



**UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO ESCOLA
POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

SANDERSON DAMASCENA DE JESUS

**EFEITOS DA SUBSTITUIÇÃO DA CAL HIDRATADA POR RESÍDUOS
DE MATERIAIS DE ALUMÍNIO COMPOSTO (ACM) EM
ARGAMASSAS DE EMBOÇO**

RECIFE, 2023



**UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO ESCOLA
POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

SANDERSON DAMASCENA DE JESUS

**EFEITOS DA SUBSTITUIÇÃO DA CAL HIDRATADA POR RESÍDUOS
DE MATERIAIS DE ALUMÍNIO COMPOSTO (ACM) EM
ARGAMASSAS DE EMBOÇO**

Defesa apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil
Orientadoras: Profa. Dr^a. Stela Fucale Sukar.
UPE
Prof. Dr^a. Nathalia Bezerra de Lima– UFPE

RECIFE, 2023

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Universidade de Pernambuco

J55e Jesus, Sanderson Damascena de
Efeitos da substituição da cal hidratada por resíduos de materiais de alumínio composto (ACM) em argamassa de emboço. / Sanderson Damascena de Jesus. – Recife: UPE, Escola Politécnica, 2023.

109 f. il.

Orientadora: Profa. Dra. Stela Fucale Sukar
Coorientador : Profa. Dra. Nathalia Bezerra de Lima

Dissertação (Mestrado – Construção Civil) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2023.

1. Resíduos Sólidos. 2. Materiais de Alumínio Composto. 3. Fresagem. 4. Resistência à Compressão. 5. Aderência. 6. Argamassa. 7. Revestimento de Emboço. I. Construção Civil – Dissertação. II. Sukar, Stela Fucale (orient.). III. Lima, Nathalia Bezerra (coorient.). IV. Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Mestrado em Construção Civil. V. Título.


CDD: 690.028

SANDERSON DAMASCENA DE JESUS

**EFEITOS DA SUBSTITUIÇÃO DA CAL HIDRATADA POR
RESÍDUOS DE MATERIAIS DE ALUMÍNIO COMPOSTO (ACM)
EM ARGAMASSAS DE EMBOÇO**


BANCA EXAMINADORA:

Orientadora

Documento assinado digitalmente
 STELA FUCALE SUKAR
Data: 03/08/2023 12:51:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Profa. Dra. Stela Fucale Sukar
Universidade de Pernambuco

Coorientadora


Documento assinado digitalmente
 NATHALIA BEZERRA DE LIMA
Data: 20/07/2023 19:06:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Nathalia Bezerra de Lima
Universidade Federal de Pernambuco

Examinadores

Documento assinado digitalmente
 ELIANA CRISTINA BARRETO MONTEIRO
Data: 03/08/2023 12:39:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Eliana Cristina Barreto Monteiro
Universidade de Pernambuco

Documento assinado digitalmente
 TIAGO FELIPE DE ABREU SANTOS
Data: 24/07/2023 19:59:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Tiago Felipe de Abreu Santos
Universidade Federal de Pernambuco

Recife-PE
2023

AGRADECIMENTOS

Toda estrada para se constituir é preciso muitas pedras, da mesma forma, nós enquanto seres humanos não vamos a lugar algum sós. No decorrer de nossa existência, em diferentes campos de nossas vidas, nos interrelacionamos com muitas pessoas, dividimos conhecimentos, compartilhamos experiências, numa construção contínua e ininterrupta da estrada do conhecimento e do crescimento pessoal e acadêmico. Recebemos de muitos, doamos da mesma forma, de uns recebemos apoios pontuais, porém tão importantes quanto apoios de uma vida toda, pois juntos compõem o caminho. Ao olhar para trás até o ponto que está construído o caminho entendo que tenho muito a agradecer, assim sendo se segue a minha gratidão:

Primeiramente a Deus, afinal de contas sem sua presença não só na minha vida, mas na vida de todos que me auxiliam direta ou indiretamente a chegar até aqui, com certeza aqui não estaria.

A energia vital que me mantém firme, com o foco no propósito, me mantendo disposto a ser firme nas dificuldades e dinâmico o suficiente para transpor os obstáculos da vida.

À Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, onde tive a honra de poder cursar o Mestrado, conhecer pessoas e profissionais espetaculares, muitos que caminharam comigo hoje e pelos tempos que virão a frente, e pela chance de aprimorar meus conhecimentos, pela chance de, através da educação, contribuir para um mundo melhor.

À Prof^ª. Dr^ª. Stela Fucale, por quem tenho grande admiração pela pessoa e profissional que é, por ter me recebido de forma tão acolhedora e por todo o conhecimento compartilhado. A professora Dr^ª Nathalia Bezerra (INTM-UFPE), pelo acolhimento, orientações, direcionamentos e receptividade no Instituto Nacional e União de Tecnologia de Materiais da UFPE, aos Prof. Dr. Eduardo Oliveira e Fuad Zazar (UNICAP-PE), a quem também admiro, cujas conversas são sempre ricas. Eles, com certeza, foram faróis, que iluminaram e me auxiliaram a enxergar mais um pouco da engenharia e agregar mais a minha formação em construção.

A todos os professores do Mestrado, por todo conhecimento compartilhado durante as disciplinas ministradas. Por último e não menos importante ao eterno e saudoso professor Dr. Beda Barbokebas, a quem devo demais pois sem seu apoio e atenção, mesmo em seus últimos dias de sua existência, me conduziram ao acesso ao tão almejado Curso de Mestrado.

Aos colegas que conquistei no Mestrado, os momentos compartilhados com todos foi extremamente positivo e mais divertido. Em especial a Igor, Sabrina e Lara, eternamente

grato pela companhia e energias positivas que me deram no caminho. A Dona Lúcia, secretária do Mestrado, por todo o apoio nos assuntos relacionados a questões do PEC-POLI. A todos que compõe o INTM-UFPE, o apoio de vocês foi fundamental para realização dos ensaios necessários.

Aos meus queridos e amados pais Sônia e José, que sempre me apoiaram em minhas escolhas, hoje estou aqui para mostrar a eles que o caminho valeu a pena, e que ainda há muito mais a ser seguido, como no início vocês estavam lá e hoje não poderia ser diferente. A meus irmãos Saymon e Sirley, vocês também são peças fundamentais dessa história.

A minha querida ex-esposa Mirella Ferreira Penaforte e meu não menos querido enteado João Pedro da Silva Penaforte pelo amor, apoio e incentivo incondicional em tudo até aqui.

Às minhas tias, Luciene e Olivette, que me apoiam e torcem por mim. Aos meus familiares e amigos que me enviam boas energias e torcem por mim. Amo demais todos vocês!

A todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

“Alguns homens vêem as coisas como são, e dizem ‘Por quê?’ Eu sonho com as coisas que nunca foram e digo ‘Por que não?’”

Geroge Bernaard Shaw

RESUMO

Nos seus mais diversos ramos de atividade a Construção Civil têm buscado nos últimos anos a implantação de práticas à promoção de procedimentos mais sustentáveis, sendo essa prática evidenciada em diversas etapas construtivas. Essa reformulação de postura tem sido incentivada por diversos condicionantes, dentre eles, pode-se destacar como protagonista a busca pela substituição dos recursos naturais necessários na cadeia produtiva da construção civil por materiais alternativos, tais como resíduos. Fica cada vez mais claro que os insumos necessários às atividades na indústria da construção civil são finitos e, em alguns casos, tem se tornado cada vez mais difíceis sua obtenção. Uma forma de combater essa finitude e ao mesmo tempo contribuir para um mundo cada vez mais sustentável e contribuir para continuidade da cadeia produtiva é a substituição de matéria prima *in natura* por resíduos sólidos compatíveis, sendo essa substituição parcial ou até total no processo produtivo. Um exemplo de material que apresenta esse potencial para reutilização na cadeia são os resíduos provenientes do processo de beneficiamento de chapas de material de alumínio composto (ACM). ACM, um produto que vem largamente sendo utilizado para revestimentos de fachadas, em especial o resíduo do processo de fresagem do material, que é destinado ao descarte integral, tal prática gerando custos adicionais ao processo produtivo. No contexto do reaproveitamento de resíduos, esta pesquisa avalia a influência da substituição da Cal hidratada I (CHI) por resíduos de ACM, resultante do beneficiamento por processos de fresagem, em propriedades mecânicas de argamassas de emboço. Este resíduo é composto basicamente por polietileno de baixa densidade e limália de alumínio. Para promover esse estudo foram projetados um conjunto de sete argamassas. Na metodologia experimental adotada, foi definido um material de referência (1:0:1:6), correspondendo aos materiais a seguir: cimento Portland tipo CPII Z32: resíduos de ACM: cal hidratada: areia. A partir do material de referência foram produzidas argamassas com substituições de cal hidratada por resíduos de ACM com variação de 5% a 25% do volume de cal. Mais detalhadamente, foram produzidas argamassa de referência e argamassas com 5%, 10%, 15%, 20% e 25% de resíduo em substituição à cal hidratada. Quanto à caracterização dos materiais, o agregado miúdo (areia) foi caracterizado a partir de ensaios de composição granulométrica, absorção de água, teor de materiais pulverulentos, massas específica e unitária, e volume de vazios. Os resultados mostraram que a incorporação do resíduo em diferentes teores não comprometeu a trabalhabilidade das argamassas. Também foi constatado um aumento de volume da argamassa com a presença do resíduo, sendo mais acentuado no caso da substituição de 15% de cal hidratada. Posteriormente, foi verificado que a resistência à compressão das argamassas sustentáveis diminuiu de forma considerável, chegando a reduções que ultrapassaram 89% em relação à proporção de referência adotada para o estudo. Por sua vez, a análise de custos mostrou que a substituição de cal hidratada pelo resíduo de ACM é vantajosa uma vez que atualmente o resíduo é um passivo ambiental, que ainda não possui valor agregado e é destinado para aterros sanitários. As estratégias de incorporação de resíduo de ACM no conjunto de argamassas estudados podem ser consideradas na preparação de revestimentos eficientes, os quais contribuem não só para o revestimento de estrutura mas também para o desempenho da mesma quanto ao carregamento provocado por ela. Finalmente, revestimentos argamassados sustentáveis podem contribuir de forma significativa na diminuição de descarte de resíduos sólidos da construção civil, em especial os resíduos do ACM, proveniente do processo de fresagem, parcela totalmente descartada no processo produtivo, agregando assim uma perspectiva de economia circular ao processo.

Palavras-chave: Resíduos sólidos, materiais de alumínio composto, fresagem, resistência à compressão, aderência, argamassa, revestimento de emboço.

ABSTRACT

In its most diverse branches of activity, Civil Construction has sought in recent years to implement practices to promote more sustainable procedures, and this practice evidenced in several constructive stages. This reformulation of posture has been encouraged due to several constraints, among them, the search for replacement of the natural resources needed in the production chain of civil construction by alternative materials such as waste. It is increasingly clear that the necessary inputs to activities in the construction industry are finite and, in some cases, it has become increasingly difficult to obtain. A way to combat this finitude and at the same time contribute to an increasingly sustainable world and contribute to the continuity of the chain production is the substitution of raw material in natura by compatible solid residues, being this partial or even total replacement in the production process. An example of material that presents this potential for reuse in the chain are the residues from the process processing of composite aluminum material (ACM) sheets. ACM, a product that has been widely used for facade coatings, especially the residue of milling process of the material, which is intended for complete disposal, such a practice generating additional costs to the production process. In the context of waste reuse, this research evaluates the influence of replacing Hydrated Lime I (CHI) by ACM residues, resulting from processing by milling processes, in mechanical properties of plastering mortars. This waste is basically composed of low density polyethylene and aluminum lime. To promote this study, a set of seven mortars. In the experimental methodology adopted, a reference material was defined (1:0:1:6), corresponding to the following materials: Portland cement type CPII Z32: waste from ACM: hydrated lime: sand. Mortars were produced from the reference material with replacements of hydrated lime by ACM residues with a variation from 5% to 25% of the volume of lime. In more detail, reference mortar and mortar with 5% were produced, 10%, 15%, 20% and 25% of residue replacing hydrated lime. As for the characterization of materials, the fine aggregate (sand) was characterized from composition tests granulometric, water absorption, content of powdery materials, specific and unitary mass, and volume of voids. The results showed that the incorporation of the residue in different levels did not compromise the workability of the mortars. It was also found a mortar volume increase with the presence of the residue, being more accentuated in the case of replacement of 15% hydrated lime. Subsequently, it was found that resistance to compression of sustainable mortars decreased considerably, reaching reductions which exceeded 89% in relation to the reference proportion adopted for the study. For your time, the cost analysis showed that replacing hydrated lime with ACM residue is advantageous since currently the waste is an environmental liability, which still has no value aggregate and is sent to sanitary landfills. Waste incorporation strategies ACM in the set of studied mortars can be considered in the preparation of efficient coatings, which contribute not only to the structure coating but also for its performance regarding the loading caused by it. Finally, sustainable mortar coatings can contribute significantly to the decrease in the disposal of solid construction waste, especially waste from the ACM, from the milling process, portion completely discarded in the process productive, thus adding a circular economy perspective to the process.

Keywords: Solid waste, composite aluminum materials, milling, resistance to compression, adhesion, mortar, plaster coating

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Resultados de resistência a flexão da avaliação de Rohollah <i>et al.</i> (2022)	29
Figura 2. Resultados de resistência a compressão e tração de argamassas com adição de pó de tijolo reciclado (PTR).	30
Figura 3. Resultados de resistência a compressão e tração de argamassas com adição de fibra de polietileno tereftalato reciclada (FPTR).	31
Figura 4. Distribuição das fibras em superfície de ruptura de amostras Fc (a) e Fd (b).	32
Figura 5. Gráfico de desempenho de resistência a compressão (a) simples e a flexão (b) de diferentes proporções.	32
Figura 6. Análise de Difração de Raio x de argamassas modificadas por adição poliméricas com polímeros distinto.	33
Figura 7. Fluxograma das etapas realizadas ao longo da Pesquisa.	43
Figura 8. Curva granulométrica para o material acumulado de areia fina.	45
Figura 9. Processo de fresagem de peças de ACM para modelagem.	48
Figura 10. Resíduo resultante do processo de fresagem.	48
Figura 11. Realização de ensaio de argamassa em estado fresco. <i>Flow table</i> .	51
Figura 12. Prensa manual da Engetotus, 20T, utilizada nos ensaios de resistência à compressão.	52
Figura 13. Ensaio de resistência a compressão em um dos corpos de prova de argamassa do tração com substituição de 5% da cal hidratada CHI.	53
Figura 14. Corpos de prova com diferentes frações de substituição preparados para o ensaio de compressão.	53
Figura 15. Difratorômetro HORIBA 7000 Xray.	55
Figura 16. X-ray flurecence mesa-50 of the HORIBA.	56
Figura 17. Representação gráfica resultados do ensaio de <i>Flow table</i> .	57
Figura 18. Representação gráfica da avaliação de incorporação de ar nas argamassas em estado fresco.	59
Figura 19. Representação gráfica de comportamento em relação a incorporação de ar das argamassas.	60
Figura 20. Padrões de difração de raios X (DRX) da argamassa de proporção 1:0:1:6. Referência (A1).	61
Figura 21. Padrões de difração de raios X (DRX) da argamassa de proporção 1:0,05:0,95:6. proporção de substituição de 5% (A2).	61
Figura 22. Padrões de difração de raios X (DRX) da argamassa de proporção 1:0,10:0,90:6. proporção de substituição de 10% (A3).	62
Figura 23. Padrões de difração de raios X (DRX) da argamassa de proporção 1:0,15:0,85:6. proporção de substituição de 15% (A4).	62
Figura 24. Padrões de difração de raios X (DRX) da argamassa de proporção 1:0,20:0,80:6. proporção de substituição de 20% (A5).	63
Figura 25. Padrões de difração de raios X (DRX) da argamassa de proporção 1:0,25:0,75:6. proporção de substituição de 25% (A6).	63

Figura 26. Difratogramas agrupados das proporções componentes do estudo.	64
Figura 27. Resultados por proporção analisada REF.	66
Figura 28. Resultados por proporção analisada 5%.	66
Figura 29. Resultados por proporção analisada 10%.	66
Figura 30. Resultados por proporção analisada 15%.	66
Figura 31. Resultados por proporção analisada 20%.	66
Figura 32. Resultados por proporção analisada 25%.	66
Figura 33. Análises de FRX agrupadas.	67
Figura 34. Espectro argamassa de referência.	68
Figura 35. Espectro argamassa com proporção de 5% de substituição.	68
Figura 36. Espectro argamassa com proporção de 10% de substituição.	69
Figura 37. Espectro argamassa com proporção de 15% de substituição.	69
Figura 38. Espectro argamassa com proporção de 20% de substituição.	70
Figura 39. Espectro argamassa com proporção de 25% de substituição.	70
Figura 40. Crescimento médio do comprimento em cm das argamassas estudadas.	72
Figura 41. Tendência da densidade x aumento de substituição Cal CHI x resíduo de ACM.	75
Figura 42. Pesos médios úmidos e secos.	76
Figura 43. Representação gráfica do comportamento das proporções no ensaio de resistência a compressão simples.	78
Figura 44. Valores finais em dólar para produção das proporções do estudo.	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Estado da arte sobre propriedades de argamassas cimentícias com adição, substituição ou incorporação de polímeros.	35
Quadro 2. Estado da arte para exposição de argamassas modificadas a interpéries e ataques de agentes agressivos.	41
Quadro 3. Normas ABNT para controle tecnológico do cimento.	44
Quadro 4. Caracterização do agregado miúdo.	46
Quadro 5. Propriedades físicas do PEBD. componente do resíduo de ACM.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Proporções mistas de polímeros participantes do estudo.	28
Tabela 2. Composição do cimento.	44
Tabela 3. Propriedades físicas do cimento Portland.	44
Tabela 4. Composição granulométrica da areia fina.	45
Tabela 5. Propriedades Físicas e químicas da cal hidratada CHI.	47
Tabela 6. Resultados ensaio de <i>Flow table</i> .	56
Tabela 7. Ensaio de densidade de Massa em argamassas.	57
Tabela 8. Resultados da análise de ar incorporado.	58
Tabela 9. Concentração de elementos componentes por proporção analisada.	64
Tabela 10. Medidas dos corpos de prova no momento do desmolde.	70
Tabela 11. Pesagem dos corpos de prova por traço do estudo. peso úmido.	72
Tabela 12. Pesagem dos corpos de prova por traço do estudo. peso seco.	72
Tabela 13. resultados médios pesos úmidos x secos.	74
Tabela 14. Resultados de resistência à compressão das argamassas investigadas.	75
Tabela 15. Custos de produção por tipo de argamassa.	79

SUMÁRIO

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	12
2. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivo geral.....	15
2.2. Objetivos específicos.....	15
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	17
3.1. Obras civis e construção civil.....	17
3.2. Propriedades de argamassas com adições, substituições e incorporações de resíduos poliméricos.....	20
3.3. Exposição de argamassas modificadas a intempéries	39
4. PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	41
4.1. Materiais.....	42
4.1.1. Cimento	42
4.1.2. Areia.....	44
4.1.3. Cal hidratada CHI.....	45
4.1.4. Resíduo de ACM.....	46
4.2. Métodos.....	48
4.2.1. Caracterização de argamassa em estado fresco	48
Índice de consistência (Flow table).....	48
Densidade de massa e teor de ar incorporado	49
4.2.2. Caracterização de argamassa em estado endurecido	50
Resistência simples à compressão.....	50
4.2.3. Análises microestruturais de amostras	52
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
5.1. Argamassas em estado fresco.....	56
5.1.1. Ensaio de <i>Flow table</i>	56
5.1.2. Densidade de massa	57
5.1.3. Teor de ar incorporado	58
5.2. Análises microestruturais	59
5.2.1. Difractometria de Raios X	59
5.2.2. Fluorescência de Raio X	64
5.3. Argamassa em estado endurecido	69
5.3.1. Volume dos corpos de prova	69
5.3.2. Densidade.....	72
5.3.3. Resistência a compressão simples.....	75
5.3.4. Análise de Custos.....	78
6. CONCLUSÕES.....	81
6.1. Principais conclusões	81

6.2. Sugestões para Futuras Pesquisas	82
REFERÊNCIAS	83
APÊNDICE.....	88

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A Construção Civil na atualidade apresenta um alto índice de consumo de recursos naturais pelas obras, e na construção das mais diversas infraestruturas, como, por exemplo, prédios e conjuntos habitacionais. Neste sentido, há um enorme impacto no meio ambiente sob diferentes perspectivas, como a geração de resíduos. Com a urbanização, o crescimento populacional e o aumento do uso de materiais de uso único, as questões ambientais e a sustentabilidade ganham cada vez mais importância em todos os setores da sociedade, seguindo as tendências internacionais de proteção ambiental (SANTOS, 2018). Um dado importante é que cerca de 60% dos resíduos sólidos gerados diariamente nas cidades são provenientes da construção civil (CAMILO *et al.*, 2022).

Um dos grandes desafios da indústria da construção civil é gerar produtos que possam aliar resultados satisfatórios em relação ao seu desempenho físico e químico e correlacionar com a sua durabilidade (APOLÔNIO *et al.*, 2015). Dentre os sistemas construtivos utilizados na construção civil, destaca-se o de revestimento de argamassa nas fachadas das edificações. As argamassas de emboço são amplamente utilizadas em construções, por exemplo, para proteger as edificações de agentes externos, como água, algas aéreas e cianobactérias (BARBEROUSSE *et al.*, 2007; PAIVA *et al.*, 2009; PINO *et al.*, 2017).

Adicionalmente, é conhecido que a trabalhabilidade das argamassas de emboço no momento da dosagem da mistura é consideravelmente alta quando comparada à trabalhabilidade do chapisco (RAMOS *et al.*, 2016; BOTAS *et al.*, 2017). A propriedade da trabalhabilidade é muito útil para melhorar os procedimentos de acabamento da argamassa para a aplicação do revestimento. Consequentemente, a partir do entendimento desta propriedade é possível, a princípio, melhorar a aderência da argamassa no momento de aplicação no substrato (RAMOS *et al.*, 2016; BOTAS *et al.*, 2017).

A história da Construção Civil em muitos momentos se funde com a própria história da humanidade. Isto porque, à medida que as sociedades foram se tornando mais complexas, a construção civil se consolidava como uma das necessidades mais básicas dos seres humanos.

Vale destacar que quanto maior e mais complexas e necessárias foram se tornando a atividade da Construção Civil, maiores também se tornaram a exploração de recursos naturais

para produção dos insumos necessários para a transformação dos ambientes, na direção contrária seguiu a preocupação com a disponibilidade desses recursos, sem levar em consideração a finitude dos mesmos e os impactos negativos ao meio ambiente.

Em nível mundial, obras civis e construção civil consomem 60% das matérias-primas extraídas da litosfera. Desse volume, a construção representa 40%, ou seja, 24% dessas extrações globais. Além disso, essa grande quantidade de matéria-prima também envolve alto consumo de energia (Bribían *et al.*, 2010).

Entre os inúmeros segmentos e atividades da construção civil, o processo de produção de placas de material de alumínio composto (ACM). O ACM, que mesmo sendo uma alternativa que contribui no fomento da sustentabilidade no setor, está associado ao grande consumo de insumos naturais e alto gasto energético em seu processo de produção. Da mesma forma, o processo de instalação do revestimento contribui com a poluição do meio ambiente com os resíduos provenientes do processo.

O alumínio composto tem sido amplamente utilizado no Brasil, conforme Araújo *et al.* (2014) se estima que o volume importado para o país seja de aproximadamente 6 milhões de m² por ano. Desse volume, cerca de 24% (1.400.000,00m²), sejam perdidos entre envio via exportação, traslado, beneficiamento e instalação. Volume que se incorpora ao resíduo da Construção Civil em nosso país. Isso representa 1,71% do volume de Resíduos da Construção Civil.

O Brasil gera aproximadamente 84 milhões de metros cúbicos de resíduos de construção civil e demolição por ano, de acordo com informações da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição - ABRECON. Segundo o Panorama da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (2019, ano-base 2018), cerca de 45 milhões de toneladas de RCC foram coletados pelos municípios em 2018, com destaque para a região Sudeste, que corresponde a mais de 50% desse total.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305/10 (BRASIL, 2010), que busca incentivar o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos, tem como um dos seus princípios o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável, como um bem econômico, incentivando ainda a não geração, redução, reutilização e tratamento dos resíduos sólidos. A PNRS tem como um dos seus objetivos incentivar a indústria da reciclagem por meio do uso de matérias primas e insumos provenientes de materiais reciclados.

Frente ao contexto exposto, a presente pesquisa trata do uso de resíduos provenientes do

núcleo de chapas de alumínio composto (ACM), resultantes do processo de beneficiamento por processos de fresagem como substituto parcial de Cal Hidratada CHI na produção de argamassa para aplicação em revestimentos.

É importante destacar que estes resíduos são compostos essencialmente por alumínio e polietileno de baixa densidade. Assim, busca-se verificar uma destinação mais adequada e nobre ao resíduo, potencializando seu aproveitamento seus benefícios na Construção Civil e minimizando os impactos ambientais causados pela destinação inadequada.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Analisar os efeitos provenientes da utilização de resíduos de chapas de alumínio composto obtidas no processo de fresagem no beneficiamento/produção de bandejas de revestimento em substituição parcial da cal hidratada em argamassas de emboço para aplicação na forma de revestimento.

2.2. Objetivos específicos

A fim de cumprir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram propostos:

- i) Projetar um conjunto de argamassas de emboço para avaliar os efeitos da presença de resíduos de ACM;
- ii) Analisar propriedades físicas do agregado miúdo natural (areia);
- iii) Avaliar propriedades física, mecânica e reológica de argamassas produzidas, com e sem resíduo de ACM, no estado endurecido, bem como avaliar em nível microestrutural desta;
- iv) Analisar e feitos de diferentes percentuais de substituição da Cal Hidratada CHI pelo Núcleo de ACM no comportamento mecânico de resistência à compressão e resistência à aderência das argamassas sustentáveis;
- v) Investigar propriedades estruturais dos materiais sustentáveis preparados a partir de ensaios de difração de raios-x.

