



INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE
COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL
JOSÉ EDUARDO MACEDO CARVALHO

DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSA IMPERMEABILIZANTE A BASE DE
POLIACETATO DE VINILA (PVAc) E ARGILOMINERAL PARA APLICAÇÃO EM
VIGAS BALDRAMES.

ESTÂNCIA
2021

JOSÉ EDUARDO MACEDO CARVALHO

DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSA IMPERMEABILIZANTE A BASE DE
POLIACETATO DE VINILA (PVAc) E ARGILOMINERAL PARA APLICAÇÃO EM
VIGAS BALDRAMES.

Trabalho de conclusão de curso (TCC II) apresentado
ao Instituto Federal de Sergipe – Campus Estância,
como pré-requisito para a obtenção do grau de
Bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof. Dr. Herbet Alves de Oliveira

Co-orientadora: Prof.Dra.Angelina Maria de Almeida

ESTÂNCIA
2021

C331d Carvalho, José Eduardo Macedo.
Desenvolvimento de argamassa impermeabilizante a base de poliacetato de vinila (PVAc) e argilomineral para aplicação em vigas baldrame. - Estância, 2021.
73 f.; il.

Monografia (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS, 2021.
Orientadora: Prof. Dr. Herbet Alves de Oliveira.
Coorientadora: Prof.^a Dra. Angelina Maria de Almeida.

1. Argamassa. 2. Impermeabilização. 3. Acetato de polivinila. 4. Argilominerais. 5. Umidade. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe - IFS. II. Oliveira, Herbet Alves de. III. Almeida, Angelina Maria de. IV. Título.

CDU: 624:678.744.4-033.02

JOSÉ EDUARDO MACEDO CARVALHO

DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSA IMPERMEABILIZANTE A BASE DE
POLIACETATO DE VINILA (PVAc) E ARGILOMINERAL PARA APLICAÇÃO EM
VIGAS BALDRAMES.

Trabalho de conclusão de curso (TCC II) apresentado
ao Instituto Federal de Sergipe – Campus Estância,
como pré-requisito para a obtenção do grau de
Bacharel em engenharia civil.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA



Prof. Herbet Alves de Oliveira, Dr.
INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE



Prof. Fernanda Martins Cavalcante de Melo, Ma.
INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE



Prof. Cochiran Pereira dos Santos, Dr.
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

Dedico este trabalho a Luzineide dos Santos Macedo de Jesus, por me apoiar em todos os momentos da minha vida, e ao meu orientador Herbet Alves de Oliveira, por me auxiliar e compartilhar seus conhecimentos científicos e ensinamentos de vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir concluir essa etapa, por ter me dado força e determinação para sempre seguir em frente, paciência, dedicação e sabedoria necessária para a realização desse trabalho. Aos meus pais, Luzineide Macedo e Gilvan Carvalho, por me apoiarem desde o início dessa conquista, principalmente nos momentos mais difíceis, sendo a base de toda minha edificação e meu porto seguro. Especialmente minha mãe, por nunca deixar faltar nada e sempre me incentivar, para que nunca desistisse dos meus sonhos e objetivos.

Aos amigos e futuros colegas de profissão, Rayza Stefanny, J. Domingos Nascimento, Iago Nathan e Eliakim Alcântara, por estarem por perto nos momentos de alegria e também nos momentos de dedicação, estudos e desesperos, por sempre estarem dispostos a me ajudarem, por proporcionarem uma formação que transcende o conhecimento profissional, e que resultou em grandes amizades.

Ao meu orientador professor Dr. Herbet Alves Oliveira e minha co orientadora Professora. Dra. Angelina Maria de Almeida, pela orientação e sugestões de ideias excelentes para realização desse trabalho, dedicação durante toda a pesquisa, compartilhamento de todo o conhecimento necessário, convivência, aprendizado, paciência e compreensão.

As professoras Ma. Vanessa Gentil de Oliveira Almeida Silva e Ma. Fernanda Martins Cavalcante de Melo, por fazerem parte da banca de avaliação do TCC1, por todas as orientações e convivência no dia a dia dentro do laboratório de materiais.

Também agradeço aos demais professores envolvidos, e que contribuíram para minha formação acadêmica em Engenharia Civil.

Ao Sr. Rodrigo Soares Souza, Secretário de Obras de Itabaianinha e a minha chefe de departamento, Engenheira Daniela Maria de Melo Cardoso, por me proporcionarem a experiência de estágio na área de engenharia civil, e por flexibilizarem os horários do estágio, para que fosse possível conciliar com a parte prática do TCCII.

Ao meu amigo e motorista do ônibus, Jocelmo Rodrigues Moreira, por estar presente e pela parceria durante toda a graduação.

Aos demais colegas e amigos, por sempre estarem por perto em todos os momentos e por compreenderem o motivo da minha ausência em comemorações, durante a pesquisa.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

(Arthur Schopenhauer)

RESUMO

A falta de impermeabilização provoca inúmeros problemas decorrentes da degradação precoce das estruturas de construção civil. Os impermeabilizantes a base de asfalto aplicado em fundações baldrame, são considerados dispendiosos e ineficientes. O crescente interesse nos estudos de novos compósitos tem instigado o desenvolvimento de materiais com melhores propriedades mecânicas, térmicas e químicas. Na literatura ainda existem poucos relatos de impermeabilizantes que exercem com eficácia a função de impedir a ascensão da água do solo pela parede. Diante da problemática apresentada, este trabalho tem como finalidade desenvolver uma argamassa impermeabilizante inovadora a base de uma matriz polimérica de acetato de polivinila (PVAc) e incorporação de argilomineral, bem como alcançar as seguintes propriedades: impermeável e resistente à compressão. Foram desenvolvidas treze formulações, e analisadas por meio dos ensaios no estado fresco: índice de consistência, massa específica aparente e teor de ar incorporado, sendo confeccionados doze corpos de prova, para cada formulação, para analisar as propriedades no estado endurecido: permeabilidade, resistência à compressão, porosidade, massa específica aparente e absorção de água. Os resultados obtidos nos ensaios foram analisados através da metodologia de análise de variância (ANOVA), e as propriedades classificadas segundo os requisitos estabelecidos pela norma ABNT NBR 13281:2005. A adição de PVAc, melhorou a trabalhabilidade, devido ao aumento da incorporação de ar no ato da mistura, o que acarretou no aumento da quantidade de poros e consequentemente redução da resistência à compressão. Embora, a porosidade tenha aumentado, houve redução da permeabilidade em 28,17 %, possivelmente devido a formação de uma película que envolve os grãos de cimento hidratado. A incorporação da argila, na argamassa modificada polimERICAMENTE pela adição de PVAc, influenciou no aumento da resistência a compressão em 34,68 % em relação a formulação padrão, supostamente por conta da formação de aluminatos e silicatos de cálcio, através de reações com as ligações químicas insaturadas (Al–O e Si–O), influenciando positivamente no processo de hidratação do cimento. Para escolha da melhor formulação foi realizado análise por decisão, para chegar à conclusão que a formulação H: AP₂A₁₀, com adição de 2 % de PVAc e 10 % de argila, foi a que apresentou melhor desempenho, enquanto a formulação D: AP₁₀, com adição de 10 % de PVAc, apresentou o pior resultado. Apesar de ter apresentado o pior resultado pela análise de escolha, a formulação D: AP₁₀, foi a que apresentou os melhores resultados no ensaio de permeabilidade.

Palavras-Chave: Argamassa. Impermeabilização. Acetato de polivinila. Argilominerais. Umidade

ABSTRACT

The lack of waterproofing causes numerous problems arising from the early degradation of civil construction structures. Asphalt-based waterproofing agents applied to baldrames foundations are considered costly and inefficient. The growing interest in the study of new composites has instigated the development of materials with better mechanical, thermal and composite properties. In the literature, there are still few reports of waterproofing agents that effectively perform the function of preventing the rise of water from the soil through the wall. Given the problems presented, this work aims to develop an innovative waterproofing mortar based on a polymer matrix of polyvinyl acetate (PVAc) and clay mineral incorporation, as well as achieving the following properties: waterproof and resistant to compression. Thirteen formulations were developed and analyzed through tests in the fresh state: consistency index, apparent specific mass and incorporated air content, twelve specimens being made, for each information, to analyze the properties in the hardened state: permeability, resistance to compaction, porosity, apparent specific mass and water absorption. The results obtained in the tests were covered by the variation analysis methodology (ANOVA), and the properties classified according to the requirements of the ABNT NBR 13281: 2005 standard. The addition of PVAc improved the workability, due to the increased incorporation of air in the act of mixing, which resulted in an increase in the amount of pores and, consequently, a reduction in compressive strength. Although the porosity has increased, there was a reduction in permeability of 28.17%, possibly due to the formation of a film surrounding the hydrated cement grains. An incorporation of clay in the polymer modified mortar by the addition of PVAc influenced the increase in compressive strength by 34.68% compared to standard, supposedly due to the formation of aluminates and calcium silicates, through reactions with painted connections unsaturated (Al – O and Si – O), positively influencing the cement hydration process. To choose the best information, decision analysis was performed, to reach the conclusion that H: AP₂A₁₀ aggregates, with the addition of 2% PVAc and 10% clay, showed the best performance, while D: AP₁₀ elements, with addition of 10% PVAc, showing the worst result. Despite having presented the worst result by the analysis of choice, the base D: AP₁₀, was the one that presented the best results in the permeability test.

Keywords: Mortar. Waterproofing. Polyvinyl acetate. Clay minerals. Moisture.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Parâmetros de resistência mecânica	35
Quadro 2 – Ensaaios de caracterização do argilomineral	40
Quadro 3 – Ensaaios de caracterização do agregado miúdo	40
Quadro 4 – Ensaaios de caracterização dos aglomerantes	41
Quadro 5 – Ensaaios de caracterização do aditivo polimérico	41
Quadro 6 – Ensaaios técnicos da argamassa polimérica no estado fresco	47
Quadro 7 – Ensaaios técnicos da argamassa polimérica no estado endurecido	49

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Formação do filme polimérico PVAc	17
Figura 2 – Polimerização do VA para formação do PVAc	28
Figura 3 – FTIR do PVAc.	29
Figura 4 – Análise Termogravimétrica do PVAc	29
Figura 5 – Estrutura molecular da bentonita	30
Figura 6 – Resistência à compressão, (a) com 5 % PVAc, (b) 10 % PVAc	35
Figura 7 – Relação da elevação da umidade com o diâmetro do conduto	37
Figura 8 – Representação da umidade ascendente na alvenaria cerâmica	38
Figura 9 – Estrutura da metodologia	39
Figura 10 – Ensaio de massa unitária	42
Figura 11 – Ensaio de teor de sólidos do PVAc	43
Figura 12 – Homogeneização da argamassa	46
Figura 13 – Ensaio de consistência	48
Figura 14 – Ensaio de resistência à compressão	49
Figura 15 – Ensaio de permeabilidade, (a) durante o ensaio, (b) término do ensaio	50
Figura 16 – Ensaio de absorção, determinação da massa imersa	51
Figura 17 – Difratometria padrão da argila Raios X (X-DRX)	53
Figura 18 – Curva granulométrica da areia e argila	54
Figura 19 – Relação a/c	56
Figura 20 – Teor de ar incorporado na argamassa	57
Figura 21 – Massa específica aparente da argamassa no estado fresco	58
Figura 22 – Resultados da absorção	59
Figura 23 – Resultados da resistência à compressão	60
Figura 24 – Reação de hidrólise do PVAc, na pasta de cimento	60
Figura 25 – Resultados da massa específica aparente das argamassas	62
Figura 26 – Resultados da permeabilidade das argamassas	62
Figura 27 – MEV da argamassa com adição de bentonita após 28 dias de cura	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos	21
Tabela 2 – Formulações teste da argamassa polimérica	44
Tabela 3 – Conversão do traço volume para traço massa	45
Tabela 4 – Composição química da argila	52
Tabela 5 – Resultados da caracterização da argila	53
Tabela 6 – Composição química da areia	54
Tabela 7 – Resultados da caracterização da areia	55
Tabela 8 – Resultados da caracterização dos aglomerantes	55
Tabela 9 – Resultados da caracterização do polímero PVAc	55
Tabela 10 – Análise de escolha por objetivo	64
Tabela 11 – Classificação das argamassas	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C. – Antes de Cristo

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Brasileira

NM – Norma Mercosul

PVAc – Acetato de Polivinila

EVA – Etileno Acetato de Vinila

VA – Acetato de Vinila

CP V-ARI-RS – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial - Resistente a Sulfatos

ME – Massa Específica

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

BS – *British Standards*

SBR – Borracha de Butadieno Estireno

min – Minuto

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

CSTM – *Centre Scientifique et Technique du Batiment*

AMP – Argamassa Modificada por Polímero

AP – Argamassa de Polímero

AIP – Argamassa Impregnada por Polímero

HEC – Hidroxietil Celulose

CU – Coeficiente de Uniformidade

CC – Coeficiente de Curvatura

FTIR – Espectrometria no Infravermelho

ICSD – *Inorganic Crystal Structure Database*

Tg – Transição Vítrea

AFM – Microscópios Especiais de Força Atômica

ACI – *American Concrete Institute*

CTC – Capacidade de Troca de Cátion

DRX – Difração de Raio-X

SE – Sergipe

FRX – Fluorescência de Raios-X

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

LISTA DE SÍMBOLOS

m – Metro

mm – Milímetro

MPa – Mega Pascal

kg – Quilograma

dm³ – Decímetro cúbico

g – Grama

μm – Micrometro

m³ – Metro cúbico

ppm – Parte por milhão

mg – Miligrama

l – Litro

γ – Massa específica

δ – Massa unitária

Ppccim – Proporção de cimento no traço da argamassa, em massa

Ppccal – Proporção de cal no traço da argamassa, em massa

Ppcareia – Proporção de agregado no traço da argamassa, em massa

γ_{cal} – Massa unitária da cal, no estado solto, em g/cm³

γ_{areia} – Massa unitária do agregado, no estado solto, em g/cm³

γ_{cim} – Massa unitária do cimento, no estado solto, em g/cm³

Ppvcim – Proporção de cimento no traço da argamassa, em volume aparente

Ppvc_{al} – Proporção de cal no traço da argamassa, em volume aparente

Ppvagr – Proporção de agregado no traço da argamassa, em volume aparente

δ_{cal} – Massa unitária da cal, no estado solto, em g/cm³

δ_{agr} – Massa unitária do agregado, no estado solto, em g/cm³

δ_{cim} – Massa unitária do cimento, no estado solto, em g/cm³

10⁻⁹ m – Nanômetro

± – Mais ou menos

dm² – Decímetro quadrado

Δh – Coeficiente hidráulico

He – Gás hélio

Å – Angstrom

°/min – Grau por minuto

m³ – Metro cúbico

X – Dez

I – Um

V – Cinco

Pa – Pascal

% – Porcentagem

Hz – Hertz

a/c – Relação água por cimento

μ – Micro

CaO – Óxido de cálcio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	JUSTIFICATIVA	18
1.2	OBJETIVOS	19
1.2.1	Objetivos geral	19
1.2.2	Objetivos específicos	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	ARGAMASSAS	20
2.1.1	Tipos de argamassas	21
2.1.1.1	<i>Argamassas hidráulicas e aéreas</i>	21
2.1.1.2	<i>Argamassas de cimento Portland</i>	22
2.1.1.3	<i>Argamassa mista de cal e cimento</i>	22
2.1.1.4	<i>Argamassa polimérica</i>	23
2.1.1.5	<i>Argamassas com adições de argilominerais</i>	23
2.1.1.6	<i>Argamassas poliméricas à base de PVAc</i>	25
2.1.2	Matérias-primas das argamassas	26
2.1.2.1	<i>Cimento</i>	26
2.1.2.2	<i>Areia</i>	26
2.1.2.3	<i>Água de amassamento</i>	27
2.1.2.4	<i>Adições para argamassas poliméricas</i>	28
2.1.2.4.1	Acetato de polivinila (PVAc)	28
2.1.2.4.2	<u>Definição de argilas</u>	30
2.1.2.4.3	<u>Argila bentonita</u>	30
2.1.3	Propriedades das argamassas	31
2.1.3.1	<i>Trabalhabilidade</i>	31
2.1.3.2	<i>Permeabilidade</i>	32
2.1.3.3	<i>Resistência mecânica</i>	34
2.1.3.4	<i>Porosidade e absorção</i>	35
2.2	PATOLOGIAS DECORRENTES DA UMIDADE ASCENDENTE	36
3	METODOLOGIA	39
3.1	CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS	39
3.1.1	Análise química por FRX	41
3.1.2	Análise granulométrica	41
3.1.3	Análise mineralógica Raios X - DRX	42
3.1.4	Massa unitária	42
3.1.5	Massa específica real da cal e da argila	43

3.1.6	Teor de sólidos do PVAc	43
3.1.7	pH do PVAc	43
3.2	FORMULAÇÕES DAS ARGAMASSAS	44
3.3	CONVERSÃO DE TRAÇO VOLUME PARA TRAÇO MASSA	45
3.4	PREPARAÇÃO DAS ARGAMASSAS	46
3.5	ENSAIOS NO ESTADO FRESCO DA ARGAMASSA	48
3.5.1	Consistência	48
3.5.2	Massa específica aparente	48
3.5.3	Teor de ar incorporado	48
3.6	ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO DA ARGAMASSA	49
3.6.1	Resistência à compressão	49
3.6.2	Permeabilidade	50
3.6.3	Absorção de água	50
3.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA	51
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1	CARACTERIZAÇÕES DAS MATÉRIAS-PRIMAS	52
4.1.1	Caracterização do argilomineral	52
4.1.2	Caracterização do agregado miúdo	54
4.1.3	Caracterização dos aglomerantes hidráulicos	55
4.1.4	Caracterização do polímero	55
4.2	PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO	56
4.3	PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO	59
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
5.1	CONSIDERAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	66
	REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

Segundo a ABNT NBR 15575:2021 (Edificações habitacionais – Desempenho), a durabilidade de um empreendimento está intrinsecamente relacionada com o tipo de material e técnicas empregadas na sua construção. É comum observar várias patologias nas estruturas e nas alvenarias de vedação devido à ação nociva da água presente no solo. Por sua vez, essas patologias são decorrentes devido à falta de um sistema de impermeabilização, que afeta a vida útil e aumenta a periodicidade de manutenções corretivas e preventivas nas construções.

De acordo com a ABNT NBR 9575:2010 (Impermeabilização – Seleção e Projeto), o sistema de impermeabilização pode ser definido como a ação de componentes e serviços que objetivam proteger as construções contra a passagem de fluidos de vapores e da umidade. Os primeiros sistemas de impermeabilização são datados antes de 300 a.C com o emprego de materiais betuminosos na construção das pirâmides do Egito. Na China, foi utilizado betume natural para proteger a Grande Muralha contra as ações provocadas pela umidade. No Brasil, igrejas e pontes históricas, tiveram a argamassa aditivada por óleos com propriedades hidrofugantes (ESPOSTO, 2018).

A ABNT NBR 9575: 2010, classifica os tipos de impermeabilização, segundo o material constituinte principal da camada impermeável, em cimentícios, asfálticos e poliméricos, sendo que pode ser incluído na classificação dos cimentícios às argamassas com aditivo impermeabilizante. Um impermeabilizante deve apresentar baixa porosidade a fim de garantir que a água do subsolo não migre do solo até a superfície das paredes, deve ser flexível para certificar que não sofra fratura, além de ser resistente a intempéries (GUIMARÃES, 2018).

Os baldrames são talvez os elementos da construção civil que mais são afetados pela omissão do sistema de impermeabilização. A ausência da proteção dos baldrames gera ascensão da água pelas paredes, que são praticamente irreversíveis. As inúmeras patologias que surgem devido ao excesso de umidade, fazem com que o processo de tratamento para restaurar alvenarias seja superior ao sistema de impermeabilização na fase de execução da obra, o qual corresponde a um valor de 3% a 5% do custo total (HUSSEIN, 2013).

