação de duas amostras de 60 gramas cada, e dentro de um ambiente com temperatura controlada à 20 ± 1 °C.

Após a separação de duas amostras de 60 g, foi lançado um líquido em dois frascos volumétricos de Le Chatelier, que não reagissem quimicamente com o cimento ensaiado, e seguindo a norma, tivesse densidade igual ou superior a $0,731 \text{ g/cm}^3$, e inferior à densidade dos materiais a serem utilizados, assim, o líquido utilizado foi um querosene da marca Itaqua, com $0,76 \text{ g/cm}^3$. O inserimento do querosene no frasco foi feito com ajuda de um funil de gargalo longo, de modo que não houvesse contato do líquido acima do alargamento do colo do frasco, no momento de seu lançamento, no qual o querosene esteve entre as marcas correspondentes de 0 a 1 cm^3 .

Em seguida, foi feito a leitura do volume inicial pós-inserimento do líquido, no qual, para a devida diferenciação dos frascos, houve uma marcação com tinta removível em um deles.

Com o querosene já inserido, fechava-se o frasco por meio de uma tampa, para que não houvesse a evaporação do conteúdo introduzido nos frascos, e então deixava o frasco em posição vertical e submerso, durante o tempo de 30 min, para realização do seu banhamento em água, de modo que a altura de água no recipiente fosse capaz de conter os frascos na marca de 24 cm^3 , e assim houvesse a equalização das temperaturas dos líquidos do frasco e do banho.

O acompanhamento da temperatura foi realizado com um termômetro da marca Incoterm no líquido do banho, e assim, passado os 30 min do banhamento, foi feito a aferição de suas temperaturas. Em seguida, retirava os frascos do banhamento e refazia a leitura do volume inicial de querosene, registrando seus valores. Retirado do banhamento, foi feito o lançamento da amostra de cimento no frasco, com auxílio de uma espátula, um pincel e um funil de haste curta, atentando para que não ocorresse aderência do material nas paredes

internas do frasco, acima do nível do líquido, e então, com toda a amostra já colocada no frasco, fazia-se novamente o banhamento por um período de 30 min, com o frasco devidamente tampado.

Após esse banhamento, com o frasco ainda tampado, foi feito uma rotação em posição inclinada do frasco, até que não houvesse mais borbulhas de ar subindo até a superfície do líquido, e com isso, finalizava o ensaio registrando as leituras de volumes finais.

3.2.2 Pasta de consistência normal do cimento Portland

O ensaio de determinação da pasta de consistência normal do cimento Portland foi acompanhado pela norma NBR 43 (NM, 2002), no qual a finalidade do mesmo tende a alcançar uma pasta em que a sonda de Tetmajer penetre uma distância de 6 ± 1 mm, em relação à placa base.

Para efetuação do ensaio, primeiro foi separado uma amostra de 500 g de cimento, e a água destilada, onde esta foi separada de forma empírica, no qual a quantidade sua quantidade devia atender a condição de obtenção da consistência normal da pasta. Posterior a separação das amostras, vertia a água na cuba do misturador e depois acrescentou a amostra de cimento, deixando-os parados por 30 s. Em sequência, por durante 30 s, foi feito a mistura em velocidade lenta, e então desligava-se o misturador, e ao longo de 15 s se efetuava a raspagem das paredes da cuba com a espátula, de modo que toda a pasta aderida a elas ficasse no fundo da cuba, e posteriormente misturava-se em velocidade alta no decorrer de 1 min.

Para a determinação da consistência da pasta, primeiro tomava-se todos os cuidados possíveis com os aparelhos, no qual antes foi untado o molde com óleo e foi feito a aferição do aparelho de Vicat. Com a base maior do molde sobre a placa de vidro base, o mesmo foi enchido com a pasta de cimento, tirando o excesso de pasta, e rasando com a régua metálica, com movimentos de vai-e-vem, sem comprimir a pasta. Logo após, com o molde centrado sob o aparelho de Vicat, foi descido a haste até que o extremo da sonda entrasse em contato com a superfície da pasta e então fixava-se nessa posição por meio dos parafusos. Terminado 45 s do término da mistura, soltava-se a haste, e então aferia-se a penetração da sonda, depois de 30 s do instante em que foi solta. Caso não obtivesse o resultado esperado, o ensaio então era refeito alterando a quantidade de água utilizada, até conseguir alcançar o objetivo de penetração de 6 ± 1 mm.