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está composta por cinco capítulos, onde no Capítulo 1 será apresentada uma breve introdução deste trabalho, suas justificativas e seus objetivos de execução.

O Capítulo 2 apresenta a revisão da literatura, trazendo à vista pontos consideráveis ao tema, como formas de tratamento, aplicação e características do resíduo de material de alumínio composto (ACM), e influência do uso do resíduo sobre as propriedades de argamassa no estado endurecido.

As metodologias para produção das argamassas e caracterização dos materiais e das argamassas será apresentada no Capítulo 3.

Os resultados obtidos ao longo da execução da pesquisa, como também as respectivas análises e discussões são apresentadas no Capítulo 4.

Por último, o Capítulo 5 apresenta as considerações finais acerca do que foi estudado e as sugestões para trabalhos futuros.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Obras civis e construção civil

Em nível mundial, obras civis e construção civil consomem 60% das matérias-primas extraídas da litosfera. Desse volume, a construção representa 40%, ou seja, 24% dessas extrações globais. Além disso, essa grande quantidade de matéria-prima também envolve alto consumo de energia (BRIBÍAN *et al.*, 2010). Tais dados se replicam também no Brasil em todos os segmentos da indústria da construção civil. De acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para revestimentos, louças sanitárias e congêneres (ANFACER), o Brasil é um dos grandes consumidores no mercado mundial de revestimentos cerâmicos, chegando a ser o segundo maior consumidor de insumos dessa natureza, da mesma forma sendo o segundo maior produtor.

Segundo Cabral Junior *et al.* (2010), afirma que apenas cerca de 3% de todo material consumido no Brasil é utilizado para revestir fachadas, isto se deve à perda de credibilidade por parte dos especificadores associada ao elevado aparecimento de anomalias ao longo de sua vida útil, o que conseqüentemente a faz reduzir-se.

Tal movimento contrário ao aumento do consumo por parte do segmento se apoia no avanço tecnológico por partes dos elementos de vedação disponíveis. Uma linha que tem ganhado força com o avanço dos materiais e técnicas disponíveis foi a de revestimentos de alta tecnologia nas fachadas dos edifícios de grandes cidades brasileiras. Conhecido como corrente arquitetônica high-tech, muito presente em países da Europa e América do Norte, tem como característica a utilização massiva de elementos de alta performance e apelo arquitetônico modernista. Esse modelo arquitetônico, tipificado pelo alto grau de utilização de recursos tecnológicos e pela transparência, além de outros aspectos, tem como característica principal a imagem transmitida pelo edifício através de sua fachada (MONTANER, 2001).

A fachada ou o elemento de vedação vertical externa do edifício engloba, além das funções estrutural e estética, também a função de mediação entre os meios externo e interno, criando condições de habitabilidade para o edifício, e adequação do seu interior às necessidades do usuário (OLIVEIRA, 2003).

De acordo com Kazmierczak *et al.* (2007), uma das propriedades de maior importância exigidas de uma argamassa de emboço no estado endurecido é a capacidade de aderência ao substrato. Apesar de sua relevância no desempenho funcional da edificação, a incidência de problemas correlacionados com a perda ou a falta de aderência de argamassas tem se tornado

mais frequente, tornando-se atualmente uma grande preocupação para as empresas construtoras bem como grande desafio para a comunidade científica elucidar aspectos referentes ao comportamento mecânico e estimar as melhores condições possíveis para a capacidade de aderência de argamassa quando aplicadas nas edificações, sendo grande interesse para a sociedade como um todo.

As propriedades mecânicas de resistência de aderência à tração de argamassas e a relação de aderência entre este tipo de material e o substrato são resultantes da ancoragem mecânica da argamassa nas reentrâncias e saliências macroscópicas do substrato. Tais propriedades são influenciadas pelas características físicas tanto da argamassa quanto do substrato e da técnica de aplicação por força mecânica manual ou projetada. Além do mais, segundo Kazmierczak *et al.* (2007).

Para Cardoso (2016), a fachada é um dos subsistemas mais importantes no processo construtivo de edificações de múltiplos pavimentos, tanto por definir estética, o conforto térmico e acústico dos ambientes internos, quanto por exercer funções como fechamento, acabamento, iluminação, ventilação e algumas vezes, suporte de sistemas prediais. Além disso, mostram que a fachada representa um custo expressivo em relação ao custo total do empreendimento, e por isso merece cuidados ao se definir a tecnologia a ser utilizada. Esse componente do conjunto construtivo tem significativa importância, sendo um protagonista do processo, pois ele exerce grande influência sobre o conforto térmico, eficiência energética e consequente impacto ambiental do edifício.

Em virtude da elevada ocorrência de manifestações patológicas nos revestimentos cerâmicos de fachada (RCF) e da crescente demanda por maior produtividade, redução dos prazos de construção e maior controle de custos, busca-se soluções industrializadas ou sistemas construtivos com concepção mais racionalizada de forma a incrementar e aprimorar o desempenho da atividade construtiva (ROCHA, 2017).

Os últimos anos tem sido buscado no processo construtivo melhorias das técnicas com foco na mitigação e/ou minimização de perdas e surgimentos de patologias que comprometem o desempenho e a funcionalidade dos revestimentos e fechamentos de fachadas de forma geral.

Entre os materiais utilizado na composição de fachadas prediais que seguem essa linha estão os painéis de Alumínio Composto, também conhecido *Aluminium Composite Material* (ACM). Um material que tem sido buscado principalmente pela celeridade de instalação, leveza, várias possibilidades de moldagem, diversidade de cores e relativa praticidade na manutenção, por essas características, o ACM tem se tornado uma opção de revestimento bastante adotada por arquitetos e projetistas em fachadas de edifícios comerciais e industriais

quer seja em obras novas ou reformas.

Nas últimas décadas, grandes volumes de recursos naturais têm sido utilizados na indústria, comércio e construção; além disso, as atividades humanas causam altos índices de geração de Resíduos (SANTOS *et al.*, 2020).

Vários estudos apresentaram as propriedades de compósitos cimentícios (argamassa e concreto) contendo diferentes tipos de resíduos plásticos como agregado. Na revisão da literatura onde foi evidenciada a influência de resíduos plásticos e poliméricos nas propriedades dos compósitos cimentícios. É possível aqui destacar os trabalhos de Mello e Anselmo Lima (2016), no qual foram avaliadas as propriedades do estado fresco e endurecido da argamassa de cimento e areia, tomada como referência, e com substituição em volume nos percentuais de 10%, 17% e 25% da areia por partículas de PEAD reciclado, mantendo-se a relação água/cimento em todos os traços.

Os resultados desse estudo revelam o uso potencial do polietileno de alta densidade reciclado, no sentido de conferir à argamassa aumento da capacidade de deformação com redução relativamente pequena de resistência à compressão. Dessa forma, espera-se contribuir no campo da pesquisa visando o aproveitamento de resíduos plásticos em compósitos cimentícios.

Outro que pode ser destacado é o trabalho de Miranda e Varela (2020), no qual se buscou realizar uma análise sobre as propriedades físicas e mecânicas de blocos compostos de areia ou pó de pedra aglutinados por polipropileno reciclado através de tratamento térmico visando a implantação para alvenarias e/ou pavimentos na construção civil ou rural.

Com o objetivo principal de substituir a água e o cimento na mistura e promover estudos no compósito utilizando tal polímero como forma otimizadora para futuras aplicações em prol de alta resistência, a pesquisa foi desenvolvida a partir de metodologia própria envolvendo os ensaios de resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, absorção de água por imersão e absorção de água por capilaridade no qual diferentes composições de polímeros reciclados e cargas de compactação para modificação do compósito foram testadas para melhor caracterização do mesmo. Comparando-se e observando-se melhorias nas propriedades da mistura, constatou-se que o aumento da adição de polipropileno na mistura acarretou maiores resistências e menores absorções no compósito, viabilizando sua utilização na construção civil e rural.

Estes estudos evidenciam a diversidade de aplicações estudadas de compósitos plástico e poliméricos na construção civil, em específico na composição de elementos cimentícios, sejam concretos ou elementos argamassados de revestimento, eles destacam o foco científico

no intuito de destinar de maneira mais sustentável os resíduos dessa natureza e ao mesmo tempo diminuir a dependência de recursos naturais para as atividades de transformação e consequentemente a exploração desses mesmos.

Diante do exposto, é possível destacar um caminho sustentável possível não apenas de reutilização ou destinação ambientalmente positiva de resíduos e ou materiais resultados de processos produtivos diversos, mais que isso, tais avanços abrem um leque de possibilidades não só para reutilização, mas também para incorporação de propriedades e surgimentos de novas aplicabilidades, insumos sustentáveis e reutilizáveis, as incorporações, sejam por adição ou substituição de resíduos, em especial de polietilenos tem se mostrado detentoras de grande potencial a contribuir com um mundo cada vez mais consciente no ponto de vista ambiental.

3.2. Propriedades de argamassas com adições, substituições e incorporações de resíduos poliméricos

Retomando o estudo de Kazmierczak *et al.* (2007), no qual foram investigadas propriedades de aderência de uma argamassa de emboço quando aplicada sobre substratos distintos. Os resultados deste trabalho revelaram que os revestimentos de argamassa de emboço apresentaram resultados de resistência de aderência à tração distintas. Partindo desse fato, estudar a influência da introdução de resíduos plásticos e poliméricos em diferentes proporções de argamassas se torna um estudo interessante pois verificando a viabilidade dessa incorporação se abre um precedente para novas aplicabilidades a estes resíduos e consequente diminuição da exploração de insumos em meio natural. Promovendo assim a sustentabilidade e fomentando a circularidade dos elementos provenientes da atividade humana. Estudos sobre a influência de introdução de resíduos de polímeros tem sido reportado na literatura científica no que diz respeito à trabalhabilidade de argamassas contendo dosagens de polímeros.

Avaliando o contexto em torno de composições de materiais cimentícios, estudos buscam reformular proporções com materiais diversos, buscando ao mesmo tempo manter as características necessárias que tornem essas dosagens estudadas habilitadas a uso.

Esse esforço ocorre por diferentes motivos, seja pela diminuição de emissão de CO₂ proveniente do processo de produtivos de insumos usuais como o Cimento Portland e Cal Hidratada por exemplo. Ou por um melhor manejo de rejeitos provenientes de processo produtivo, que visem minimizar os volumes inertes de RCD, por exemplo, entre outros, todos convergindo para um objetivo comum, promover insumos que contribuam para o desenvolvimento sustentável.

De acordo com Zanotti *et al.* (2017), no qual argamassas de geopolímeros foram usadas como meio de substituir cimento Portland no reparo de concretos, contribuíram para a diminuição de emissão de CO₂. O mesmo estudo também buscou realizar testes de aderência a partir de ensaios de cisalhamento com inclinações não padronizadas, com o objetivo de verificar a resistência de aderência do concreto-geopolimérico, sendo essa etapa feita sob diferentes combinações de tensões normais e de cisalhamento na interface concreto- geopolímero. Ao fim, o estudo foi reportado que coeficientes de coesão interfacial (que são duas propriedades mecânicas inerentes à interface substrato-reparo) são extrapolados a partir de dados experimentais e comparados entre diferentes tipos de reparo de geopolímero. Isto é particularmente importante para a otimização das condições de preparo e de aplicação dos sistemas de interesse.

Um estudo realizado com adições poliméricas em argamassas foi o de Cavalcante (2018), no qual a mesma avaliou a adição de poliestireno advindos de copos plásticos descartados, foram elaborados traços de argamassas com teores diferentes de poliestireno sendo eles 0,0; 0,2; e 1,4%, esse percentual é acrescido em relação à massa de cimento, foi utilizado cimento Portland CP II. Z 32 RS e areia no traço 1:4 em massa. As alterações das argamassas com adição de poliestireno foram analisadas no estado fresco e endurecido. O resultado evidenciado em seus experimentos apontara que a argamassa com adição de 0,2% apresentou resultados positivos em relação à argamassa sem aditivo e a argamassa modificada com 1,4% com obteve resultados minorados em relação à argamassa de referência.

Outro estudo que evidencia essa tendência sinalizada é o estudo desenvolvido por Graupmann *et al.* (2019), no qual foi avaliada a substituição de cal hidratada por cinza de resíduo de “lodo” proveniente do processo de fabricação de pape. O primeiro material estudado utilizou 100% de (cal hidratada) sendo está a proporção de referência. A segunda proporção foi de 20% de cinza e 80% de Ca (OH)₂, a terceira com 50% de cinza e do Ca (OH)₂, já a quarta foi composta por 100% de cinza em substituição do Ca (OH)₂. Os resultados mostraram que as proporções avaliadas contendo a cinza obtiveram resultados próximos ao que continha apenas cal, portanto, sua resistência é o suficiente para a sua utilização e protegeria o meio ambiente, tirando esse resíduo da natureza.

Carvalho *et al.* (2019) também considerou essa linha de substituição de materiais, em seu estudo ele utiliza a lama residual de concreto (LCR) como fonte alternativa de produção de argamassas de revestimento, em sua pesquisa ele buscou o desempenho mecânico de argamassas produzidas com a lama residual de concreto seca (LRC-S) como substituto total e parcial da cal hidratada, avaliando o seu comportamento por meio de ensaios de consistência,

resistência à tração na flexão e à compressão, absorção de água por capilaridade e densidade. Os ensaios evidenciaram que em estado fresco a utilização da LRC-S possui um impacto negativo na trabalhabilidade das argamassas, sobretudo para taxas de substituição superiores a 75%, em massa. Entretanto a substituição da cal hidratada, em até 50% em massa, se mostra viável, apresentando propriedades mecânicas equivalentes ao traço tomado como referência. Tais resultados demonstram que a adoção de tecnologias limpas pode e deve ser adotada com o intuito de minimizar os impactos ambientais gerados pelo segmento da construção civil, mais precisamente na geração de resíduos.

Wang *et al.* (2019) estudaram a influência dos regimes de cura no desempenho e na microestrutura de argamassas modificadas com polímeros. Argamassas com cinco proporções diferentes (0%, 5%, 10%, 15% e 20%) de dispersão de copolímero de estireno-butadieno (SB) para cimento de sulfoaluminato de cálcio (CSA) com fluidez constante foram investigadas. Os resultados experimentais dos citados autores mostram que a adição de SB melhora o desenvolvimento da resistência de união à flexão e à tração, mas não a resistência à compressão. O melhor desempenho da argamassa de cimento CSA é alcançado com 20% de SB. No entanto, as propriedades mecânicas da argamassa de cimento CSA são significativamente degradadas quando a adição de SB é de 5%.

Condições de altas temperaturas muitas vezes levam à formação de etringita (WANG *et al.*, 2019). A etringita de tamanho maior e o filme de polímero se entrelaçam, o que torna a argamassa de cimento CSA mais densa e, portanto, mais forte. Assim, as propriedades da argamassa de cimento CSA, incluindo a resistência à flexão e à tração, são significativamente melhoradas. Além disso, verificou-se que a argamassa de cimento CSA apresentou taxa de adsorção capilar de água muito baixa mesmo quando curada a 0°C, e a adição da dispersão de SB proporciona à argamassa de cimento CSA melhor resistência à água.

Outro trabalho interessante realizado na linha de estudos de substituição foi o de Silva (2019), no qual ela buscou verificar a viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo por politereftalato de etileno (PET) nos teores de 0, 5% e 10%. Foram moldados corpos de prova cilíndricos nas dimensões de 5cm x 10cm e determinou-se a absorção por imersão, índice de vazios, massa específica e a resistência a compressão simples para as idades de 7, 14, e 28 dias. Os resultados encontrados permitiram a conclusão de que houve um aumento na absorção de água, no índice de vazios e uma redução da massa específica dos corpos de provas incorporadas com PET quando comparados com a argamassa de referência. Para o ensaio mecânico de resistência a tração houve uma redução nos valores das argamassas modificadas com PET.

Também avaliando a substituição, Santos (2019) avaliou o efeito da substituição de

agregado miúdo por resíduos de pneu em argamassas colantes. Foram avaliadas cinco composições de argamassa, sendo uma argamassa padrão, e as demais com substituição de 10,20, 30 e 40%. Os resultados obtidos apontaram que substituição por borracha provocou redução das propriedades mecânicas, da trabalhabilidade, da densidade e da massa específica, além do aumento na absorção de água e índice de vazios. Mas ainda sendo verificada a diminuição das propriedades mecânicas a substituição se mostrou promissora, pois mesmo com os resultados sinalizados a pouco todas as proporções de argamassas estudadas se apresentaram em conformidade com a norma para argamassas colantes industrializadas.

Sendo observado no presente estudo uma particularidade a ser estudada, no tocante a aplicações de conforto acústico. Observando os benefícios obtidos com a substituição parcial de insumos por elementos poliméricos em diferentes proporções, pode se destacar o trabalho de Abbas *et al.* (2019), em que a pesquisa estudou a influência da hibridização do álcool polivinílico (PVA), na primeira etapa como solução e na segunda com adição de fibras com solução de PVA. O desempenho sob cargas de flexão do compósito de argamassa de cimento foi estudado nesta base, a concentração de PVA na solução utilizada foi de 1% do peso do cimento com três frações volumétricas de fibra de PVA (1%, 2% e 3%) que foram consideradas as variáveis para PVA constante razão solução para cimento (P/C) e razão a/c e como 1,6% e 30%, respectivamente.

O estudo de Abbas *et al.* (2019) concentra-se especialmente no impacto dos teores de fração volumétrica de fibra e seus méis para deformar o compósito. Os corpos de prova foram testados sob um teste de carga pontual nos próximos dois dias de cura úmida e 26 dias de cura seca. Os testes exibiram ductilidade e resistência à flexão da matriz cimentícia aumentadas quando o teor da fração volumétrica da fibra aumentou. A combinação apenas de fibras de PVA com o compósito de argamassa de cimento mostrou amolecimento nos comportamentos de deformação, enquanto seu desempenho é frágil para corpos de prova contendo solução de PVA, mas a mistura de fibra de PVA com solução de PVA aos compósitos de argamassa de cimento apresentou desempenho de encruamento.

Fibras e solução de PVA tanto nas propriedades de superfície (natureza hidrofílica e/ou hidrofóbica) quanto na composição química melhoraram a área sob a curva dos compósitos de argamassa de cimento reforçado a 2% do volume de atrito da fibra de PVA com solução de PVA cerca de 197%, 29% e 9,6% comparem com 1%, 3% de fricção em volume de PVA com solução de PVA e 2% sem solução, respectivamente. A adição de 2% de fibras de PVA aumentou cerca de 44% da resistência à flexão em comparação com os espécimes de controle no diâmetro de fluxo de 190 mm e 63% em comparação com 3% no diâmetro de fluxo de 130

mm Vale destacar que é conhecido que um espalhamento uniforme de fibras através da massa do material compósito é vital para sua excelente trabalhabilidade. Por fim, observou-se que a fração de fibras de PVA desempenha, como resultado, um papel significativo no refino da ductilidade de compósitos de argamassa cimentícia.

Segundo Hodul *et al.* (2019), a tecnologia de impermeabilização cristalizante (argamassas, revestimentos) melhora a impermeabilidade à água e ao vapor de água das estruturas tratadas e, portanto, afeta positivamente a durabilidade do concreto. A vedação de poros, capilares e fissuras também evita a degradação devido a ações estruturais físicas e mecânicas (por exemplo, os efeitos do gelo e dos sais nos poros, etc.)

Nesta pesquisa, foi avaliada a influência de diferentes teores de aditivos de cristalização (AC) nas propriedades mecânicas de argamassa de polímero-cimento com 24% de substituição de cimento por resíduo de calcário. Foram consideradas adições de 0,8, 1,6 e 2,4% de resíduo em relação ao cimento na mistura das argamassas. Determinou-se que as propriedades mecânicas, em particular as resistências à compressão e à flexão não foram significativamente influenciadas pela adição do resíduo, sendo a maior diferença registrada na resistência à compressão (7%). A coesão com o concreto de base contendo diferentes quantidades de calcário foi suficiente, e a aderência da argamassa ao concreto também foi examinada por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Um efeito interessante reportado nesta pesquisa foi a vedação completa, a qual geralmente ocorre após aproximadamente quatro a cinco semanas.

Impulsionada pelas propriedades mecânicas dos materiais de reforço construção, a comunidade científica vem buscando implementar estratégias para ampliar e melhorar as propriedades de compósitos cimentícios e revestimentos argamassados com incorporação de resíduos poliméricos. Estratégias como adição de resíduos e substituição parcial dos insumos são frentes de estudo exploradas no momento.

Um exemplo desse movimento científico de busca pela reutilização de materiais frente à finitude dos recursos naturais tem o estudo de Santos *et al.* (2020), no qual buscou-se estudar um material compósito formado por argamassa (cimento, areia e água) com a adição de um polímero (resíduo de pneus) visando minimizar custos da construção civil. Foram compostos seis corpos de prova de formato cilíndrico foram produzidos com o intuito de delinear o sedimento, sendo que três destes foram reforçados com 70 g de borracha, processados com 20228 g de cimento, 2212 g de areia e 1,5 litros de água. Os outros três apenas com cimento areia e água. Foram realizados testes de desgaste por abrasão e compressão para caracterizar a argamassa no estado endurecido. Os resultados mostraram a potencialidade de eficácia da argamassa desenvolvida com o composto de cimento, areia e água que possuíam as mesmas

características da mistura da argamassa tradicional apenas com o diferencial da incorporação do polímero.

De acordo com Lima Neta (2020) a incorporação de resíduos poliméricos em compósitos argamassados e em concretos contribui para diminuição de volume desses materiais em aterros sanitários e lixões. Em seu estudo, ele avaliou as propriedades de argamassas com a substituição da areia por resíduo polimérico. Para isso, foram produzidas argamassas com teores de substituição do agregado 0% (referência), 2,5%, 5%, 7,5% e 10% em massa. A proporção entre cimento:areia foi 1:1,5 e a relação água/cimento 0,40%. Esta foi mantida constante para as argamassas com substituição. Seus resultados evidenciaram que argamassa produzida com o teor de 2,5%, aos 28 dias, apresentou propriedades mecânicas promissoras, no ensaio de resistência à compressão, mesmo tendo uma diminuição da resistência comparada a argamassa de referência.

Por sua vez, Fernandes (2020) avaliou as propriedades físicas e mecânicas de argamassas de revestimento produzidas com substituição parcial do agregado miúdo por polímero. Neste estudo, foram realizados ensaios de caracterização física dos agregados, do cimento e do polímero, e, posteriormente, após o estudo da composição adotada, foram moldados corpos de prova cilíndricos nas dimensões de 5 cm x 10 cm, com substituição parcial do agregado miúdo por polímero nos teores de 5%, 10% e 15%. Isso foi realizado com o objetivo de determinar a absorção de água por capilaridade, densidade de massa aparente e resistência à compressão simples das argamassas em estudo.

O estudo revelou que no estado fresco a incorporação de PET contribuiu consideravelmente para a melhora da consistência da argamassa. Já no estado endurecido constatou-se a redução tanto da densidade de massa aparente como da absorção por capilaridade das argamassas conforme foi aumentada a quantidade de agregados poliméricos, enquanto a resistência à compressão simples apresentou crescimento, graças a menor quantidade de água utilizada e o melhor empacotamento das partículas.

Outro trabalho interessante que evidencia o interesse comunidade científica na aplicação de polímeros em argamassas foi reportado por Khosravi *et al.* (2020). Neste trabalho, os autores destacaram a importância da permeabilidade do solo desempenha um papel protagonista na durabilidade de corpos hídricos, pois controla a taxa de entrada de umidade que pode conter produtos químicos agressivos e o movimento da água das juntas dos canais de irrigação. Adicionalmente, o uso de concreto plástico como material impermeabilizante pode ser aplicado para reduzir a fissura de retração. Para tal avaliação experimental, foi investigada uma combinação de misturas de solo consiste em três diferentes proporções de bentonita e areia (ou

seja, 15%:85%, 20%:80% e 25%:75%). A proporção de cimento foi selecionada em 10, 20 e 30% do peso total da mistura de bentonita e areia. Várias quantidades de goma xantana (isto é, 1, 3 e 5% em massa) como material de biopolímero foram adicionadas às misturas. Uma série de testes de permeabilidade e resistência à compressão não confinada foram realizados em amostras após 3, 7 e 28 dias de cura.

Os resultados de Khosravi *et al.* (2020) mostraram que a adição de biopolímero tem alto potencial no aumento da resistência das amostras e na diminuição da permeabilidade. Uma composição ideal contendo 85% de areia, 15% de bentonita, 10% de cimento e 1% de biopolímero de goma xantana com menor permeabilidade, menor valor de retração e resistência à compressão não confinada adequada foi sugerida como a mistura mais adequada para aplicações práticas.

Esses estudos só evidenciam o entendimento global de que a necessidade de reutilização de resíduos provenientes do atual processo produtivo possuem potencial de reintrodução / reutilização e devem ter esse potencial investigado, verificando não apenas o potencial de uso mas também a diversidade de aplicação, um exemplo de estudo voltado para essa linha é o estudo de Al-Mansour *et al.* (2022), no qual foi desenvolvido estudos quanto a Reciclabilidade aprimorada de resíduos plásticos para compósitos cimentícios à prova d'água com híbridos de polímero-nanossílica.

Se tem o entendimento de que os resíduos plásticos podem ser uma alternativa ambientalmente correta aos agregados naturais para a fabricação de concreto. Uma alternativa diante da finitude de recursos naturais para atividade humana em especial na construção civil, apesar dessa visão embasada no entendimento do protagonismo que a sustentabilidade tem no atual contexto mundial, se sabe que a força de ligação inferior entre os agregados de resíduos plásticos e a matriz de cimento limita muito o uso de resíduos plásticos para projetos e aplicações de engenharia. No Estudo se avaliou a potencialidade de aplicação de resíduos poliméricos associados em elementos cimentícios, em específico o etileno-acetato de vinila (EVA) e nanossílica (nS) que foram aplicados em conjunto buscando melhorar as interações matriz-agregado em compósitos cimentícios com resíduos plásticos reciclados (RWPs). As propriedades impermeáveis dos compósitos cimentícios com híbridos EVA e nS foram medidas.