Em virtude dos transtornos causados pelas manifestações patológicas, causadas pela a umidade ascendente do solo, se faz necessário uma busca em desenvolver argamassas, que apresentem uma melhor eficiência, na fase de impermeabilização das fundações em viga baldrames. Uma solução para essa problemática são as argamassas impermeáveis, que possui em sua composição materiais hidrofugantes e poliméricos capazes de repelir a água e formar

uma camada protetora (RIGHI, 2009). No mercado, existem os betumes e a manta asfáltica para esse fim. No entanto, na construção civil, principalmente em obras de pequeno porte não é usual a utilização de impermeabilizantes devido à dificuldade de instalação sobretudo das mantas asfálticas.

Segundo Recena (2012), as argamassas poliméricas normalmente são empregadas em recuperação estrutural ou em locais sujeitos a agressividade química. Na construção civil, este grupo de argamassa é produzido com polímeros emulsionados em água, dentre os mais empregados estão as resinas acrílicas, acetato de polivinila (PVAc) e acetato de vinila (EVA).

Estudos de Póvoas (1999), utilizando o PVAc em argamassas constatou que esse polímero é solúvel e possui uma alta adesividade, além de apresentar capacidade aglutinante e dispersante. Esse tipo de argamassa apresenta maior impermeabilidade devido à dificuldade de percolação de gases e líquidos pelos poros.

Costa, *et al.* (2015), em sua pesquisa a respeito da avaliação do desempenho de argamassas de assentamento modificadas polimericamente para alvenaria estrutural, afirma que o uso de adições de PVAc em pequenas quantidades, em matrizes cimentícias, diminui a permeabilidade, devido a formação de uma película muito fina e impermeável, como representado na Figura 1.

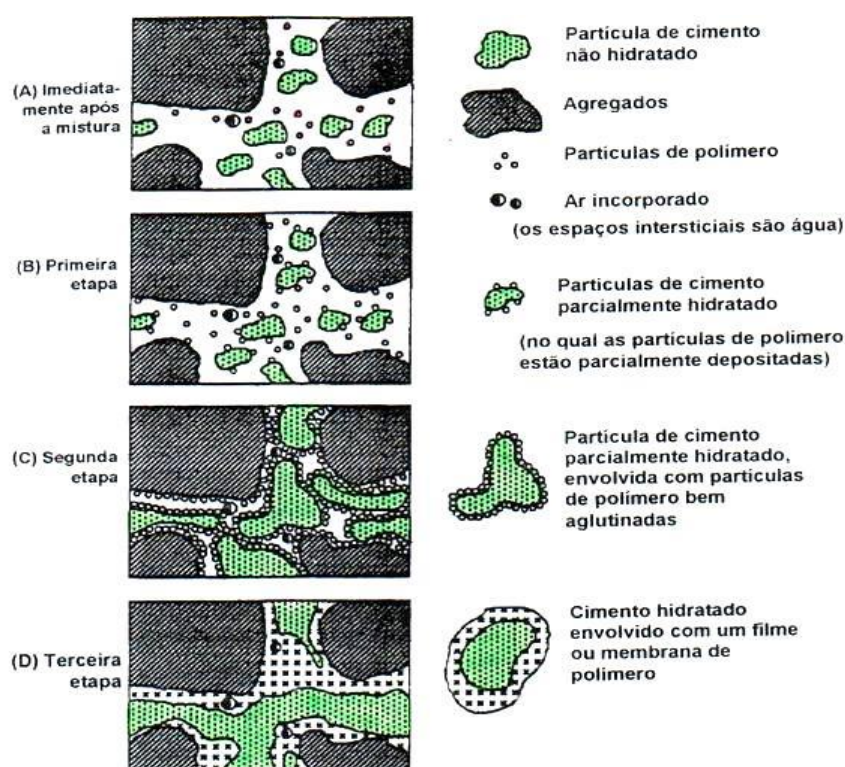


Figura 1– Formação do filme polimérico PVAc, (MATSUSATO, 2007).

A incorporação de materiais argilosos em argamassas juntamente com polímeros é uma metodologia inovadora, que tem sido praticada por diversos pesquisadores, mas cujas propriedades ainda são carentes de estudos. Anadão (2012), em sua pesquisa sobre a tecnologia de nanocompósitos, verificou que a utilização de argilas ricas em montmorilonita, saponita e hectorita, incorporadas como carga, em uma matriz polimérica a base de PVAc, no desenvolvimento de novos materiais nanocompósitos, observou aumento da resistência mecânica e redução da permeabilidade por causa da capacidade expansiva da argila modificada. Já o PVAc, por conta da sua estrutura atômica, ser formada por cadeias compostas por átomos de carbono ligados a grupos orgânicos, apresenta baixa polaridade, o que confere propriedades hidrofóbicas a esse polímero, contribuindo para a redução da permeabilidade desses novos materiais nanocompósitos.

Nesse contexto, esse trabalho tem como objetivo desenvolver uma argamassa à base de uma matriz polimérica de acetato de polivinila (PVAc), por meio de formulações, variando os teores de adição do PVAc de 2% a 10% e argilomineral de 5% a 20%. Essas argamassas produzidas, foram submetidas a ensaios no seu estado fresco e endurecido, cujo o fim foi avaliar as suas principais propriedades, e obter uma argamassa, capaz de criar uma camada impermeabilizadora na fundação, evitando a ascensão de umidade por capilaridade. Para a realização desse objetivo, as matérias-primas passaram por caracterizações químicas e físicas, possibilitando calcular o traço da argamassa e compreender os resultados apresentados.

1.1 JUSTIFICATIVA

Ainda que existem diversas argamassas impermeabilizantes no mercado da construção civil, e estudos no desenvolvimento de novas composições empregando polímeros como base, ainda é notória a falta de pesquisas usando argilominerais incorporados a polímeros.

Argilas sobretudo montmorilonita são materiais abundantes no estado de Sergipe, de fácil acesso, e possui propriedades importantes como elevada plasticidade e expansibilidade quando em contato com água o que favorece o processo de polimerização quando em contato com polímeros.

Este trabalho, visa analisar os resultados obtidos dos ensaios tecnológicos no estado fresco e endurecido, das argamassas desenvolvidas para atuar como camada impermeabilizadora. Desta forma, permitirá assegurar que a camada de argamassa seja

impermeável e flexível, resistindo aos esforços solicitantes que atuam nas fundações, como também ao efeito da umidade ascendente por capilaridade.

O presente estudo tem por finalidade desenvolver uma argamassa impermeabilizante, a base de PVA e argila rica em montmorilonita, com a proposta de criar uma camada protetora entre a alvenaria e a fundação, podendo ser uma possível solução para as decorrentes patologias como bolor, mofo, eflorescência, deslocamento de revestimento cerâmico e degradação de reboco, causadas pelo efeito de capilarização da umidade.

1.2 OBJETIVOS

Nessa seção, são listados o objetivo geral e os específicos, adotados na pesquisa.

1.2.1 Objetivo geral

- Produzir uma argamassa impermeabilizante à base de uma matriz polimérica de PVAc, com a incorporação de argilominerais, para impedir a percolação da umidade ascendente por capilaridade.

1.2.2 Objetivos específicos

- Explorar o estado da arte acerca das matérias-primas (argila, cimento CP V-ARI-RS, PVAc, areia e cal hidratada), quanto aos ensaios tecnológicos de acordo com as normas vigentes;
- Conhecer as características das matérias primas por meio da caracterização física, química e macroestrutural das matérias-primas utilizadas na pesquisa (argila, cimento CP V-ARI-RS, PVAc, areia e cal hidratada);
- Elaborar formulações com as matérias-primas com intuito de determinar o melhor percentual de sua composição;
- Moldar corpos de provas de argamassa utilizando diferentes dosagens de materiais;
- Caracterizar as argamassas no seu estado fresco por meio dos ensaios de consistência, massa específica aparente, teor de ar incorporado e retenção de água;
- Caracterizar as argamassas no estado endurecido aos 28 dias por meio da porosidade, resistência à compressão, permeabilidade e absorção;

- Analisar e comparar os resultados obtidos nos ensaios de caracterização das argamassas no estado fresco e endurecido, com uma argamassa referência sem propriedades impermeabilizantes, por meio de análise estatística.
- Comparar os resultados obtidos com os resultados da literatura utilizada.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo serão apresentados tópicos contextualizados abordando os principais temas, relacionados ao presente estudo, baseando-se em publicações científicas, que vão servir de embasamento teórico.

2.1 ARGAMASSAS

A argamassa, possui sua origem na Pérsia antiga, contudo seu desenvolvimento como sistema construtivo ocorreu na Roma antiga, por conta da necessidade em se desenvolver um material que apresentasse uma alta capacidade de aderência e resistência mecânica. Os romanos, criaram uma mistura de cinzas vulcânicas (aglomerante) com materiais inertes (sílica), resultando na primeira argamassa (SILVA, 2006). A partir daí, esse material passou a ser utilizado em outras regiões, chegando no Brasil no século XVI, tendo sua principal aplicação no assentamento das fundações baldrame e alvenaria de pedras. Essa argamassa possuía composição a base da cal, resultante da queima de conchas do mar, óleo de baleia, utilizado com propriedades aglomerantes e impermeabilizantes, e materiais inertes. Atualmente, a argamassa é usada como um dos elementos mais empregados na construção civil, para proteção de paredes e assentamento de elementos cerâmicos (WESTPHAL, E.; *et al.*, 2013).

Argamassa é uma rocha artificial em seu estado endurecido, constituída pela mistura de aglomerantes, materiais inertes e água. ABNT NBR 13529: 2013 (Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas), define a argamassa de revestimento como “uma mistura homogênea de agregado(s) miúdos, aglomerante(s) inorgânicos e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento”, atendendo especificações quanto as suas propriedades no estado fresco e endurecido, e critérios de desempenho e aplicações de acordo com sua finalidade.

Segundo Silva (2006), as principais propriedades das argamassas são analisadas pelas normas americanas e europeias como a *American Society for Testing and Materials* (ASTM), e a *British Standards* (BS), com base na classificação MERUC.

No Brasil a norma ABNT NBR 13281:2005 (argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos), estabelece as exigências mecânicas e reológicas, por meio de valores obtidos das propriedades da argamassa, no estado fresco e endurecido. A Tabela 1, apresenta uma adaptação da classificação de algumas das propriedades estabelecidas pela ABNT NBR 13281:2005.

Tabela 1 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos

Característica	Identificação	Limites	Método
Resistência à compressão (MPa)	I	$\geq 0,1$ e $\leq 4,0$	NBR 13279:2005
	II	$\geq 4,0$ e $\leq 8,0$	
	III	$> 8,0$	
Capacidade de retenção de água	Normal	≥ 80 e ≤ 90	NBR 13277:2005
	Alta	> 90	
Teor de ar incorporado (%)	A	< 8	NBR 13278:2005
	B	≥ 8 e ≤ 18	
	C	> 18	

Fonte: ABNT NBR 13281:2005.

2.1.1 Tipos de argamassas

As argamassas, por serem um material presente em diferentes tipos de obras e em várias etapas distintas de uma construção, possui diversas classificações para que possa ser empregada de forma correta e de acordo com a necessidade de sua finalidade. O presente estudo sobre argamassa, aborda algumas das classificações quanto a sua forma de endurecimento, natureza do aglomerante, utilização e forma de produção, contemplando algumas das mais comumente aplicadas nas obras

2.1.1.1 Argamassas hidráulicas e aéreas

Os aglomerantes são na maioria das vezes minerais com propriedades ligantes que formam a pasta da argamassa, envolvendo os grãos de agregados inertes. São definidos de acordo com a reação de endurecimento e resistência à umidade, sendo classificados em hidráulicos e aéreos. Recena (2012) explica que os aglomerantes hidráulicos necessitam da presença da água para ocorrer as reações químicas de hidratação dos compostos responsáveis pela resistência mecânica e aderência. A transição do estado fresco da pasta para o estado endurecido ocorre sem a necessidade da intervenção do ar, dessa forma o endurecimento ocorre tanto submerso em água como exposto ao ar. Após o endurecimento, a pasta passa a apresentar resistência a ação de águas externas, adquirindo acréscimos de resistência ao longo do tempo,

devido a continuidade do processo de hidratação até convergir para uma estabilização de resistência (SILVA, 2006).

A presença e quantidade de cal livre (CaO), e a formação dos silicatos e aluminatos são fatores que determinam a classificação do ligante devido ao processo de hidratação. O processo de reação de endurecimento do (CaO) acontece somente por meio de uma reação química muito lenta ao ar, em que o hidróxido originado da hidratação do óxido de cálcio ($\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$), que se reconverte em carbonato de cálcio em reação com o dióxido de carbono (CO_2) formando ($\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$). Essas argamassas são classificadas em aéreas devido a sua baixa resistência a umidade depois de endurecidas (ACOSTA, 2020).

2.1.1.2 Argamassa de cimento Portland

A argamassa de cimento Portland é obtida exclusivamente por uma mistura de cimento (ligante hidráulico), agregado miúdo e água. Após a adição de água na mistura ocorrem reações químicas de hidratação dos silicatos, presentes no cimento, que envolve os agregados miúdos, adquirindo resistência mecânica de acordo com o fator água cimento (a/c), e o traço, conforme os parâmetros estabelecidos pela lei de Abrams (NEVILLE, 2016).

Devido as reações do silicato tricálcico (3CaO.SiO_2) e o aluminato tricálcico ($3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$), a argamassa adquire elevada resistência mecânica inicial e elevada pega, além de grande liberação de calor de hidratação, o que provoca a baixa retenção de água (MATTOS, *et al.*, 2020).

Recena (2012) afirma que a argamassa de cimento Portland, possui elevada rigidez e consequentemente elevado módulo de deformação, devido a sua direta relação com a resistência à compressão. O autor ainda afirma que por se tratar de uma pasta constituída por um aglomerante hidráulico, possui grande resistência a ação deletéria da umidade. Essa argamassa é indicada em aplicações como fundações baldrame, por conta da resistência oferecida a umidade proveniente do contato com o solo úmido, pisos e locais de contato direto com a água. É muito utilizada na confecção de chapisco para ser aplicada nas paredes de alvenaria e estruturas de concreto para aumentar a resistência de aderência do revestimento (SILVA, 2006).

2.1.1.3 Argamassa mista de cal e cimento

É definido como argamassa mista, a mistura homogênea que contém dois ou mais aglomerantes agindo como ligantes responsáveis por envolver os agregados miúdos. O

surgimento da argamassa mista de cal e cimento Portland, parte da necessidade de obter uma pasta que fosse capaz de assegurar propriedades como a resistência contra a umidade, trabalhabilidade, baixo módulo de deformação e menores tempos de pega (COSTA, 2012).

Os ingleses utilizam a proporção 1:3 (aglomerante: areia seca) em volume como traço básico, pois partem do princípio de que com esta proporção os vazios da areia são preenchidos pela pasta aglomerante (cimento e cal) devido a sua granulometria mais fina, obtendo um fator de empacotamento melhor. No Brasil é frequentemente utilizado traços similares, sendo o mais comum os tradicionais traços em volume 1:1:6 (cimento:cal:areia) para revestimentos externos, 1:2:8 para revestimentos internos e 1:0,5:4,5 para assentamento de unidades de alvenaria estrutural (SILVA, 2006).

2.1.1.4 Argamassa polimérica

A ciência dos materiais procura cada vez mais alternativas tecnológicas e implementações de substâncias que possam melhorar o desempenho e as propriedades mecânicas das argamassas. Partindo dessa premissa, a argamassa polimérica foi desenvolvida nos Estados Unidos no final do século XX, como uma massa composta de minerais com aditivos poliméricos, obtidos através de sínteses químicas com propriedades ligantes. Estas adições eram responsáveis pelo processo de endurecimento da mistura por meio de reações de polimerização. Esse composto surgiu como uma solução construtiva inovadora para substituição das tradicionais argamassas mista de cal e cimento, usadas para assentamento de alvenaria de vedação (SOUZA, 2017).

De acordo com Motta (2014), polímeros são materiais formados por repetições de sua unidade molecular que estão estruturalmente ligadas entre si, por ligações covalente do tipo sp^3 , e apresentam alta massa molecular, devido a formação de longas cadeias (macromoléculas).

No campo de desenvolvimento de materiais de construção civil, as argamassas poliméricas vêm sendo classificadas conforme o princípio de seu processo tecnológico, desde o final do século XX. Segundo Ohama (1997), menciona em sua pesquisa (compósitos poliméricos de concreto) que esses processos estão divididos em três categorias: argamassa modificada por polímero (AMP), constituída por formulações em que apresenta adições de matrizes polimérica ou substituição parcial do ligante cimentício por polímeros; argamassa de polímero (AP), que apresenta substituição total do cimento hidráulico, e argamassa impregnada por polímero (AIP), que consiste na aplicação de difusão de monômeros em elementos constituído de cimento Portland hidratado, que atuam impregnando os poros.

As argamassas modificadas sinteticamente à base de polímeros são conhecidas como argamassas colante, devido a sua maleabilidade e forte aderência ao substrato. Esse material consiste na aplicação de polímeros na mistura de argamassas mistas, na forma de adições ou substituições parciais do cimento hidráulico, para melhoria de propriedades do produto. Recena (2012), cita que esse tipo de argamassa é empregado em obras em que necessita de um material que apresente melhor desempenho em relação as solicitações de resistência mecânica, resistência química e aderência. O autor, ainda enfatiza, que são comumente aplicadas como material de recuperação estrutural.

Esses compósitos de argamassas modificadas podem ser divididos segundo a capacidade que o polímero apresenta em se dissolver em contato com a água de amassamento. Os polímeros sintéticos usualmente empregados como aglomerantes na mistura são as resinas acrílicas, PVAc, resinas vinílicas e SBR. Esses polímeros podem estar no estado sólido, em forma de pequenos grãos (pó) ou no estado líquido. Normalmente, no processo de produção da argamassa, os polímeros são diluídos na própria água de amassamento, antes de realizar a mistura com o aglomerante e o agregado miúdo (SOUZA, 2017). Recena (2012) ressalta que esse tipo de argamassa apresenta maior impermeabilidade, devido à dificuldade de percolação de gases e líquidos pelos poros, aumento da resistência às agressões químicas, da capacidade de aderência as superfícies de contato e a diminuição do módulo de deformação.

2.1.1.5 Argamassas com adições de argilominerais

Segundo Almeida Neto (2010), as argilas da classe esmectita, como a montmorilonita, apresentam morfologia lamelar, com lados da ordem de $1\mu\text{m}$ e espessura na faixa de nanômetro são os mais empregados, no desenvolvimento de novos materiais, devido a sua capacidade de dispersão, orientação na matriz, adesão interfacial, matriz de reforço, morfologia e grande área superficial.

Estudos, utilizando argila bentonita (rica em montmorilonita), com adições de 0,4% a 8%, em relação ao peso de cimento, em traços de argamassa 1:3,97:0,79 (cimento: areia: água), mostraram aumentos significantes, em relação a formulação padrão, sem nenhuma adição de argila: 61,48% de resistência à compressão, 42,09% resistência à flexão e 76,47% de impermeabilidade. O aprimoramento se deve principalmente ao refinamento da estrutura porosa, por razão da formação de agulhas que crescem na superfície ou na borda da bentonita, resultando em caminhos de penetração mais tortuosos, melhorando o desempenho formado pelo gel cimentício da argamassa (HU, *et al.*, 2019).