Assim, a porcentagem de água (A) necessária à obtenção da consistência normal da pasta de cimento, é expressa pela Equação (1).

$$A = \frac{m_a}{m_c} \times 100 \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: m_a é a massa de água utilizada para obtenção da consistência normal da pasta de cimento (em gramas); m_c é a massa de cimento utilizado no ensaio (em gramas).

3.2.3 Tempo de início e fim de pega do cimento Portland

O ensaio de determinação do tempo de pega do cimento Portland foi realizado seguindo a norma NBR 65 (NM, 2002), no qual a preparação da pasta de cimento e da moldagem, teve o mesmo procedimento descrito no ensaio da pasta de consistência normal, utilizando a mesma quantidade de água encontrada para sua obtenção e duas amostras para comparação.

Feito a pasta e aferido o aparelho de Vicat, ajustando a marca zero da escala sobre a placa base, na determinação do tempo de início de pega, depois de no mínimo 30 min do enchimento do molde, desceu-se a agulha para início de pega até que ela entrasse em contato com a pasta, e então, foi solto a haste com cuidado, permitindo que penetrasse verticalmente na pasta e aguardando 30 s, caso necessário, após o instante em que foi solta. Feito isso, fazia-se a leitura na escala, repetindo o ensaio com os mesmos corpos de prova em tempos e posições separadas em uma distância de no mínimo 10 mm da borda do molde e entre si, e assim, o ensaio terminava quando a distância entre a agulha e a placa base fosse de 4 ± 1 mm.

Na determinação do tempo de fim de pega, foi feita a substituição da agulha de tempo de início de pega, pela de tempo de fim de pega, no qual a mesma permitia uma maior facilidade para observações de penetrações pequenas na pasta. E então, foram feitas leituras até o momento em que a agulha penetrasse pela primeira vez 0,5 mm na pasta, momento no qual o acessório anular não provocava nenhuma marca no corpo de prova, observando assim, somente o ponto da agulha.

3.2.4 Massa específica dos agregados miúdos

Para determinação da massa específica dos agregados miúdos, o procedimento fez uso de um frasco de Chapman, separando uma amostra de 500 gramas de agregado miúdo. E então, foi inserido água destilada até a marcação do frasco, e em seguida colocado areia com auxílio de um funil de haste longa, de modo que não grudasse na borda do tubo acima do bulbo.

Após o inserimento da areia, inclinava-se o frasco fazendo rotações dele, e então batia levemente no fundo do frasco até que não houvesse mais borbulhas de ar saindo para a superfície da água. Assim, fazia-se a aferição o volume final dos componentes no Chapman, permitindo então o cálculo da massa específica dos agregados miúdos.

3.3 Análise da argamassa em Estado Fresco

3.4 Caracterização físico-química da argamassa

3.4.1 Massa específica da argamassa

A análise da massa específica da argamassa em estado fresco foi realizada seguindo a norma NBR 13278 (ABNT, 2005a), que consistiu em, após a preparação da argamassa, introduzir o material dentro de um recipiente cilíndrico de volume conhecido, formando-se três camadas de alturas aproximadamente iguais.

Em cada camada, foi aplicado 20 golpes, com auxílio de uma espátula, no qual a aplicação dos golpes foi feita pelo perímetro da argamassa, com a intenção de uniformizar a argamassa dentro do recipiente, sendo que as batidas na primeira camada tiveram uma maior cautela, para não atingir o fundo fortemente, e nas demais camadas, a espátula foi aplicada com uma força necessária para penetrar na superfície da camada inferior.