Foram definidas as composições mistas de polímeros aplicados as bases cimentícias, conforme visto na Tabela 1 apresentada abaixo:

Tabela 1. Proporções mistas de polímeros participantes do estudo.

ID da mistura	Cimento	Proporções da mistura em kg/m ³					EVA/cimento (%)	nS/cimento (%)	água/cimento	água/sólido
		EVA	nS	Areia	Plástico	Água				
Ref.	525	0,0	0,0	1465	–	236	0	0	0,450	0,450
P10	525	0,0	0,0	1245	140	236	0	0	0,450	0,450
P10E2	510	10,5	0,0	1245	140	228	2	0	0,447	0,438
P10E2N1*	508	10,5	5,3	1245	140	240	2	1	0,474	0,480
P10E4	497	21,0	0,0	1245	140	226	4	0	0,465	0,436
P10E4N1	489	21,0	5,3	1245	140	235	4	1	0,481	0,456

Fonte: Ahmed Al-Mansour *et al.* (2022)

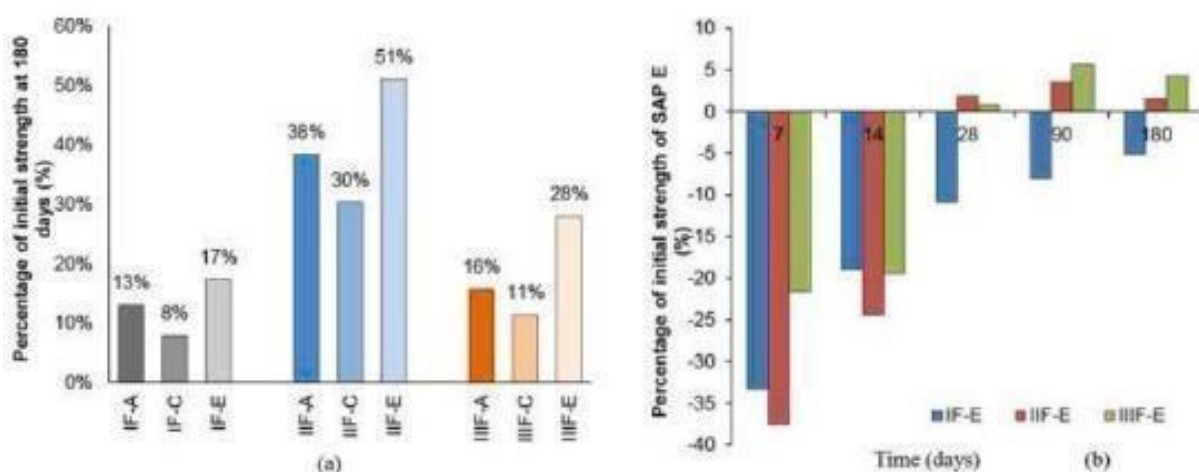
As propriedades impermeáveis dos compósitos cimentícios com híbridos EVA e nS foram medidas. No estudo foram realizados testes não destrutivos usando tomografia computadorizada de raios-X de microfoco (I-XCT) com técnica de aumento de contraste seguido de testes microestruturais (SEM/BSE e EDS) foi conduzido para rastrear a migração líquida *in-situ* nos espécimes compostos. A simples adição de EVA aos compósitos cimentícios aumentou a porosidade e diminuiu a resistência à compressão, mas diminuiu muito a sorvibilidade da água em quase 50%. Os híbridos orgânico-inorgânico (EVA-nS) aumentaram o potencial de reciclagem dos resíduos plásticos em termos de redução de resistência mitigada e melhor desempenho de impermeabilização. Os efeitos da polimerização acoplada de EVA e nanoenchimento de nS foram resolvidos para explicar a melhoria da reciclabilidade. As descobertas lançariam luz sobre o design e a fabricação de materiais cimentícios para métodos e tecnologias de reciclagem em larga escala de resíduos plásticos.

Oliveira (2022) desenvolveu estudo que se propôs uma substituição parcial da Cal Hidratada por escória de licor verde. A cal foi substituída pela escória nas porcentagens de 10%, 15%, 20% e 30%. Os materiais foram caracterizados segundo suas composições químicas e distribuições granulométricas. Ensaio no estado fresco e endurecido foram conduzidos de acordo com as normas vigentes. Além disso, foram realizados ciclos de molhagem/secagem, simulando o envelhecimento das argamassas em estudo com base na norma de desempenho e, posteriormente, seu efeito foi avaliado em compressão e tração na flexão. Os resultados mostraram que entre os traços que foram analisados o traço com substituição de 30% se mostrou em virtude de razões ambientais e econômicas.

A reintrodução de resíduos poliméricos em elementos cimentícios se dá não só com foco na minimização dos impactos de extração frente a finitude de recursos, mas também com foco em proporcionar ou potencializar argamassas cimentícias, um exemplo dessa linha de pensamento é o estudo desenvolvido por Rohollah *et al.* (2022), no qual realizou estudos sobre o

efeitos de utilização de polímeros superabsorventes na microestrutura e na resistência de argamassas cimentícias reforçadas com fibras poliméricas, na sua avaliação se utilizou de análises em diferentes argamassas com percentuais de aplicação diferentes análise confirmou que os SAPs fornecem água adicional para hidratação (cura interna), mas também um espaço necessário para produtos de hidratação posteriores (reenchimento adicional de SAPs colapsados), resultando em microestrutura interna mais homogênea. Essa melhora é mais acentuada em argamassas contendo SAP mais fino (em torno de 80 μm), que pode facilitar a recuperação de resistência de até 50%. O processo de recuperação de resistência em amostras FRM-SCM é intensificado após a 2ª semana e é mais dominante para amostras contendo CEMIII/A. Conforme mostra a Figura 1 a seguir.

Figura 1. Resultados de resistência a flexão da avaliação de Rohollah *et al.* (2022).



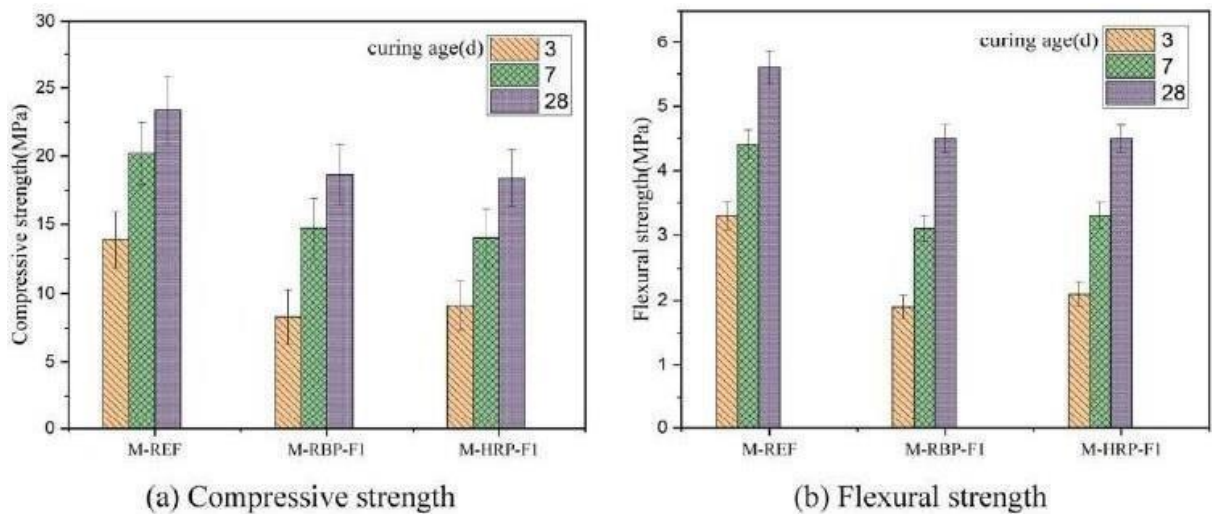
Fonte: Rohollah (2022)

Os resultados obtidos nas pesquisas fomentam o surgimento de estudos diversos que converjam e tornem ainda mais robusta a possibilidade de novas aplicabilidades a resíduos como o resíduo de ACM, um outro estudo desenvolvido por Hou *et al.* (2022), no qual ele buscou verificar a usabilidade de resíduo de pó reciclado híbrido com fibras de polietileno tereftalato reciclada em argamassa, uma avaliação no tocante a resistência, durabilidade e avaliação microestrutural. Um estudo onde o pó de tijolo reciclado (PTR) foi usado como comparação para avaliar a influência do reciclado híbrido (RP). As propriedades mecânicas, incluindo resistência à compressão, resistência à flexão e módulo de elasticidade, bem como durabilidade, incluindo absorção capilar de água, resistência à penetração de cloreto, resistência à carbonatação e resistência ao gelo foram testadas. Os produtos de hidratação e a estrutura dos microporos da argamassa foram estudados para revelar o mecanismo de influência do RP e da

fibra de polietileno tereftalato reciclada (FPTR). Os resultados mostram que a resistência à compressão e à flexão aos 28 dias da argamassa com 30% HRP atingiu 78,60% e 80,36% da resistência da argamassa de cimento, respectivamente, valor semelhante ao RBP. A adição de HRP reduziu a absorção capilar de água e o coeficiente de permeabilidade ao íon cloreto da argamassa.

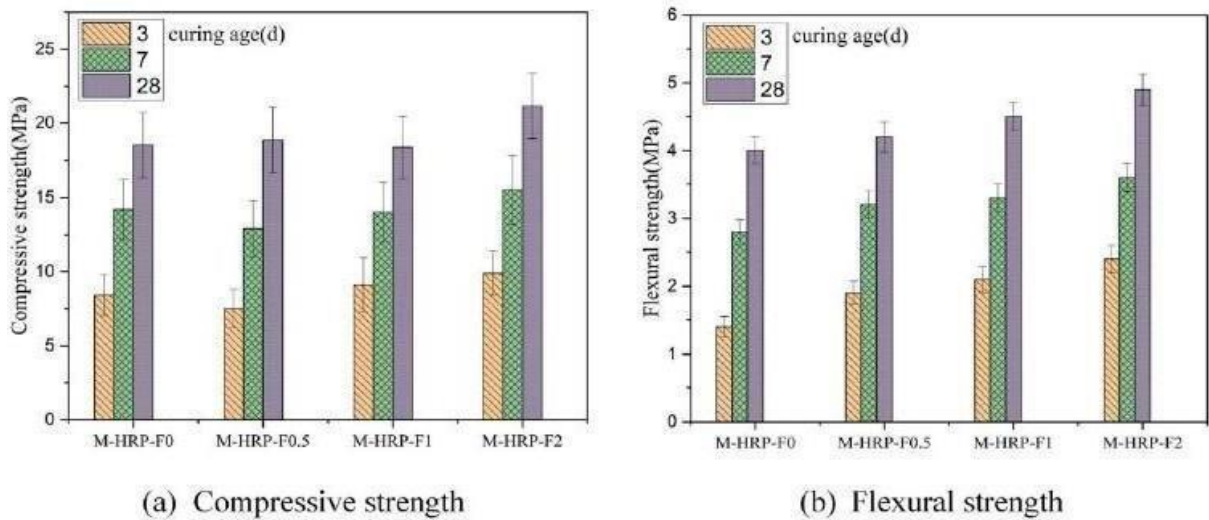
A resistência à compressão aos 28 dias e resistência à flexão da argamassa com 2% RPETF foram 14,25% e 22,50% maiores do que sem RPETF, respectivamente. A utilização do RPETF melhorou a durabilidade das argamassas com HRP. A Figura 2 e 3 mostram respectivamente os resultados de resistência a compressão e de resistência à tração em diferentes ciclos da argamassa com RBP e em seguida o mesmo ensaio com argamassas também em diferentes ciclos com diferentes teores de RPETF.

Figura 2. Resultados de resistência a compressão e tração de argamassas com adição de pó de tijolo reciclado (PTR).



Fonte: Hou *et al.* (2022)

Figura 3. Resultados de resistência a compressão e tração de argamassas com adição de fibra de polietileno tereftalato reciclada (FPTR).



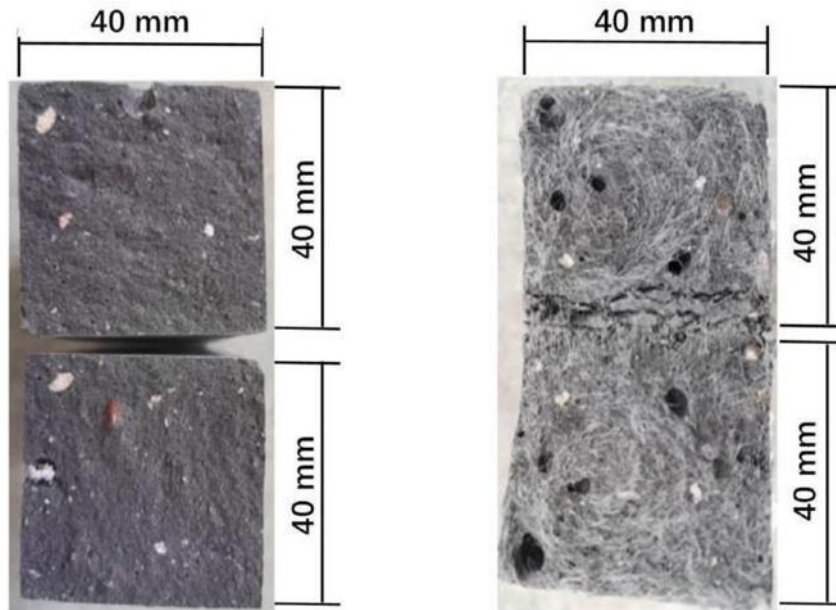
Fonte: Shaodan Hou *et al.* (2022)

Outra contribuição interessante nos estudos quanto a efeitos das adições por adição ou substituição de polímeros em argamassas foi o estudo desenvolvido por Meng *et al.* (2022), no qual foi estudado dois comprimentos diferentes (6 mm e 12 mm) de argamassas de geopolímero à base de cinzas volantes, escória e sílica reforçadas com fibras de polietileno (PE) com duas proporções diferentes de aglutinante de água.

Os resultados do estudo evidenciaram que, quando o fator de fibra (FF) é menor que o FF crítico (F_c) = 70, a distância entre as fibras é grande, então sua influência no PFRGM (O QUE É ISSO?) pode ser ignorada. Quando o FF excede o denso FF (F_d) = 400, as fibras se emaranham facilmente, resultando em embolamento, o que deteriora seriamente os vários desempenhos do PFRGM. Quando FF está entre F_c e F_d , as propriedades mecânicas são significativamente melhoradas, e a mistura ainda pode fluir sob seu peso, que é a melhor região para preparar o PFRGM. Uma boa correlação da função quadrática entre o FF e a fluidez é revelada.

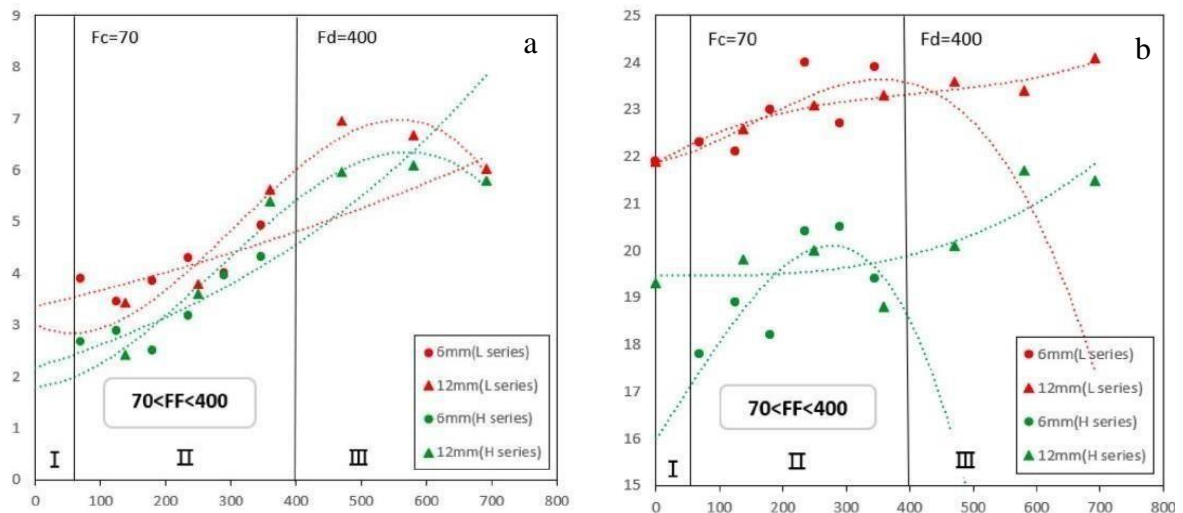
A resistência à compressão relativa do PFRGM é maior do que a da argamassa de cimento reforçada com fibra de vidro. Em contraste, a resistência à flexão relativa do PFRGM é menor do que a da argamassa de cimento reforçada com fibra de vidro. Geralmente, as fibras de 12 mm fornecem uma melhor melhoria na resistência à flexão da argamassa do que as fibras de 6 mm devido à maior eficiência de ponte das fibras mais longas. A Figura 4a e 4b estão os arranjos fibrosos verificados nos estudos e nas Figuras 5^a e 5b apresentam de forma ilustrativa os desempenhos das argamassas em ensaios de compressão e flexão respectivamente.

Figura 4. Distribuição das fibras em superfície de ruptura de amostras Fc (a) e Fd (b).



Fonte: Zixiang Meng *et al.* (2022)

Figura 5. Gráfico de desempenho de resistência a compressão (a) simples e a flexão (b) de diferentes proporções.



Fonte: Zixiang Meng *et al.* (2022)

Outro estudo que contribuiu para confirmar a contribuição positiva de incorporação de polímeros em compósitos cimentícios é o estudo de Abdulrahman e Bzeni (2022) no qual eles avaliaram resistência de união de argamassa de cimento modificada com polímero incorporada com fibras de polipropileno, sendo essa avaliação realizada em situações extrema de intempéries, buscando avaliar a contribuição da introdução do polímero no compósito. O estudo consistiu na avaliação de duas formas de argamassas de cimento modificada por polímero.

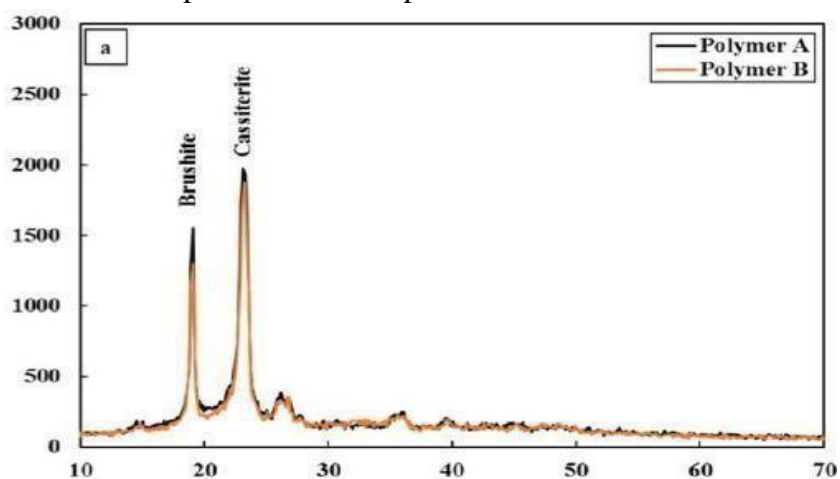
Esses produtos são conhecidos comercialmente como Sika MonoTop[®] 620, uma forma de material de reparo para estruturas de concreto, e DCP Cemfix 2CS, que ocasionalmente é usado como adesivo para unir as telhas à base de concreto. O efeito da fibra de polipropileno com frações de volume de 0, 0,5, 0,75 e 1% foi investigado usando três proporções diferentes de água para aglutinante. O estudo se utilizou de uma amostra de 24 proporções diferentes onde se aferiu os seguintes parâmetros: Resistência a compressão, resistência a flexão e resistência de ligação em todas.

Os resultados obtidos tanto no ensaio de Slant-Shear quanto o Pull-off apresentaram correlação pelos números obtidos, uma correlação alta que chegou a 85%. Além disso, a resistência de união foi conectada com a resistência à compressão e flexão do material com 95% e 86% com Slant-Shear e 80% e 76% com Pull-off, respectivamente.

Estudos foram evidenciados também quanto ao comportamento microestrutural de argamassas polimerizadas, um estudo que pode ser colocado como exemplo é o realizado por Mohammed *et al.* (2022), no qual foram investigadas as características de argamassas de cimento modificadas com dois tipos de aditivos poliméricos contendo 0,20 por cento (% em peso). Para os períodos de cura inicial (1 dia) e 28 dias, foi investigado o comportamento reativo de argamassas cimentícias modificadas com aditivos poliméricos. Dependendo da estrutura polimérica e do conteúdo, a adição de mistura polimérica reduziu a relação água/cimento (w/c) em 14,5 a 25,5%.

Quando 0,20% de aditivo polimérico foi adicionado à argamassa de cimento, a resistência à compressão melhorou de 72% para 153%. A Figura 6 mostra de forma ilustrativa o ensaio de difração de raio X feito nas argamassas modificadas por diferentes polímeros:

Figura 6. Análise de Difração de Raio x de argamassas modificadas por adição poliméricas com polímeros distintos.



Fonte: Mohammed *et al.* (2022)

O Polímero B é um condensado de melamina formaldeído sulfonado que pertence à classe de condensado de formaldeído de melamina sulfonada. Este polímero sintético possui um grupo sulfonato em cada unidade de repetição. Os polímeros têm uma composição sólida de mais de 97 por cento. O polímero A tinha uma faixa de pH de 6 a 8, enquanto o polímero B tinha uma faixa de pH de 9 a 11. Cada 0,02 por cento foi empregado para ajustar as propriedades mecânicas do cimento de 0 a 0,06 por cento (porcentagem em peso) de polímeros com adição baseada em intervalos.

a mesma forma que se desenvolve estudos de introdução de elementos poliméricos em argamassas, nessa mesma linha se desenvolve também com outros compósitos de base cimentícia, um exemplo de compósito é concretos, um exemplo de estudo dessa ordem é o de Amran *et al.* (2022), no qual se buscou verificar as Propriedades e desempenho de concreto de alta resistência com fibras de polipropileno com ligantes compostos melhorados. A pesquisa se mostrou exitosa com a utilização de um modificador mineral em pó, cuja introdução permitirá controlar de forma eficaz os processos de síntese dos produtos de hidratação durante o endurecimento do compósito de cimento.

A argamassa desenvolvida e o concreto reforçado com fibra de polipropileno é um material confiável e durável que retém suas características de desempenho especificadas ao longo do tempo sem destruição sob condições operacionais. O presente estudo apresentou resultado expressivos no tocante à retenção de água, aderência à base e qualidade estrutural. Que retém suas características de desempenho especificadas ao longo do tempo sem destruição sob condições operacionais. A capacidade de retenção de água observada foi de 89,5%, que é 1,54vezes maior que a da composição não modificada, força de adesão à base de 0,90 (80% maior). Além disso, o fator de qualidade estrutural observado foi de 0,36 (4 vezes maior), resistência à água sob pressão de 0,8 Mpa (0,2 Mpa para composição não modificada).

A pesquisa citada traz como novidade científica deste estudo reside na ampliação da gama de matérias primas naturais aplicadas disponíveis localmente para ligantes poliminerais, em vez de usar materiais manufaturados ou raros.

O Quadro 1 a seguir apresenta, de forma resumida, informações sobre o estado da arte sobre estudos de propriedades de argamassas cimentícias com adição, substituição ou incorporação de polímeros.

Quadro 1. Estado da arte sobre propriedades de argamassas cimentícias com adição, substituição ou incorporação de polímeros.