Liu, *et al.* (2020), em seu estudo sobre a influência da bentonita nas propriedades mecânicas e impermeabilidade das argamassas de cimento, observou-se que os resultados da aplicação de bentonitas em adições até 10%, em relação ao peso do cimento, resultou em uma menor permeabilidade na argamassa. Esse fato ocorreu devido a argila montmorilonita ter uma alta capacidade de absorver a água livre e expandir o volume de suas lamelas, e a formação de silício e cálcio hidratado, comumente chamado de (C-S-H), responsável por envolver as partículas de cimento e agregado miúdo, conferindo força de coesão, aumento gradual da flexão, redução da consistência, fluidez, e aumento da resistência à compressão em todas as amostras.

2.1.1.6 Argamassas poliméricas à base de PVAc

Estudos da aplicação do acetato de polivinila (PVAc), visando seu emprego como matriz para desenvolvimento de argamassa de assentamento de alvenaria estrutural e argamassa de reparo, tem obtido resultados satisfatórios, em relação as propriedades mecânicas. Essas argamassas, vem sendo desenvolvidas, através de formulações com adições de 0% a 10%, mostrando que o polímero reduz a densidade e aumenta o teor de ar incorporado na mistura, resultando em ganhos na trabalhabilidade e redução do fator água/cimento. Resultados de ensaios mecânicos comprovaram um aumento significativo na resistência à tração na flexão e menor módulo de elasticidade, além de melhorar a aderência ao substrato e diminuição da absorção de umidade, pelos condutos capilares presente na argamassa (COSTA, *et al.*, 2015).

Acetato de polivinila (PVAc) empregados na fabricação de cola branca, são adicionados em argamassa modificadas para reduzir a absorção por capilaridade, que por meio de ensaios de permeabilidade e microscopia eletrônica de varredura (MEV), comprovam a sua eficiência, em reduzir à absorção de umidade por capilaridade (BAYOUMI, *et al.*, 2008).

Segundo a pesquisa de Póvoas (1999), que trata sobre a influência do PVAc, na aderência da argamassa ao substrato de alvenaria cerâmica, avaliou a eficiência da adesividade das argamassas modificadas polimERICAMENTE, por meio de formulações com adições de 5% e 10% de PVA, em um traço básico 1:3 (cimento: areia), e foi possível constatar que o PVAc é insolúvel e possui uma alta adesividade, além de apresentar capacidade aglutinante e dispersante. Foi observado que tais características justificam o seu emprego em argamassa de reparo e argamassa de revestimento cerâmico.

2.1.2 Matérias-primas das argamassas

2.1.2.1 Cimento

Segundo Neville (2016), o cimento é um material pulverulento com propriedade adesiva e coesiva, capaz de produzir uma forte interação entre os fragmentos inertes presentes nas argamassas e concreto. O cimento Portland é constituído por uma combinação dosada e controlada de calcita, sílica e argilas ricas em alumina e óxidos de ferro, que passam por um processo de moagem das matérias-primas cruas até obter um aspecto pulverulento. Posteriormente a esse processo, o pó passa por uma etapa de queima em temperatura na faixa em torno a 1400 °C, formando o clínquer. Esse componente é o principal constituinte do cimento, sendo responsável pela formação dos silicatos tricálcico $(\text{CaO})_3\text{SiO}_2$, silicato dicálcico $(\text{CaO})_2\text{SiO}_2$, responsáveis pela resistência mecânica da pasta de cimento hidratada, aluminato tricálcico $(\text{CaO})_3\text{Al}_2\text{O}_3$ e ferro aluminato tetra cálcico $(\text{CaO})_4\text{Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$. Após a formação do clínquer é adicionado cerca de 3% de gipsita (sulfato de cálcio) para estender o tempo de pega do cimento (NEVILLE, 2013).

2.1.2.2 Areia

A ABNT NBR 7211:2019 (Agregados para concreto - Especificação) define os agregados miúdos como a fração passante na peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na abertura de malha de 150 µm. Contudo alguns pesquisadores como Carasek, *et al.* (2016), ainda definem como areia a fração que fica retida na peneira de malha de 75 µm. Dessa forma, o ensaio de granulometria é capaz de fornecer uma análise mais detalhada quanto a curva de distribuição granulométrica, necessária para obtenção dos coeficientes de uniformidade (Cu) e o de curvatura (Cc) (JOICHEM, 2012).

As areias ainda podem ser classificadas quanto ao processo de fragmentação da rocha matriz resultando nas areias naturais e artificiais, e em função da sua massa específica (ME) (ABNT NBR 7211, 2019).

- leves - $\text{ME} \leq 2000 \text{ kg/m}^3$,
- normais - $2000 < \text{ME} \leq 3000 \text{ kg/m}^3$,
- pesadas - $\text{ME} > 3000 \text{ kg/m}^3$.

Neville (2016), define que muitas das propriedades das areias estão ligadas a rocha matriz: composição química e mineral, massa específica, dureza, resistência mecânica e

estruturas dos poros. Contudo, outras propriedades dependem do processo de fragmentação: textura superficial, absorção, dimensões e formas.

Inicialmente, os agregados eram empregados na argamassa por ser um material mais barato que o aglomerante hidráulico, sendo assim mais econômico utilizar uma grande quantidade sem afetar negativamente as propriedades da mistura. Entretanto, esse material confere algumas vantagens técnicas como maior durabilidade, redução das variações volumétrica e maior tenacidade. Essa tenacidade é incumbida de promover a pasta cimentícia uma maior resistência a cargas aplicadas e ao desgaste por abrasão (DACHERY, 2015).

2.1.2.3 *Água de amassamento*

Neville (2013), determina que a água de amassamento é a responsável por iniciar o processo de hidratação do cimento, como também por possibilitar a trabalhabilidade da argamassa. A qualidade da água a ser utilizada é um fator fundamental na mistura devido à forte interação com os silicatos. Segundo a ABNT NBR 15900-1:2009 (Água para amassamento do concreto parte 1 - Requisitos), a presença de impurezas e substâncias prejudiciais como: açúcares, fosfatos (P_2O_5), nitratos (NO_3), chumbo (Pb^{2+}), zinco (Zn^{2+}) diluídas na água podem afetar na pega do cimento, como também interferir negativamente na resistência inicial nas primeiras idades.

Essa água deve conter um baixo teor de partículas sólidas dissolvidas 50000 mg/L e pH ≥ 5 , estando de acordo com a prescrição da ABNT NBR 15900-1:2009. Neville (2013) cita que em geral o teor de sólidos presentes é menor que 1000 ppm e o pH entre 6,0 e 8,0. Desta forma, a água potável é segura para a mistura, contudo, deve ser verificado a concentração de sódio e potássio para não ocorrer o risco de uma reação álcali-agregado, e águas naturais levemente ácidas devem ser ensaiadas seguindo os requisitos dispostos na ABNT NBR 15900:2009.

2.1.2.4 *Adições para argamassas poliméricas*

Segundo Cestari (2001), as argamassas de matriz cimentícia apresentam algumas limitações: baixa resistência à tração, retração por secagem elevada e baixa resistência química. Essas limitações podem ser superadas com o emprego de adições de polímeros na composição da mistura, dentre os mais empregados na confecção de argamassa modificada por adições de polímeros: polímeros em pó, polímeros em emulsões e resinas líquidas.

De acordo com Ramachandran (1995), as argamassas modificadas com polímeros em pó e polímeros solúveis em água têm a capacidade de criar uma película que envolve os cristais de hidratação do cimento, conferindo maior resistência mecânica e menor permeabilidade. Storte (1991), afirma que o bom desempenho da argamassa polimérica está relacionado a redução do diâmetro dos poros capilares do material e pelo aumento das forças de ligações entre o agregado e a matriz hidratada de cimento.

2.1.2.4.1 Acetato de polivinila (PVAc)

De acordo com Anadão (2012), o acetato de polivinila (PVAc) é um polímero de adição, pois o mesmo é derivado da soma sucessiva de vários monômeros (polimerização) do acetato de vinila (VA), como mostra o esquema ilustrado na Figura 2.

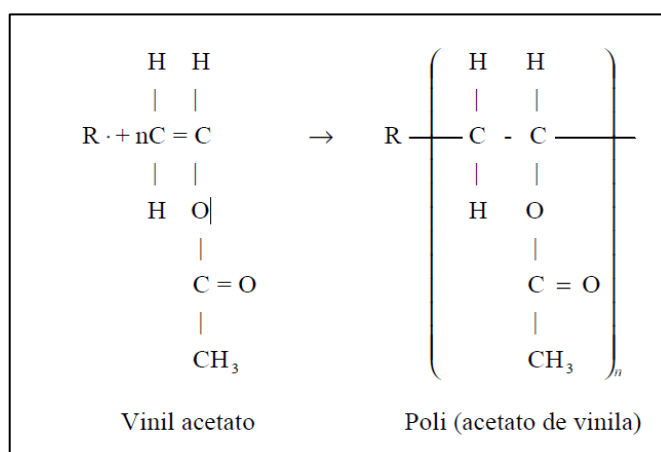


Figura 2 – Polimerização do VA para formação do PVAc, (PÓVOAS, 1999)

Amelia (2016), comprovou por meio da técnica de espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), que o PVAc exibe uma banda de absorção forte em 1728 cm^{-1} devido ao grupo carbonila do éster. Outras bandas de absorção específicas para a molécula de PVAc são: 1433 cm^{-1} , 1370 cm^{-1} , 1224 cm^{-1} e 1016 cm^{-1} . Observa-se também bandas de forte intensidade em 1224 cm^{-1} e 1016 cm^{-1} que podem ser usadas para quantificar e identificar a presença de PVAc em compostos poliméricos, como ilustrado na Figura 3, referente às vibrações de deformação axial de C-O dos ésteres.

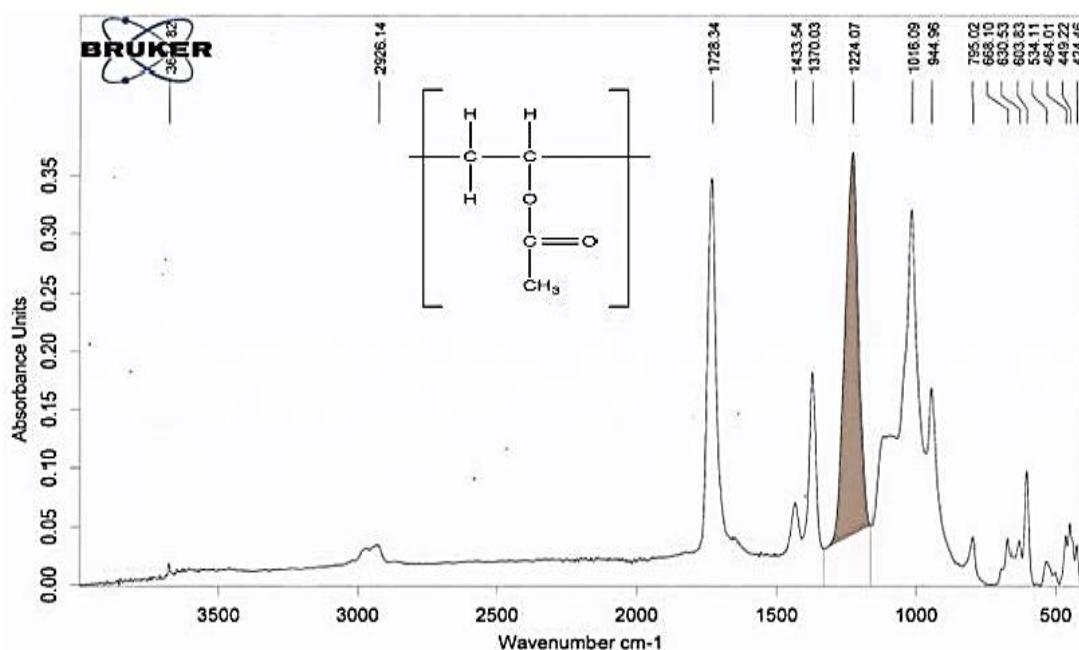


Figura 3 – FTIR do PVAc, (AMELIA, 2016).

Segundo Barbosa (2018), o PVAc é classificado como um material moderadamente biodegradável, com massa específica de 1,05 g/cm³. Possui uma temperatura de transição vítrea (T_g) em 30 °C, e apresenta uma degradação a 270 °C, onde ocorre uma quebra de ligações, liberando ácido acético como produto volátil, apresentado na Figura 4. Esse polímero apresenta forte capacidade hidrofóbica e amorfa, sendo utilizado como filme adesivo, para superfícies porosas (cola branca líquida).

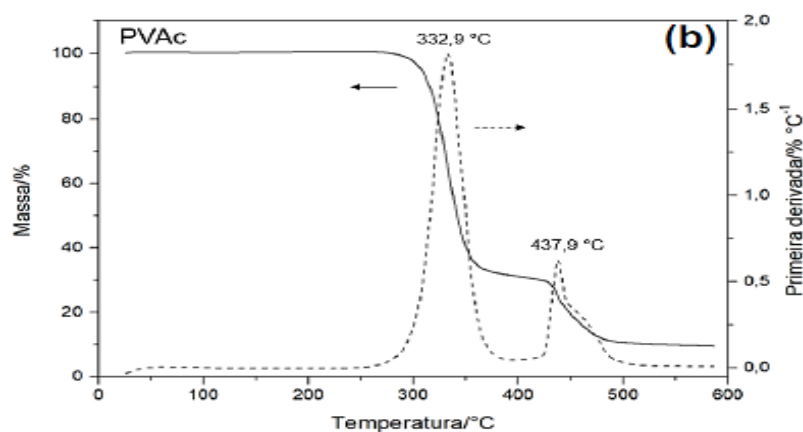


Figura 4 – Análise Termogravimétrica do PVAc, (BARBOSA, 2018).

2.1.2.4.2 Definição de argilas

As argilas são matérias-primas naturais com dimensões micrométricas na ordem de 5 μm , constituídas por argilominerais advindos da fragmentação de rochas. Quimicamente são formadas principalmente por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio, além de conter outros minerais, tais como o quartzo, pirita, mica, calcita e dolomita. É classificada como um material terroso, que adquire características plásticas na presença de água e possui capacidade de troca de cátions entre 3 e 150 meq/100 g (KLEIN; DUTROW, 2012).

2.1.2.4.3 Argila bentonita

As argilas bentonitas são amplamente utilizadas na produção de nanocompósitos de argila/polímero além de diversas aplicações industriais devido a capacidade de cátions trocáveis e sua elevada área específica. De acordo com Almeida Neto (2010), as bentonitas são formadas por argilominerais predominantemente do grupo dos filossilicatos pertencente as esmectitas. Essas argilas apresentam na sua análise química grandes concentrações de metais alcalinos e alcalinos terrosos. Sua estrutura é formada por lamelas, constituída por folhas tetraédricas de sílica com uma folha central octaédrica de alumina unidas através de átomos de oxigênio por meio de forças de Van der Waals e eletrostáticas.

Segundo classificações norte americana, as bentonitas são diferenciadas em dois grupos: as *non-swelling bentonites* (que não incham) e as *swelling bentonites* (que incham), tendo como fator influenciador os cátions trocáveis. A composição mineralógica é igual para ambas, porém, as *swelling bentonites* possuem o sódio como cátion trocável predominante, conferindo a argila a propriedade de inchar até 20 vezes o seu volume seco quando imersas em água, como indicado na Figura 5 (CAVALCANTI, *et al.*, 2010).

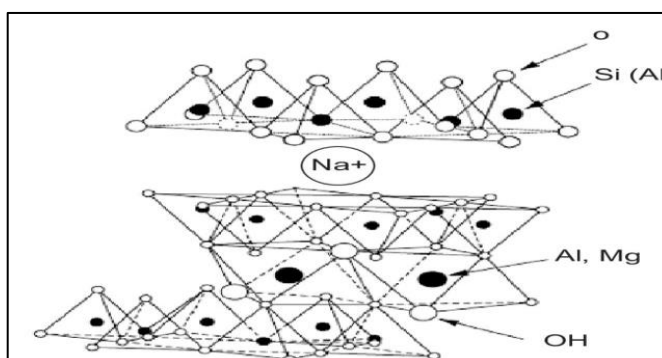


Figura 5 – Estrutura molecular da bentonita, (CAVALCANTI, *et al.*, 2010).

As *non-swelling bentonites* possuem frações de argilominerais pertencentes as ilitas misturadas com a montmorilonita. Essas argilas possuem cálcio e magnésio, como cátion

trocável, que resulta na anulação da propriedade de inchar e dispensar espontaneamente em água, além de sedimentar e permanecer floculada, suspendendo a formação de géis tixotrópicos.

2.1.3 Propriedades das argamassas

A argamassa é um dos materiais mais utilizados pela construção civil, por isso é necessário conhecer suas propriedades para garantir a real efetivação das suas funções de acordo com a finalidade de aplicação empregada.

O estudo prévio das propriedades do material promove um melhor desempenho e uma maior durabilidade frente aos fatores deletérios que irão atuar durante a sua vida útil.

2.1.3.1 Trabalhabilidade

Para a ASTM C-125:2020 (*Standard terminology Relating to concrete and concrete aggregates*), a definição de trabalhabilidade está de acordo com os aspectos de aplicação e manejo “é a propriedade determinante do esforço necessário ao manuseio de uma massa com propriedades cimentícias, recém misturada com a mínima perda de homogeneidade”. A norma ACI 116R:2000 (*American Concrete Institute - Cement and concrete terminology*), acrescenta que “é a propriedade do concreto ou argamassa recém misturados que determina a facilidade e a homogeneidade com que podem ser lançados, adensados e acabados”. De modo geral, a mistura deve ter um adensamento máximo, e uma boa consistência, de forma que haja coesão necessária, para que a massa seja facilmente manuseada, e aplicada sem que ocorra segregação ao ser transportada e ainda mantenha a sua plasticidade, por um período que seja suficiente para a realização do trabalho.

De acordo com Neville (2013) e Silva (2006), a determinação da trabalhabilidade é algo complexo, em razão da influência de diversos fatores que interagem, tais como: a retenção de água, consistência, relação água/cimento, plasticidade, relação agregado/cimento, granulometria e coeficiente de uniformidade do agregado e índice de finura do cimento.

A trabalhabilidade é uma interação entre a consistência e a coesão. Uma argamassa com pouca consistência e bastante fluidez, sem apresentar coesão, tornará a massa não trabalhável, da mesma maneira que uma massa com excesso de coesão, mas com baixa fluidez, não apresentará trabalhabilidade satisfatória (RECENA, 2012).

A consistência é determinada pelo método da mesa de consistência (*flowtable*), prescrita pela ABNT NBR 7215:2019 (Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão).

Segundo Cestari (2001), o índice de consistência padrão das argamassas é correspondido entre 255 ± 10 mm, estando em concordância com a ABNT NBR 13276:2016. Entretanto a ASTM C-270:2019 (*Standard specification for mortar for unit masonry*), determina a faixa de consistência ideal igual a 230 ± 10 mm.

As partículas do PVAc, dispersas na argamassa, aumentam a quantidade de bolhas de ar, que surgem durante a mistura, promovendo um deslizamento entre os grãos de cimento hidratado, concedendo uma melhoria na consistência (COSTA, *et al.*, 2015).

Segundo os resultados obtidos na pesquisa de Lucchese (2016), que trata a respeito da influência da cola branca, nas propriedades da argamassa de revestimento, mostraram que a concentração de 10 % de PVAc, em comparação da formulação padrão, sem nenhuma adição, obteve um aumento da plasticidade e diminuição da consistência, melhorando a trabalhabilidade da argamassa.

2.1.3.2 Permeabilidade

A permeabilidade, é uma propriedade, que está associada com a facilidade com a qual os líquidos e gases passam pela camada de argamassa no estado endurecido, e se movimentam através dos poros do material por meio de infiltrações de sob pressão, capilaridade ou difusão de vapor de água. Essa propriedade não é simplesmente em função do percentual de porosidade, de modo que a dimensão, forma e a tortuosidade dos condutos formados pelos poros, afetam diretamente a percolação dos líquidos e gases (NEVILLE, 2013).