Após a execução dos golpes, efetivou-se a queda do recipiente três vezes, com altura aproximada de 3 cm, e terminado o processo, não deveriam haver vazios entre a argamassa e a parede do cilindro. Por fim, foi feito o arrasamento com ajuda de uma espátula, em duas passadas ortogonais entre si, seguindo um movimento de vai-e-vem.

3.4.2 Teor de ar incorporado

O teor de ar incorporado foi realizado de acordo com a norma NBR 13278 (ABNT, 2005a), no qual o cálculo é efetuado a partir do valor encontrado para a densidade de massa teórica da argamassa (d_t), expresso pela Equação (2).

$$d_t = \frac{\sum m_i}{\sum \left(\frac{m_i}{\gamma_i} \right)} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde: m_i é a massa seca de cada componente da argamassa, mais a massa da água (em gramas); γ_i é a massa específica de cada componente da argamassa (em g/cm³).

E então, o cálculo do teor de ar incorporado na argamassa (A), é realizado através da Equação (3).

$$A = 100 \times \left(1 - \frac{d}{d_t} \right) \quad \text{Equação (3)}$$

Onde: d é o valor da densidade de massa da argamassa encontrado no ensaio (em g/cm³); d_t é o valor da densidade de massa teórica da argamassa (em g/cm³), sem vazios.

3.5 Caracterização tecnológica da argamassa

3.5.1 Trabalhabilidade

Para verificação da trabalhabilidade da argamassa, foi realizado o ensaio de determinação do índice de consistência, efetuado de acordo com a norma NBR 13276 (ABNT,

2016), no qual o processo consistiu em inicialmente fazer a limpeza e secar o tampo da mesa para índice de consistência e a parede do molde troncônico com um pano adequado.

Em seguida, logo após a preparação da argamassa, ela foi introduzida no molde, de modo que o mesmo estivesse centralizado sobre a mesa, até o preenchimento total dele, no qual segurava-se firmemente o molde e o enchia em três camadas sucessivas, com alturas aproximadamente iguais, e então aplicava em cada camada, respectivamente, 15, 10 e 5 golpes com auxílio de um soquete metálico, distribuindo os golpes uniformemente até completar o volume do molde com um pouco mais de argamassa, para o posterior rasamento da argamassa, com auxílio de uma régua metálica rente à borda do molde, com movimentos curtos de vai-e-vem ao longo de toda a superfície.

Consecutivamente, eliminava-se quaisquer partículas ao redor do molde com pano seco e limpo, e então retirava-se o molde troncônico verticalmente, iniciando o processo de acionamento da manivela da mesa para índice de consistência, de forma que a mesa caísse 30 vezes durante 30 s, e assim, após a última queda da mesa, media-se com uma régua metálica o espalhamento da argamassa, medindo em três diâmetros tomados em pares de pontos uniformemente distribuídos ao longo do perímetro, registrando os seus resultados, e obtendo o índice de consistência da argamassa, correspondente à média das três medidas de encontradas, expresso em milímetros e arredondado ao número inteiro mais próximo.

3.6 Análise da argamassa em Estado Endurecido

3.6.1 Resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial

O ensaio de resistência à tração na flexão foi realizado seguindo a norma NBR 13279 (ABNT, 2005b), no a moldagem dos corpos de prova foi feita a partir de moldes prismáticos metálicos, que consistem em armações abertas com paredes removíveis, formando três compartimentos quando montados, capazes de efetuarem moldes para três corpos de prova de (4 x 4 x 16) cm. A idade dos corpos de prova foram de 7 e 28 dias, e o ensaio consistiu em posicionar o corpo de prova no dispositivo de apoio do equipamento da máquina universal, de modo que a face rasada não ficasse em contato com os dispositivos de apoio nem com o dispositivo de carga. E então, aplicava-se uma carga de 2 mm/s até a ruptura do corpo de prova, sendo a resistência à tração na flexão expressa pela Equação (4).

$$R_t = \frac{1,5 \times F_f \times L}{40^3} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde: R_t é a resistência à tração na flexão (em megapascals); F_f é a carga máxima aplicada verticalmente no centro do prisma (em Newtons); L é a distância entre os suportes (em milímetros).