AUTOR (ES)	MÉTODO APLICADO	RESUMO DOS RESULTADOS
Kazmierczak <i>et al.</i> (2007)	Argamassa aplicada, em que foi constatado que os substratos utilizados possuem diferentes propriedades mecânicas de aderência, relacionadas por uma diferença visual na distribuição de poros de cada substrato analisado.	A utilização do chapisco antes da aplicação da argamassa emboço pode alterar a distribuição de poros da argamassa. Este procedimento trouxe como consequência o aumento da resistência à tração da argamassa de emboço sobre substratos de blocos de concreto.
Mello (2016)	Foram avaliadas as propriedades do estado fresco e endurecido da argamassa de cimento e areia, tomada como referência, e com substituição em volume nos percentuais de 10%, 17% e 25% da areia por partículas de PEAD reciclado, mantendo-se a relação água/cimento em todos os traços.	Os resultados desse estudo revelam o uso potencial do polietileno de alta densidade reciclado, no sentido de conferir à argamassa aumento da capacidade de deformação com redução relativamente pequena de resistência à compressão. Dessa forma, espera-se contribuir no campo da pesquisa visando o aproveitamento de resíduos plásticos em compósitos cimentícios.
Zanotti <i>et al.</i> (2017)	A argamassa de geopolímero com utilização de fibras de metacaulin.	O uso de fibras reduziu a aderência, porém a adição de metacaulin contribuiu para o aumento dessa propriedade.
Sousa (2018)	foram elaboradas proporções de argamassas com diferentes percentuais de poliestireno sendo eles 0,0; 0,2; e 1,4%, esse percentual é acrescido em relação à massa de cimento. A proporção de referência foi areia no traço 1:4 em massa. As alterações das argamassas com adição de poliestireno foram analisadas no estado fresco e endurecido, determinando o índice de consistência e resistência à compressão.	A argamassa com adição de 0,2% obteve resultados positivos em relação à argamassa sem aditivo e a argamassa modificada com 1,4% com obteve resultados minorados em relação à argamassa de referência.
Carvalho <i>et al.</i> (2019)	A argamassa de referência produzida neste estudo foi do tipo mista, composta por cimento Portland, cal hidratada, agregado miúdo natural e água tratada. O cimento utilizado foi do tipo II (CP II Z-32), classificado segundo a NBR 16697 (ABNT, 2018) como cimento composto com adição de material pozolânico. Já a cal hidratada, foi do tipo dolomítica, classificada como CH. III, conforme NBR 7175 (ABNT, 2003). Por fim, o agregado miúdo utilizado foi a areia natural já seca, com denominação comercial “fina” e especificações em acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009).	No estado fresco, foi constatado que a utilização da LRC-S possui um impacto negativo na trabalhabilidade das argamassas, sobretudo para taxas de substituição superiores a 75%, em massa. Por outro lado, a substituição da cal hidratada, em até 50% em massa, se mostra viável, apresentando propriedades mecânicas equivalentes ao traço tomado como referência.
Wang <i>et al.</i> (2019)	Argamassas com cinco proporções diferentes (0%, 5%, 10%, 15% e 20%) de dispersão de copolímero de estireno-butadieno (SB) para cimento de sulfoaluminato de cálcio (CSA) com fluidez constante foram investigadas. Quatro temperaturas (0°C, 5°C, 20°C e 40°C) e três umidades relativas (UR), variando de baixa (32 2%), média (63	Os resultados experimentais mostram que a adição de SB melhora o desenvolvimento da resistência de união à flexão e à tração, mas não a resistência à compressão. O melhor desempenho da argamassa de cimento CSA é alcançado com 20% de SB. No entanto, as propriedades mecânicas da argamassa de cimento CSA são

	10%) a alta (96 3%) foram considerados para a cura dos corpos de prova de argamassa.	significativamente degradadas.
Silva (2019)	Foram moldados corpos de prova cilíndricos nas dimensões de 5cm x 10cm e determinou-se a absorção por imersão, índice de vazios, massa específica e a resistência a compressão simples para as idades de 7,14, e 28 dias, com percentuais de substituição do agregado miúdo que variaram de 0,5% a 10% do total utilizado.	Os resultados encontrados, permitiram a conclusão de que houve um aumento na absorção de água, no índice de vazios e uma redução da massa específica dos corpos de provas incorporadas com PET quando comparados com a argamassa de referência. Para o ensaio mecânico de resistência a tração houve uma redução nos valores das argamassas modificadas com PET.
Oliveira Santos (2019)	Foram avaliadas no estudo 5 tipos de proporção, partindo da de referência, sendo seguida por variações de 10%, 20%, 30% e 40% de substituição, sendo todos as proporções sendo avaliadas conforme descrito pela norma.	Foi evidenciado perda pe propriedades mecânicas, trabalhabilidade e massa específica, ao mesmo tempo se verificou o aumento de de absorção de água e índices de vazios.
Abbas <i>et al.</i> (2019)	Esta pesquisa estudou a influência da hibridização do álcool polivinílico (PVA), na primeira etapa como solução e na segunda com adição de fibras com solução de PVA. O desempenho sob cargas de flexão do compósito de argamassa de cimento foi estudado nesta base, a concentração de PVA na solução utilizada foi de 1% do peso do cimento com três frações volumétricas de fibra de PVA (1%, 2% e 3%) que foram consideradas as variáveis para PVA constante razão solução para cimento (P/C) e razão a/ce como 1,6% e 30%, respectivamente.	Por fim, observou-se que a fração de fibras de PVA desempenha, como resultado, um papel significativo no refino da ductilidade de compósitos de argamassa cimentícia.
Hodull <i>et al.</i> (2019)	Na pesquisa apresentada, a influência de diferentes teores de aditivos de cristalização (AC) nas propriedades mecânicas de argamassa de polímero- cimento com 24% de substituição de cimento por resíduo de calcário.	A coesão com o concreto de base contendo diferentes quantidades de calcário foi suficiente, e a aderência da argamassa ao concreto também foi examinada de perto por Através da investigação sem microscopia eletrônica de varredura (MEV). No entanto, o efeito de vedação completo geralmente ocorre após aproximadamente quatro a cinco semanas. Os mecanismos de auto- regeneração em materiais à base de cimento, incluindo os métodos e técnicas experimentais, que têm sido utilizados para caracterizar e quantificar a capacidade de auto-selagem e/ou auto-cicatrização de materiais à base de cimento, a eficácia dos diferentes auto-vedantes e /ou determinou-se que a presença de resíduos de calcário com granulometria inferior a 250 µm não afetou a formação de cristais durante o processo de hidratação adequado, em câmara climática com alta umidade relativa (99%).
Santos <i>et al.</i> (2020)	Seis corpos de prova de formato cilíndrico foram produzidos com o intuito de delinear o sedimento, sendo que três destes foram reforçados com 70 g de borracha, processados com 20228 g de	Os resultados mostraram a potencialidade de eficácia da argamassa desenvolvida com o composto de cimento, areia e água que possuíam as mesmas características da mistura da argamassa tradicional apenas

	cimento, 2212 g de areia e 1,5 litros de água. Os outros três apenas com cimento areia e água. Foram realizados testes de desgaste por abrasão e compressão para caracterizar a argamassa no estado endurecido.	com o diferencial da incorporação do polímero.
Lima Neta (2020)	O estudo buscou avaliar as propriedades de argamassas com a substituição da areia por resíduo polimérico. Para isso, foram produzidas argamassas com teores de substituição do agregado 0% (referência), 2,5%, 5%, 7,5% e 10% em massa. O traço foi 1:1,5 e a relação água/cimento 0,40% e mantida constante para as argamassas com substituição.	Os resultados apontam que a argamassa produzida com o teor de 2,5%, aos 28 dias, apresentou propriedades mecânicas promissoras, no ensaio de resistência à compressão, mesmo tendo uma diminuição da resistência comparada a argamassa de referência, obtendo-se 28,66 Mpa. E, no ensaio de flexão, demonstra que a adição do resíduo à argamassa resultou em uma resistência que atingiu 7,85 Mpa e uma deformação de 0,78 mm. Desta forma, a incorporação de resíduo polimérico na produção de argamassa é favorável, todavia é necessário avaliar os parâmetros mínimos de aplicação para cada finalidade e estudos futuros que melhorem sua durabilidade.
Fernandes (2020)	Realizados ensaios de caracterização de agregados e do polímero a ser utilizado no estudo, a partir de traço de referência foram realizados ajustes na proporção de forma a permitir a substituição do agregado miúdo em 5%, 10% e 15%. Sendo posterior a isso realizados ensaios de resistência à compressão simples, além de determinação de índice de absorção de água e densidade de massa aparente.	O estudo evidenciou que a incorporação de PET contribuiu no tocante a consistência em estado fresco e no estado endurecido se verificou redução da densidade e da massa aparente, também se evidenciou diminuição de absorção por capilaridade, sendo essa diminuição proporcional ao aumento de do agregado polimérico.
Khosravi <i>et al.</i> (2020)	Uma combinação de misturas de solo consiste em três diferentes proporções de bentonita e areia (ou seja, 15%:85%, 20%:80% e 25%:75%). A proporção de cimento foi total da mistura de bentonita e areia. Várias quantidades de goma xantana (isto é, 1, 3 e 5% em massa) como selecionada em 10, 20 e 30% do peso material de biopolímero foram adicionadas às misturas. Uma série de testes de permeabilidade e resistência à compressão não confinada foram realizados em amostras após 3, 7 e 28 dias de cura.	Os resultados dos testes mostraram que a adição de biopolímero tem alto potencial no aumento da resistência das amostras e na diminuição da permeabilidade. Uma composição ideal contendo 85% de areia, 15% de bentonita, 10% de cimento e 1% de biopolímero de goma xantana com menor permeabilidade, menor valor de retração e resistência à compressão não confinada adequada foi sugerida como a mistura mais adequada para aplicações práticas.
Brasil e Inacio (2021)	Foi feita a incorporação do PSS à argamassa com teores q variaram de 0,5% a 1,5%, sendo avaliada a influência desse incremento nas argamassas tanto no estado fresco como no endurecido. Para isso se utilizando de ensaios de plasticidade, absorção, permeabilidade, resistência mecânica e formação de fissuras.	Concluiu-se que o PSS obtido a partir da reciclagem de copos descartáveis, além de uma ação sustentável, pode atuar como aditivo plastificante, refletindo em melhoras nas propriedades de plasticidade, absorção, permeabilidade e resiliência de argamassas cimentícias.
Dantas <i>et al.</i> (2022)	foi analisado o comportamento da argamassa quando submetido a esforço axial de compressão, quando produzido com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de PET. Foram feitos 3 traços com resíduo de PET substituindo 0%, 5% e 10% de areia natural e	Os resultados mostraram que aos 14 dias, a argamassa produzida com substituição parcial do agregado miúdo por PET na proporção de 5% atende os requisitos da norma NBR 13281/2005. Aos 28 dias a argamassa com substituição parcial do agregado miúdo por PET na

	foram avaliados a compressão axial aos 3, 7 e 14 dias, também para a comparação sobre sua operacionalidade.	proporção de 10% poderia atingir a resistência desejada.
Gadoy (2022)	Para atingir os objetivos do estudo, diferentes porcentagens de borra de mármore e granito foram incorporadas às formulações de argamassa preparadas na faixa de 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% em substituição à sílica utilizada. Areia em cada formulação.	Os resultados mostraram uma melhora na trabalhabilidade, desempenho e força de adesão da formulação de argamassa adesiva cimentícia modificada com polímero preparada ao utilizar a porcentagem ótima de adição de lodo. Além disso, os resultados experimentais mostram que a resistência à compressão e à flexão das formulações de argamassa preparadas também foram aprimoradas pelo aumento do teor de lodo.
Al-Mansour <i>et al.</i> (2022)	Um teste não destrutivo usando tomografia computadorizada de raios-X de microfoco (I-XCT) com técnica de aumento de contraste seguido de testes microestruturais (SEM/BSE e EDS) foi conduzido para rastrear a migração líquida <i>in-situ</i> nos espécimes compostos.	Os híbridos orgânico-inorgânico (EVA-nS) aumentaram o potencial de reciclagem dos resíduos plásticos em termos de redução de resistência mitigada e melhor desempenho de impermeabilização. Os efeitos da polimerização acoplada de EVA e nano enchimento de nS foram resolvidos para explicar a melhoria da reciclabilidade.
Rohollah <i>et al.</i> (2022)	Três tipos de cimento incluindo CEM I, CEM II/BV e CEM III/A e três tipos de SAP com diferentes composições químicas e granulometrias de partículas foram estudados.	A análise confirmou que os SAPs fornecem água adicional para hidratação (cura interna), mas também um espaço necessário para produtos de hidratação posteriores (reenchimento adicional de SAPs colapsados), resultando em
Shaodan Hou <i>et al.</i> (2022)	Aferição e análise das propriedades mecânicas, incluindo resistência à compressão, resistência à flexão e módulo de elasticidade, bem como durabilidade, incluindo absorção capilar de água, resistência à penetração de cloreto, resistência à carbonatação e resistência ao gelo foram testadas	Os resultados mostram que a resistência à compressão e à flexão aos 28 dias da argamassa com 30% HRP atingiu 78,60% e 80,36% da resistência da argamassa de cimento, respectivamente, valor semelhante ao RBP. A adição de HRP reduziu a absorção capilar de água e o coeficiente de permeabilidade ao íon cloreto da argamassa.
Meng <i>et al.</i> (2022)	Se estudou dois comprimentos distintos (6 mm e 12 mm) de argamassas de geopolímero à base de cinzas volantes, escória e sílica reforçadas com fibras de polietileno (PE) com duas proporções diferentes de aglutinante de água. Se utilizou o método aplicado por Efnarc, onde a fluidez do PFRGM é avaliada pelo resultado do fluxo mini-slump e pelo tempo de fluxo do funil em forma de V. Além desses se utilizou ensaios de resistência a compressão e flexão simples	Quando FF está entre Fc e Fd, as propriedades mecânicas são significativamente melhoradas, e a mistura ainda pode fluir sob seu peso, que é a melhor região para preparar o PFRGM. Uma boa correlação da função quadrática entre o FF e a fluidez é revelada. A resistência à compressão relativa do PFRGM é maior do que a da argamassa de cimento reforçada com fibra de vidro. Em contraste, a resistência à flexão relativa do PFRGM é menor do que a da argamassa de cimento reforçada com fibra de vidro. Geralmente, as fibras de 12 mm fornecem uma melhor melhoria na resistência à flexão da argamassa do que as fibras de 6 mm devido à maior eficiência de ponte das fibras mais longas.
Abdulrahman e Bzeni (2022)	As argamassas foram resistência de união de cada mistura foi avaliada usando os métodos de teste Slant-Shear e Pull-off.	Os valores de resistência de união obtidos pelos testes Slant-Shear e Pull-off apresentaram alta correlação, cerca de 85%. Além disso, a resistência de união foi conectada com a resistência à compressão e

		flexão do material com 95% e 86% com Slant-Shear e 80% e 76% com Pull-off, respectivamente.
Amran <i>et al.</i> (2022)	Avaliação das características da matéria-prima através de aferição das densidades de energia, distribuição de tamanho de partícula e área superficial específica. Um estudo abrangente das propriedades dos materiais se utilizando de ensaios de análise de difração de raios X, microscopia eletrônica de varredura, consistência padrão, tempo de presa, resistência à compressão e flexão, módulo de elasticidade, fator de qualidade estrutural, capacidade de retenção de água, resistência à adesão, resistência à água, abrasão resistência, condutividade térmica	A argamassa desenvolvida e o concreto reforçado com fibra de polipropileno é um material confiável e durável que retém suas características de desempenho especificadas ao longo do tempo sem destruição sob condições operacionais. A capacidade de retenção de água observada foi de 89,5%, que é 1,54 vezes maior que a da composição não modificada, força de adesão à base de 0,90 (80% maior). Além disso, o fator de qualidade estrutural observado foi de 0,36 (4 vezes maior), resistência à água sob pressão de 0,8 Mpa (0,2 Mpa para composição não modificada), abrasão foi de 0,70 g/cm ² (59% menor), resistência térmica

Fonte: Autor (2023)

3.3. Exposição de argamassas modificadas a intempéries

Diante a ação de agentes agressivos presentes em meio ambiente e argamassas cimentícias passíveis de ataque surge necessidade de resistência por parte dos revestimentos cimentícios em resistir de forma satisfatória, mantendo-se íntegro e com sua funcionalidade preservada. Focando nessas necessidades vemos a importância de revestimento que, em estado endurecido apresentem o mínimo de vazios possíveis ou que possuam propriedades combativas a ataques de agentes agressivos.

Nessa linha de pensamento e Lacerda (2020) realizou estudos que buscaram avaliar a durabilidade de argamassas incorporadas com politereftalato de etileno nos teores de 5,10,15,20 e 25% através de ensaio resistência ao ataque por sulfatos. Os ensaios de verificação de durabilidade ocorreram nos 7,14, 21, 28, 35 e 42 dias. Nesse estudo os resultados não foram satisfatórios, uma vez que todas as proporções sugeridas não conseguiram obter eficiência no combate a expansão causa pelo ataque da solução de sulfato.

Já o estudo de Machado (2019) buscou a influência de aditivo incorporador de ar (AIA) no comportamento de argamassas mistas com agregado reciclado de PET. Para tal analisaram três proporções distintas de 0% (referência); 5% e 15% de Os resultados mostraram que o uso do AIA foi positivo no que diz respeito às propriedades físicas e reológicas das argamassas, uma vez que a sua utilização resultou no aumento do teor de ar incorporado e conseqüentemente a redução da densidade de massa das misturas, tanto no estado fresco quanto endurecido, ainda que estas características provoquem a redução das propriedades mecânicas. Os resultados do

ensaio de aderência à tração apresentaram variação quase nula nas proporções avaliadas, no entanto todas as amostras obtiveram resistência média dentro dos padrões normativos. Quanto à durabilidade, a absorção de água foi reduzida para os traços sem adição de PET em contraste ao aumento da aplicação do aditivo, no entanto a introdução de aditivo deve ocorrer nas porcentagens de 0,05% para os traços com 5% de substituição de PET e de 0,10% e 0,15% para os traços com 15% de substituição. O quadro 2 apresenta de forma resumida o estado da arte sobre o desempenho de argamassas modificadas a intempéries e ataques de agentes agressivos externos.

Quadro 2. Estado da arte para exposição de argamassas modificadas a intempéries e ataques de agentes agressivos.

AUTOR	MÉTODO APLICADO	RESUMO DOS RESULTADOS
Machado (2019)	<p>Foram adotadas 3 proporções distintas, 1 de referência e outras duas com 5% e 15% de substituição respectivamente de PET frente ao agregado miúdo, em paralelo a isso também foi incorporado proporções de aditivos incorporadores de ar (AIA) nas proporções: 0,05;0,10 e 0,15% em relação a massa de cimento. Feito isso se realizou a caracterização das argamassas quanto às propriedades reológicas no estado fresco (índice de consistência, teor de ar incorporado e retenção de água), propriedades físicas (densidade de massa), durabilidade (absorção de água por capilaridade e absorção de água pelo método do cachimbo) e mecânicas (resistência à tração na flexão, resistência à compressão axial e resistência potencial de aderência à tração).</p>	<p>O efeito do AIA foi positivo no que quanto às propriedades físicas e reológicas das argamassas, pois a sua utilização resultou no aumento do teor de ar incorporado e consequentemente a redução da densidade de massa das misturas, tanto no estado fresco quanto endurecido. Os resultados do ensaio de aderência à tração apresentaram pouca variabilidade entre os traços analisados, no entanto todas as amostras obtiveram resistência média dentro dos padrões normativos. Quanto à durabilidade, a absorção de água foi reduzida para os traços sem adição de PET em contraste ao aumento da aplicação do aditivo, no entanto a introdução de aditivo deve ocorrer nas porcentagens de 0,05% para os traços com 5% de substituição de PET e de 0,10% e 0,15% para os traços com 15% de substituição. Portanto, é viável a aplicação do AIA em argamassas desde que ocorra nas porcentagens ideais para o desempenho satisfatório de suas funções, além disso, o aditivo deve apresentar compatibilidade com os demais componentes da mistura.</p>
Lacerda (2020)	<p>Buscou estudar a durabilidade de argamassas incorporadas com politereftalato de etileno nos teores de 5,10,15,20 e 25% em ciclo de 7,14, 21, 28, 35 e 42 dias.</p>	<p>Os resultados indicaram que os ensaios realizados com as argamassas dentre todas as porcentagens nenhuma delas foi capaz de ser eficaz no combate a expansão causada pelo ataque da solução de sulfato.</p>

Fonte: Autor (2023)

4. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental foi constituído com em 6 etapas, apresentadas de forma resumida na Figura 3. A primeira tratou da obtenção dos materiais a serem utilizados na pesquisa, ou seja, resíduo de ACM, cimento e areia, assim como a caracterização física do agregado, conforme preconizado nas normas da ABNT.

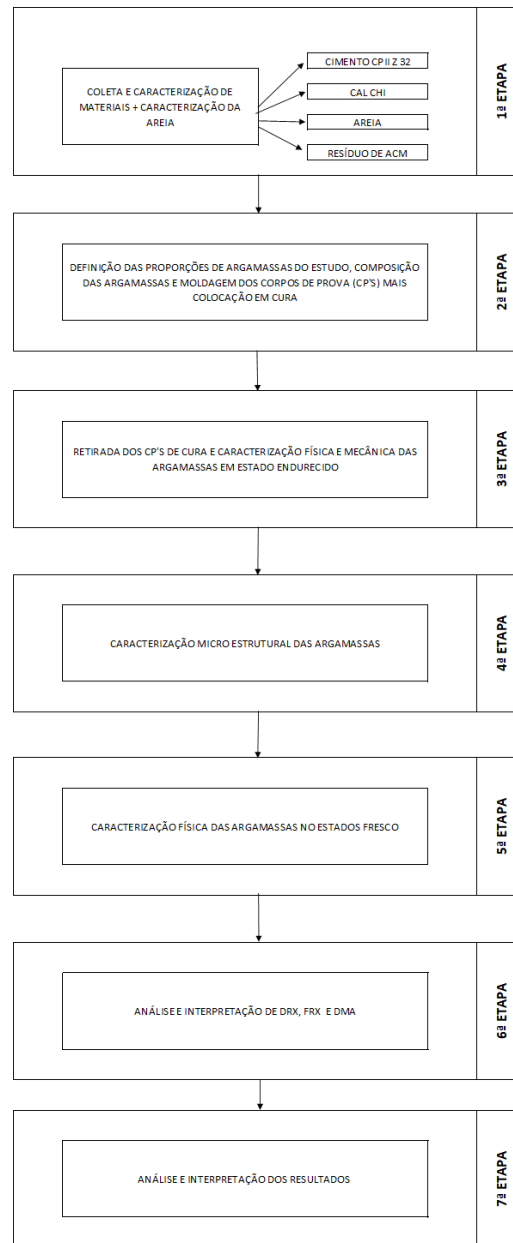
A segunda etapa se buscou a obtenção do resíduo de ACM, proveniente do processo de beneficiamento das chapas; obtenção da caracterização do ACM junto ao fabricante; e definição das proporções de substituição de Cal hidratada CHI pelo resíduo. Foi também na segunda etapa que foram moldados os corpos de prova e colocação deles em cura.

A terceira etapa inclui a dosagem e produção das argamassas, moldagem e cura dos corpos de prova. A quarta e quinta etapas consistem, respectivamente, na caracterização física e mecânica das argamassas no estado endurecido, na caracterização da argamassa no estado fresco e sua caracterização microestrutural.

A sexta e última etapa, destina-se à análise e interpretação dos resultados encontrados, comparando-os entre si e com dados da literatura.

Como dito o programa de investigação adotado se inicia pela obtenção dos materiais investigados, caracterização dos mesmos, definição de das proporções das argamassas de emboço, tanto para a argamassa de referência, quando para as proporções de substituição de 5%, 10% e 15% com resíduos de ACM, produção das argamassas, ensaios de laboratório para investigação das propriedades das argamassas, em estado fresco e endurecido nas diferentes proporções e verificar a influência da substituição de Cal Hidrata CHI por resíduo de ACM.

Figura 7. Fluxograma das etapas realizadas ao longo da pesquisa



Fonte: Autor (2022)

4.1. Materiais

Foram utilizados os seguintes materiais: cimento Portland tipo CP II Z 32, cal hidratada do tipo CHI, areia fina e resíduo de ACM em diferentes proporções. Vale ressaltar que todos os materiais utilizados passaram por caracterizações estabelecidas pelas normas de Engenharia, como será detalhado a seguir.

4.1.1. Cimento

Para produção dos traços do estudo foi utilizado o cimento Portland CP II Z 32. O Quadro 3 apresenta as normas utilizadas pelo fabricante do cimento utilizado partir da análise

do controle de produção. Em seguida o Quadro 3 apresenta as composições do cimento, a Tabela 2 e 3 trazem os dados fornecidos pelo fabricante.

Quadro 3. Normas ABNT para controle tecnológico do cimento.

DESCRIÇÃO	NORMA
Cimento Portland composto. Especificação	ABNT NBR 11578: 1991
Cimento Portland. Determinação do índice de finura por meio da peneira 75µm (n° 200)	ABNT NBR 11579: 2013
Cimento Portland e outros materiais em pó. Determinação da finura por meio da peneira 0,044mm (n°325). Método de ensaio	ABNT NBR 9202: 1985
Cimento Portland. Determinação da pasta de consistência normal	ABNT NBR NM 43: 2017
Cimento Portland. Determinação do tempo de pega	ABNT NBR NM 65: 2017
Cimento Portland. Determinação da expansividade Le Chatelier	ABNT NBR 11582: 2012

Fonte: Autor (2022)

Tabela 2. Composição do cimento.

TIPO DE PRODUTO	COMPONENTES (% EM MASSA)			
	Clínquer + Gesso	Escória de alto forno	Pozolana	Material carbonático
CP II Z	71,94	-	6-14	0-15

Fonte: NBR 16697 (ABNT) 2018

Tabela 3. Propriedades físicas do cimento Portland.

ENSAIOS	FÍSICOS E MECÂNICOS									
	Finura (%)		Blaine cm ² / g	Água de consist. (%)	Tempo de pega		Expansib. A quente (mm)	Resistência à compressão (Mpa)		
	# 200	# 325			Início (min)	Fim (min)		3 Dias	7 Dias	28 Dias
Data de realização do ensaio e limites mínimos e máximo da NBR 16697 (ABNT) 2018	≤ 12,0	N/A	≥ 2600	N/A	≥ 60	≤ 600	≤ 5,0	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0 ≤ 49,0
14/09/2022	0,2	3,8	5205	29,2	242	310	0,0	25,1	32,2	38,6
Mínimo	0,2	3,1	5200	28,8	220	290	0,0	21,2	27,3	35,7
Máximo	0,5	4,6	5590	29,6	265	330	0,5	25,2	32,1	39,6

Fonte: Fabricante

4.1.2. Areia

A areia utilizada foi a areia fina na dosagem da argamassa de emboço. A caracterização da mesma se deu conforme procedimentos preconizados na NBR 7211 (ABNT 2009) para determinação da composição granulométrica.

Seguindo o determinado na norma citada, foi deixado por um período de 24 horas 1300gramas de areia fina em uma temperatura de 100°C. Passada a etapa descrita, foi pesada uma quantidade de 900 gramas e em seguida a mesma foi inserida na peneira de abertura 4,8 mm. Feito isso, foram sobrepostas peneiras com menores aberturas, sendo a sequência de sobreposição a seguinte: 4,8 mm > 2,4 mm > 1,2 mm > 0,6 mm > 0,3 mm > 0,15 mm > 0,075 mm. Feito o devido posicionamento no equipamento de vibração, o mesmo foi acionado a velocidade de 10 minutos.