Para Santos (2008), a permeabilidade de uma argamassa é uma propriedade que depende de fatores como a granulometria do agregado, módulo de finura do aglomerante, característica do substrato e a relação água/cimento. A permeabilidade da pasta de cimento hidratada é principalmente atribuída a relação água/cimento, em consequência da relação direta com a porosidade, que é governada pelo fator de água/cimento. As argamassas, com relações água/cimento próximas ou inferiores a 0,6, apresentam, uma menor permeabilidade, devido aos seus condutos porosos, se tornarem segmentos descontínuos (NEVILLE, 2013).

Existem diversos ensaios padronizados da ASTM e BS para medir a permeabilidade das argamassas. Muitos desses ensaios selam uma das superfícies do corpo de prova e o submete a uma aplicação de água sob pressão na superfície oposta a selada, até que a percolação de água pelos poros alcance condições de estabilidade, e possa ser calculada por meio da lei formulada por Darcy, ASTM D7664:2010 (*Standard test methods for measurement of hydraulic conductivity of unsaturated soils*), Equação 1.

$$\frac{1}{A} \frac{dq}{dt} = k \frac{\Delta h}{L} \quad (1)$$

Onde, podemos dizer que:

A = área da seção transversal do conduto hidráulico;

dq = taxa de variação da vazão do líquido;

dt = taxa de variação do tempo;

k = permeabilidade;

Δh = coeficiente hidráulico;

L = comprimento do conduto hidráulico.

Moura (2007), em sua pesquisa, que trata sobre o estudo da aderência de revestimentos externos de argamassa, observou que, para uma argamassa de traço volume convencional 1:0,94:3,25 (cimento: cal: areia), obteve por meio de ensaios de capilaridade, conforme o procedimento adotado pela ABNT NBR 15259:2005, o valor de $11 \pm 1 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$, sendo esse valor muito elevado, segundo os requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 13281:2005, em que, define o valor ótimo para o coeficiente de capilaridade inferior a $1,5 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$.

Zhao, *et al.* (2011), observou, por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), que à adição de um polímero PMWM, formado pela mistura de etileno acetato de vinila (EVA) e o acetato de vinila – vinil éster de ácido versático (Va – VeoVa), diminui a permeabilidade da argamassa. No estudo, constatou que a argamassa sem adição, apresenta um grande número de poros na transição interfacial do cimento com o agregado, enquanto à argamassa com adição de PMWM, apresenta a formação de uma substância semelhante à de uma membrana, que envolve os grãos de cimento hidratado e areia, tornando mais compacta a zona de transição interfacial entre o cimento e o agregado, possibilitando o preenchimento dos poros, resultando na diminuição do seu diâmetro.

Salomão (2016), em seu estudo sobre a capilaridade das argamassas de revestimento, testou vários traços de argamassas sem aditivos e com adições de diferentes aditivos impermeabilizantes, encontrando para os traços sem adição de aditivos valores de permeabilidade abaixo de $3,0 \text{ g/cm}^2$ após 6 h de exposição à água, e valores abaixo de $4,0 \text{ g/cm}^2$ após 24 h de exposição. Contudo, para os traços com adição, o autor obteve valores abaixo de $0,8 \text{ g/cm}^2$ após 4 h de exposição à água.

No trabalho realizado por Herrmann, *et al.* (2019), que avalia o comportamento e estanqueidade à água de diferentes tipos de argamassas, obteve valores de permeabilidade após

24 horas de exposição inferiores a 0,6 g/cm² para argamassas impermeabilizantes, superiores a 2,0 g/cm² e inferiores a 3,7 g/cm² para argamassas de revestimento sem aditivos impermeabilizantes e valores inferiores a 0,15 g/cm² para as argamassas hidro-repelentes.

2.1.3.3 Resistência mecânica

A resistência mecânica pode ser entendida como a capacidade de suportar as ações mecânicas de diferentes naturezas, devida à abrasão superficial, esforços axiais, ao impacto e a contração higroscópica (MOURA, 2007)

A importância dessa propriedade nas argamassas deve estar de acordo com o seu emprego, visto que em projetos estruturais, como restaurações de vigas e pilares, a resistência é abordada como propriedade principal, a qual necessita atingir valores altos, dentro de uma faixa estabelecida de resistência mínima de referência. Já em projetos em que seu uso é destinado ao revestimento e assentamento, a resistência mecânica é tratada como propriedade secundária, sem qualquer referência a resistência a ser obtida.

De acordo com Santos (2008), ao se atingir o endurecimento, todas as argamassas independentes da sua aplicação, serão submetidas a algum esforço mecânico. As argamassas de assentamento são solicitadas a esforços de compressão e as de revestimento, à abrasão superficial, impacto, tensões de cisalhamento, decorrentes das movimentações do substrato e variações térmicas/higrotérmicas.

A porosidade e o grau de hidratação são fatores fundamentais na determinação da resistência, os quais estão basicamente relacionados com a natureza dos agregados e aglomerantes empregados na composição da argamassa. Contudo, os principais fatores influentes na resistência verificados na prática são: a relação água/cimento, o grau de adensamento, a idade e a temperatura (NEVILLI, 2013).

Pesquisas realizadas por alguns autores como Silva (2006), Santos (2008) e Moura (2007), apresentam dados de resistência à compressão para argamassas convencionais, como descrito no Quadro 1.

Autor	Traço	Compressão (MPa)	Flexão na Tração (MPa)
Silva (2006)	1:1:4	6,49	1,64
Santos (2008)	1:1:6	7,68	1,08
Moura (2007)	1:0,94:3,25	3,78	1,45

Quadro 1– Parâmetros de resistência mecânica (Própria autoria, 2021)

De acordo, com a pesquisa de Souza (2017), que trata a respeito da análise das propriedades de uma argamassa de reparo de base acrílica, constatou por meio da comparação dos resultados de resistência à compressão, entre argamassas com adição de polímero de base acrílica, e argamassas sem adição (referência), em que, as argamassas aditivadas com o polímero, possui uma resistência à compressão de 25,61 MPa, enquanto as argamassas referência, apresentaram uma resistência de 19,34 MPa, sendo assim, a incorporação de polímero, contribui significativamente para o aumento de resistência mecânica.

Silva, (2015), em sua pesquisa, sobre a influência de aditivo polimérico no comportamento mecânico das argamassas produzidas com resíduos industriais, observou um aumento significativo da resistência à compressão, de acordo com os resultados apresentados nas Figuras 6a e 6b, em que, as argamassas modificadas por adições com 5% e 10% de PVAc, apresentou um aumento de 57%, em relação a argamassa sem adição. Supostamente, esse aumento é proveniente do preenchimento dos poros presentes nas argamassas, o que possibilita criar uma área de apoio da carga efetiva, eliminando os vazios, acarretando em um incremento de resistência mecânica.

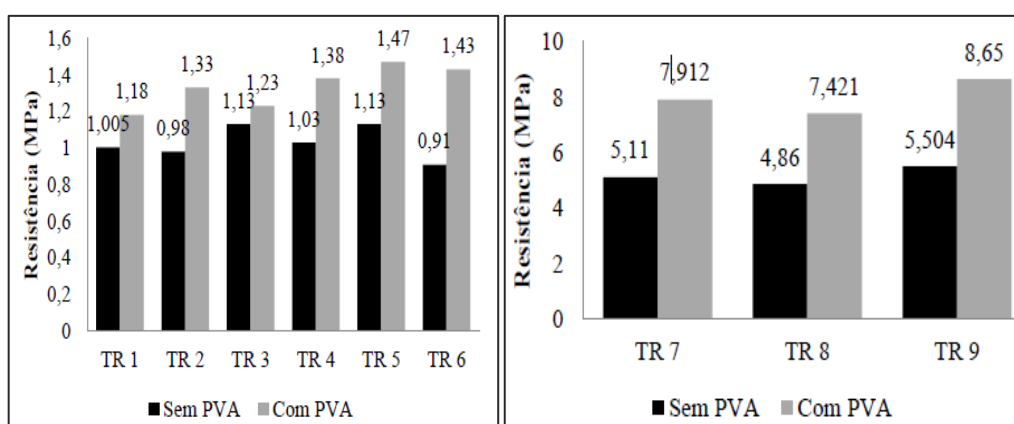


Figura 6 – Resistência à compressão, (a) com 5 % PVAc, (b) 10% PVAc, (SILVA, 2015).

2.1.3.4 Porosidade e absorção

A formação dos poros na argamassa, possui relação direta com o fator de empacotamento entre as partículas. Os poros, são classificados em fechados, quando não há comunicação com o exterior, e em aberto, quando conexão com o exterior, permitindo absorção ou transporte de fluidos (SILVA; NETA; HOUMARD, 2016).

Como já foi discutido anteriormente em 2.1.3.2 (permeabilidade), a incorporação de polímero em argamassa, possui a capacidade de preencher os condutos porosos existente na

argamassa, devido a sua boa fluidez e formação de filme polimérico, resultando na diminuição da absorção.

De acordo com Silva (2015), obteve resultados satisfatório em relação a porosidade e absorção de umidade por capilaridade, ao adicionar PVAc. A incorporação do polímero na argamassa, influenciou na diminuição em até 13,15 % da absorção por capilaridade, e redução de 12,84 % da porosidade, possivelmente, devido ao efeito de preenchimento parcial dos poros e formação de filme polimérico.

2.2 PATOLOGIAS DECORRENTES DA UMIDADE ASCENDENTE

O termo Patologia tem origem grega, *páthos* (doença) e *logos* (estudo), é um termo usado em diversas áreas da ciência, podendo ser entendido como “A Ciência que estuda a origem, os sintomas e a natureza das doenças”. Para a engenharia civil esse termo pode ser definido como o conjunto de sintomas e efeitos associados a uma disfuncionalidade na construção referindo-se à reabilitação, preservação e danos ligados a vida útil e desempenho das edificações (SILVA, *et al.*, 2011).

A patologia das edificações é a área da engenharia que se ocupa dos componentes de construção civil que por alguma razão passem a ter um desempenho insatisfatório, fazendo uma análise dos defeitos através de suas manifestações, suas origens e causas, mecanismos de ocorrência e consequências (SILVA, *et al.*, 2011).

Um dos problemas recorrentes no dia a dia da construção civil são as infiltrações que agem de forma prejudicial tanto na edificação, afetando a estética causando desconforto ou até mesmo afetando a saúde dos moradores de modo geral. As manifestações patológicas associadas a umidade geralmente são mais difíceis de serem solucionadas. Essa dificuldade está relacionada ao fato de muitas vezes a presença da umidade está ligada a um conjunto de causas, sendo uma delas preponderante, a umidade ascensional. A umidade ascendente é uma das patologias mais comuns nas edificações e é causada pela umidade presente no solo (RODRIGUES, *et al.*, 2016).

A umidade ascendente é o fluxo vertical de água que ascende do solo por uma estrutura permeável, podendo alcançar alturas significativas. Esse efeito depende da porosidade e permeabilidade do material, quantidade de água que está em contato com a parede e das condições de evaporação da água que nela se encontra (MAGALHÃES, 2008).

Segundo, Henriques (2007) os materiais de construção possuem elevada capilaridade pela qual a umidade do solo pode percolar, devido a estrutura porosa que atuam como pequenos canais.

A umidade pode percolar por meio dos poros dos materiais cimentícios utilizados nas fundações e ascender a alturas elevadas nas alvenarias de blocos cerâmico, sendo possível sua constatação pela diferença de tonalidade e manchas na parede. A altura alcançada pela água está relacionada com o diâmetro dos poros. Essa elevação da umidade por capilaridade proveniente do solo é inversamente proporcional ao diâmetro dos poros dos materiais (GEWEHR, 2004). Dessa forma, quanto menor for o diâmetro, maior será o nível que a água atingirá. Estes condutos capilares são canais de pequeno diâmetro que formam uma rede de conexões, que em contato com água consegue superar a força gravitacional ganhando elevação até atingir o estágio de equilíbrio de força, essa relação diâmetro/elevação pode ser visualizada na Figura 7.

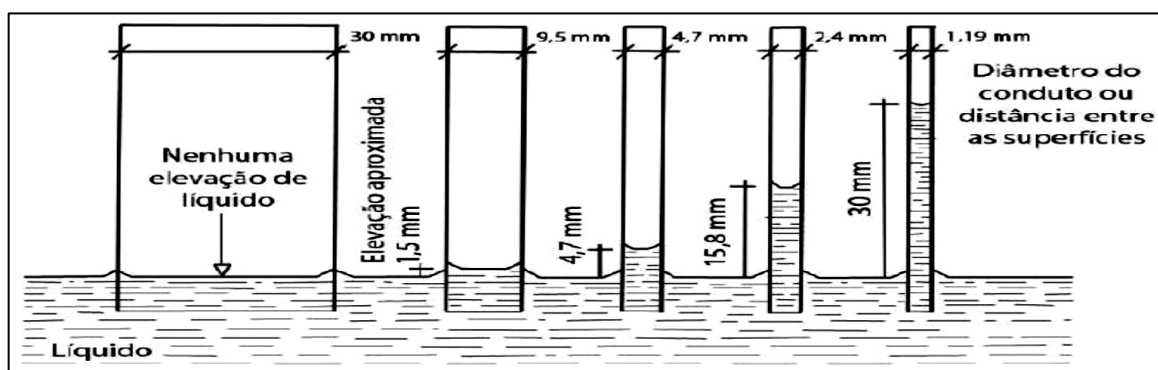


Figura 7– Relação da elevação da umidade com o diâmetro do conduto, (GRATWICK, 1971).

De acordo com Freitas, *et al.* (2008), a umidade ascensional possui duas fontes de alimentação de água variando o teor de umidade, as águas superficiais e freáticas. As águas superficiais são provenientes do escoamento das águas pluviais, essa umidade varia a altura da zona umedecida como também o fornecimento que é inconstante. Já nas águas freáticas o fornecimento é constante e o teor de umidade é maior na face em contato com o solo, e reduz gradualmente.

Segundo Cabaça (2002), as juntas de argamassas apresentam o caminho mais propício a ascendência da umidade, para depois percolar pelos tijolos, como ilustrado na Figura 8. Essa umidade segundo Alfano, *et al.* (2006), provoca a manifestação de manchas escuras, eflorescência, criptoflorescência e vegetação parasitária na estrutura.

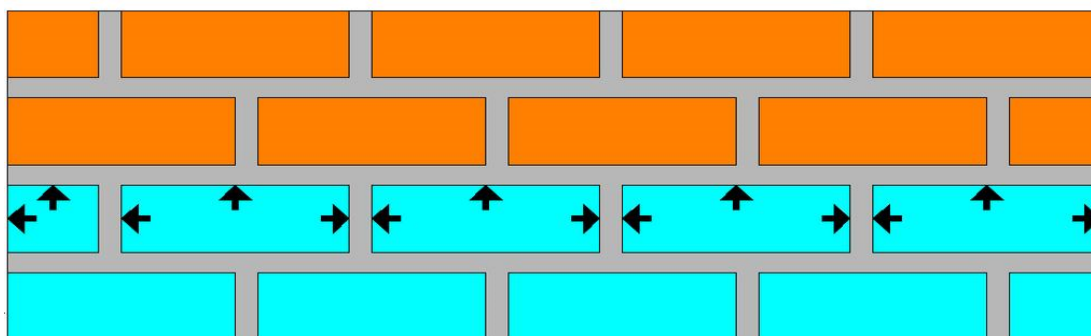


Figura 8 – Representação da umidade ascendente na alvenaria cerâmica, (CABAÇA, 2002).

De acordo com Granato (2005) e Dias (2003), os metais alcalinos (sódio e potássio) e alcalinos terrosos (cálcio e magnésio) são os principais sais responsáveis por causar a eflorescência. A umidade contendo os sais dissolvidos é levada à superfície do elemento e, em contato com a diferença de temperatura, essa água é evaporada e solidifica os sais criando um depósito de sólidos cristalinos ou pó de tonalidade embranquecida, afetando a estética. Caso a eflorescência encontre-se entre o reboco e a parede, uma rede de capilaridade inicia-se e começa a formação de caminhos para a umidade, que por consequência, leva ao aumento do impulso de repulsão exercido no reboco, acarretando na degradação da parede (BAUER, 1994. v.2).

3 METODOLOGIA

Nesse capítulo, são apresentados a caracterização das matérias-primas, formulações das argamassas e proposta experimental, abordando: preparação das formulações, ensaios no estado fresco das argamassas, moldagem dos corpos de prova e ensaios no estado endurecido, como ilustrado na Figura 9.

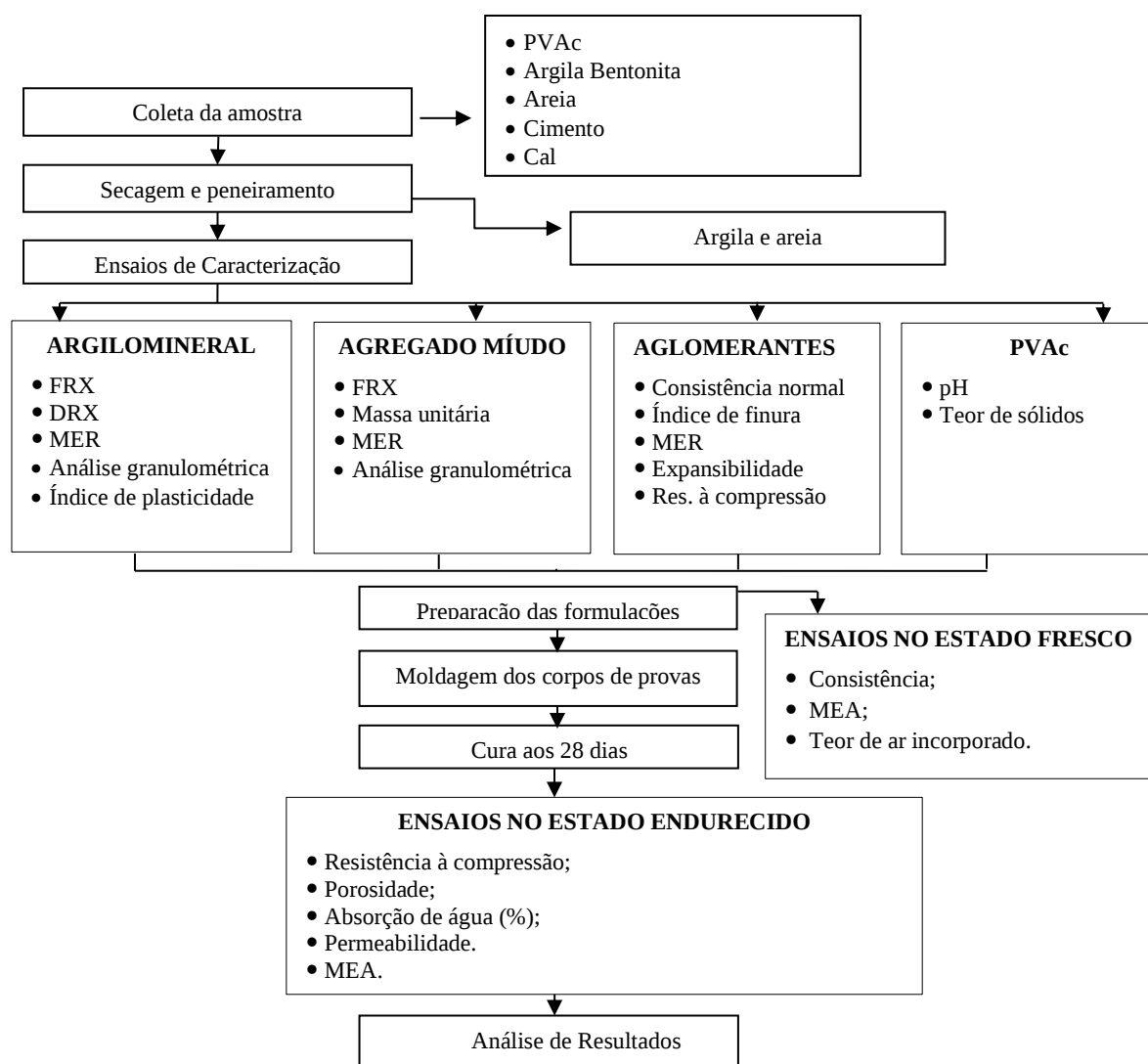


Figura 9 – Estrutura da metodologia, (Própria autoria, 2021).