O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado de acordo com a norma NBR 13279 (ABNT, 2005b), no qual após realizado o ensaio de resistência à tração na flexão, foram utilizadas as metades dos três corpos de prova, posicionando-os no aparelho do equipamento de ensaio de modo que a face rasada não ficasse em contato com o dispositivo de apoio nem com o dispositivo de carga. E então foi aplicado uma carga de 2 mm/s até a ruptura do corpo de prova, obtendo a resistência à compressão segundo a Equação (5).

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad \text{Equação (5)}$$

Onde: R_c é a resistência à compressão (em megapascals); F_c é a carga máxima aplicada (em Newtons); A é a área da seção de contato do corpo de prova (em milímetros quadrados).

3.7 Análise estatística dos resultados

Os dados analisados foram referentes aos ensaios de massa específica em estado fresco e endurecido, resistência à tração na flexão, resistência à compressão axial e trabalhabilidade. Avaliaram-se os efeitos dos fatores: tempo de exposição (7 e 28 dias), teor de adição de proteínas. Os dados coletados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), para avaliar os efeitos dos fatores e da interação entre os mesmos. A comparação das médias foi feita por meio do teste de Tukey com 3 amostragens de cada argamassa para comparações, e adotando-se um valor de 5% de significância, fazendo-se comparação com o resultado de P_{valor} , no qual o mesmo, com um valor inferior à significância adotada, demonstra que pelo menos uma das amostras possui diferença significativa.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 Testes preliminares

No desenvolvimento do projeto, a primeira dificuldade a se deparar, foi a de um traço de argamassa que atendesse a adição das proteínas em estudo, pois as suas adições interfeririam nos espaços de vazios tomados pela composição da argamassa, no qual para contornar essa situação, várias argamassas foram preparadas com as porcentagens de 2 e 10% de adição de proteína, com relações de A/C de 0,6; 0,7; e 0,8, para ver a diferença de comportamento entre elas.

Assim, separou-se uma pequena quantidade de cimento, de apenas 25 gramas, separando-o em um porcelanato, com diferentes partes de areia, utilizando 3 partes de areia com malha de #30, #50 e #100, com diferentes porcentagens a serem utilizadas para comparar-se os comportamentos das argamassas em estado fresco.

Desta forma, notou-se que a areia de #100 precisava de uma porcentagem maior em relação às outras, mostrando um comportamento melhor nas argamassas preparadas para

comparação, e assim, adotando-se as porcentagens de 20, 20 e 60% das malhas #30, #50 e #100, respectivamente. E tratando-se da relação de A/C, vimos que 0,7 já estaria bem adequada a se utilizar nas argamassas em estudo do projeto, pensando em não fazer nenhuma alteração na composição das argamassas, com exceção da adição de proteínas nelas.

4.2 Análise dos materiais utilizados

No ensaio da pasta de consistência normal do cimento teve como resultado uma massa de água necessária de 174 gramas, encontrando então uma porcentagem de água necessária para obtenção da consistência normal da pasta de 34,8%.

Tratando-se dos resultados do tempo de início de pega teve como resultado a espera de 3 horas e 45 minutos. Já no tempo de fim de pega, a amostra teve como resultado um tempo de 5 horas e 52 minutos para o fim de sua pega.

Em comparativo com o boletim de qualidade Votorantim do lote do cimento utilizado, o tempo de início de pega e fim de pega resultaram, respectivamente, em 4 horas e 41 min e 5 horas e 47 min. Deste modo, a diferença considerável do tempo de início de pega, e considerando os cuidados tidos em laboratório, esse erro pode ter sido ocasionado pelo controle parcial do ambiente de laboratório, no qual a umidade foi equivalente à umidade relativa do ar.