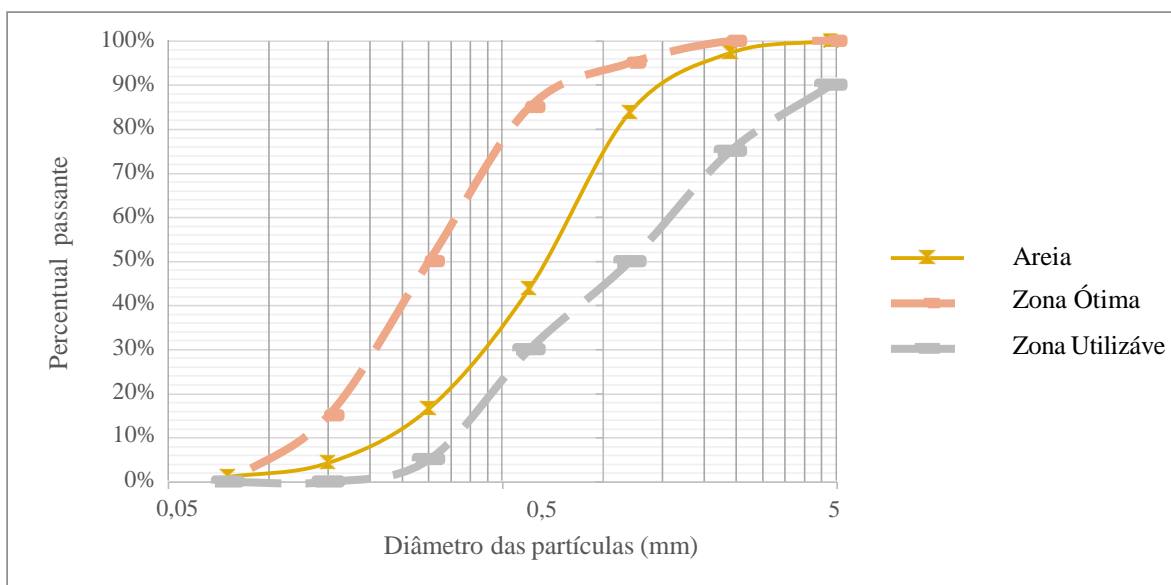
Passado o tempo de funcionamento da máquina foi verificada a massa em gramas retida em cada peneira componente do conjunto, fazendo logo depois o cálculo percentual de material retido e acumulado em cada peneira. Os resultados estão dispostos na Tabela 4 enquanto a Figura 4 apresenta a curva granulométrica do agregado miúdo utilizado nos experimentos.

Tabela 4. Composição granulométrica da areia fina

	Peneira						
	4,8	2,4	1,2	0,6	0,3	0,15	0,075
Amostra 1	9,15	58,16	231,03	171,79	137,86	32,85	9,16
Amostra 2	7,16	41,55	304,7	170,98	37,25	4,78	83,6
% retido 1	1,40%	8,90%	35,50%	26,40%	21,20%	5,10%	1,40%
% retido 2	1,10%	6,40%	46,90%	26,30%	5,70%	0,70%	12,90%
Média	1,30%	7,70%	41,20%	26,40%	13,50%	2,90%	7,10%
% acumula do	1,30%	8,90%	50,10%	76,50%	90,00%	92,90%	100,00%
Areia	1%	4%	16%	44%	84%	97%	100%
Areia	100%	97%	84%	44%	16%	4%	1%
Zona Ótima	100%	100%	95%	85%	50%	15%	0%
Zona Utilizável	90%	75%	50%	30%	5%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Figura 8. Curva granulométrica para o material acumulado de areia fina.



Fonte: Autor (2022)

Da mesma forma feita para o cimento, para produção dos traços foi utilizada a areia grossa. O Quadro 4 expõe as normas utilizadas pelo fornecedor da areia utilizadas na análise e controle de produção.

Quadro 4. Caracterização do agregado miúdo.

PROPRIEDADES	VALORES AREIA FINA	PROCEDIMENTO DE ENSAIO
Absorção de água (%)	0,064	NBR NM 30 (AMN 2001)
Dimensão máxima característica (mm)	1,18	NBR NM 248 (AMN 2003)
Módulo de finura	1,38	NBR NM 248 (AMN 2003)
Massa específica (g/cm ³)	2,586	NBR NM 52 (AMN 2009)
Massa específica do agregado seco (g/cm ³)	2,574	NBR NM 52 (AMN 2009)
Massa específica saturada da superfície seca (g/cm ³)	2,577	NBR NM 52 (AMN 2009)
Massa unitária (kg/m ³)	1605	NBR NM 45 (AMN 2006)

Fonte: Autor (2022)

4.1.3. Cal hidratada CHI

A Cal hidratada utilizada nos experimentos foi adquirida em meio comercial e os requisitos da mesma atenderam ao que preconiza a NBR 7175 (ABNT 2003). A Tabela 5 expõe as propriedades físicas e químicas da cal hidratada CHI.

Tabela 5. Propriedades Físicas e químicas da cal hidratada CHI.

DETERMINAÇÕES		RESULTADOS	LIMITES RECOMENDADOS: NBR 7175 (ABNT, 2003)
Umidade (110 ± 5°C)		0,59%	-
Perda ao fogo (1.000 ± 50°C)		22,94%	-
Anidrido Carbônico		2,01% CO ₂	≤7%
Anidrido Sulfúrico		0,12% SO ₃	-
Óxido de Cálcio total		66,90% CaO	-
Óxido de Magnésio		2,96 MgO	-
Cao+MgO não hidratados (calculados)		4,00%	≤10%
Óxidos totais na base de não voláteis		90,70%	≥90%
Finura (% retida acumulada)	Peneira # 30 (0.600mm)	0,00%	≤0,5
	Peneira # 200 (0.075mm)	1,80%	≤10%

Fonte: Autor (2022)

4.1.4. Resíduo de ACM

A maior parte do resíduo de ACM é composta pelo polietileno de baixa densidade, sendo uma parcela menor proveniente das chapas de alumínio constituídas na liga 3150-H14, uma liga que contém uma boa quantidade de Manganês, deferindo uma boa liga, boa formalidade e resistência mecânica moderadas. Este material apresenta uma combinação única de propriedades, como, por exemplo: tenacidade, resistência ao impacto, flexibilidade, trabalhabilidade e estabilidade.

O resíduo utilizado no presente estudo foi obtido a partir do beneficiamento de chapas de Alumínio Composto. ACM, mais especificamente na abertura de fresas de moldagem das chapas, etapa posterior a etapa de corte. Nas Figura 9 e 10 apresentam o processo de fresagem de peças e o resíduo resultante dessa etapa de beneficiamento respectivamente, em seguida o Quadro 5 apresenta as propriedades físicas do resíduo investigado.

Figura 9. Processo de fresagem de peças de ACM para modelagem.



Fonte: Autor (2022)

Figura 10. Resíduo resultante do processo de fresagem



Fonte: Autor (2022)

Quadro 5. Propriedades físicas do PEBD, componente do resíduo de ACM.

PROPRIEDADE	MÉTODO ASTM	PEBD
Densidade, g/cm ³	D 792	0,912 - 0,925
Temperatura em fusão cristalina, °C	***	102 - 112
Índice de refração, <i>n</i> D	D 542	1,51 - 1,52
Tração no escoamento, Mpa	D 638	6,2 - 11,5
Alongamento no escoamento, %	D 638	100 - 800
Resistência a tração, Mpa	D 638	6,9 - 16
Alongamento máximo, %	D 638	100 - 800
Módulo elástico, Mpa	D 638	102 - 240
Dureza, Shore D	D 676	40 - 50

Fonte: Fabricante

4.2. Métodos

4.2.1. Caracterização de argamassa em estado fresco

Índice de consistência (Flow table)

A consistência é uma característica importante quando analisamos argamassas em estado fresco, ela está ligada diretamente a trabalhabilidade da argamassa, ela é determinada por meio de ensaio de *Flow table*, que consiste basicamente numa mesa sobre a qual é avaliado o espalhamento da argamassa. Na realização deste ensaio, o procedimento consiste inicialmente em limpar a mesa e sobre ela centralizar uma fôrma troco cônica. A argamassa a ser avaliada deve ser colocada em 3 camadas, com alturas aproximadas, onde são aplicados 15, 10 e 5 golpes com soquete, na ordem de colocação das camadas.

Após golpes da última camada, o material fora da forma será retirado e a superfície arrasada com régua. A fôrma será removida verticalmente, e a manivela que faz parte do conjunto será movida por 30 vezes em 30 s; isso faz a mesa ser elevada e retornará a posição inicial e promoverá o espalhamento da argamassa. A média de três valores de diâmetros, obtidos de forma uniformemente distribuída, fornece o índice de consistência. Esse descritivo é o roteiro de realização do ensaio que será realizado. O mesmo é preconizado pela NBR13276 (ABNT,2016).

Densidade de massa e teor de ar incorporado

O ensaio de densidade de massa foi executado conforme a norma NBR 13728/2005 onde para o cálculo da densidade de massa da argamassa no estado fresco (d) foi usado a Equação 01:

$$d = \frac{m_c - m_v}{V_r} 1000$$

Onde: m_c é a massa do recipiente cilíndrico contendo a argamassa de ensaio, em gramas; m_v é a massa do recipiente cilíndrico vazio, em gramas; v_r é o volume do recipiente cilíndrico, em centímetros cúbicos.

A argamassa foi depositada em três camadas iguais, sendo aplicados golpes a cada camada, e força aplicada em cada golpe necessária para somente penetrar na superfície da camada inferior. Após a execução da última camada, foram aplicados cinco golpes com um soquete ao redor da parede externa do recipiente para que não haja vazios entre a argamassa e a parede e feito o arrasamento da última. Com as massas do recipiente vazio e do recipiente com a argamassa ensaiada, as massas e densidades de cada componente da argamassa e o volume do recipiente, são calculadas a densidade de massa da argamassa e o teor de ar incorporado.

Para determinação do teor de ar incorporado tanto na argamassa de referência quanto nas demais proporções se utilizou a metodologia determinada na norma, assim sendo, para determinação do teor de ar incorporado (AI), se dá pela utilização da Equação 02:

$$A = 100 \left(1 - \frac{d}{d_t} \right)$$

onde: d é o valor da densidade de massa da argamassa, em gramas por centímetro cúbico; d_t é o valor da densidade de massa teórica da argamassa, em gramas por centímetro cúbico, sem vazios.

É importante pontuar que para argamassas preparadas em obra, a densidade de massa teórica deve ser calculada pela equação 03:

$$d_t = \frac{\sum m_i}{\sum \frac{m_i}{\gamma_i}}$$

onde: m_i é a massa seca de cada componente da argamassa, mais a massa da água; γ_i é a massa específica de cada componente da argamassa.

O teor de ar incorporado na argamassa (A) deve ser apresentado em porcentagem,

arredondando ao número inteiro. As Figuras 11a, 11b e 11c ilustram a realização do ensaio de caracterização das argamassas em estado fresco. *Flow table*.

Figura 11. Realização de ensaio de argamassa em estado fresco. *Flow table*.



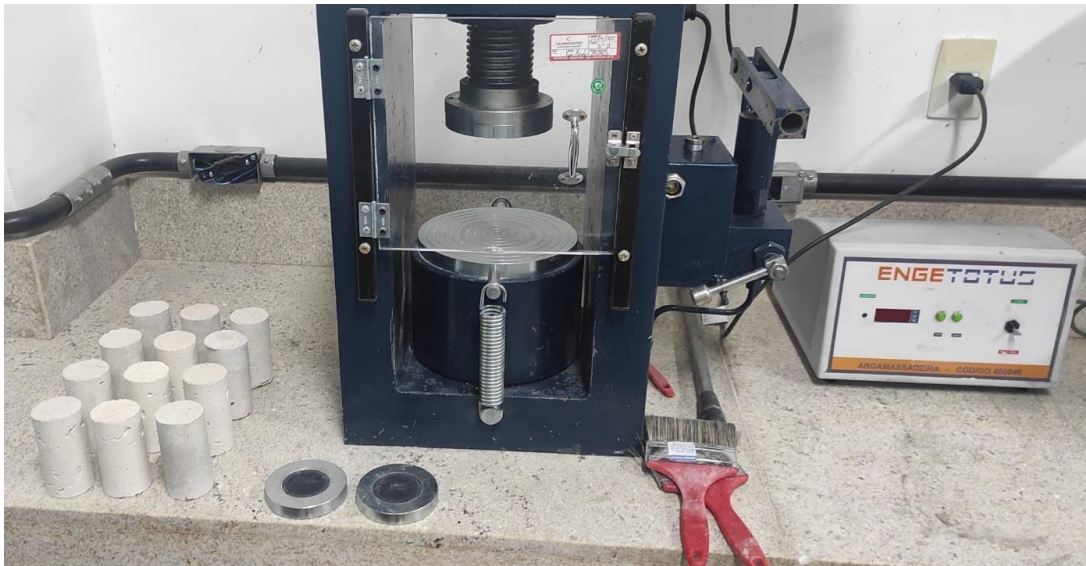
Fonte: Autor (2023).

4.2.2. Caracterização de argamassa em estado endurecido

Resistência simples à compressão

O procedimento mais comum para medir a resistência mecânica do concreto de acordo com os parâmetros mínimos de aplicação é o ensaio de compressão. Consiste em avaliar a reação de um corpo de prova quando comprimido, o ensaio é feito em laboratório e consiste na aplicação de força de compressão axial sobre o corpo de prova. Neste trabalho foi utilizada uma prensa manual Engetotus modelo 400261 e os corpos de prova dos materiais tiveram dimensões 5x10 cm. As Figuras 12, 13 e 14 apresentam registros dos ensaios de resistência à compressão realizados.

Figura 12. Prensa manual da Engetotus, 20T, utilizada nos ensaios de resistência à compressão.



Fonte: Autor (2022)

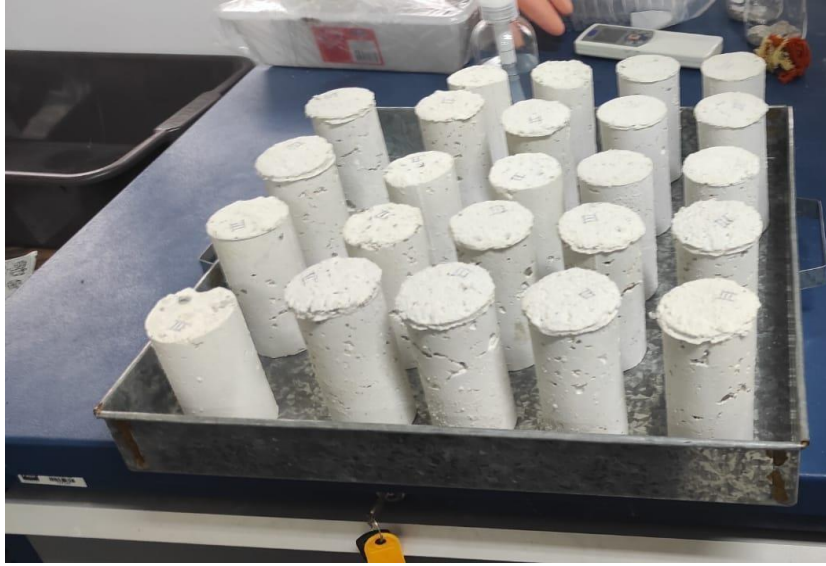
Figura 13. Ensaio de resistência a compressão em um dos corpos de prova de argamassa da tração com substituição de 5% da cal hidratada CHI.



Fonte: Autor (2022)

Figura 14. Corpos de prova com diferentes frações de substituição preparados para o ensaio de

compressão.



Fonte: Autor (2022)

4.2.3. Análises microestruturais de amostras

Nessa fase de estudo foram utilizados ensaios para promover a caracterização e a quantificação das fases presente no material de estudo, nesse caso a argamassa de emboço de referência e as proporções com diferentes substituições, para tal caracterização e quantificação foi utilizado o ensaio de Difração de Raio-X (DRX), da mesma forma, as amostras também foram submetidas a ensaios de Fluorescência de Raio. X (FRX) e todas as amostras também passaram pelo Microscopia de Varredura.

Análise de DRX ou Difração de Raios X como é conhecida é um ensaio que pode auxiliar, por exemplo, para avaliar estruturas cristalinas de uma determinada amostra ou como fruto do presente estudo, identifica e quantificar as fases cristalinas em uma determinada fase. Para realização desse ensaio nas amostras que compõe o estudo foi utilizado o equipamento XRD-7000 x- ray *Diffractionmeter*, utilizado em conjunto com o software XRD-6100/7000, para a análise foi adotado os seguintes parâmetros:

- 2θ slow ranger de x° a y° , voltage (Kv);
- Scan mode: Continuous slow ou fixed time;
- Step degree ,0100° ou 0,0200°;
- Slow speed (deg/min);
- Divergente slit;

- Scottening Slit.

Já a análise de FRX, ou fluorescência de Raios X como é conhecido, tem como característica a rápida execução, um ensaio não destrutivo que tem por objetivo evidenciar a composição elementar de um determinado material, no caso do presente estudo a argamassa de referência e as proporções estudadas . Os analisadores de FRX podem ser usados em várias aplicações, desde a triagem de mercadorias recebidas para elementos tóxicos até a análise precisa em ambientes críticos de produção e alta produtividade. Para realização do presente ensaio foi utilizado o equipamento X-ray fluorescence mesa-50 of the HORIBA, sendo o equipamento utilizado em conjunto com o software Horiba X6T-5X00 series. Sedo adotados os seguintes parâmetros no ensaio:

- Voltagem: (15Kv ou 50Kv);
- Filtro: (Low, Mid e Hiper);
- Collmottr: (1, 2, 3 ou 7mm);
- Auto eletric corrent: (~200µa) Maximum volume

É preciso deixar pontuado que ambos foram adotados no processo de caracterização para se ter um maior número de dados sobre as proporções estudadas, muito semelhantes entre si por utilizarem a mesma fonte de raio-x, mas fornecem dados diferente e complementares entre si. A seguir temos as figuras 15 e 16 onde é apresentado os equipamentos utilizados no processo de caracterização.

Figura 15. Difratorômetro HORIBA 7000 Xray.



Fonte: Autor (2023)

Figura 16. X-ray fluorescence mesa-50 of the HORIBA.



Fonte: Autor (2023)

Além desses ensaios também foi adotado o ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), sendo isso feito para permitir a análise microestrutural das argamassas envolvidas no estudo. O ensaio de MEV proporciona a obtenção da imagem, o resultado é uma imagem de muito fácil interpretação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Argamassas em estado fresco

5.1.1. Ensaio de *Flow table*

Após a realização dos ensaios de caracterização foi possível compor os resultados apresentados na Tabela 6, bem como elaborar o gráfico de comportamento das proporções avaliadas, este último apresentado na Figura 09.

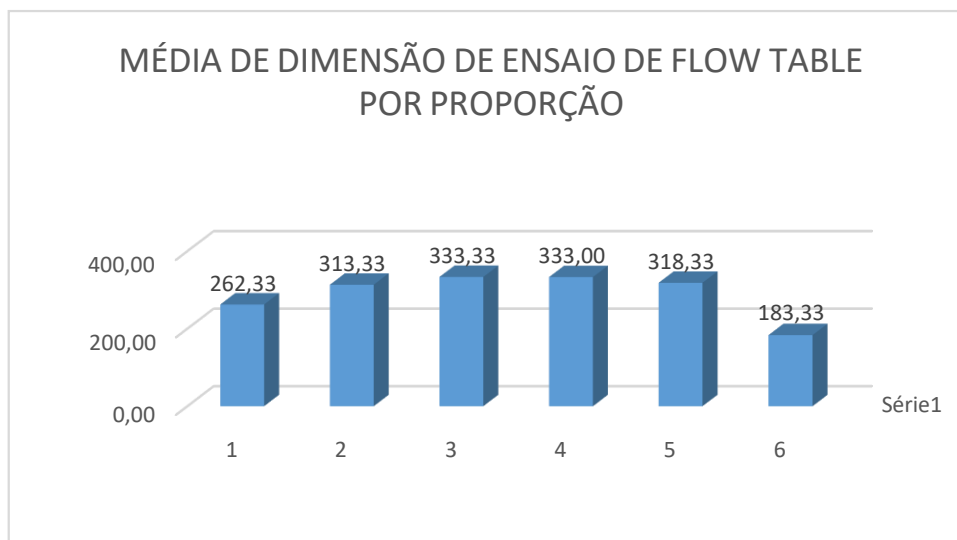
Tabela 6. Resultados ensaio de *Flow table*.

ORDEM	A1 (REF)	A2 (5%)	A3 (10%)	A4 (15%)	A5 (20%)	A6 (25%)
DIM 1	262,00	315,00	340,00	335,00	320,00	190,00
DIM 2	261,00	310,00	330,00	330,00	315,00	175,00
DIM 3	264,00	315,00	330,00	334,00	320,00	185,00
MÉDIA	262,33	313,33	333,33	333,00	318,33	183,33

Fonte: Autor (2023)

Os resultados mostram que a argamassa de referência atendeu o parâmetro definido em norma de aceitabilidade, já as proporções com substituição de 5%, 10%, 15% e 20% não atenderam o mesmo parâmetro definido para o espalhamento da argamassa, sendo o pior desempenho registrado na proporção de substituição de 10% e 15% onde o ensaio mostrou um estouro de 26,59% em relação a argamassa de referência, na proporção de 20% de substituição se verifica uma mudança de comportamento em reação a trabalhabilidade de argamassa, apesar do não atendimento de parâmetro de aceitabilidade se evidencia uma melhora de 4,50% em relação as proporções de pior desempenho e o percentual visto em relação a argamassa de referência chega a 21,35%, o que representa na análise global uma melhora de 5,24%, a tendência de melhora de desempenho nesse ensaio se confirma na proporção de 25%, porém se verifica também a necessidades de ajustes na relação água cimento, uma vez que a citada proporção apresenta uma redução de trabalhabilidade acentuada que também retira a mesma da faixa de aceitabilidade preconizada em norma. A proporção ficou 43,09% fora da margem. A Figura 17 apresenta graficamente o comportamento médio de cada proporção.

Figura 17. Representação gráfica dos resultados do ensaio de *Flow table*.



Fonte: Autor (2023)

Tais resultados apontam para viabilidade de uso resíduo, desde que sejam realizados ajustes na relação água cimento para que as mesmas atendam os parâmetros de trabalhabilidade definidos em norma.

5.1.2. Densidade de massa

Realizados os ensaios, foi possível compor a Tabela 7, bem como elaborar o gráfico de comportamento das proporções avaliadas, este último apresentado na Figura 10.

Tabela 7. Ensaio de densidade de massa em argamassas.

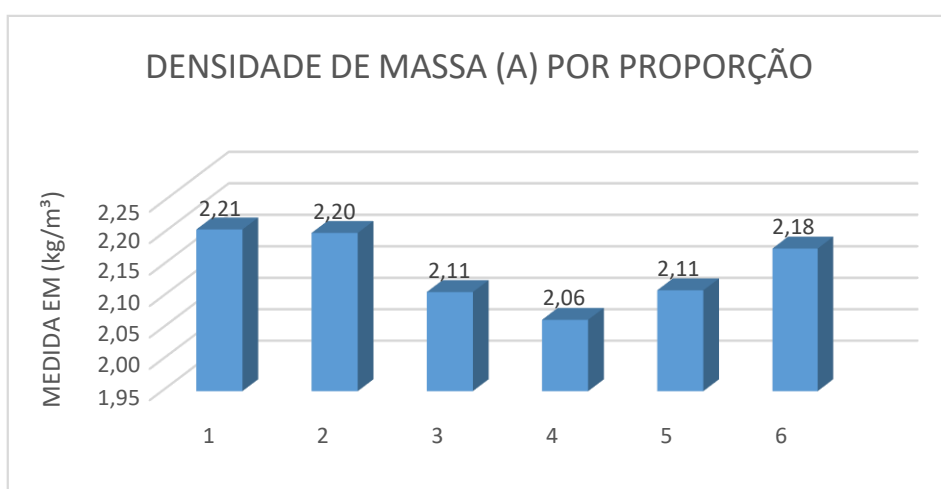
ORDEM	MC	MV	VR	(A)
A1 (REF)	1262,00	862,50	181,00	2,21
A2 (5%)	1261,00	862,50	181,00	2,20
A3 (10%)	1244,00	862,50	181,00	2,11
A4 (15%)	1236,00	862,50	181,00	2,06
A5 (20%)	1257,00	875,00	181,00	2,11
A6 (25%)	1269,00	875,00	181,00	2,18
MÉDIA	1254,83	866,67	181,00	2,14
Observações Gerais				
MC = massa recipiente com argamassa (em gramas)				
MV = massa recipiente vazio (em gramas)				
VR = volume recipiente (cm ³)				
A = densidade de massa da argamassa (kg/m ³)				

Fonte: Autor (2023)

Os resultados mostram que as substituições nas proporções de 20% e 25% apresentam

parâmetros mais próximos de proporção de referência, sendo a de 25% se aproxima mais, com uma variação de 1,36% para menos. Apesar das demais proporções variarem igualmente para menos em relação a referência se verifica baixa variabilidade se verifica uma diminuição percentual acentuada na proporção com 15% de substituição conforme pode ser visto na Figura 18 a seguir.

Figura 18. Representação gráfica da avaliação de incorporação de ar nas argamassas em estado fresco



Fonte: Autor (2023)

5.1.3. Teor de ar incorporado

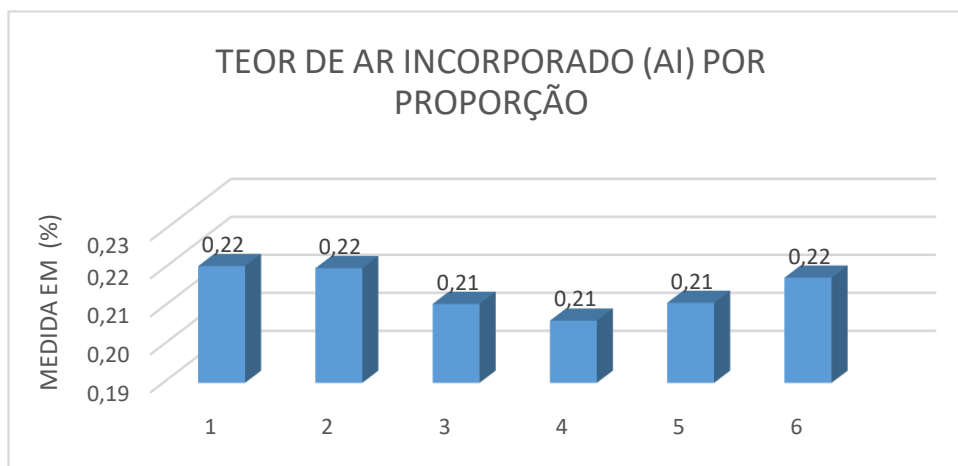
Após a realização dos ensaios de caracterização foi possível compor os resultados apresentados na Tabela 8, bem como elaborar o gráfico de comportamento das proporções avaliadas, este último apresentado na Figura 19.