3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

Nesse presente estudo, pretende-se analisar as características químicas e físicas, dos materiais utilizados na elaboração das argamassas, com a finalidade de avaliar os efeitos e a viabilidade da incorporação das adições: PVAc e argila bentonita.

Os ensaios de Raio X – DRX e análise química por Fluorescência de Raios X, foram realizados no laboratório de física da Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão (UFS), enquanto os demais ensaios, foram realizados no laboratório de materiais de construção do Instituto Federal de Sergipe, Campus Estância (IFS).

Argila utilizada foi adquirida do mesmo lote utilizado na defesa de mestrado de Correia (2020) “Influência da granulometria do vidro soda-cal de embalagem nas propriedades de sinterizados produzidos a partir de argila usada na indústria cerâmica do Estado de Sergipe”, a qual foi coletada do município de Divina Pastora (SE). Por conta disso, os resultados dos ensaios de caracterização por Raios X – DRX e análise química por Fluorescência de Raios X, foram compartilhados por Correia (2020), para ser usados na presente pesquisa. Essa argila, necessitou ser destorroada em um almofariz de porcelana e moída em um moinho de martelos, e em seguida foi passada na peneira de abertura de 150 μm . Após esse processo físico, a argila foi seca em estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e submetida aos ensaios tecnológicos descritos no Quadro 2.

Ensaio	Normas ou procedimentos utilizados
Análise química	Análise dos componentes químicos por Fluorescência de Raios X
Análise granulométrica	ABNT NBR 7181:2018 - Solo - Análise granulométrica.
Massa específica aparente	ABNT NBR 6458:2017 - Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica.
Índice de plasticidade	ABNT NBR 7180:2016 - Solo - Determinação do limite de plasticidade.
Análise mineralógica	Caracterização mineralógica por difratometria de Raios – X DRX

Quadro 2 – Ensaios de caracterização do argilomineral (Própria autoria, 2021).

O agregado miúdo foi adquirido de uma jazida localizada na cidade de Estância (SE). Esse agregado foi seco em estufa, a uma temperatura de $105 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas e, posteriormente, foi passado em peneira com abertura de malha de 1,18 mm. A caracterização do agregado miúdo foi realizada mediante aos ensaios, como apresentados no Quadro 3:

Ensaio	Normas ou procedimentos utilizados
Massa unitária	ABNT NBR NM 45:2006 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios
Análise granulométrica	ABNT NBR NM 248:2003 - Agregados - Determinação da composição granulométrica
Massa específica aparente	ABNT NBR NM 52:2009- Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente
Análise química	Análise dos componentes químicos por Fluorescência de Raios X

Quadro 3 – Ensaios de caracterização do agregado miúdo, (Própria autoria, 2021).

Foram utilizados como aglomerantes hidráulicos, CP V-ARI-RS (Cimento Portland de alta resistência inicial - Resistente a sulfatos), e cal de natureza hidráulica CH I. O cimento e a cal, foram submetidos aos ensaios especificados no Quadro 4.

Ensaio	Normas ou procedimentos utilizados
Consistência Normal	ABNT NBR 16606:2018 - Cimento Portland - Determinação da pasta de consistência normal
Resistência à compressão	ABNT NBR 7215:2019 (Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos).
Índice de finura	ABNT NBR 11579:2013 - Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 μm (nº 200)
Massa específica	ABNT NBR 16605:2017 - Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica
Expansibilidade	ABNT NBR 11582:2016 - Cimento Portland - Determinação da expansibilidade Le Chatelier.

Quadro 4 – Ensaio de caracterização dos aglomerantes, (Própria autoria, 2021).

A caracterização do acetato de polivinila (PVAc), utilizado como adição, foi submetido aos ensaios descritos no Quadro 5.

Ensaio	Normas ou procedimentos utilizados
pH	Determinação do pH, por meio de pHmetro portátil
Teor de sólidos	ABNT NBR 9349:2015 - Tintas e colas para fundição - Determinação do teor de sólidos - Método de ensaio

Quadro 5 – Ensaio de caracterização do aditivo polimérico, (Própria autoria, 2021).

3.1.1 Análise química por FRX

A técnica de fluorescência de Raios X (FRX), é utilizada para a determinação de composições químicas de amostras sólidas ou em forma de pó. Por meio desse procedimento, foram determinados os percentuais de óxidos presentes na argila, areia, cal e cimento, uma vez que os óxidos influenciam nas propriedades da argamassa. O ensaio ocorreu através de medidas semiquantitativas, realizadas em vácuo, em um equipamento Bruker S8-Tiger 4KW, utilizando amostras com massa em torno de 20 g seca e prensada, exposto em uma atmosfera de gás He, submetidas a irradiação por feixes de Raios X fluorescente, emitindo uma energia discreta no material, e analisando por meio da sua dispersão.

3.1.2 Análise granulométrica

Foram realizadas as análises granulométricas da argila, areia e cal, para determinar as dimensões das partículas. As matérias-primas foram colocadas na estufa a 105 ± 5 °C, por 24h,

para que fosse eliminada toda a umidade. A análise granulométrica da argila foi realizada de acordo com a ABNT NBR 7181:2018. O método de sedimentação abordado na ABNT NBR 7181:2018, foi utilizado para definir a dimensão dos grãos da cal hidratada.

A dimensão máxima do agregado miúdo, assim como as frações que o compõem, foram obtidas segundo a ABNT NBR NM 248:2003, por meio de um conjunto de peneiras acoplada a um vibrador mecânico, em uma frequência de 5 Hz, por 5 minutos.

3.1.3 Análise mineralógica Raios X-DRX

A difração de Raios X-(DRX), é uma técnica utilizada na determinação a nível atômico, para identificar estruturas cristalinas, por meio de incidência de Raios X. Esse procedimento foi empregado para identificar as fases cristalinas da argila, cimento, cal e areia, de acordo com os padrões obtidos no banco de dados do ICSD (*Inorganic Crystal Structure Database*), e analisados pelo software Match, versão Demo. Para a realização desse método, foi necessário que a argila e areia, fossem secas em estufa a uma temperatura de 110 °C por 24 h, e posteriormente, passadas em uma peneira de abertura de malha 150 µm. Foi usado um equipamento D8-Advance Bruker, que aplica radiação $Cu K_{\alpha 1}$ ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$) em modo de varredura contínua, em intervalo angular de 5 a 70° (2 θ), com velocidade de varredura 1°/min.

3.1.4 Massa unitária

O ensaio foi realizado de acordo com a ABNT NBR NM 45:2006, método A a qual determina a massa unitária, para o material seco e compactado. Esse método consiste na diferença de massa entre o recipiente vazio e o recipiente cheio de material, sobre o volume do recipiente. O método foi adaptado para um cilindro de volume $1,005 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ e massa 0,150 kg, e utilizado para a determinação da massa unitária da areia, argila, cal e cimento.

Foi adotado uma compactação em três camadas, com 25 golpes cada, com altura de queda do recipiente até a mesa $4 \pm 1 \text{ cm}$, como mostra a Figura 10.

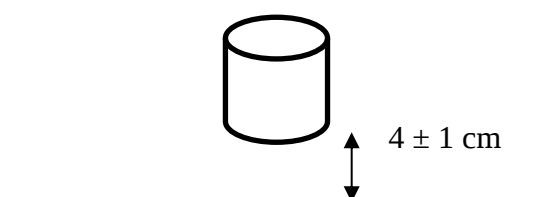


Figura 10 – Ensaio de massa unitária, (Própria autoria, 2021).

3.1.5 Massa específica real da cal e da argila

A determinação da massa específica da cal e da argila foram obtidas por meio de uma adaptação da ABNT NBR 6458:2017, usando um picnômetro de hélio, modelo AccuPyc II 1340 da Micromeritics, de 50ml.

3.1.6 Teor de sólidos do PVAc

O teor de sólidos foi determinado de acordo com a ABNT NBR 9349:2015 (Tintas e colas para fundição - Determinação do teor de sólidos), pelo método de ensaio, utilizando uma balança de infravermelho, modelo Marte, com potência de 220V, como mostra a Figura 11. O equipamento, foi calibrado para uma temperatura de $160^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 10 min, e um erro relativo $\varepsilon < 0,01$ g.

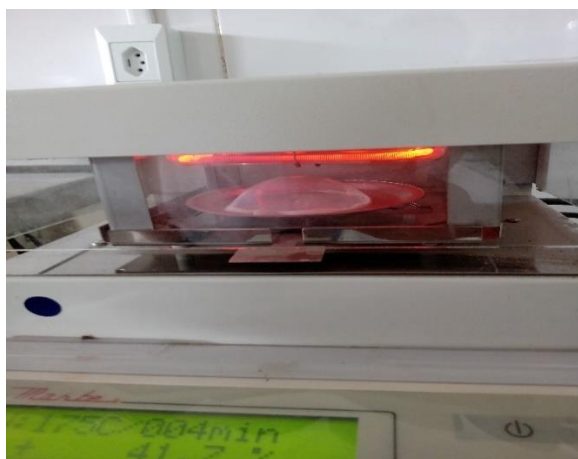


Figura 11 – Ensaio de teor de sólidos do PVAc, (Própria autoria, 2021).

3.1.7 pH do PVAc

A determinação do pH do polímero, foi obtido por meio de um pHmetro digital portátil, da marca DEL LAB, modelo DL-400P. O pHmetro foi calibrado de acordo com as recomendações do fabricante. Para a realização do ensaio, foi determinado um valor em massa da amostra de PVAc, em balanças eletrônica e calibradas, com precisão de 0,001g, e posteriormente, calculando a porcentagem de água em função da massa de PVAc, para diluições da amostra. Essa análise permite compreender o comportamento do pH do polímero, quando diluído na água de amassamento.

3.2 FORMULAÇÕES DAS ARGAMASSAS

Após a caracterização de todas as matérias-primas da argamassa, foram elaboradas formulações a partir do traço referência 1:1:4:1,43 (cimento: cal: areia: água) em volume, comumente empregado na produção de argamassa de revestimento. A pesquisa foi dividida em duas etapas: a primeira etapa consiste na preparação das formulações (B: AP₂, C: AP₅ e D: AP₁₀), adicionando PVAc, variando de 2% a 10%, e a segunda etapa contendo a adição de PVAc mais a incorporação de argilomineral em proporções variáveis, sendo adicionado 5% de argila nas formulações (E: AP₂A₅, F: AP₅A₅ e G: AP₁₀A₅), 10% de argila nas formulações (H: AP₂A₁₀, I: AP₅A₁₀ e J: AP₁₀A₁₀) e 20% de argila nas formulações (K: AP₂A₂₀, L: AP₅A₂₀ e M: AP₁₀A₂₀), conforme a Tabela 2.

Os polímeros foram adicionados em função do volume total de argamassa produzida, enquanto o argilomineral foi adicionado em relação a massa do cimento, estando de acordo com o levantamento bibliográfico: Costa, *et al.* (2015), Bayoumi, *et al.* (2008), Hu et al (2019) e Liu et al (2020).

Tabela 2 – Formulações teste da argamassa polimérica.

	Acetato de Polivinilo (PVAc)	Argilomineral	Nomenclatura
PD	-	-	REF.
B	2%	-	AP ₂
C	5%	-	AP ₅
D	10%	-	AP ₁₀
E	2%	5%	AP ₂ A ₅
F	5%	5%	AP ₅ A ₅
G	10%	5%	AP ₁₀ A ₅
H	2%	10%	AP ₂ A ₁₀
I	5%	10%	AP ₅ A ₁₀
J	10%	10%	AP ₁₀ A ₁₀
K	2%	20%	AP ₂ A ₂₀
L	5%	20%	AP ₅ A ₂₀
M	10%	20%	AP ₁₀ A ₂₀

Fonte: Própria autoria (2021).

Legenda:

AP₂₋₁₀: Traço com adição de 2% a 10% de acetato de polivinilo (PVAc) em relação ao volume de argamassa.

AP₂₋₁₀A₅: Traço com adição de 2% a 10% de PVAc, mais 5% de argila em relação a massa do cimento.

AP₂₋₁₀A₁₀: Traço com adição de 2% a 10% de PVAc, mais 10% de argila em relação a massa do cimento.

AP₂₋₁₀A₂₀: Traço com adição de 2% a 10% de PVAc, mais 20% de argila em relação a massa do cimento.

3.3 CONVERSÃO DE TRAÇO VOLUME PARA TRAÇO MASSA

A proporção de materiais que compõem as argamassas, influencia diretamente as suas propriedades, no estado fresco e endurecido, por se tratar de materiais com composições químicas e aspectos físicos (granulometria, porosidade e textura), diferentes. Desta forma, a metodologia utilizada para medição dos materiais, inicialmente, medidos em volume, e posteriormente, convertidos em massa, é relevante por se tratar de um método que permite uma determinação suficientemente precisa da quantidade de cada componente, levando em consideração a sua massa unitária (CALHAU, 2000).

Após a especificação das massas unitária da cal, cimento, areia e argila, foi realizada a conversão do traço volume para o traço massa, utilizando a Fórmula 2.

$$\frac{P_{pcim} \cdot \delta_{cim}}{\delta_{cim}} : \frac{P_{pcal} \cdot \delta_{cal}}{\delta_{cim}} : \frac{P_{pagr} \cdot \delta_{agr}}{\delta_{cim}} \quad (2)$$

Onde, podemos dizer que:

$P_{pv_{cim}}$ = proporção de cimento no traço da argamassa, em volume aparente, em cm^3 ;

$P_{pv_{cal}}$ = proporção de cal no traço da argamassa, em volume aparente, em cm^3 ;

$P_{pv_{agr}}$ = proporção de agregado no traço da argamassa, em volume aparente, em cm^3 ;

δ_{cal} = massa unitária da cal, no estado solto, em g/cm^3 ;

δ_{agr} = massa unitária do agregado, no estado solto, em g/cm^3 ;

δ_{cim} = massa unitária do cimento, no estado solto, em g/cm^3 .

Posteriormente a conversão do traço volume, para o traço massa, como mostra a Tabela 3, foi calculado o consumo de cimento de acordo com uma adaptação do método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), em que leva em consideração o volume de argamassa a ser produzida, sobre a somatória da razão do traço massa, pela massa específica de cada componente, como mostra a Fórmula 3.

Tabela 3 – Conversão do traço volume para traço massa

Traço em volume Referência	Traço em massa Referência	Composição do traço
1:1:4:1,43	1:0,8:5,1:1,2	Cimento:cal:areia:água

Fonte: Própria autoria (2021).

$$CC = \frac{\text{Volume de argamassa}}{\frac{P_{pc_{cim}}}{\gamma_{cim}} + \frac{P_{pc_{cal}}}{\gamma_{cal}} + \frac{P_{pc_{areia}}}{\gamma_{areia}} + a/c} \quad (3)$$

Onde:

$P_{pc_{cim}}$ = proporção de cimento no traço da argamassa, em massa g;

$P_{pc_{cal}}$ = proporção de cal no traço da argamassa, em massa g;

$P_{pc_{areia}}$ = proporção de agregado no traço da argamassa, em massa g;

γ_{cal} = massa unitária da cal, no estado solto, em g/cm³;

γ_{areia} = massa unitária do agregado, no estado solto, em g/cm³;

γ_{cim} = massa unitária do cimento, no estado solto, em g/cm³;

3.4 PREPARAÇÃO DAS ARGAMASSAS

Em seguida a caracterização dos materiais e definição das formulações, iniciou a fase de preparo das argamassas. Nesta etapa, os materiais de constituição foram devidamente pesados em balanças eletrônica e calibradas com precisão de 0,01g, e misturados em uma argamassadeira mecânica de eixo vertical e capacidade de 5 litros, Figura 12, garantindo a uniformidade de preparo e homogeneidade da mistura para todas as formulações ABNT NBR 7215:2019 (Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos).



Figura 12 – Homogeneização da argamassa, (Própria autoria, 2021).

O procedimento de preparo das argamassas consiste em misturar os aglomerantes (cimento e cal) com a água de amassamento, por 30 segundos em velocidade baixa, e posteriormente, acrescentar o agregado miúdo e misturar por 60 segundos em velocidade alta, depois com o auxílio de uma espátula metálica, por meio de raspagem, foi realizado a

desagregação do material que fica aderido na superfície da argamassadeira, e misturar novamente por mais 60 segundos em velocidade alta, obtendo no final um material homogêneo. O polímero PVAc adicionado nas formulações (B a M), foi dissolvido na água de amassamento, enquanto o argilomineral incrementado nas formulações (E a M), foi misturado junto com os aglomerantes (cimento e cal).

As argamassas foram submetidas aos ensaios no estado fresco, conforme especificado no Quadro 6.

Ensaio	Normas utilizadas
Teor de ar incorporado	ABNT NBR 13278:2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado
Determinação da consistência	ABNT NBR 13276:2016 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência
Massa específica aparente	ABNT NBR NM 52:2009- Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente

Quadro 6 – Ensaio técnico da argamassa polimérica no estado fresco, (Própria autoria, 2021).

Foram moldados doze corpos de prova cilíndricos, de acordo com a ABNT NBR 7215:2019, os quais foram utilizados para os ensaios de porosidade, absorção, resistência à compressão e permeabilidade. Nesta etapa de moldagem foi aplicado um óleo desmoldante nas fôrmas para evitar a fixação da argamassa no seu interior. O adensamento foi realizado manualmente, por meio de golpes com um soquete metálico, estando em concordância com a norma, sendo estabelecida quatro camadas, cada uma com 30 golpes, e finalizando com um rasamento da superfície.

Os corpos de prova, após a moldagem, foram envolvidos em um papel filme, para proteger os corpos de prova de qualquer ação externa que possa danificar ou influenciar no processo de cura inicial, durante as primeiras 24 horas. Após as 24 horas iniciais, onde os corpos de prova de argamassa apresentam resistência necessária para a desmoldagem, foram identificados, e seis dos doze corpos de prova cilíndricos foram submersos em um reservatório com água, até completar o processo de cura estabelecido em 28 dias, enquanto os demais foram envolvidos novamente no plástico filme e colocados em uma caixa térmica de isopor, mantendo uma temperatura ambiente e assegurando a umidade relativa do ar em 60%, de acordo com a metodologia adotada na pesquisa realizada por (BROCARD, *et al.*, 1960).

3.5 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO DA ARGAMASSA

A determinação da consistência, massa específica aparente e teor de ar incorporado, são propriedades importantes para a avaliação da trabalhabilidade da argamassa (SCHANKOSKI, 2015).

3.5.1 Consistência

De acordo com a ASTM C-270: 2019, foi definida a faixa de medida de consistência em 230 ± 10 mm como faixa ideal para argamassa de referência, através do espalhamento, após ser submetida a 30 golpes na mesa de consistência (*flow table*), como mostra a Figura 13.



Figura 13 – Ensaio de consistência, (Própria autoria, 2021).

3.5.2 Massa específica aparente

O ensaio de massa específica aparente foi realizado conforme uma adaptação da ABNT NBR 13278:2005, em que foi substituído o tubo de PVC por moldes metálicos conforme a ABNT NBR 7215:2019, e introduzindo quatro camadas, cada uma aplicando trinta golpes, ao invés das duas camadas com vinte golpes cada.