Em relação à massa específica da areia, a mesma teve um resultado de $\rho = 2,59 \text{ g/cm}^3$ e já a massa específica do cimento, o resultado foi tido como a média dos dois ensaios realizados, encontrando um valor de $\rho = 3,13 \text{ g/cm}^3$. De acordo com os resultados de Meneguini (2003), o resultado do ensaio efetuado pelo mesmo, obteve o mesmo valor, porém o cimento utilizado por Meneguini (2003) era do tipo CP II E 32, mostrando que o ensaio não apresentou erros durante sua execução.

4.3 Argamassa em Estado Fresco

Na análise de massa específica, foram realizados três ensaios para obtenção do valor de massa específica de cada argamassa ensaiada, encontrando como resultado a média desses ensaios efetuados. Assim, os resultados de densidade são mostrados de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Massa específica em estado fresco das argamassas ensaiadas

Argamassa	Massa específica (g/cm^3)
Branca	$2,11 \pm 0,01$
PSL 2%	$1,56 \pm 0,01$
PSL 10%	$1,65 \pm 0,06$
ALB 2%	$1,65 \pm 0,06$

ALB 10%	1,72 ± 0,09
---------	-------------

A análise estatística mostrou através da ANOVA de fator único a rejeição da hipótese de igualdade entre os ensaios realizados, sendo assim aceito a hipótese de que pelo menos uma amostra é diferente das demais, com um P_{valor} obtido foi de $3,61 \cdot 10^{-6}$. Feito assim, a análise por teste de Tukey viu-se que a argamassa branca, ou seja, sem o acréscimo de aditivos, se comportou diferente de todas as demais, tendo um valor consideravelmente maior do que as demais, como visto pela Tabela 1. Já a argamassa PSL 2% mostrou um comportamento análogo às outras argamassas com adição de proteínas, com exceção da ALB 10%, no qual a mesma mostrou um resultado significativamente maior se comparado à PSL 2%.

No que se refere ao teor de ar incorporado, o valor encontrado para densidade teórica foi de $d_t = 2,14 \text{ g/cm}^3$, assim, os resultados do teor de ar incorporado estão expressos logo abaixo, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Teor de ar incorporado das argamassas ensaiadas

Argamassa	Teor de ar incorporado (%)
Branca	1,6
PSL 2%	27,3
PSL 10%	23,1
ALB 2%	23,1
ALB 10%	19,8

Assim, fazendo comparação com outros artigos, apesar das medidas de traço diferentes, o estudo de Silva (2005) mostrou um resultado de massa específica próximos ao valor encontrado da argamassa branca, demonstrando um resultado encontrado satisfatório para a mesma. Já o teor de ar incorporado encontrado por Silva (2005), teve resultados com uma diferença maior. Tratando-se das argamassas com aditivos, apesar das mesmas estarem com resultados próximos, mostraram terem um teor de ar incorporado elevado, comparado ao da branca, demonstrando uma piora considerável.

4.4 Argamassa em Estado Endurecido

Em relação ao ensaio de massa específica, os resultados apresentam-se na Tabela 3, logo abaixo.

Tabela 3 - Massa específica em estado endurecido das argamassas ensaiadas

Argamassa	Massa específica (g/cm ³)
-----------	--

Branca	1,92 ± 0,06
PSL 2%	1,36 ± 0,03
PSL 10%	1,27 ± 0,03
Alb 2%	1,63 ± 0,03
Alb 10%	-

Os resultados apresentados com um hífen, significam que não foi possível de realizar o seu ensaio, pois as argamassas acabaram sofrendo uma quebra no momento de sua retirada do molde, tendo um comportamento significativamente amolecido, impedindo que fossem realizadas as medidas de forma apropriada e corretamente.

Em relação ao ensaio de massa específica em estado endurecido, a análise estatística mostrou, com auxílio da ANOVA de fator único, a consideração da hipótese de que pelo menos uma das amostras apresenta diferença, sendo obtido um P_{valor} de $1,84.10^{-4}$. Assim, o teste de Tukey comprovou que a argamassa branca é significativamente maior, como pode-se observar pela Tabela 3. Já as argamassas PSL 2% e PSL 10% agem homologamente, tendo um comportamento diferente e menor resultado em comparação com a ALB 2%.