Tabela 8. Resultados da análise de ar incorporado.

ORDEM	A	B	AI
A1 (REF)	2,21	10,00	0,22%
A2 (5%)	2,20	10,00	0,22%
A3 (10%)	2,11	10,00	0,21%
A4 (15%)	2,06	10,00	0,21%
A5 (20%)	2,11	10,00	0,21%
A6 (25%)	2,18	10,00	0,22%

Fonte: Autor (2023)

Figura 19. Representação gráfica de comportamento em relação a incorporação de ar das argamassas.



Fonte: Autor (2023)

Os resultados obtidos na análise mostram linearidade desse parâmetro nas proporções em relação a argamassa de referência, com uma variação de 4,76% nas argamassas com proporção de substituição de 10% a 20%. Se evidencia manutenção desse parâmetro na proporção de 5% de substituição diminuindo o parâmetro na faixa de proporção de 10% a 20% e igualando na proporção de 25% de substituição. A proximidade dos valores desse parâmetro indica um comportamento estável quanto a incorporação de ar nas argamassas. O que leva a conclusão que o mesmo não influenciaria de forma considerável estudos complementares das mesmas proporções.

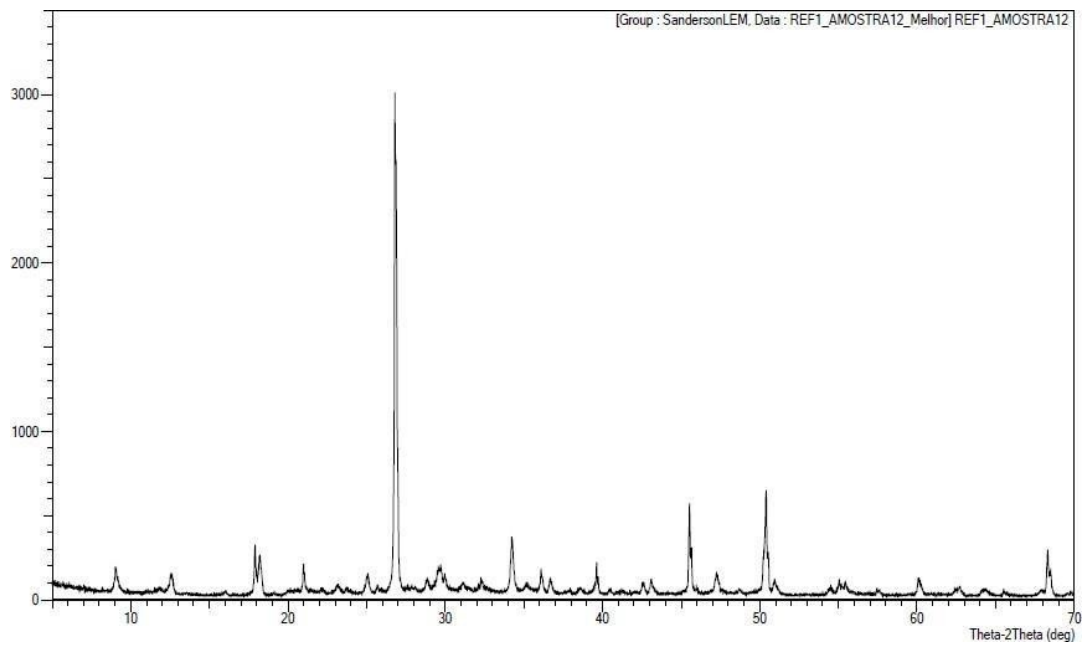
5.2. Análises microestruturais

5.2.1. Difratomia de Raios X

Das diversas técnicas são utilizadas para caracterizar química e mineralogicamente os compósitos de cimento, pode-se destacar a difratometria de raios X (DRX), pois ela é uma técnica tradicionalmente utilizada para caracterização qualitativa e quantitativa de fases cristalinas. Segundo Lima *et al.* (2023), análises estruturais e microestruturais são características importantes para identificar os aspectos químicos do comportamento mecânico de argamassas.

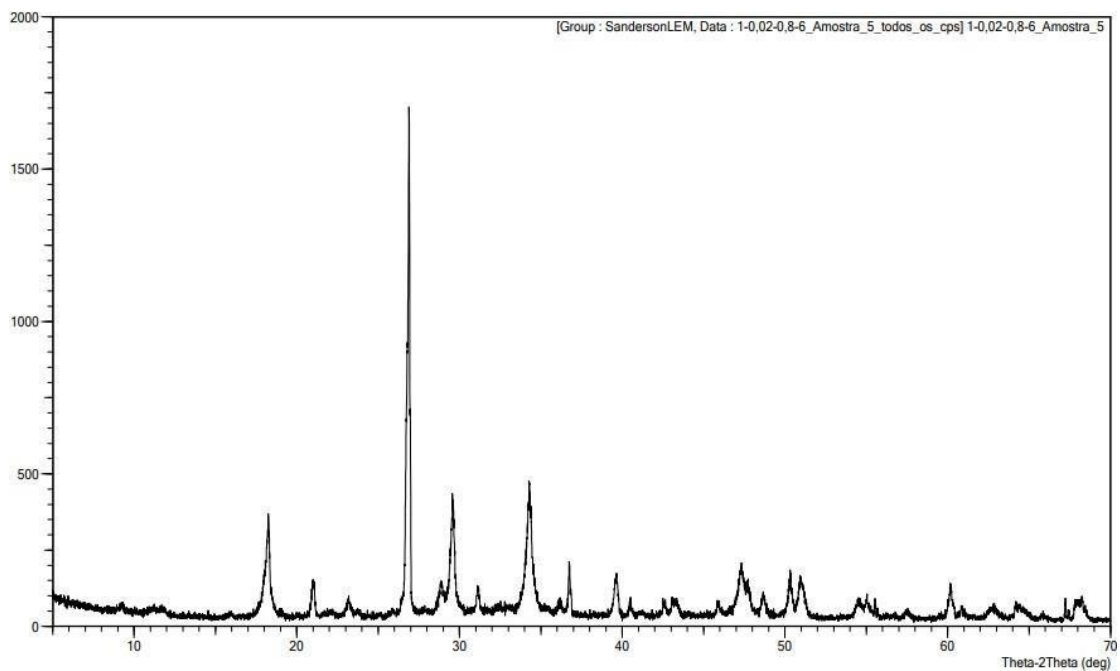
Partindo desse entendimento a técnica foi aplicada nas amostras de referência e demais proporções, assim sendo foi possível constituir seus difratogramas e os resultados obtidos podem ser verificados nas figuras 21, 22, 23, 24, 25 e 26.

Figura 20. Padrões de difração de raios X (DRX) da argamassa de proporção 1:0:1:6 – Referência (A1)



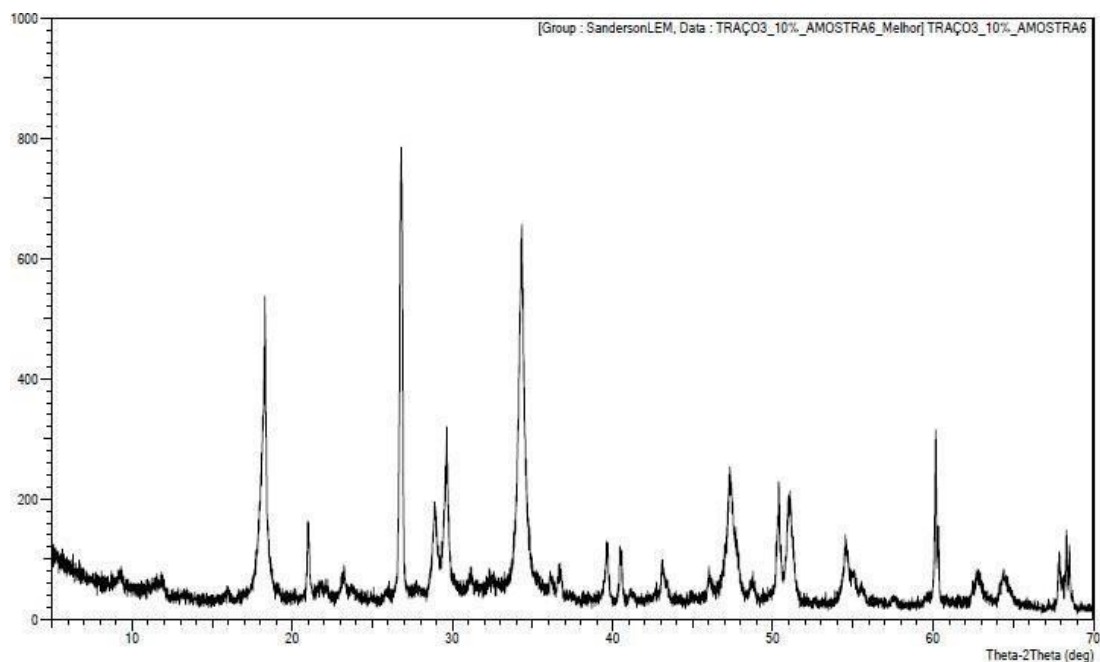
Fonte: Autor (2023)

Figura 21. Padrões de difração de raios X (DRX) da argamassa de proporção 1:0,05:0,95:6 – proporção de substituição de 5% (A2).



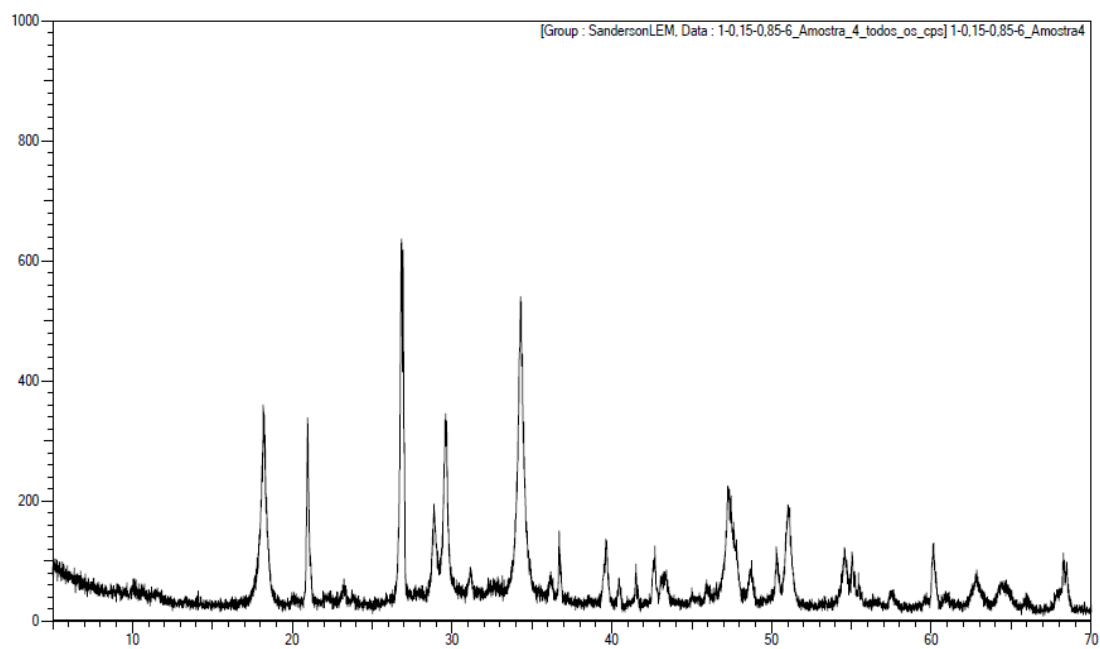
Fonte: Autor (2023)

Figura 22. Padrões de difração de raios X (DRX) da argamassa de proporção 1:0,10:0,90:6. proporção de substituição de 10% (A3).



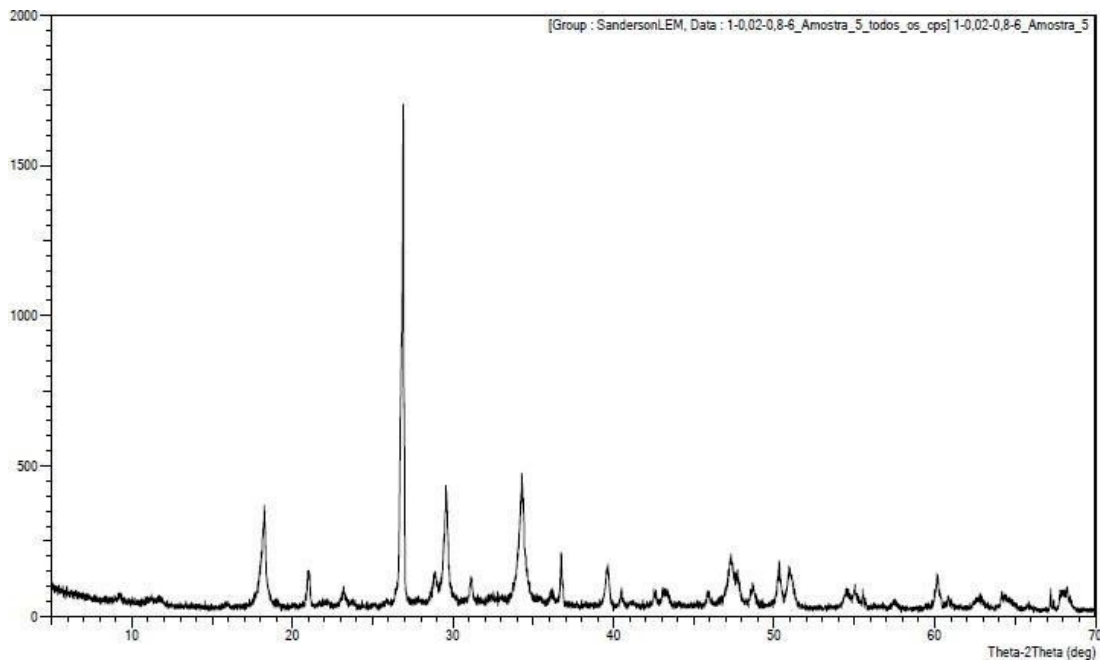
Fonte: Autor (2023)

Figura 23. Padrões de difração de raios X (DRX) da argamassa de proporção 1:0,15:0,85:6. proporção de substituição de 15% (A4).



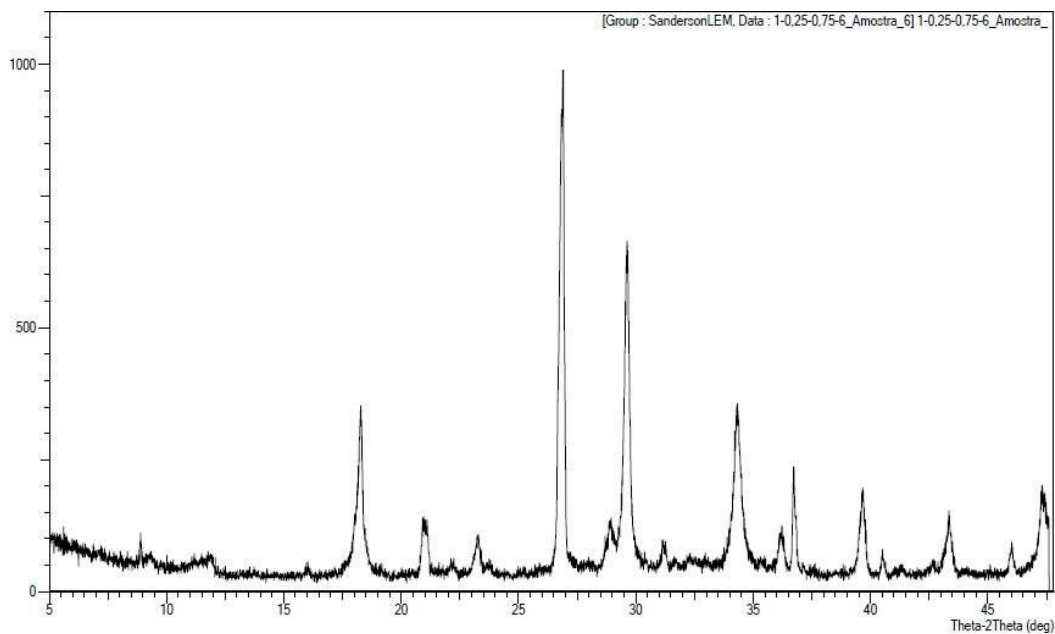
Fonte: Autor (2023)

Figura 24. Padrões de difração de raios X (DRX) da argamassa de proporção 1:0,20:0,80:6. proporção de substituição de 20% (A5).



Fonte: Autor (2023)

Figura 25. Padrões de difração de raios X (DRX) da argamassa de proporção 1:0,25:0,75:6. proporção de substituição de 25% (A6).



Fonte: Autor (2023)

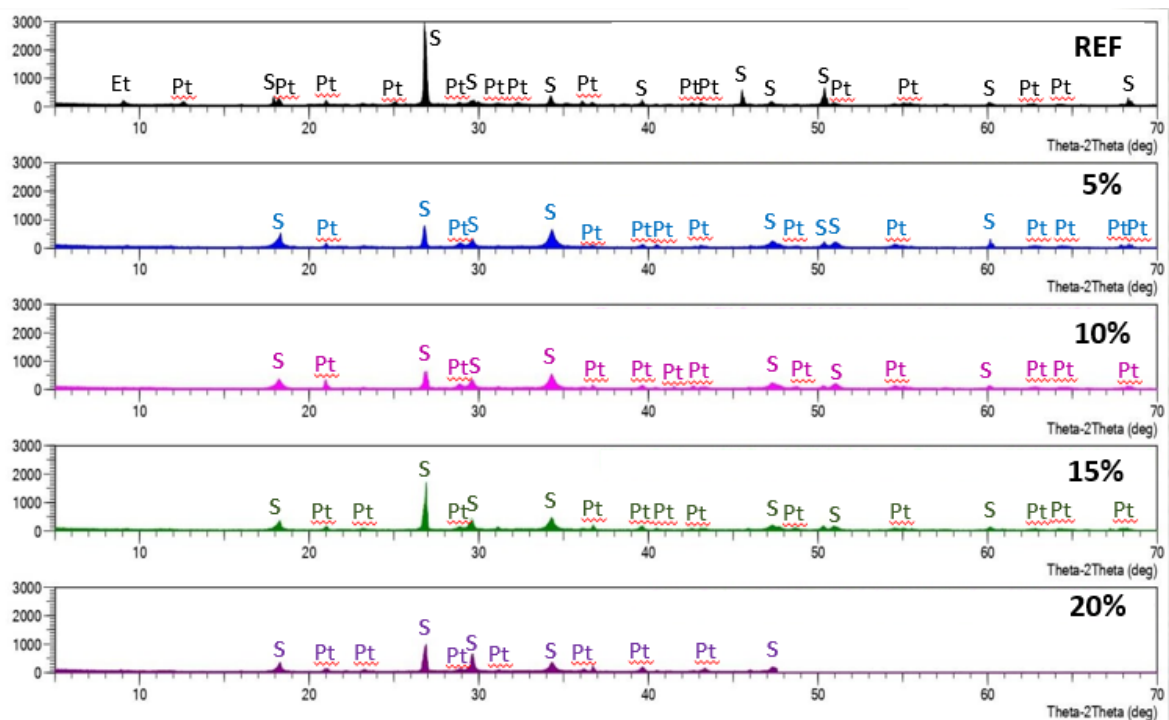
Nos Difrátogramas obtidos das demais proporções analisadas no presente estudo é possível evidenciar a composição mineralógica, nas quais se verifica fases de SiO_2 com picos mais significativos verificados na argamassa de referência (A1). Já nos Difrátogramas das

demais proporções presentes no estudo se verificou consideráveis variações no tocante a composição das fases cristalinas e amorfas das amostras das frações componentes dos compósitos estudados (argamassas), um resultado proveniente da introdução do resíduo do estudo (resíduo de ACM) potencializado pela dinâmica de composição dos compósitos (substituição de Cal hidratada CHI por resíduo de ACM).

Apesar de variabilidade das fases cristalinas e amorfas nas proporções do estudo foi possível evidenciar outras fases menos significativas comparadas com o SiO_2 . Foram fases detectadas: Portlandita (Pt , $\text{Ca}(\text{OH})_2$) e a CSH da fase amorfa. Os silicatos de cálcio hidratados (C-S-H), sendo a fase C-S-H é responsável pela resistência mecânica do cimento endurecido e seus compósitos cimentícios, no presente estudo, a argamassa.

Ainda segundo Lima *et al* (2023) a Portlandita é proveniente das reações de hidratação do óxido de Cálcio (CaO), presente na composição do cimento. Todos os resultados obtidos no DRX das argamassas evidenciaram fases cristalinas de Quartzo (SiO_2), Portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), Calcinita (CaCO_3) e Etringita (Et , $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12,26}\text{H}_2\text{O}$), fases encontradas de maneira geral em amostras de compósitos cimentícios. Na Figura 26 é possível visualizar os difratogramas agrupados e visualizar de forma clara a variabilidade das fases cristalinas em cada proporção, mesmo assim se verifica as fases cristalinas principais, características de compósitos cimentícios.

Figura 26. Difratogramas agrupados das proporções componentes do estudo.



Fonte: Autor (2023)

Os difratogramas agrupados deixam evidentes a ocorrência das fases características de compostos cimentícios, se verifica a ocorrência de Portlandita, Etringita e Sílica independente do percentual de substituição da Cal Hidratada CHI elo resíduo de ACM.

5.2.2. Fluorescência de Raio X

Segundo (NASCIMENTO-DIAS; OLIVEIRA; ANJOS, 2017) A fluorescência de raios X é uma técnica considerada não destrutiva que detecta as partículas químicas pela fluorescência emitida de cada partícula da amostra, além disso, pode quantificar os elementos que estão presentes na amostra em percentuais de concentração.

A partir da técnica de FRX foi realizada as análises na amostra de referência e as proporções componentes do estudo os resultados da análise estão dispostos na Tabela 9.

Tabela 9. Concentração de elementos componentes por proporção analisada

ELEMENTOS	CONCENTRAÇÃO (%)					
	REF	5%	10%	15%	20%	25%
Fe ₂ O ₃	2.5037	3.4936	2.3064	2.9106	1.6039	1.4049
TiO ₂	0.3658	0.3313	0.2517	0.2319	0.1868	0.0000
K ₂ O	1.1651	1.4732	0.5601	0.5897	0.2528	0.2651
CaO	81.7438	86.6570	89.5012	90.1225	91.9733	94.6489
Al ₂ O ₃	3.2848	1.4886	1.0521	2.2707	0.6116	3.1990
SiO ₂	10.9047	6.2297	6.2582	3.6654	5.3193	0.4140
ZnO	0.0321	0.0916	0.0505	0.0580	0.0522	0.0682
Mn	0.0000	0.0325	0.0197	0.0221	0.0000	0.0000
S	0.0000	0.2025	0.0000	0.1292	0.0000	0.0000

Fonte: Autor (2023)

Os percentuais de encontrados apontam concentrações significativas de CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O entre outros elementos em menor concentração. Analisando os resultados expressados na Tabela 9, é possível avaliar o comportamento dos principais elementos identificados a partir dos percentuais de concentração.