3.5.3 Teor de ar incorporado

A determinação do teor de ar incorporado, ocorreu de acordo com a ABNT NBR 13278:2005, através da Equação 3.

$$A = 100 \left(1 - \frac{d}{dt} \right) \quad (3)$$

Onde:

d = é o valor da densidade da argamassa no estado fresco, em g/cm^3 ;

dt = é o valor da densidade da massa teórica da argamassa, em g/cm^3 .

3.6 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO DA ARGAMASSA

O controle das características das argamassas no estado endurecido, é realizado através de um conjunto de ensaios normativos, que estabelece os requisitos mínimos para utilização (BAUER, 1994. v.2). As argamassas foram submetidas aos ensaios no estado endurecido conforme especificado no Quadro 7.

Ensaio	Normas utilizadas
Porosidade	ABNT NBR 9778:2009 – Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.
Absorção	ABNT NBR 9778:2009 – Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.
Permeabilidade	ABNT NBR 9779:2012 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade
Resistência à compressão	ABNT NBR 7215:2019 (Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos).

Quadro 7 – Ensaios técnicos da argamassa polimérica no estado endurecido, (Própria autoria, 2021).

3.6.1 Resistência à compressão

A resistência à compressão dos corpos de prova após cura de 28 dias, foi realizada de acordo com a ABNT NBR 7215:2019, utilizando uma prensa hidráulica da marca Contenco modelo Pavitest HD-200T, com velocidade de carga igual a 5 N/s, como ilustra a Figura 14.



Figura 14 – Ensaio de resistência à compressão, (Própria autoria, 2021).

3.6.2 Permeabilidade

O ensaio de permeabilidade foi realizado segundo a ABNT NBR 9779:2012 (Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade), que consiste em secar os corpos de prova em estufa a 105 ± 5 °C, por 72 h e determinar sua massa seca. Em seguida, submetê-los a ascensão de água pelo efeito de capilaridade, através dos poros existentes nas argamassas. Nesse ensaio, foi determinado uma faixa de (5 ± 1) mm, acima da face inferior dos corpos de prova de argamassa, e posicionados sobre apoios de modo, que não impeça a absorção e garanta a uniformidade, como ilustrado na Figura 15.a. Durante o ensaio, foi necessário fazer a reposição da água evaporada e absorvida, e determinar a massa e a altura em que a água percolou no corpo de prova com 1 h, 2 h, 3 h, 4 h, 6 h, 24 h, 48 h e 72 h.

Após as 72 horas, os corpos de prova foram rompidos por compressão diametral, e analisado a percolação da água pelo interior do corpo de prova, como ilustrado na Figura 15.b, contudo, os valores correspondentes a 48 e 72 horas foram desconsiderados, pois foram influenciados pelo desnível de água, devido a evaporação da água durante a realização do ensaio, não garantindo a faixa de (5 ± 1) mm.

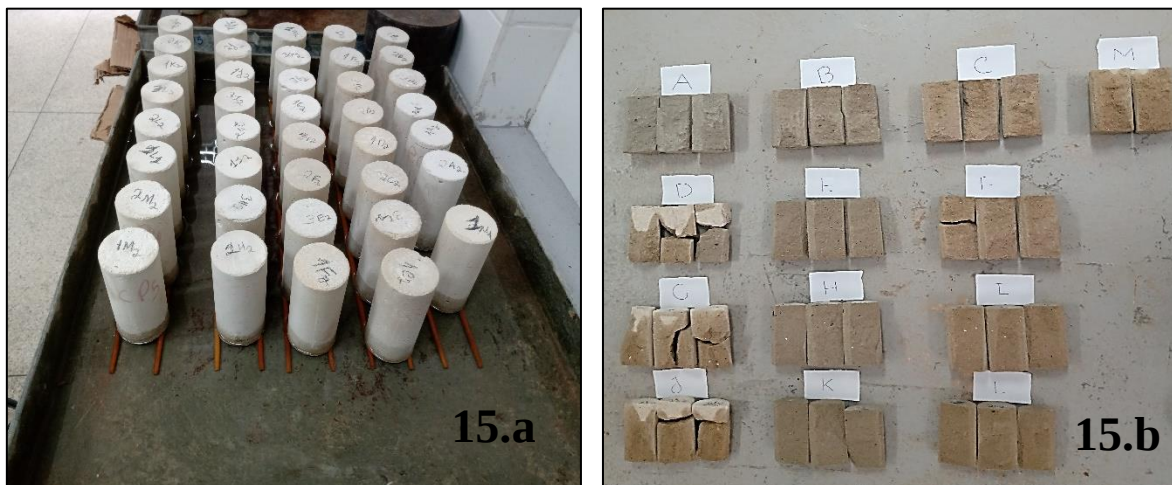


Figura 15 – Ensaio de permeabilidade, (a) durante o ensaio, (b) termino do ensaio, (Própria autoria, 2021).

3.6.3 Absorção de água

O ensaio de absorção foi realizado segundo a ABNT NBR 9778:2009 (Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica), que consiste na secagem dos corpos de prova por 72 h, para em seguida, se determinar sua massa seca. Posteriormente, devem ser submergidos em água em temperatura ambiente ($23 \pm$

2) °C por 72 h, para que os poros das argamassas sejam preenchidos. Posteriormente, deve-se submeter os corpos de prova, em água no estado de ebulição por 5 h, para que sejam eliminadas as bolhas de ar, que estão presentes na argamassa e na água. Após essa etapa, deve ser determinada sua massa submersa, por meio de uma balança hidrostática, e a massa saturada, como mostra a Figura 16.



Figura 16 – Ensaio de absorção, determinação da massa imersa, (Própria autoria, 2021).

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados dos ensaios de laboratório foram analisados através do método estatístico *ONE WAY ANOVA*, cuja técnica consiste na análise de variância entre os grupos de resultados, com significância de 95% ($p < 0,05$). A análise de variância procura comparar a variação resultante de fontes específicas com a variação entre os indivíduos que deveriam ser semelhantes. Em particular, a ANOVA testa se várias populações têm a mesma média comparando o afastamento entre as médias amostrais com a variação existente dentro das amostras. Para esta pesquisa, o aplicativo utilizado foi o programa Microsoft Excel 2010, que se encarregou de determinar os valores (valor-p) entre os resultados nas diferentes condições das amostras (WALPOLE, *et al.*, 2016).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esse capítulo foi dividido em seções, abordando: apresentação dos dados obtidos nos ensaios de caracterização das matérias-primas, estado fresco e endurecido da argamassa, análise dos resultados através do método estatístico *ONE WAY ANOVA*, apresentando uma confiabilidade de 95% e discussão dos resultados.

4.1 CARACTERIZAÇÕES DAS MATÉRIAS-PRIMAS

Essa seção abrangerá todos os resultados encontrados durante o desenvolvimento do programa experimental de caracterização das matérias-primas.

4.1.1 Caracterização do argilomineral

Por meio do ensaio de análise química utilizando a técnica de fluorescência de Raios X (FRX), constatou que a argila utilizada apresenta sílica e alumina como principais minerais constituintes, auxiliados com um alto teor de óxidos de cálcio e ferro, como apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Composição química da argila

Óxidos Presentes	PF	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	ZrO ₂	TiO ₂	SO ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃
%	2,9	52,0	18,0	13,0	7,9	3,7	1,4	3,1	-	1,0	-	2,89

Fonte: Própria autoria, 2021.

Essa argila é característica da região do Nordeste do Brasil em que se predomina o calcáreo devido a formação geológica (SANTOS, 1989). O teor de Alumina Al₂O₃, SiO₂ e a relação de (SiO₂/Al₂O₃), estão próximo dos valores clássicos para montmorilonita 2,36 (BOUSSEN, *et al.*, 2016). Esses valores, indicam maior porcentagem de quartzo livre, e os teores de óxidos alcalinos (Na₂O + K₂O), indicam a presença de feldspatos (CELIK, 2010).

Os resultados encontrados nos ensaios de massa específica real, massa unitária, índice de plasticidade, estão dispostos na Tabela 5. O índice de plasticidade da argila está classificado como medianamente plástico, enquanto a massa específica real e unitária estão de acordo com outros trabalhos (MAHMOUDI, *et al.*, 2008; CELIK, 2010; BOUSSEN, *et al.*, 2016).

entre as partículas, devido à redução de vazios, por conta do fator de empacotamento, resultando na melhoria da resistência mecânica e trabalhabilidade da argamassa (JOICHEM, 2012).

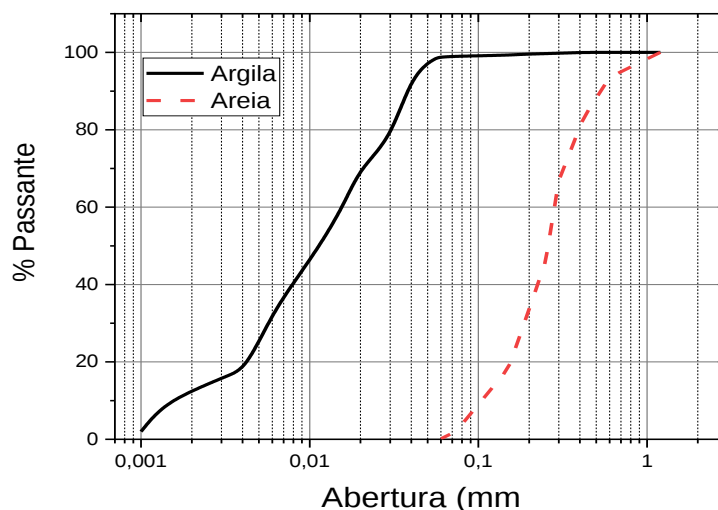


Figura 18 – Curva granulométrica da areia e argila, (Própria autoria, 2021).

4.1.2 Caracterização do agregado miúdo

Como apresentado na Tabela 6, por meio do resultado da análise química da areia, pode ser observado que a mesma é composta majoritariamente de sílica e alumina como principais minerais constituintes, seguido por alto teor de óxidos de ferro e dióxido de titânio. Esse tipo de areia é característico na confecção de argamassa de revestimento, estando de acordo com Paixão (2011).

Tabela 6 – Composição química da areia

Óxidos Presentes	PF	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	ZrO ₂	TiO ₂	SO ₂	TOTAL
%	-	85,0	3,7	1,0	3,0	0,5	-	-	0,5	5,3	0,2	100,0

Fonte: Própria autoria (2021).

Os resultados já discutidos do ensaio de análise granulométrica, ilustrado na Figura 18, forneceu os valores dos diâmetros dos grãos de areia, classificando o material como muito uniforme e bem graduado (CAPUTO, 2011).

Os resultados encontrados nos ensaios de massa específica real, massa unitária, diâmetro máximo, coeficiente de uniformidade, estão dispostos na Tabela 7. De acordo com Shutter (2004), a densidade da areia influencia na demanda de água de amassamento e na consistência da argamassa.

Tabela 7 – Resultados da caracterização da areia

Massa específica real (g/cm ³)	Massa unitária g/cm ³	Coeficiente de curvatura	Diâmetro máximo mm
2,68	1,64	2,8	1,18

Fonte: Própria autoria (2021).

4.1.3 Caracterização dos aglomerantes hidráulicos

Os resultados encontrados nos ensaios de caracterização do cimento e da cal, estão dispostos na Tabela 8. O cimento utilizado CP V-ARI-RS (Cimento Portland de alta resistência inicial - Resistente a sulfatos), apresenta uma alta resistência inicial à compressão e grande liberação do calor de hidratação, expansibilidade a quente dentro do limite (≤ 5 mm) estabelecido pela ABNT NBR 11582:2016. Contudo, a cal, possui baixa resistência à compressão e expansibilidade a quente (CASTRO, 2011).

Tabela 8 – Resultados da caracterização dos aglomerantes

Matérias-primas	Densidade aparente (g/cm ³)	Densidade real (g/cm ³)	Finura (%)	Consistência normal (%)	Expansibilidade (%)	Resistência à compressão (MPa)		
						1 dia	3 dias	7 dias
Cimento	1,19	3,149	1,92	35	3,9	20,7	30,5	35,7
Cal	0,94	2,71	12,0	-	0,8	-	-	-

Fonte: Própria autoria (2021).

4.1.4 Caracterização do polímero

Os resultados encontrados nos ensaios de caracterização do polímero PVAc, estão dispostos na Tabela 9. Além do valor do pH da amostra de PVAc, foram determinados valores em que o material se encontra diluído em água. Foi observado que ele no estado concentrado corresponde a 3,76 estando em concordância com Silva (2015). Em diluição, apresenta um pH máximo igual a 3,80 referente a 50% de diluição em água.

Tabela 9 – Resultados da caracterização do polímero PVAc

pH	Teor de sólidos %	Densidade aparente (g/cm ³)
3,760	36,5	1,03

Fonte: Própria autoria (2021).

4.2 PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

Os resultados da relação a/c utilizada na preparação das formulações, indica que à medida que o PVAc foi adicionado nas formulações de argamassa, a relação de água-cimento diminuiu em relação a formulação PD, e ao passo que o teor de adição de PVAc aumenta da formulação B: AP₂ até a D: AP₁₀, reduz a água de amassamento, necessária para obter a consistência estabelecida em (230 ± 10) mm, consequentemente, essa redução resulta em ganhos na trabalhabilidade, como pode ser observado na Figura 19.

Contudo, de acordo com os dados apresentados nas Figuras 19, 20 e 21, à medida que foi introduzindo a argila bentonita nas formulações E: AP₂A₅ a M: AP₁₀A₂₀, a trabalhabilidade diminuiu, pois, a massa específica aparente e o teor de ar incorporado também são fatores que influenciam na trabalhabilidade da argamassa em seu estado fresco (COSTA, *et al.*, 2015).

Conforme o teor de argila foi incorporado nas argamassas especificamente nas formulações com o mesmo teor de PVAc, a relação a/c também aumentou gradativamente, como por exemplo, a comparação entre as formulações (B: AP₂, E: AP₂A₅, H: AP₂A₁₀ e K: AP₂A₂₀). Provavelmente, esse aumento é devido a capacidade da argila conferir plasticidade, em razão da presença de montmorilonita em sua composição (SANTOS, 1989; LIU, *et al.*, 2020). O que pode ser comprovado, analisando a formulação K: AP₂A₂₀, constituída por 2% de PVAc e 20% de argila, correspondendo ao maior fator a/c = 1,33.

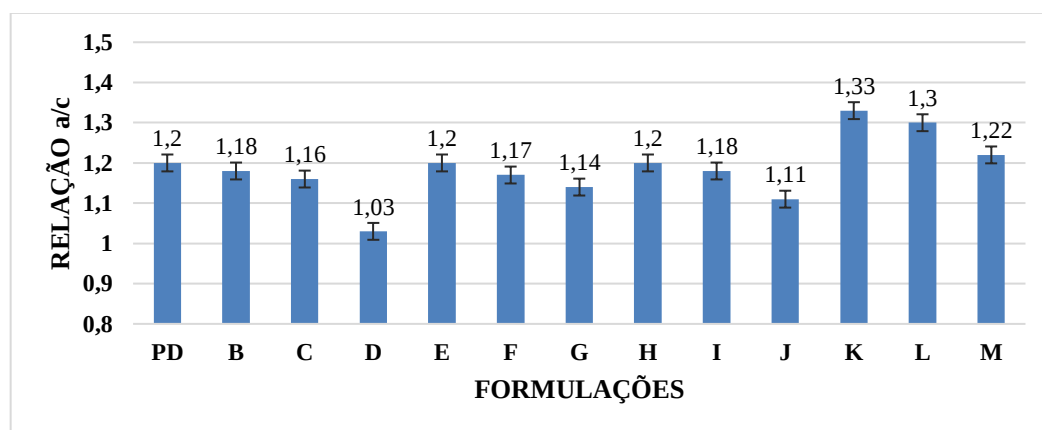


Figura 19 – Relação a/c, (Própria autoria, 2021).

Conforme os resultados observados na Figura 20, obtidos no ensaio de teor de ar incorporado na argamassa, a incorporação de PVAc na matriz cimentícia favoreceu ao aumento do teor de ar incorporado nas formulações (B: AP₂ até a D: AP₁₀), provavelmente por consequência da sua alta atividade superficial, e formação de bolhas de ar que surgem durante

a mistura, as quais promovem um deslizamento entre as partículas do agregado miúdo e o aglomerante hidráulico (COSTA, *et al.*, 2015; SILVA, 2015). As adições de PVAc nas formulações (B: AP₂ até a D: AP₁₀), apresentaram pequeno aumento em comparação com a formulação PD. Entretanto, a formulação D: AP₁₀, apontou um elevado aumento de ar incorporado, comprovando que a porcentagem de PVAc adicionada na argamassa, tem forte influencia no incremento de ar incorporado no ato da mistura.

À proporção que foi aumentando a adição de argila, o teor de ar incorporado foi diminuindo, especialmente para as formulações I: AP₅A₁₀ e L: AP₅A₂₀, indicando que os melhores teores de adições de PVAc e argila, necessários para obter uma argamassa com baixo teor de ar incorporado, talvez estejam próximo dos percentuais que foram adicionados nessas formulações. Essa diminuição do ar incorporado, pode ser devido à argila bentonita ser rica em montmorilonita que incha na presença de água, através de reações de troca iônica com os cátions orgânicos e inorgânicos presentes na argamassa, resultando na expansão das lamelas da argila, favorecendo a ocupação de espaços vazios, podendo melhorar o empacotamento após cura da argamassa (ANADÃO, 2012).

Os resultados obtidos no ensaio de teor de incorporado na argamassa, obteve um valor de $F = 5876,33$, valor- $P = 3,24E-22$ e $F_{\text{crítico}} = 2,60$, sendo que $F > F_{\text{crítico}}$ e o valor- P extremamente pequeno, os dados apresentados na Figura 20, possuem confiabilidade de 95 %.

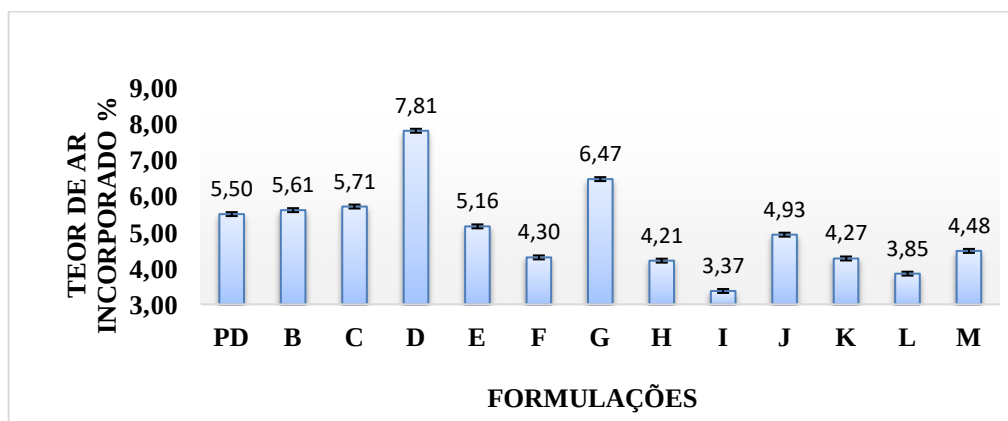


Figura 20 – Teor de ar incorporado na argamassa, (Própria autoria, 2021).

A massa específica aparente da argamassa no estado fresco, está diretamente relacionada com a relação água/cimento e o teor de ar incorporado. Na Figura 21, foi observado redução da massa específica aparente em relação a formulação PD, à medida que foi incorporado PVAc nas formulações (B: AP₂ até a D: AP₁₀), principalmente para a formulação D: AP₁₀. Assim como ocorreu na análise do teor de ar incorporado, a adição de PVAc tem forte

influência na determinação da massa específica, provavelmente, devido a incorporação de ar no ato de mistura, promovendo o surgimento de espaços vazios (NEVILLE, 2013).