Em relação aos ensaios de resistência à tração na flexão, e resistência à compressão, os resultados de 7 e 28 dias, apresentam-se logo abaixo, pela Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial com idades de 7 e 28 dias das argamassas ensaiadas

Argamassa	Resistência à tração na flexão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à tração na flexão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)
	7 Dias		28 Dias	
Branca	2,83 ± 0,33	10,58 ± 1,05	3,88 ± 0,73	16,94 ± 2,53
PSL 2%	1,27 ± 0,13	3,21 ± 0,28	1,56 ± 0,19	4,83 ± 0,55
PSL 10%	-	-	0,77 ± 0,12	1,06 ± 0,19
ALB 2%	0,63 ± 0,06	2,99 ± 0,69	1,46 ± 0,21	4,82 ± 1,07
ALB 10%	-	-	-	-

Os resultados apresentados com um hífen pela Tabela 4 significam que as argamassas não apresentaram um comportamento apropriado para realização do ensaio, estando em um estado quebradiço sem realizar muito esforço, só no ato de retirar-lhes dos moldes, notando assim, que as concentrações de 10% dos aditivos utilizados, conferem uma piora no desempenho de resistência da argamassa. A ALB 10%, por exemplo, demonstrou uma aparência mais áspera e frágil em relação aos demais corpos de prova, e esse resultado pode ter sido ocasionado por uma interação entre os materiais que conferiram uma maior absorção de água para o aditivo, o que provavelmente afetou a função de conferir resistência

da mistura de água e cimento, e assim, acabou por ter uma piora no desempenho do corpo de prova com a concentração de 10% de albumina.

Comparando com os resultados de SILVA (2005), as argamassas estudadas em seu artigo tiveram um resultado significativamente menor em relação a argamassa branca feita, mostrando que o traço definido mostra uma melhora no seu desempenho de resistência. Em relação às argamassas com aditivos, pode-se notar que as argamassas com 2% de aditivos, apresentaram uma diferença maior na idade de 7 dias, porém começaram a ter resultados mais próximos com a idade de 28 dias. Já as argamassas com 10% de aditivos, mostraram não serem recomendadas para uma melhora no desempenho de resistência, tendo um comportamento muito frágil, se comparado com as demais argamassas ensaiadas. Com o esboço dos resultados, nota-se que as argamassas com aditivos tiveram uma piora em seu desempenho de resistência, se comparadas à argamassa branca, mostrando serem menos efetivas na questão de resistência.

Nos ensaios de 28 dias, pela análise estatística, a hipótese de que pelo menos uma das amostras age diferente foi considerada. Deste modo, a análise por ANOVA de fator único demonstrou um P_{valor} de $5,93 \cdot 10^{-5}$, para o ensaio de resistência à tração na flexão, e P_{valor} de $1,32 \cdot 10^{-11}$, para o ensaio de resistência à compressão axial, validando a hipótese de que pelo menos uma amostra apresenta resultado diferente, e assim, o teste de Tukey mostrou que no ensaio de resistência à tração na flexão, apenas a argamassa comportou-se diferente das demais argamassas com adição de proteína, tendo um resultado maior comparado às demais, como nota-se através da Tabela 4. Já o ensaio de resistência à compressão axial, mostrou que a argamassa branca se difere de todas as outras, tendo uma maior resistência, como visto na Tabela 4. E entre as argamassas com adição de proteína, as PSL 2% e ALB 2% tiveram um comportamento homólogo, tendo um resultado maior e significativamente diferente da PSL 10%.