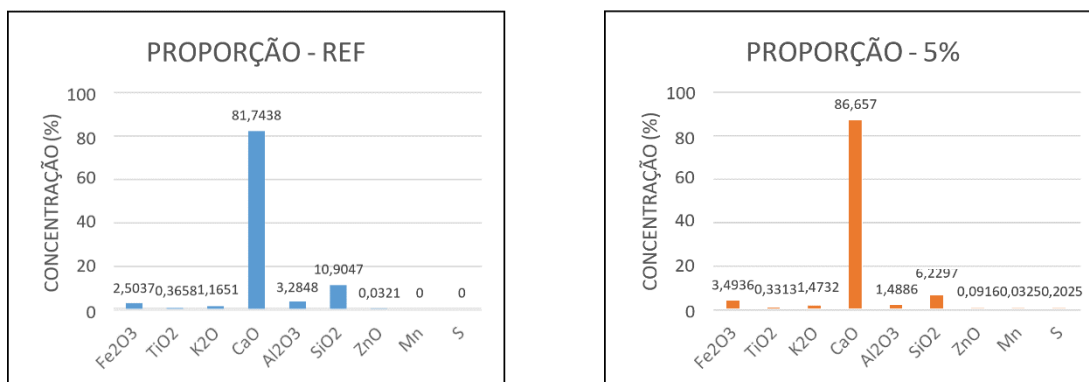
Vendo elemento a elemento se destaca o aumento de concentração do CaO, o mesmo apresentou um incremento de 15,78%, sendo esse incremento identificado na proporção com percentual de substituição de Cal Hidratada por resíduo de ACM em 25% em relação a

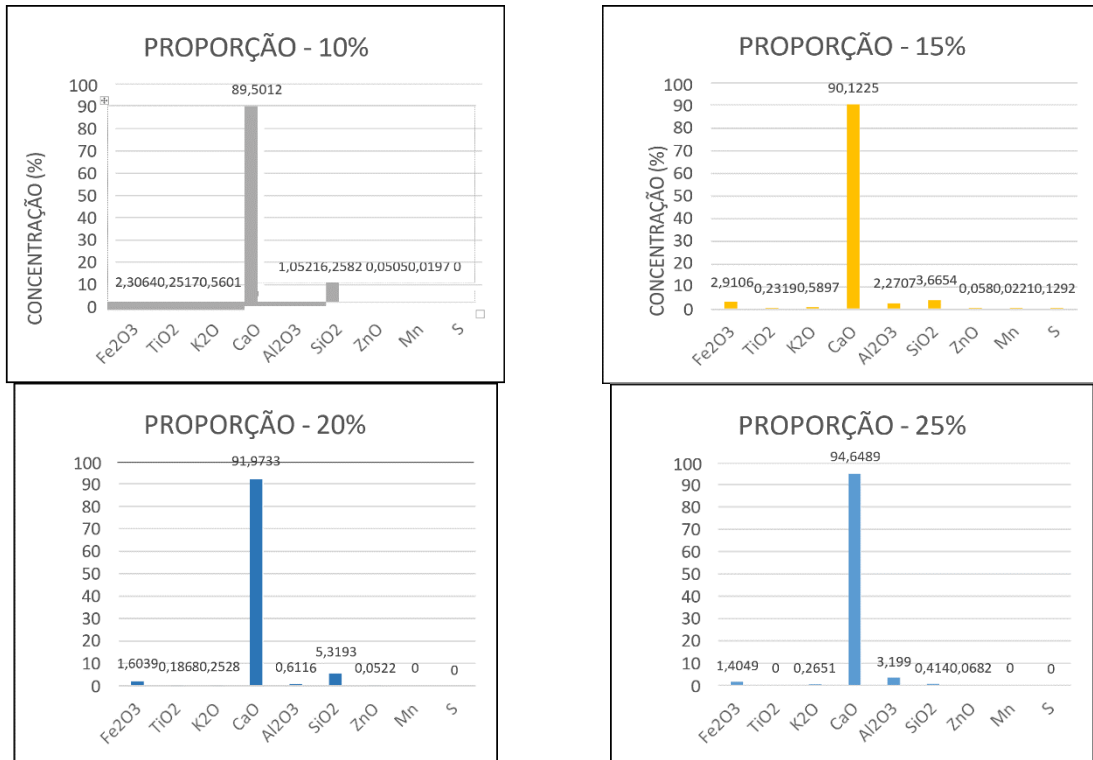
concentração encontrada na argamassa de referência. Se verifica que a concentração aumenta a cada substituição realizada. Outro elemento que apresenta variação em sua concentração é o SiO_2 , em relação a argamassa de referência o mesmo apresenta uma diminuição acentuada de sua concentração, sendo a substituição de 15% o pico de queda dessa concentração, onde é registrado um decréscimo de 66,39% em relação a argamassa de referência, apresentando na proporção de 20% um aumento na concentração do elemento, sendo registrado um recuo da diminuição na concentração e posteriormente uma diminuição brusca, sendo registrado na substituição de 25% o menor percentual desse elemento, o que representou uma diminuição em relação a argamassa de referência de 96,20%.

Foi evidenciado variação nas concentrações de Fe_2O_3 e Al_2O_3 , o primeiro elemento aqui citado apresentou uma oscilação da concentração em relação a argamassa de referência, apresentando uma tendência de diminuição de concentração nas duas últimas proporções. A variabilidade também se evidencia no Al_2O_3 , porém apresentando uma recuperação de concentração na última proporção analisada.

Outro comportamento verificado foi o do K_2O , que apresentou diminuição de sua concentração a cada proporção analisada, sendo a proporção de 20% sua menor ocorrência em relação a argamassa de referência, onde se registrou uma diminuição de 77,25% em relação a referência. As figuras 27, 28, 29, 30, 31 e 32 apresentam graficamente os resultados obtidos no FRX de cada proporção, da mesma forma a figura 34 apresenta os resultados reunidos.

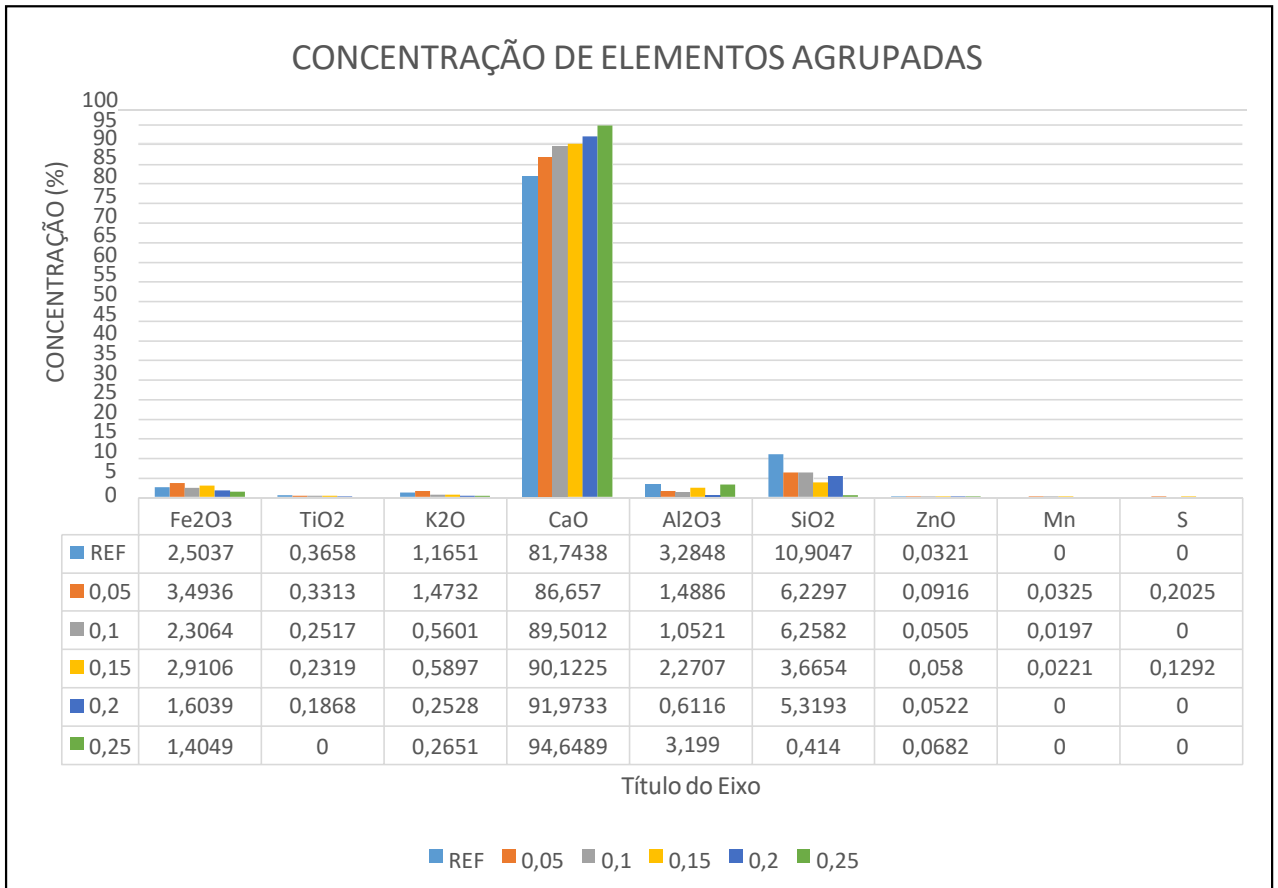
Figura 27, 28, 29, 30, 31 e 32. Resultados por proporção analisada.





Fonte: Autor (2023)

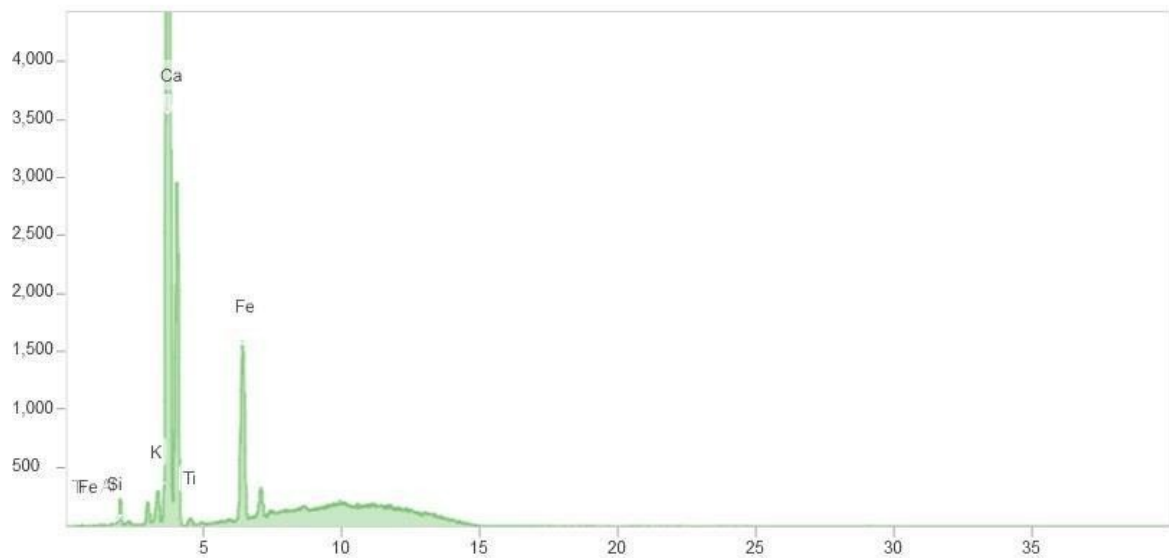
Figura 33. análises de FRX agrupadas.



Fonte: Autor (2023)

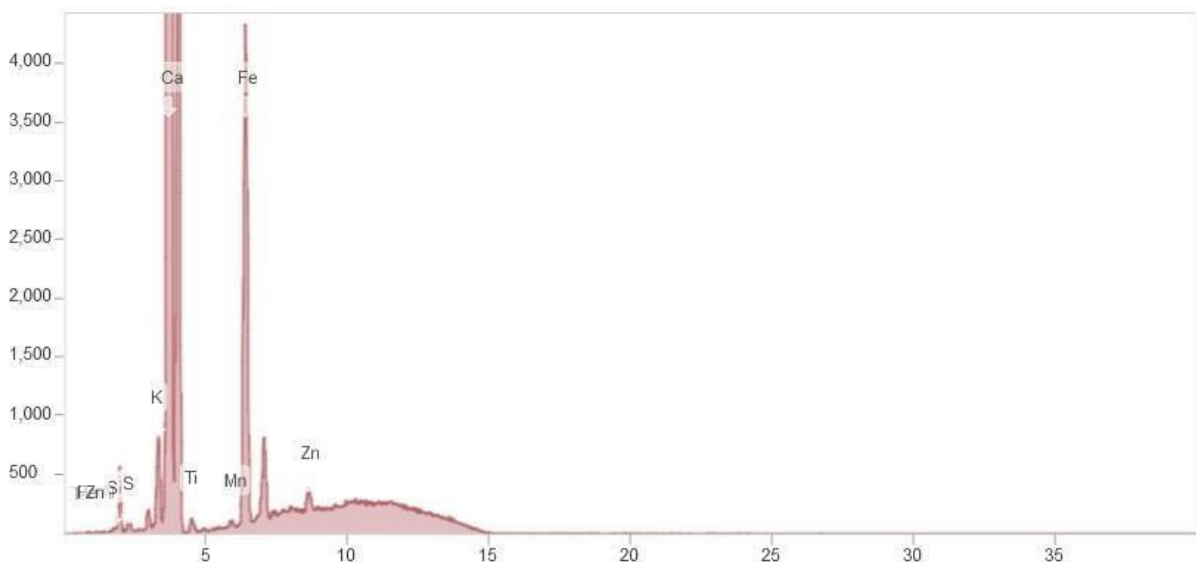
Da mesma forma é possível evidenciar as concentrações de maior significância dos compósitos a partir de seus espectros também gerados na análise, esses podem ser vistos nas figuras 34, 35, 36, 37, 38 e 39.

Figura 34. Espectro argamassa de referência.



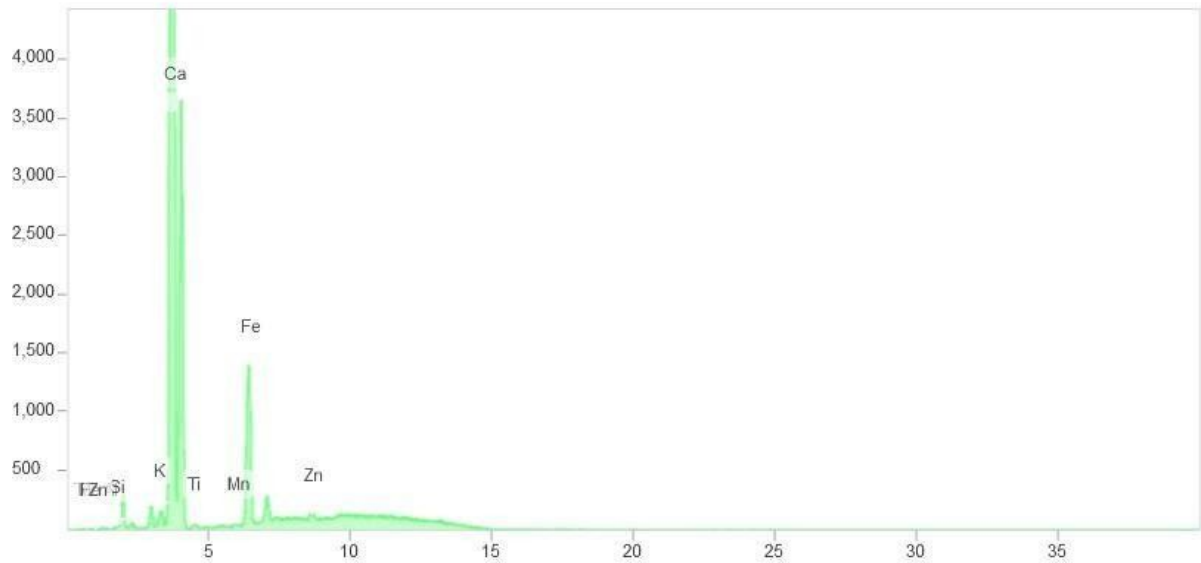
Fonte: Autor (2023)

Figura 35. Espectro argamassa com proporção de 5% de substituição.



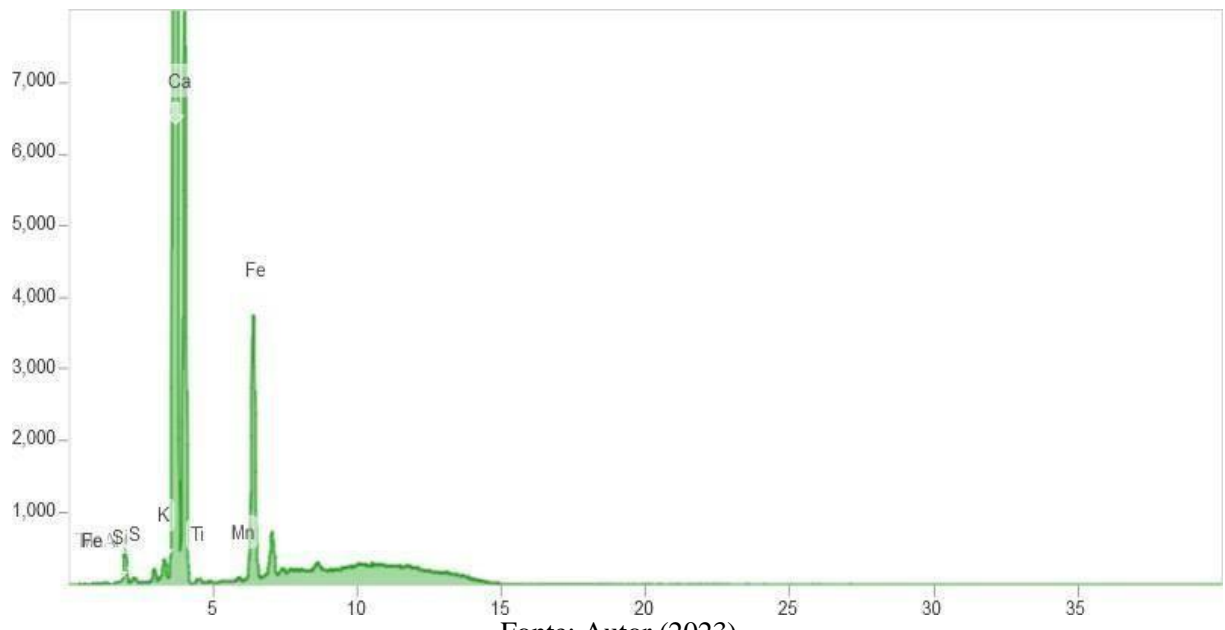
Fonte: Autor (2023)

Figura 36. Espectro argamassa com proporção de 10% de substituição.



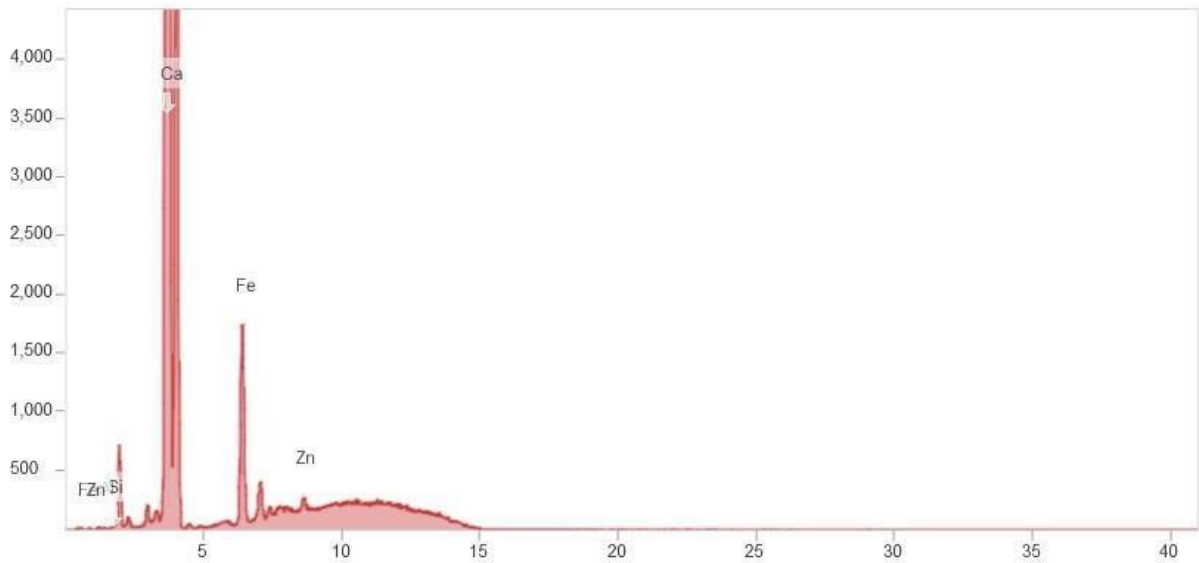
Fonte: Autor (2023)

Figura 37. Espectro argamassa com proporção de 15% de substituição.



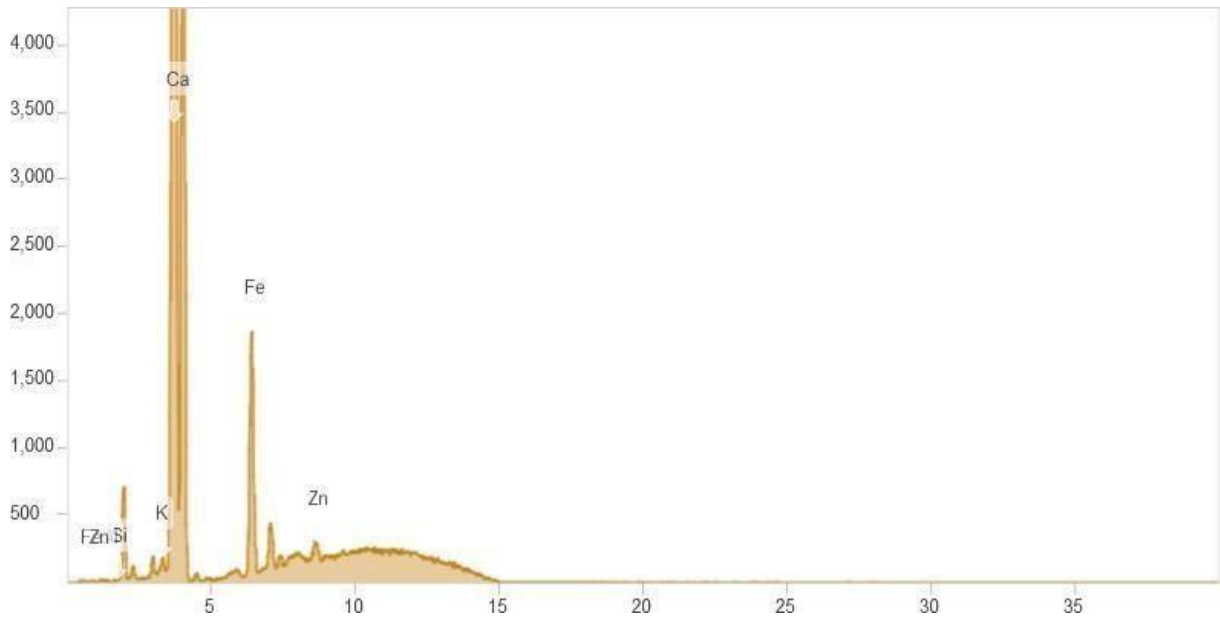
Fonte: Autor (2023)

Figura 38. Espectro argamassa com proporção de 20% de substituição.



Fonte: Autor (2023)

Figura 39. Espectro argamassa com proporção de 25% de substituição.



Fonte: Autor (2023)

5.3. Argamassa em estado endurecido

5.3.1. Volume dos corpos de prova

Durante a preparação dos corpos de prova cilíndricos das argamassas, foi observado

quena etapa de desmolde dos materiais, ao incorporar o resíduo de ACM houve um ganho de volume. Este aumento é mais perceptível com o aumento da quantidade de resíduo nas argamassas. As medidas em comprimento dos CPs por tipo de argamassa, bem como a média desse comprimento, são mostradas na Tabela 10.

Tabela 10. Medidas dos corpos de prova no momento do desmolde.

Medidas dos Cps (comprimento). (cm)	Traço de argamassa					
	A1 (Ref)	A2 (5%)	A3 (10%)	A4 (15%)	A5 (20%)	A6 (25%)
1	9,90	10,40	11,00	10,10	10,10	10,50
2	10,00	10,00	10,80	10,40	10,40	10,10
3	10,00	10,00	10,70	10,20	10,20	10,20
4	9,90	10,00	10,90	10,20	10,20	10,40
5	10,00	10,50	10,90	10,50	10,50	10,30
6	10,40	10,00	10,60	10,40	10,40	10,20
7	9,80	10,30	10,50	10,20	10,20	10,20
8	9,90	10,20	10,50	10,30	10,30	10,10
9	10,00	10,40	10,40	10,10	10,10	10,40
10	9,80	10,20	10,70	10,40	10,40	10,00
11	9,70	10,10	10,20	10,30	10,30	10,10
12	9,90	10,10	10,00	10,10	10,10	10,00
Média (Cm)	9,94	10,18	10,60	10,27	10,27	10,21

Fonte: Autor (2023)

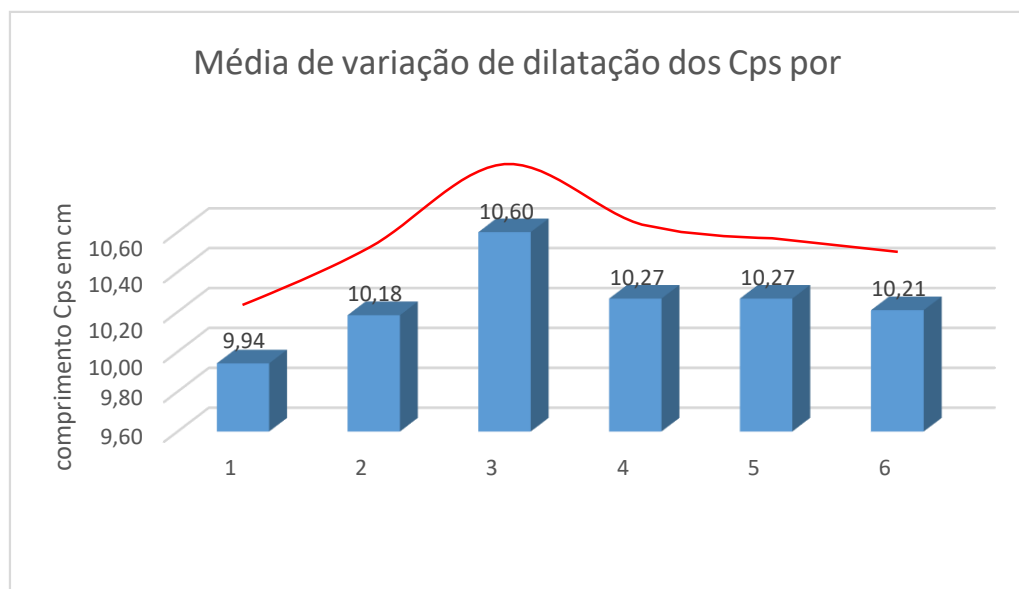
A partir da Tabela 9, fica evidenciado uma variação volumétrica das famílias de introdução do resíduo em relação a família de referência (família A1) com um aumento médio de 4,54% no comprimento dos CPs. Se verificou que a cada composição de uma nova família (consequentemente variando a proporção por substituição da Cal Hidratada CHI por resíduo de ACM) se obteve variação no volume dos Cp's, ou seja, a cada incorporação de 5% de resíduo de ACM em substituição da Cal Hidratada CHI, se evidenciou dilatação dos CPs da família A2 de 2,80%, com um crescimento médio nessa substituição de 10,18cm.

Já na família A3 com proporção de substituição de 10% de resíduo se evidenciou um incremento no comprimento do CP de 7,07% em relação a família A1, com um crescimento médio acentuado nessa fração de substituição, chegando ao pico de 10,60 cm.