Adicionalmente, quando foi incorporado argila na mistura, a massa específica aparente aumentou levemente entre as formulações com 5 % de adição de PVAc (F: AP₅A₅, I: AP₅A₁₀, e L: AP₅A₂₀), possivelmente, esse aumento está relacionado com a capacidade de expansão das lamelas da argila. Porém, entre as formulações contendo 2 % e 10 % de adição de PVAc, os resultados de massa específica aparente, permaneceram os mesmos, levando em consideração o desvio padrão. Sendo assim, a combinação de PVAc e argila, com melhor eficiência, foi a de 2 % de PVAc e 10 % argila, utilizada na formulação H: AP₂A₁₀, obtendo o valor de massa específica mais próximo da formulação PD.

Os resultados obtidos no ensaio de massa específica aparente, obteve um valor de $F = 101,82$, valor- $P = 1,08E-18$ e $F_{\text{crítico}} = 2,15$, sendo que $F > F_{\text{crítico}}$ e o valor- P extremamente pequeno, os dados apresentados na Figura 21, possuem confiabilidade de 95 %.

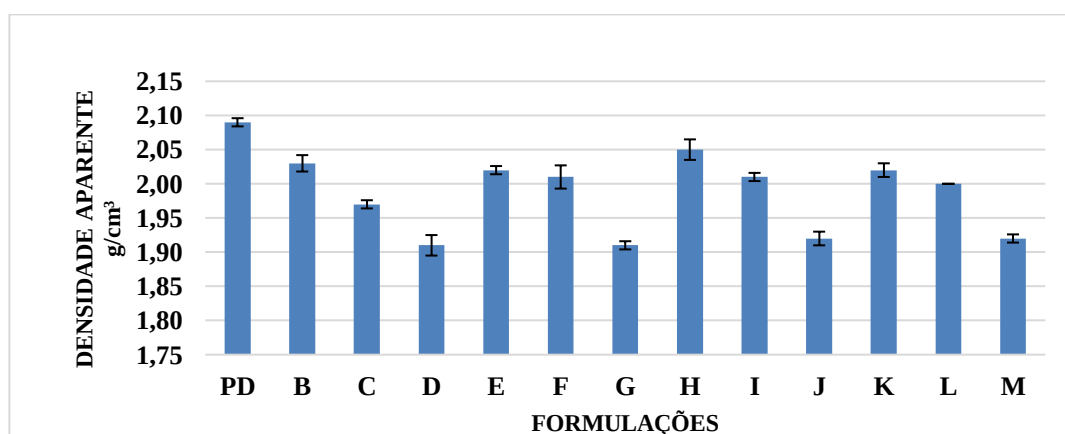


Figura 21 – Massa específica aparente da argamassa no estado fresco, (Própria autoria, 2021).

De acordo com a ABNT NBR 13281:2005, adotamos a classificação D6 para a massa específica aparente da argamassa em seu estado fresco ($>2,0 \text{ g/cm}^3$), como o resultado necessário para obter uma boa argamassa. Dessa forma, as argamassas (PD, B: AP₂, E: AP₂A₅, F: AP₅A₅, H: AP₂A₁₀, I: AP₅A₁₀ e K: AP₂A₂₀), apresentam um bom resultado.

A formulação D: AP₁₀, com adição de 10% PVAc, foi a que apresentou o menor valor da relação a/c, menor massa específica aparente (considerando o desvio padrão) e maior teor de ar incorporado. Esses fatores juntos, apontam que essa argamassa é a que apresentou melhor trabalhabilidade.

4.3 PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO

Nos corpos de prova ensaiados de acordo com os procedimentos descritos na ABNT NBR 9778:2009, foram observados aumento de absorção de água, conforme ilustrado na Figura 22. Segundo a análise dos dados obtidos nesse ensaio, foi constatado que à medida que o teor de PVAc é adicionado na mistura (B: AP₂ até a D: AP₁₀), a absorção de água aumenta em relação a formulação PD.

Com a incorporação de argila, essa absorção de água foi potencializada em comparação com as formulações que possuem apenas à adição de PVAc, tal como (B: AP₂, E: AP₂A₅, H: AP₂A₁₀ e K: AP₂A₂₀). Esse aumento de absorção em relação a formulação PD, pode ser devido a capacidade do PVAc aumentar a quantidade do teor de ar incorporado, favorecendo um suposto aumento da quantidade de poros, o qual talvez tenha se intensificado por causa das adições argila.

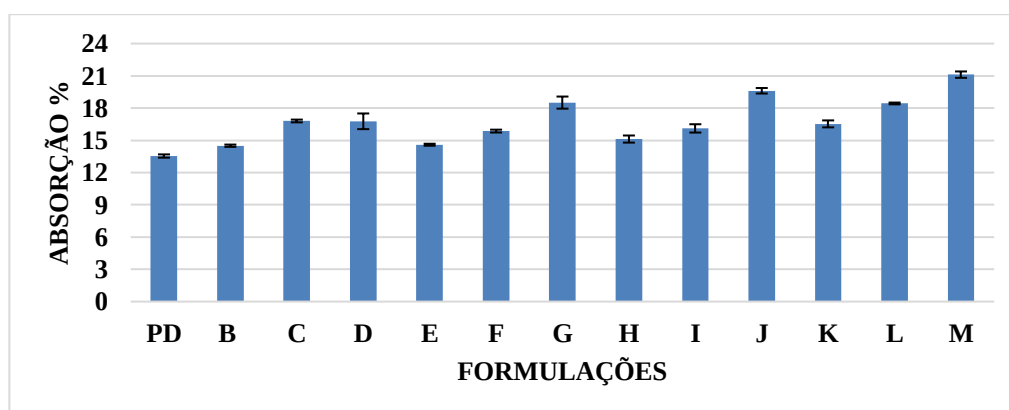


Figura 22 – Resultados da absorção, (Própria autoria, 2021).

Analisando a resistência à compressão das argamassas, conforme os dados apresentados na Figura 23, identificamos que para todas as formulações em mesmas condições de cura, a resistência à compressão das formulações curadas a 60 % de umidade (cura seca), apresentaram maiores resistências em comparação com as formulações curadas com 100 % de umidade (cura úmida), estando de acordo com os resultados obtidos por Carvalho (2012).

Esse melhor desempenho das argamassas curadas a 60 % de umidade, pode estar relacionado com o processo de cura do PVAc, devido a necessidade da perda de água de composição, para que o polímero passe do estado viscoso para o estado de transição vítrea, se tornando rígido (CANEVAROLO, 2006; GOSSELER, 2020). Essa evaporação do solvente, faz

com que as cadeias do polímero se unam, criando uma estrutura rígida na forma de um polímero compacto e sólido (MANO; DIAS; OLIVEIRA, 2004).

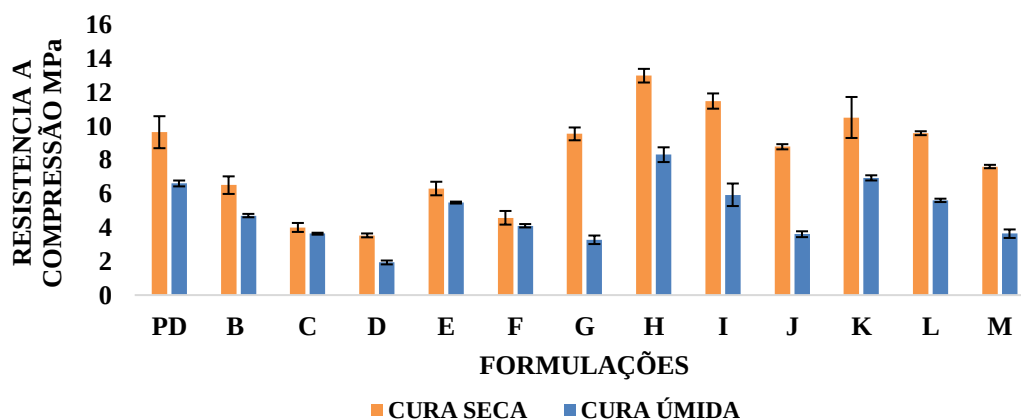


Figura 23 – Resultados da resistência à compressão, (Própria autoria, 2021).

As formulações com adições de polímero (B: AP₂ até a D: AP₁₀), apresentaram diminuição da resistência à compressão em relação a formulação PD, conforme foi adicionado o PVAc. A diminuição da resistência a compressão, pode ter ocorrido, devido a adição de PVAc na argamassa, resultar em uma reação de hidrólise durante a formação do gel cimentício no processo de cura da argamassa. Essa reação, ocorre por meio de uma interação química com o hidróxido de cálcio, o qual é o produto da hidratação do cimento, resultando na formação de cristais de acetato de cálcio, como ilustrado na Figura 24 (WANG, *et al.*, 2016).

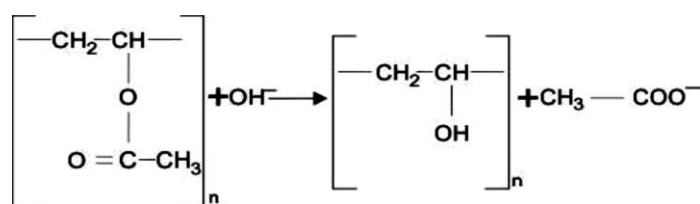


Figura 24 – Reação de hidrólise do PVAc, na pasta de cimento, (wang, *et al.*, 2016).

Adicionalmente, à medida que foi incorporado argila na argamassa, a resistência à compressão aumentou em relação as formulações aditivadas somente pelo PVAc (B: AP₂ até a D: AP₁₀), e analisando o efeito da variação do percentual de argila na resistência à compressão, as formulações com incorporação de 10 % de argila (H: AP₂A₁₀ e I: AP₅A₁₀), mostraram melhor resistência à compressão. Se tratando da porcentagem de PVAc, nas formulações contendo argila, as adições de 2 % de PVAc (E: AP₂A₅, H: AP₂A₁₀ e K: AP₂A₂₀), mostraram melhores

resultados de resistência à compressão, enquanto as adições de 10 % de PVAc (G: AP₁₀A₅, J: AP₁₀A₁₀ e M: AP₁₀A₂₀), apresentaram os piores resultados. É provável que esse efeito tenha ocorrido devido a capacidade da argila absorver a água livre, e expandir seu volume, aumentando a densidade da argamassa, por meio da ocupação dos espaços vazios (ANADÃO, 2012). Outra possível explicação, é que à adição de 10% de argila rica em montmorilonita, promove a formação de aluminatos e silicatos de cálcio, através de reações com as ligações químicas insaturadas (Al–O e Si–O), influenciando positivamente no processo de hidratação do cimento (LIU *et al*, 2020).

A formulação (H: AP₂A₁₀), obteve aumentos de 34,68% e 25,76% da resistência a compressão, respectivamente para as condições de cura seca e cura úmida. Os resultados obtidos, estão em concordância com Liu, *et al.* (2020), que obteve um aumento de 70% e Hu, *et al.* (2019), que obteve 61,48%, em seus estudos, sobre os efeitos da adição da argila bentonita nas propriedades mecânicas das argamassas de cimento.

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão, obteve um valor de $F = 93,95$, valor-P = $2,99E-18$ e $F_{\text{crítico}} = 2,15$, sendo que $F > F_{\text{crítico}}$ e o valor-P extremamente pequeno, os dados apresentados na Figura 23, possuem confiabilidade de 95 %.

Segundo a classificação da resistência à compressão das argamassas da ABNT NBR 13281:2005, adotamos que a melhor resistência a compressão deve ser $> 8,0$ MPa. Assim, somente as formulações (PD, G: AP₁₀A₅, H: AP₂A₁₀ I: AP₅A₁₀, K: AP₂A₂₀ e L: AP₅A₂₀) atenderam a esse requisito. Visto que, as vigas baldrame recebem carregamentos, que aplicam cargas de compressão. Sendo assim, as argamassas utilizadas para impermeabilização, devem resistir a essa solicitação, sem apresentar fissuras, que possam comprometer a impermeabilização da viga baldrame.

O ensaio de massa específica aparente da argamassa em seu estado endurecido, apresentou comportamento semelhante ao da propriedade analisada no estado fresco, discutida anteriormente no item 4.2. Assim como no estado fresco, a incorporação de PVAc promoveu a diminuição da massa específica aparente da argamassa em seu estado endurecido, e a incorporação de argila promoveu aumento. Tal como no estado fresco, o PVAc pode ter promovido o aumento do índice de vazios, e a argila utilizada por possuir uma grande quantidade de quartzo livre e teores de óxidos alcalinos ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), ter reduzido a quantidade e diâmetro dos poros, aumentando a massa específica da argamassa (CELIK, 2010). Essa provável explicação, justifica o aumento da massa específica aparente na formulação (L: AP₅A₂₀), apresentada na Figura 25.

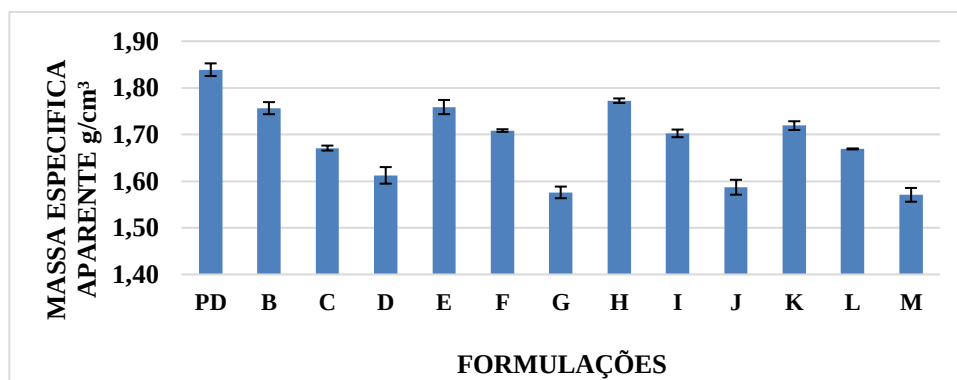


Figura 25 – Resultados da massa específica aparente das argamassas, (Própria autoria, 2021).

De acordo com a ABNT NBR 13281:2005, adotamos a classificação M6 para a massa específica aparente da argamassa em seu estado endurecido ($>1,8 \text{ g/cm}^3$), como o resultado necessário para obter uma boa argamassa. Dessa forma, só a formulação PD, apresentou um bom resultado.

Os resultados obtidos no ensaio de massa específica aparente da argamassa no estado endurecido, obteve um valor de $F = 41,68$, valor- $P = 7,1E-14$ e $F_{\text{crítico}} = 2,15$, sendo que $F > F_{\text{crítico}}$ e o valor- P extremamente pequeno, os dados apresentados na Figura 25, possuem confiabilidade de 95 %.

De acordo com Figura 26, foi observado aumento da permeabilidade de água em todas as formulações à medida que se aumentava o tempo de exposição. O PVAc e a argila adicionados nas argamassas, diminuíram a permeabilidade em relação a formulação PD, com exceção da formulação C: AP₅.

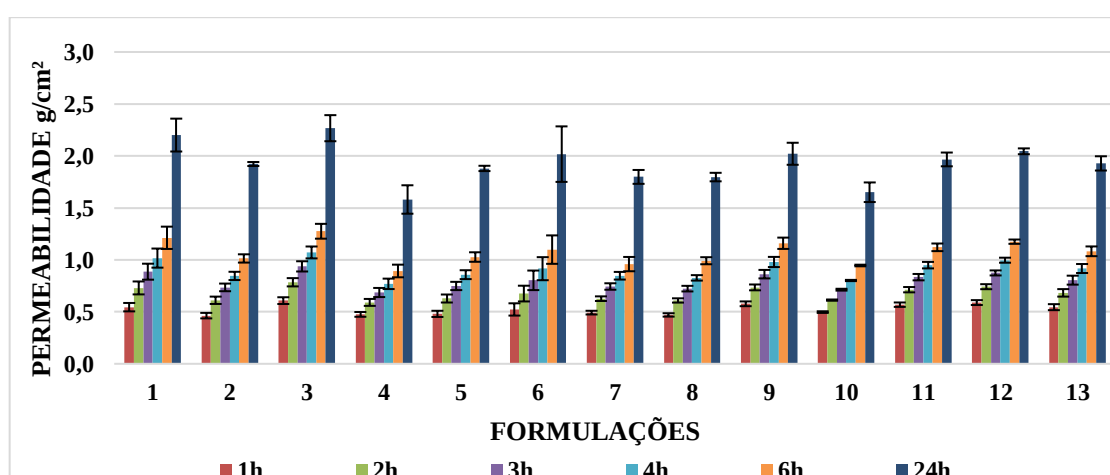


Figura 26 – Resultados da permeabilidade das argamassas, (Própria autoria, 2021).

A diminuição da permeabilidade, nas formulações com adição de PVAc na argamassa, possivelmente está relacionada com a formação de uma substância semelhante à de uma

membrana, que envolve os grãos de cimento hidratado e areia, tornando mais compacta a zona de transição interfacial entre o cimento e o agregado, possibilitando o preenchimento dos poros, resultando na diminuição do seu diâmetro (ZHAO, *et al.*, 2011). Segundo Gosseler (2020), essas pequenas adições de argilas ricas em montmorilonita, promovem melhorias nas propriedades de adesão e resistência a umidade do PVAc devido a capacidade de expansão de suas lamelas, o que favorece a compactação.

De acordo com Hu, *et al.* (2019), outra possível explicação para a diminuição da permeabilidade das argamassas, com incorporação de argila, se deve ao refinamento da estrutura porosa, por razão da formação de agulhas que crescem na superfície ou na borda da bentonita, resultando em caminhos de penetração mais tortuosos, melhorando o desempenho formado pelo gel cimentício da argamassa, demonstrado na Figura 27.

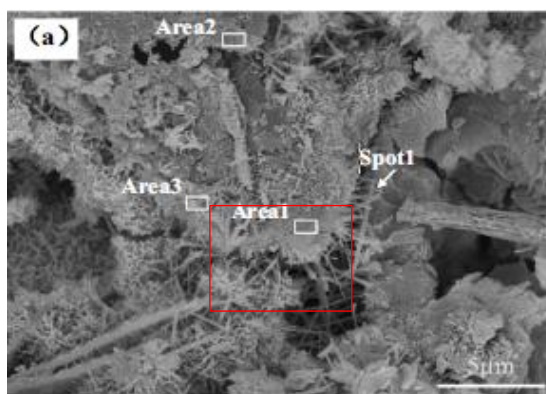


Figura 27 – MEV da argamassa com adição de Bentonita após 28 dias de cura, (LIU, *et al.*, 2020).

Os valores obtidos de permeabilidade estão compatíveis com Salomão (2016) e Hermann (2019), que afirmam que testaram vários aditivos em argamassa e que valores após 5h de exposição devem ficar em torno de $2,0 \text{ g/cm}^2$. Contudo, para que as argamassas possam impedir a umidade ascendente percole através dos poros, e provoque patologias nas alvenarias cerâmicas, os valores de permeabilidade devem ser inferiores a $0,6 \text{ g/cm}^2$ após 24 h de exposição à água. Portanto, nenhuma das formulações de argamassa desenvolvidas apresentaram resultados satisfatórios de permeabilidade (HERRMANN, *et al.*, 2019).

Os resultados obtidos no ensaio de permeabilidade da argamassa, obteve um valor de $F = 138,84$, valor-P = $8,06\text{E}-21$ e $F_{\text{crítico}} = 2,15$, sendo que $F > F_{\text{crítico}}$ e o valor-P extremamente pequeno, os dados apresentados na Figura 25, possuem confiabilidade de 95 %.