4.5 Trabalhabilidade

Os resultados do índice de consistência das argamassas ensaiadas são mostrados de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados do índice de consistência das argamassa ensaiadas

Argamassa	Espalhamento (mm)
Branca	173 ± 3
PSL 2%	219 ± 2
PSL 10%	160 ± 3
ALB 2%	-
ALB 10%	-

Os resultados apresentados na Tabela 5 com um hífen, significam que as argamassas não apresentaram um comportamento de espalhamento no ensaio, ficando praticamente da mesma forma em que se fez a iniciação do ensaio, ou seja, as argamassas com acréscimo de ALB tiveram uma trabalhabilidade inapropriada para a sua utilização. Quanto às demais, a argamassa branca mostrou uma trabalhabilidade consideravelmente satisfatória, a PSL 2% apresentou uma boa trabalhabilidade e a PSL 10% resultou em uma trabalhabilidade ruim.

A análise estatística levou a se considerar a hipótese de que pelo menos um elemento age significativamente diferente, encontrando-se um P_{valor} de $7,43.10^{-7}$. Assim, o teste de Tukey mostrou que todas as argamassas analisadas agem heterogeneamente, tendo a argamassa PSL 2% um significativamente maior que às demais, seguido pela argamassa branca, como percebe-se na Tabela 5.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desta forma, através dos resultados obtidos e discussão gerada por eles, conclui-se que a adição em 2% de PSL deixou a argamassa com uma propriedade melhor no estado fresco, levando em conta a sua característica de melhor trabalhabilidade, porém a sua resistência acabou sofrendo uma consequência não ideal, tendo uma baixa significativa em seus resultados se comparada com a argamassa branca.

Os resultados encontrados para ambas as argamassas a adição de 2%, esboçaram que suas resistências, no período estudado de 7 dias apresentavam-se com uma diferença considerável, porém após 28 dias de idade dos corpos de prova, ambas demonstraram resistências próximas. Porém, em comparação com a argamassa branca, todas as demais com concentração de aditivos acabaram tendo uma piora relativamente grande, com uma perda de resistência significativa. Uma hipótese para o desempenho em resistência mecânica das argamassas com adição de proteínas, foi a de que as proteínas em maiores concentrações acabaram tendo uma maior influência na absorção de água, o que acaba diminuindo a função da mistura de água e cimento, que conferem a resistência para a argamassa, outra hipótese que levou-se em consideração foi a da forma como as partículas reagiram, no qual a reação entre os materiais acabaram por não preencher o volume de vazios, como nota-se nas análises de teor de ar incorporado, o que acarretou em um aumento do volume de vazios que poderia ser estudado através da análise microscópica das reações entre os materiais, em um futuro estudo.

Sendo assim, como demonstrado pelos resultados de resistência mecânica, que apresentaram uma influência insatisfatória em seu comportamento, em relação à argamassa branca, chegou-se à conclusão neste trabalho de que não são recomendadas as adições dessas proteínas no confeccionamento da argamassa.

Desta forma, com os resultados encontrados, de modo geral, a análise levou à conclusão de que as argamassas com adição de proteínas, no caso a proteína do soro do leite e a albumina, obtiveram uma influência insatisfatória em seu comportamento, tendo uma resistência significativamente inferior à argamassa branca confeccionada para comparação. Assim, chegou-se à conclusão de que não são recomendadas as adições dessas proteínas na composição da argamassa.

6. REFERÊNCIAS

AITCIN, P.-C. Cements of yesterday and today: concrete of tomorrow. *Cement and Concrete research*, v. 30, n. 9, p. 1349-1359, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 11768*: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – requisitos. Rio de Janeiro, 2011a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13276*: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e 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 16541*: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 23*: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro. 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 43*: Determinação da pasta que consistência normal. Rio de Janeiro. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 65*: Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro. 2002.

BENTUR, A.; MINDESS, S. *Fibre reinforced cementitious composites*. 2. ed.: Taylor & Francis, CRC Press. 2006. 603 p.

BEZERRA, U. T. *Compósitos Portland-biopolímeros para cimentação de poços de petróleo*. 2006. 287 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, Rio Grande do Norte, 2006.

CALDARONE, M. A. *High-strength concrete: a practical guide*. 1. ed.: Taylor & Francis, CRC Press, 2009.