Devido a divergência apresentada pelas propriedades abordas, em definir a melhor formulação, foi adotado a análise de escolha por objetivo, atribuindo o valor 1,00 (adimensional) para os melhores resultados das propriedades e o valor 0,00 para os piores

resultados. Os demais resultados foram encontrados por meio de interpolações. A Tabela 10, apresenta os resultados dessa análise, em que a formulação (H: AP₂A₁₀) foi a melhor, enquanto a formulação (D: AP₁₀) foi a pior.

Tabela 10 – Análise de escolha por objetivo

	MEA estado fresco (g/m ³)	Res. à compressão (MPa)	Permeabilidade após 24h (g/cm ²)	MEA estado endurecido (g/m ³)	Abs. %	Teor de ar incorporado %	Total
PD	1,00	0,65	0,10	1,00	1,00	0,52	4,27
B	0,67	0,32	0,50	0,70	0,87	0,50	3,56
C	0,33	0,05	0,00	0,37	0,57	0,47	1,79
D	0,00	0,00	1,00	0,15	0,57	0,00	1,72
E	0,61	0,29	0,56	0,70	0,86	0,60	3,62
F	0,56	0,11	0,36	0,52	0,69	0,79	3,03
G	0,00	0,64	0,68	0,04	0,34	0,30	2,00
H	0,78	1,00	0,69	0,74	0,79	0,81	4,81
I	0,56	0,84	0,36	0,48	0,66	1,00	3,9
J	0,06	0,56	0,90	0,07	0,20	0,65	2,44
K	0,61	0,74	0,44	0,56	0,61	0,80	3,76
L	0,50	0,64	0,33	0,37	0,35	0,89	3,08
M	0,06	0,43	0,49	0,00	0,00	0,75	1,73

Fonte: Própria autoria (2021).

De acordo com a ABNT NBR 13281:2005 (Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos), as argamassas estão classificadas, conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Classificação das argamassas

Formulação	Densidade de massa aparente no estado fresco (kg/m ³)	Resistência à compressão (MPa)	Densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m ³)
PD	D6	P6	M6
B	D6	P5	M5
C	D5	P3	M5
D	D5	P3	M4
E	D6	P5	M5
F	D6	P4	M5
G	D5	P6	M4
H	D6	P6	M5
I	D6	P6	M5
J	D5	P5	M4
K	D6	P6	M5
L	D5	P6	M5
M	D5	P5	M4

Fonte: Própria autoria (2021).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao apresentar a proposta de produção de uma argamassa modificada polimERICAMENTE para aplicação em vigas baldrameS, com o objetivo de impermeabilizar o elemento de fundação, foi adicionado teores de (2, 5 e 10) % de acetato de polivinilo (PVAc) e (5, 10 e 20) % de argila bentonita, em um traço volume de argamassa convencional 1:1:4:1,43 (cimento: cal: areia: água). Diante da análise dos resultados das propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido, pode-se afirmar as seguintes conclusões:

Com relação as propriedades do estado fresco da argamassa, a trabalhabilidade melhorou com a adição de PVAc, principalmente a formulação (D: AP₁₀) com 10% de adição, pois foi a que necessitou de uma menor quantidade de água reduzindo a relação água/cimento em 0,17, para que a argamassa não ultrapassasse a consistência estabelecida em (230 ± 10) mm. Contudo, também foi a formulação com a massa específica aparente mais baixa e maior teor de ar incorporado. Já a adição de argila, reduziu o teor de ar incorporado, aumentou a plasticidade e a massa específica aparente da argamassa.

Com relação as propriedades da argamassa em seu estado endurecido, à medida que aumentava o percentual de adição de PVAc, diminuía a massa específica aparente, a permeabilidade em até 28,17 % e a resistência à compressão. Entretanto, a incorporação de argila aumentou a resistência a compressão em 3,34 MPa (34,68 %) e a permeabilidade em até 24,99 %.

No que se refere ao processo de cura dos corpos de prova, a cura seca apresentou melhor desempenho em relação a cura úmida, considerando a resistência à compressão dos corpos de prova ensaiados após 28 dias de cura.

Considerando todos os percentuais de argila adicionada, a formulação J: AP₁₀A₁₀, foi a que apresentou o melhor resultado de permeabilidade e a H: AP₂A₁₀ foi a que apresentou a maior resistência à compressão, possivelmente devido a sua capacidade de troca de cátions, que possibilita a expansão do seu volume e a formação de estruturas semelhantes a agulhas, que crescem na sua superfície, através de reações com o cimento, retardando a percolação da água.

De forma geral, pode-se concluir que a adição de PVAc, promoveu um aumento da absorção, por conta do aumento da quantidade de poros gerados pelo ar incorporado na argamassa. Todavia, esse aumento da estrutura porosa se trata de poros com diâmetros menores (fechados), resultando na redução da percolação da água por capilaridade.

Em conclusão, por meio da análise de escolha por objetivo, a formulação H: AP₂A₁₀, apresentou o melhor desempenho em relação a formulação PD, enquanto as formulações D: AP₁₀ e M: AP₁₀A₂₀ apresentaram os piores resultados.

5.1 CONSIDERAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A pesquisa possui potencial para alcançar resultados mais satisfatórios, em relação as propriedades mecânicas e permeabilidade da argamassa modificada por adições de polímero e argilominerais. Para isso, é necessário realizar a análise de algumas propriedades e ensaios que não foram abordadas no presente estudo, como: módulo de elasticidade, aderência da argamassa a superfície do substrato, durabilidade, resistência à flexão, retenção de água, porosimetria por intrusão de mercúrio e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Para trabalhos futuros, é indicado a realização de algumas avaliações:

- Verificar a influência da argila bentonita, separada das adições de polímeros na argamassa;
- Verificar a influência da espessura do corpo de prova, nas propriedades mecânicas da argamassa;
- Analisar o melhor teor de PVAc, sem que haja diminuição da resistência mecânica, por reações de hidrólise do polímero;
- Aumentar a consistência da argamassa, com a finalidade de reduzir a quantidade de ar incorporado.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 6458**: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7181**: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 9349**: Tintas e colas para fundição - Determinação do teor de sólidos - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 9575**: Impermeabilização - Seleção e Projeto. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 11579**: Cimento Portland– Determinação do índice de finura por meio de peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 11582**: Cimento Portland – Determinação da expansibilidade *Le chatelier*. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **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, 2005.

_____. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto parte 1- Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 16606**: Cimento Portland — Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2018.

ACI – AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. *Committee 116. ACI 116R. Cement and concrete terminology*. Detroit, 2000.

ACOSTA, Yonaikel Josuhe Contreras. **Argamassa de cimento Portland com adições de barita (BaSO₄)**. 2020. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais e Nanotecnologia) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2020.

ALFANO, G. *et al.* Long-term performance of chemical damp-proof courses: twelve years of laboratory testing. **Building and Environment**, v. 41, n. 8, 2006, p. 1060-1069.

ALMEIDA NETO, M. P. **Hidrogéis de poliacrilamida e bentonita**: síntese, caracterização e aplicação na agricultura. 2010. 129 f. Dissertação (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Curso de Pós-Graduação em Química, Fortaleza – Ceará, 2010.

AMELIA, Ronald P. D. *et al.* Quantitative analysis of copolymers and blends of polyvinyl acetate (PVAc) using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and elemental analysis (EA). **World Journal of Chemical Education**, v. 4, n.2, 2016, p. 25-31.

ANADÃO, P. **Tecnologia de Nanocompósitos**: Polímero/Argila. 1. ed. São Paulo: Artliber, 2012.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C-125**: Standard terminology relating to concrete and concrete aggregates. 2020.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C-270**: Standard Specification for mortar for unit masonry. 2019.

_____. **ASTM D7664**: Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. 2018.

BAÍÁ, Luciana Leone Maciel; SABBATINI, Fernando Henrique. **Projeto e execução de revestimento de argamassa**. 4. ed. São Paulo: O nome da rosa editora Ltda. 2008. 88 f.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994. v. 2. 543 f.

BARBOSA, Alexandre Dias. **Blenda degradável de poli (ácido L-láctico) /poli (acetato de vinila) para liberação localizada de óxido nítrico**. 2018. 134 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Campinas-SP, 2018.

BAYOUMI, M. *et al.* *The effect of modified bitumen and polymeric emulsions inclusion on the microstructure, physical, and mechanical properties of concrete*. **Journal of Applied Sciences Research**, v. 4, n. 11, 2008, p. 1305-1314.

BOUSSEN, S. *et al.* *Characteristics and industrial application of the Lower Cretaceous clay deposits (Bouhedma Formation), Southeast Tunisia: Potential use for the manufacturing of ceramic tiles and bricks*. **Applied Clay Science**, v. 123, 2016, p. 210-221.

BROCARD, M. *et al.* *Utilisations des matieres plastiques dans de grosoeuvre*. *Annales de l'Institut Technique du bâtiment et des travaux Publics*, v.13, n 156, 1960, p.1355-417.

CABAÇA, S. C. **Humidade ascendente em paredes de edifícios antigos: processos de reabilitação e prevenção**. [S.l.], 2002.

CALHAU, E. L. **Argamassas de revestimento com aditivo incorporador de ar propriedades e recomendações**. 2000. 144 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitoria, 2000.

CANEVAROLO JÚNIOR, Sebastião Vicente. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2 ed. São Paulo: Artibler, 2006, 282 f.

CARASEK, H. *et al.* Parâmetros da areia que influência a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento. **Revista Materia**, v. 21, n.03. 2016, p. 714 – 732.

CARVALHO, Pedro José. **Betões e argamassa modificados com incorporação de PVAc**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Moinho Escola de Engenharia, [S. l.], 2012.

CASTRO, A. L.; LIBORIO, J. B. L.; PANDOLFELLI, V. C. A influência do tipo de cimento no desempenho de concretos avançados formulados a partir do método de dosagem computacional. **Revista Cerâmica**, v. 57, n. 341, 2011, p. 10-21.

CAVALCANTI, J. V. F. L.; *et al.* Utilização de argilas esmectíticas do nordeste do Brasil para preparação de um adsorvente organofílico. **Revista Cerâmica**, v.56, 2010, p. 168-178.

CELIK, H. *Technological characterization and industrial application of two turkish clays for the ceramic industry*. **Applied Clay Science**, v.50, 2010, p. 245 - 254.

CESTARI, Danniell de Jesus. **O efeito da adição do copolímero vinil veova em argamassas de revestimento**. 2001. 138 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2001.

COSTA, F. B. P.; *et al.* **Avaliação do desempenho de argamassas de assentamento modificadas polimERICAMENTE para alvenaria estrutural**. [S. l.]: Science & Engineering Journal, jan. – jun. 2015. p. 43-51. ISSN 1983-4071.

_____. **Argamassas modificadas polimERICAMENTE para o assentamento de alvenaria estrutural**. 2012. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal do Pampa, Alegrete – Rio Grande do Sul, 2012.

CORREIA, João Victor Freitas Barros. **Influência da granulometria do vidro soda-cal de embalagem nas propriedades de sinterizados produzidos a partir de argila usada na indústria cerâmica do Estado de Sergipe**. 2020. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão – SE, 2020.

DACHERY, Mônica. **Avaliação das propriedades da argamassa estabilizada para revestimento externo**: aplicação em diferentes substratos, durante diferentes períodos de utilização. 2015. 70 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 2015.

DIAS, L. A. **Avaliação de permeabilidade e da absorção da água em revestimentos de argamassa**. 2003, f. 169. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003.

ESPOSTO, L. **Degradação dos Materiais de construção através da ação da umidade**. 2018, 40 f. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade Anhanguera de Campinas, Campinas – SP, 2018.

FREITAS, V. P.; TORRES, M. I.; GUIMARÃES, A. S. **Humidade Ascensional**. 1. ed. Porto: FEUP edições, 2008. 106 p.

GEWEHR, U. **Aplicabilidade e eficiência de métodos de saneamento de paredes degradadas por umidade e sais a partir de um estudo de caso**. 2004, 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

GOSSELER, Fabiana Soares. **Avaliação do uso do amido como emulsificante na polimerização em emulsão de poli (acetato de vinila) em adesivos**. 2020. 74f. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

GRANATO, J. E. **Patologia das fachadas revestidas de cerâmica e granito**: Notas de aula do curso de patologia das construções. São Paulo: Viapol, 2005.

GRATWICK, R. T. **La humedad en la construcción: sus causas y sus remedios**. Barcelona: Técnicos Asociados, 1971. 334 p.

GUIMARÃES, J. P.Z.; FREIRE, M.A. **Aprimoramento e compatibilização de processos de Impermeabilização: Investimento ou custo?** In.: Anais do 15º Simpósio Brasileiro de Impermeabilização, São Paulo, 2018.

HENRIQUES, F. M. A. **Humidade em paredes**. 4 ed. Lisboa: LNEC, 2007.

HERRMANN, Thiana Dias; *et al.* Avaliação do comportamento de estanqueidade à água de argamassas e hidrorrepelentes – Parte II. **Revista Matéria**, v.24, n.4, 2019.

HUSSEIN, Jasmim Sadika Mohamed. **Levantamento de patologias causadas por infiltrações devido à falha ou ausência de impermeabilização em construções residenciais na cidade de Campo Mourão – PR.** 2013, 54 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

HU, Yang, *et al.* Effects of bentonite on pore structure and permeability of cement mortar. **Construction and building materials**, v. 224, 2019, 276 -283 p.

JOCHEM, L. **Estudo das argamassas de revestimento com agregados reciclados de RCD:** Características físicas e propriedades da microestrutura. 2012. 221 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2012.

KLEIN, C.; DUTROW, B. **Manual de Ciência dos Minerais.** 23º ed. Bookman, 2012.

LIU, Mengliang, *et al.* Influence of various bentonites on the mechanical properties and impermeability of cement mortars. **Construction and building materials**, v. 241, 2020, p. 118015 – 118026.

LUCCHESI, Gustavo. **Verificação da influência da adição da cola branca nas propriedades da argamassa de revestimento.** 2016. 66f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário Dinâmica das Cataratas, Foz do Iguaçu, 2016.

MAGALHÃES, D. T. **Inspeção, diagnóstico e controle da ascensão capilar de águas do terreno pelas alvenarias.** 2008. 209 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil – Universidade de Trás-os-montes e Alto Douro, Vila Real, 2008.

MAHMOUDI, S.; *et al.* The use of tunisian barremanian clay in the traditional ceramic industry: optimization of ceramic properties. **Applied Clay Science**, v. 42, 2008, p. 125 – 129.

MANO, E. B.; DIAS, M. L.; OLIVEIRA, C. M. F. **Química experimental de polímeros.** 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

MATSUSATO, Marcelo. **Estudo do comportamento de argamassas colantes com aditivação de látex acrílico.** 2007. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MATTOS, F. C. *et al.* Argamassa de cal e metacaulim: Influência das condições de cura. **Revista Matéria**. v. 24, n. 04, 2019.

MOTTA, Eduardo Pereira. **Caracterização mecânica de argamassas poliméricas de óleo de mamona reforçadas com fibra natural de piaçava.** 2014. 88 f. Dissertação de (Mestrado) - Programa Francisco Eduardo Mourão Saboya de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal Fluminense, Niterói – RJ, 2014.

MOURA, Cristiane Borges. **Aderência de revestimentos externos de argamassa em substratos de concreto: Influência das condições de temperatura e ventilação na cura do chapisco.** 2007. 231 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, 2007.

- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5.ed. Porto Alegre: BOOKMAN, 2016. 888 p.
- NEVILLE, A. M. **Tecnologia do concreto**. 2.ed. Porto Alegre: BOOKMAN, 2013. 448 p.
- OHAMA, Y. *Recent progress in concrete-polymer composites. Advanced Cement Based Materials*, v. 5, 1997, p. 31-40.
- PAIXÃO, Cesar Alexandre Bratti. **Utilização de refugos de revestimentos cerâmicos (porcelanato e azulejo) em substituição a areia em argamassas cimentícias**. 2011. 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2011.
- PÓVOAS, Yêda Vieira. **Tempo em aberto da argamassa colante: Método de medida e influência dos aditivos HEC e resina PVAc**. 1999. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- RAMACHANDRAN, V. S. **Concrete Admixtures Handbook: Properties, science, and technology**. 2. ed. New Jersey, U.S.A.: Noyes Publications. 1997. 1180 p.
- RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Conhecendo Argamassa**. 2 ed. v. 1. Porto Alegre: EdIPUCRS. 2012. 188 p.
- RIGHI, G. V. **Estudo dos Sistemas de Impermeabilização: Patologias, Prevenções e Correções – Análise de Casos**. 2009. 94 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2009.
- RODRIGUES, R. M.; et al. Erros, diagnósticos e soluções de Impermeabilização na construção civil. Centro Universitário de João Pessoa (UNIPÊ): **Revista InterScientia**, v.4. n. 2, 2016.
- SALOMÃO, M. C. F. **Estudo da estrutura das argamassas de revestimento e sua influência nas propriedades de transporte de água**. 2016. 248 f. Dissertação (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília - DF, 2016.
- SANTOS, Maria Luiza Lopes de Oliveira. **Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassa para a construção civil**. 2008. 165f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM), Universidade Federal do Rio Grande do Norte Centro de Ciências Exatas e da Terra, Natal, 2008.
- SANTOS, Pêrsio de Souza. **Tecnologia de Argilas**. 6. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher LTDA, 1989. 340 p.
- SCHANKOSKI, R. A.; et al. Influência do tipo de argamassa e suas propriedades do estado fresco nas propriedades mecânicas de alvenaria estruturais de blocos de concreto para edifícios altos. **Revista Matéria**, v. 20, n. 04, 2015, p. 1008 – 1023.
- SHUTTER, G., POPPE, A. M. *Quantification of the water demand of sand in morta. Construction and Building Materials*, v.18, 2004, p.517-521.

SILVA, André Luis Mileo Ferraioli. **Influência de aditivo polimérico no Comportamento mecânico e reológico das argamassas produzidas com rejeitos Industriais**. 2015. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós – Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

SILVA, F. B *et. al.* **Patologia das construções: uma especialidade na engenharia civil**. ed. 174. São Paulo: **Téchne – Revista de Tecnologia da construção**, 2011.

SILVA, Leandro Henrique Moura; Neta, Augusta Cerceau Isaac; Houmard, Manuel. Fabricação de argamassas com porosidade orientada por freeze – casting. **22º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, Natal – RN, 2016.

SILVA, Narciso Gonçalves. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. 2006. 180f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em construção civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2006.

SOUZA, Mateus Henrique; SOUZA, Rafael Alves. Análise das propriedades de uma argamassa de reparo de base acrílica. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, 2017, 10 p.

STORTE, Marcos. **Látex estireno butodieno: aplicações em concretos de cimento e polímero**. São Paulo: Palanca Editora Técnica Ltda, 1991. 128 p.

WALPOLE, R. E.; *et al.* **Probability & statistics for engineer & scientistes**. 9. ed. New York: Pearson Education Limited, 2016. 816 p.

WANG, R. *et al.* *Chemical interaction between Polymer and cement in Polymer- cement concrete*. **Bulletin of the polish academy of sciences technical sciences**, v.64, n. 04, 2016, p. 785 - 792

WESTPHAL, Eduardo; WESTPHAL, Humberto; MADALOSSO, Cláudia; CARVALHO, Fernanda; ADAMS, Kátia. **Argamassas**. 2013. Curso Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2013.

ZAIED, F. H. *et al.* *Potentiality of clay raw materials from gram área (Northern Tunisia) in the ceramic industry*. **Applied Clay Science**. v. 113, 2015.

ZHAO, F. *et al.* *Preparation and propperties of na environment friendey polymer – modified waterproof mortar*. **Construction and Building Materials**, v. 25, 2011, p. 2635-2638.