DA SILVA, N. G. *Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária*. 2006. 164 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 2006.

GAVA, G. P.; MANCINI, P. S.; SAKAI, H. H. Influência do aditivo incorporador de ar nas propriedades das argamassas de assentamento. In: *CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA*. 2015. p. 1-4.

KUCKOVA, S.; HYNEK, R.; KODICEK, M. Application of peptide mass mapping on proteins in historical mortars. *Journal of Cultural Heritage*, v. 10, n. 2, p. 244-247, 2009.

LIMA, J. O contributo das argamassas de barro para a qualidade do ambiente interior dos edifícios: o caso das argilas do sotavento algarvio. In: *2º Congresso Internacional da Habitação no Espaço Lusófono*, 2013. p.1-11.

MAILVAGANAM, N. P.; RIXOM, M. *Chemical admixtures for concrete*. 3. ed.: Taylor & Francis, CRC Press. 2002. 437 p.

MATTANA, A.; COSTA, M. Estudo da influência de aditivo dispersante no comportamento reológico de argamassas de revestimento. In: *3º Congresso português de argamassas de construção, APFAC, Lisboa*. 2010.

MELO, V. S. *Nanotecnologia aplicada ao concreto: efeito da mistura física de nanotubos de carbono em matrizes de cimento Portland*. 2009. 146 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais. 2009.

MENEGUINI, Eduardo Cesar Antonelli. Comportamento de argamassas com emprego de pó de borracha. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, na área de concentração em Edificações). 101 f.

MOHAMAD, G.; LOURENÇO, P. B.; ROMAN, H. R. Propriedades mecânicas das argamassas sob compressão triaxial-Análise e Previsão. In: *Anais das XXXII Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural*. 2006. p. 2954-2963.

MONTEIRO, D. M. P. *Avarias em argamassas-causas, prevenção e reparação*. 2008. 59 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Fernando Pessoa. Porto, Portugal. 2008.

MONTEIRO, P. J. M.; Mehta, P. K. *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. 3. ed. McGraw Hill Company. 2006.

NEVILLE, A. M. *Propriedades do concreto*. 5. ed. Bookman, 2016. 888 p.

NUNES, E. C. D.; LOPES, F. R. S. *Polímeros: Conceitos, Estrutura Molecular, Classificação e Propriedades*. Saraiva: Érica, 2014. 120 p.

NUNES, L. R.; RODOLFO JR, A.; ORMANJI, W. *Tecnologia do PVC*. Braskem, 2002. 400 p.

PLANK, J. Applications of biopolymers and other biotechnological products in building materials. *Applied microbiology and biotechnology*, v. 66, n. 1, p. 1-9, 2004.

RIBEIRO, R.; VIEIRA, N.; SILVA, L. Influência da adição de polímeros nas propriedades de uma argamassa de reabilitação. In: *Anais do 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção*, APFAC, Lisboa, 2007.

ROSA, P. D. *Concreto com ar incorporado: variação das propriedades mecânicas em função do tempo de mistura dos materiais*. 2013. 81 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 2013.

SILVA, D. et al. Pore size distribution of hydrated cement pastes modified with polymers. *Cement and Concrete Research*, v. 31, n. 8, p. 1177-1184, 2001.

SILVA, R. D. P. *Argamassas com adição de fibras de polipropileno - Estudo do comportamento reológico e mecânico*. 2006. 176 f. Dissertação (Mestrado em Mestre de Engenharia). Universidade de São Paulo. São Paulo, São Paulo. 2006.

TORGAL, F. P.; JALALI, Said. Resistência ao ataque por ácido sulfúrico de argamassas modificadas e impregnadas com polímeros. *Revista Internacional Construlink*, v. 8, n. 24, p. 15-23, 2010.

VILAR, W. *Química e Tecnologia dos Poliuretano*. Vilar Consultoria Técnica LTDA, v. 6, 2002.

Contatos: leonardogodoy96@gmail.com e gomes.mtms@gmail.com