Já na família A4 com substituição de 15%, se verifica uma redução do volume em relação a família A3, uma diminuição de 3,11%, mas ainda assim ela apresenta volume aumentado em relação a família A1 (referência). Essa fração de substituição registrou uma média de 10,27cm, o que representa um incremento no comprimento de 3,73%. Os resultados indicam uma mudança de comportamento da incorporação do material a partir dessa fração de substituição. Observando todos os resultados agrupados é possível compor o entendimento de que a introdução por substituição do resíduo de ACM frente a Cai Hidratada CHI contribuiu para o aumento volumétrico das proporções avaliadas, mas, com o aumento na substituição do ACM se verificou uma tendência de volta a volumetria esperada em seu estado endurecido. A última proposição avaliada até então mesma apresentando regressão em relação a família anterior, mas ainda assim com volume aumentado em relação a Família de referência (A1).

As Figuras 40 o incremento médio das famílias de argamassas estudadas, bem como as linhas de tendência a partir de cada fração de substituição, onde se visualiza a linha de tendência média de comportamento do crescimento x substituição de resíduo de ACM em relação a cal hidratada CHI. Só se evidenciou aumento de volume no comprimento, ficando a seção diametral estável.

Figura 40. Crescimento médio do comprimento em cm das argamassas estudadas.



Fonte: Autor (2022)

Onde: 1 = argamassa de referência; 2 = traço com 5% de resíduo de ACM; 3 = argamassa com 10% de resíduo de ACM; 4 = argamassa com 15% de resíduo de ACM; 5 = 20% de resíduo de ACM; e 6 = 25% de resíduo de ACM incorporados.

5.3.2. Densidade

Outro ponto evidenciado na análise foi a diminuição de densidade das argamassas com o processo de substituição da Cal Hidratada CHI pelo resíduo de ACM. Os pesos dos corpos de prova de argamassas, nas condições úmida e seca, para cada argamassa, bem como a média da densidade de cada traço, são apresentadas nas Tabelas 11 e 12, respectivamente.

Tabela 11. Pesagem dos corpos de prova por traço do estudo. peso úmido

Pesos dos Cps úmidos (g)	TRAÇO DE ARGAMASSA					
	A1 (Ref)	A2 (5%)	A3 (10%)	A4 (15%)	A5 (20%)	A6 (25%)
1	401,50	357,00	315,00	320,00	334,50	334,00
2	409,50	356,50	320,00	284,50	338,50	337,00
3	393,00	362,50	317,00	335,50	323,50	335,00
4	406,50	367,00	317,50	289,00	334,50	331,50
5	398,50	349,50	323,00	339,50	337,00	321,00
6	393,50	361,50	323,50	333,00	339,00	338,00
7	399,00	358,50	299,00	345,00	323,00	343,00
8	397,50	361,00	296,50	347,50	320,00	346,00
9	390,50	350,00	338,00	349,00	325,50	322,50
10	410,50	355,50	331,50	363,50	321,50	323,50
11	396,50	363,00	291,50	347,00	325,50	347,00
12	419,50	361,00	282,50	348,00	319,50	341,50
Média (Cm)	401,33	358,58	312,92	333,46	328,50	335,00

Fonte: Autor (2023)

Tabela 12. Pesagem dos corpos de prova por traço do estudo (peso seco).

Pesos dos Cps secos (g)	TRAÇO DE ARGAMASSA					
	A1 (Ref)	A2 (5%)	A1 (Ref)	A4 (15%)	A1 (Ref)	A6 (25%)
1	378,50	281,00	254,00	207,00	285,00	281,50
2	381,00	288,50	250,50	269,50	288,50	275,00
3	381,00	283,50	241,00	282,50	274,00	287,00
4	336,50	294,50	246,00	263,50	285,50	273,50
5	395,00	270,00	244,50	255,00	283,50	268,50

6	376,00	288,00	244,50	196,50	290,00	290,00
7	375,50	289,00	260,50	267,50	275,00	282,00
8	332,50	285,50	254,00	267,00	272,00	298,00
9	377,00	292,00	215,00	248,50	277,00	272,00
10	380,50	273,00	195,50	268,50	276,00	272,50
11	335,00	278,50	207,00	256,50	279,00	296,00
12	335,00	280,00	206,50	266,50	268,50	287,00
Média (Cm)	365,29	283,63	234,92	254,04	265,50	281,92

Fonte: Autor (2023)

A partir das Tabelas 12 foi possível constatar que as médias obtidas na argamassa da Família A1 (referência), bem como nas demais famílias estudadas (A2, A3, A4, A5 e A6) com substituições parciais, uma redução evolutiva quanto ao peso médio, sendo evidenciado a diminuição de média do peso por família x aumento de substituição de Cal Hidratada CHI por resíduo de ACM. Focando nos resultados médios úmidos se tem um peso médio das proporções de 333,70 g, uma diminuição média de 32,95% em relação ao peso registrado na argamassa de referência. Sendo a argamassa com substituição de 20% (A5) a que apresentou a maior diminuição de densidade úmida em relação a referência, uma diminuição percentual de 22,17% e sendo a de melhor desempenho nesse quesito a proporção com substituição de 5% (A2), com uma diminuição percentual de 11,92%.

Observando os resultados secos é possível verificar que a média de pesos das proporções com substituição é de 264,00 g, uma diminuição média de 27,73% em relação ao peso registrado na argamassa de referência. Sendo a argamassa com substituição de 10% a que evidenciou o pior desempenho em relação a referência com uma diminuição percentual de 55,50% em relação a média da referência e a de 5% a que apresentou melhor desempenho nesse aspecto, com uma diminuição percentual de 28,79%.

Adotando uma análise mais olhística dos resultados e analisando os resultados obtidos na aferição dos úmidos x secos é possível identificar uma tendência de recuperação de densidade das proporções estudadas, sendo essa recuperação ligada diretamente ao percentual de substituição. Vale ressaltar que mesmo na argamassa de referência se evidenciou uma redução média de 9,87% do em sua densidade, um comportamento natural uma vez que, no peso úmido temos uma parcela maior de água em relação ao peso seco. Se evidencia uma diminuição acentuada nas primeiras substituições, sendo a de 10% (A3) a que apresenta a maior redução, com 33,20% em relação a de referência (A1) e a de melhor desempenho a de 25%

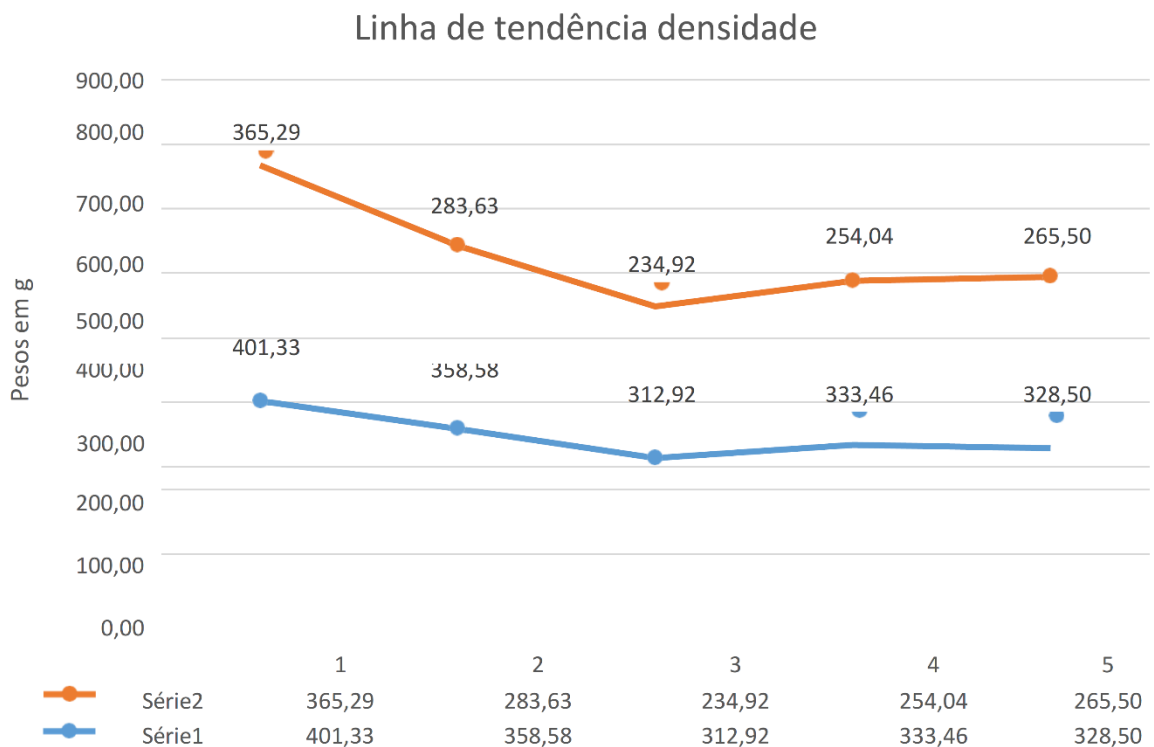
(A6) com uma redução percentual de 18,83% em relação a referência (A1). O comportamento de recuperação da densidade se evidencia quando os dados médios são agrupados lado a lado, sendo possível compor uma linha de tendência clara nesse sentido. A Tabela 13 abaixo expressa de forma clara aqui exposto. A Figura 41 apresenta de forma ilustrativa a linha de tendência comportamental das proporções.

Tabela 13. Resultados médios pesos úmidos *versus* secos.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Pesos úmidos (g)	401,33	358,58	312,92	333,46	328,50	335,00
Pesos secos (g)	365,29	283,63	234,92	254,04	265,50	281,92
Redução de densidade (%)	9,87%	26,43%	33,20%	31,26%	23,73%	18,83%

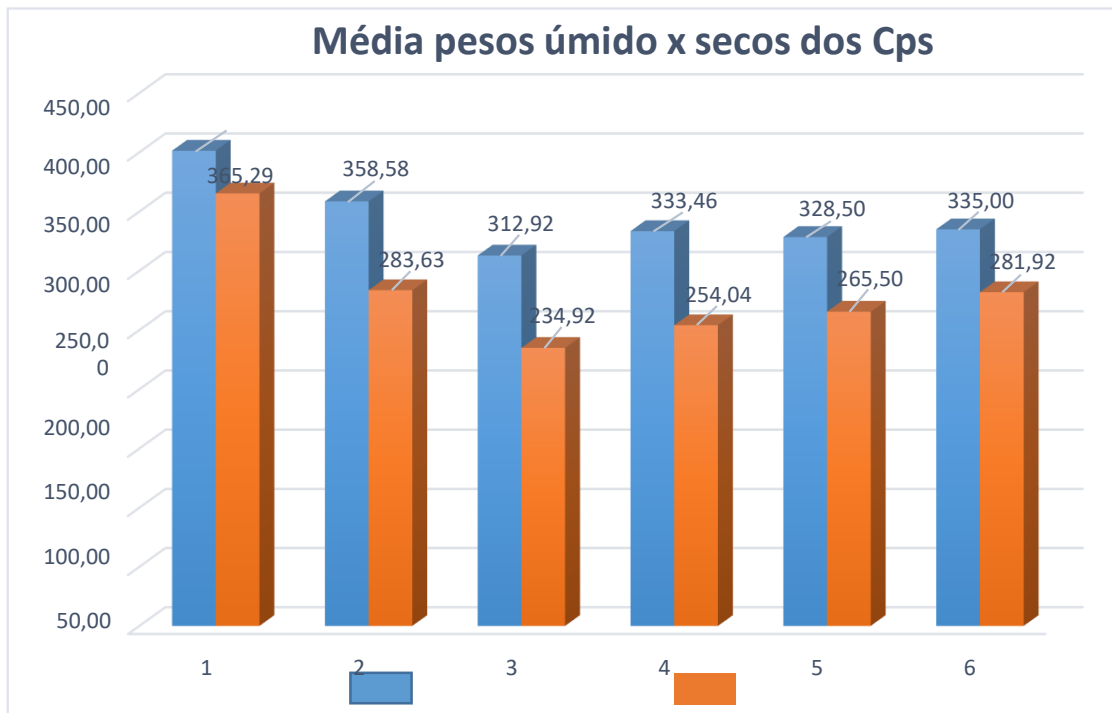
Fonte: Autor (2023)

Figura 41. Tendência da densidade x aumento de substituição Cal CHI x resíduo de ACM.



Fonte: Autor (2023)

Figura 42. Pesos médios úmidos e secos.



Fonte: Autor (2023)

Onde: 1 = argamassa de referência; 2 = argamassa com 5% de resíduo; 3 = argamassa com 10% de resíduo; 4 = argamassa com 15% de resíduo; 5 = 20% de resíduo; e 6 = 25% de resíduo incorporado.

5.3.3. Resistência a compressão simples

Os valores de resistência à compressão simples dos corpos de prova cilíndricos das argamassas são apresentados na Tabela 14, indicando os valores individuais de cada CP e a média de cada família.

Tabela 14. Resultados de resistência à compressão das argamassas investigadas.

Aferição (Mpa)	TRAÇO DE ARGAMASSA					
	Família A1	Família A2	Família A3	Família A4	Família A5	Família A6
1	6,74	0,52	0,52	0,24	0,74	0,56
2	5,5	0,53	0,47	0,52	0,74	0,61
3	0,66	0,68	0,36	0,63	0,51	0,69
4	5,18	0,73	0,52	0,57	0,62	0,58

5	0,68	0,26	0,52	0,46	0,54	0,64
6	6,26	0,72	0,53	0,56	0,63	0,75
7	6,26	0,52	0,25	0,44	0,62	0,50
8	0,82	0,53	0,52	0,47	0,57	0,74
9	0,66	0,68	0,51	0,43	0,61	0,57
10	6,65	0,71	0,32	0,39	0,61	0,65
11	6,88	0,27	0,51	0,44	0,67	0,69
12	6,9	0,73	0,21	0,5	0,72	0,68
Média (Mpa)	4,43	0,57	0,44	0,47	0,63	0,64

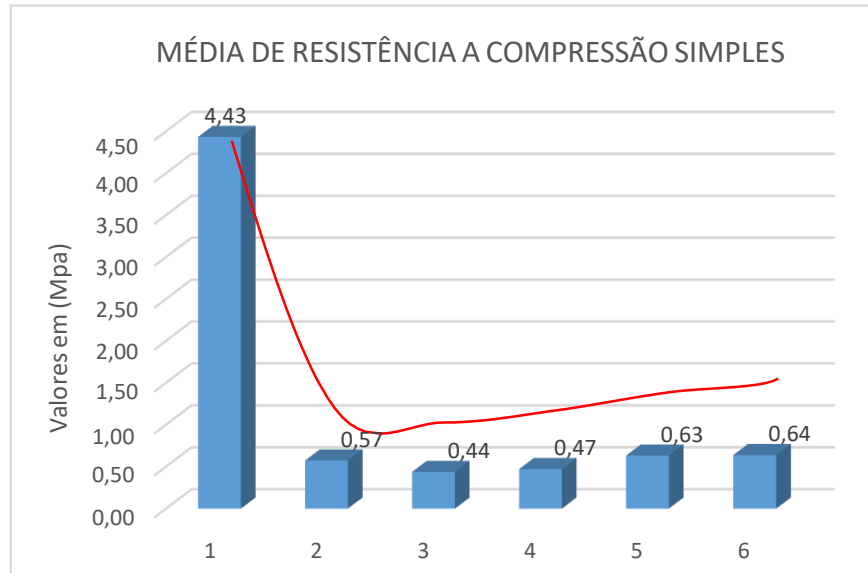
Fonte: Autor (2023).

Os resultados obtidos mostram uma considerável perda de resistência em relação a família A1 (referência) de referência, esse que teve uma média de 4,43 Mpa, enquanto a média dos traços avaliados no presente estudo chegou a 0,55 Mpa, que representa uma queda de 87,58% em relação ao material referência. A maior perda de resistência em relação à argamassa de referência foi evidenciada no traço com substituição de 10% (família A3), que se mostrou com uma capacidade média de carga de 0,44 Mpa, uma redução de capacidade de 90,06%.

O melhor desempenho registrado foi na proporção de 25%, que obteve média de 0,64 Mpa, uma perda de 85,56% em relação à argamassa de referência. Observando de forma global os resultados médios do ensaio se evidencia uma perda considerável de capacidade de carga, acentuada nas proporções de 10% e 15%, sendo visto uma recuperação de desempenho nas proporções de 20% e 25%. A Figura 43 apresenta graficamente o comportamento verificado nas proporções do estudo.

Os resultados obtidos mostram uma considerável perda de resistência em relação a família A1 (referência) de referência, esse que teve uma média de 4,43 Mpa, enquanto a média dos traços avaliados no presente estudo chegou a 0,55 Mpa, que representa uma queda de 87,58% em relação ao material referência. A maior perda de resistência em relação à argamassa de referência foi evidenciada no traço com substituição de 10% (família A3), que se mostrou com uma capacidade média de carga de 0,44 Mpa, uma redução de capacidade de 90,06%.

Figura 43. Representação gráfica do comportamento das proporções no ensaio de resistência a compressão simples.



Fonte: Autor (2023)

Onde: 1 = argamassa de referência; 2 = argamassa com 5% de resíduo; 3 = argamassa com 10% de resíduo; 4 = argamassa com 15% de resíduo; 5 = argamassa com 20% de resíduo; e 6 = 25% de resíduo incorporados.

Verifica-se uma acentuada queda na resistência à compressão, à medida que se substituiu a Cal pelo resíduo, com um discreto aumento de desempenho a partir do traço com substituição de 15% da Cal Hidratada por resíduo de ACM. Essa recuperação de resistência se confirma nas proporções de substituição de 20% e 25%, sendo uma recuperação mais acentuada observada entre as proporções de 15% e 20%, onde se evidenciou um percentual de 34,40% na proporção de 25% ainda se identifica essa recuperação, porém mais estável, apresentando uma recuperação de 1,59%. Ainda que com o aumento das concentrações de substituição de Cal CHI por resíduo de ACM apresentaram recuperação de capacidade de cargas ainda se tem uma drástica perda dessa característica.

Os resultados até aqui encontrados só contribuem para promover o aprofundamento nos estudos. A diminuição da resistência à compressão das argamassas não exclui ou diminui a importância do presente estudo, sendo necessário avançar nos ensaios que estão em andamento na pesquisa. Além disso, o foco do estudo são argamassas de emboço e os dados de arrancamento a serem realizados trarão dados interessantes à discussão.

A partir dos dados apresentados até o momento, é possível apontar que a inserção do

PEBD em argamassas de emboço com diferentes proporções tem apresentado um aumento de volume das argamassas em estado endurecido. Da mesma forma elas se apresentaram menos densas nos mesmos estados.

Essas incorporações, até o momento, não têm diminuído a trabalhabilidade das mesmas. Os resultados apontam para a obtenção de uma argamassa de emboço que não foi prejudicada quanto a sua trabalhabilidade, ou seja, não tem prejuízo no tocante a sua produção e aplicação.

Além disso os resultados também mostram que pode ser obtido uma argamassa que ao fim de sua cura no local de aplicação seja mais leve, contribuindo no tocante ao carregamento da estrutura.

5.3.4. Análise de Custos

Além da viabilidade técnica, outros aspectos precisam ser considerados no design e preparação de um “novo” material proposto para uso como material de construção, a fim de que o mesmo tenha sua incorporação potencializada e venha a ser aplicado em escala de mercado, por exemplo.

Dentre estes, os custos são de fundamental importância para um projeto na área de Construção civil. Afinal de contas, impactos financeiros são fatores cruciais para determinar a viabilidade econômica de execução ou não de projetos dos mais diferentes portes.

Levando-se em consideração a questão de custo, foi realizada uma avaliação de custos envolvidos na produção das argamassas investigadas nesta pesquisa. Os custos estimados dos insumos necessários para a produção de uma alvenaria de blocos cerâmicos de 1,00 metro de largura, 1,00 metro de altura, sendo considerada aqui uma espessura de 3,00cm de emboço, estão indicados na Tabela 15. No caso do resíduo de ACM, considera-se que não há custo tendo em vista que é gerado no processo de corte das placas de ACM.

A análise de custos foi elaborada, portanto, considerando-se a cotação do dólar em outubro de 2022, época desta etapa da pesquisa, na qual a moeda americana tinha o valor de R\$ 5,29 para compra de (US\$) 1.00, Vale ressaltar que a mesma representa uma projeção de custo para a argamassa usada para execução da alvenaria de blocos cerâmicos anteriormente descrita.

Tabela 15. Custos de produção por tipo de argamassa.

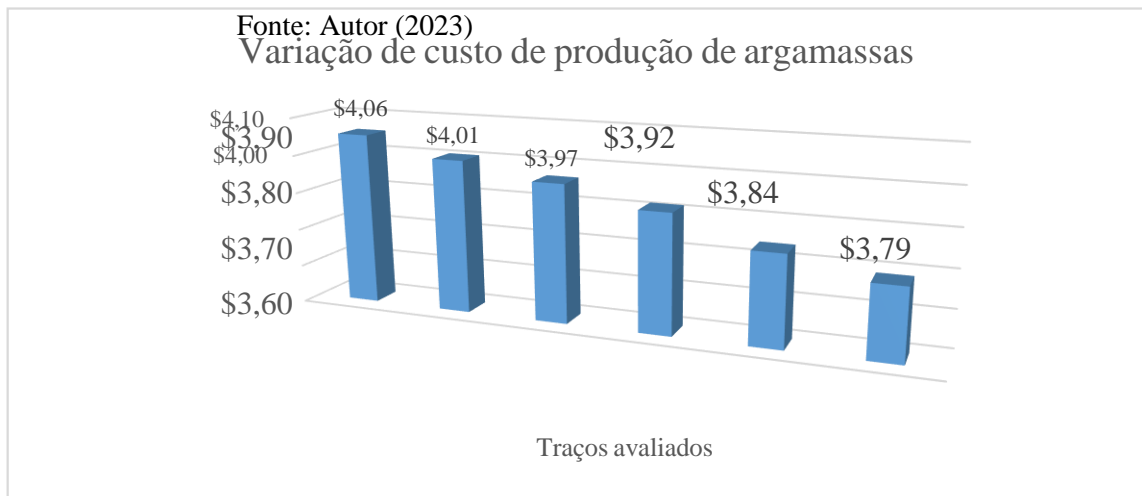
Tipo de argamassa	Custos dos insumos de produção das argamassas (US\$)					Custo fim para produção de argamassa (US\$)	Variação percentual de valores de produção (%)
	Cimento	Cal CHI	Resíduo de ACM	Areia	Chapisco		
1:0:1:6 (A1)	0,94	0,94	-	0,83	1,36	4,06	0
1:0,05:0,95:6 (A2)	0,94	0,89	-	0,83	1,36	4,01	1,23
1:0,10:0,90:6 (A3)	0,94	0,85	-	0,83	1,36	3,97	2,22
1:0,15:0,85:6 (A4)	0,94	0,80	-	0,83	1,36	3,92	3,45
1:0,20:0,80:6 (A5)	0,94	0,75	-	0,80	1,36	3,84	5,41
1:0,25:0,75:6 (A6)	0,94	0,70	-	0,80	1,36	3,79	6,65

Fonte: Autor (2023)

Percebe-se na Tabela 15 uma queda gradativa do preço final de custo da produção de argamassa, a medida que se aumenta a adição do resíduo de ACM. Em todas as composições analisadas foi considerada a utilização de chapisco para potencializar a aderência da argamassa à superfície dos blocos, que representou um incremento ao valor final de US\$1,36, correspondendo a 33,50% do valor final do traço de referência. Já para o traço com substituição de 25% de resíduo de ACM em relação à Cal Hidratada CHI, correspondeu a 34,69% do custo total no traço.

A redução gradativa média evidenciada no custo das argamassas se dá ao custo zero do resíduo de ACM, uma vez que, o mesmo foi obtido de forma gratuita, por ser resíduo descartado em seu processo produtivo. Outro fator contribuinte para essa queda observada no valor final foi a diminuição de valores da Cal Hidratada CHI, uma vez que, a mesma foi substituída pelo resíduo do estudo. Isso leva a uma diminuição do custo final, média de 6,65% em relação ao traço de referência. A variação dos custos de produção das argamassas estudadas pode também ser visualizada a partir da Figura 44.

Figura 44. Valores finais em dólar para produção das proporções do estudo



Portanto, a adição de resíduo de ACM em composições de argamassa de emboço se mostrou uma estratégia interessante, pois se apresenta como uma alternativa para uma destinação final do resíduo e ao mesmo tempo que contribui para melhora do desempenho financeiro na produção de argamassas de emboço.

6. CONCLUSÕES

6.1. Principais conclusões

A variação na dosagem das argamassas de emboço se com o uso de resíduos de ACM como substituinte da Cal Hidratada CHI não comprometeu a trabalhabilidade das mesmas. Foi verificado que as substituições de Resíduo de ACM feitas em comparação à cal hidratada CHI, contribuíram para um aumento de volume da mesma em estado endurecido, o que indica que houve uma incorporação de ar pelo material. Outro fator que contribuiu para este comportamento foi a utilização do resíduo de forma in natura (na forma de lascas).

Outro aspecto evidenciado foi a perda de densidade da argamassa, onde se verificou uma diminuição média de 23,50%. Essa diminuição era prevista devido ao polietileno de baixa densidade (PEBD), parte componente do resíduo de ACM incorporado na argamassa.

Adicionalmente, foi constatado o aumento de vazios (porosidade) aparentes nos CPs à medida que a incorporação de resíduos de ACM aumentou e verificado uma maior incidência desses vazios em estado endurecido principalmente nas proporções de 15%, 20% e 25%. Tal comportamento se deve à morfologia do resíduo, já que o mesmo se apresenta em lascas lamelares e aglomerados de diferentes dimensões, além de material granular (em sua maioria composta pelo alumínio componente do ACM).

A resistência à compressão dos corpos de prova das argamassas reduziu de forma considerável, chegando a diminuições que ultrapassaram os 89%. O que não exerce influência significativa nesse momento, uma vez que o foco do material estudado é o de revestimento e não de carregamento, sendo assim essa capacidade coadjuvante.

As análises de DRX mostraram que, do ponto de vista químico, as proporções analisadas não sofreram impactos significativos, onde se verificou as fases dos principais componentes preservadas.

Da mesma forma, as análises de FRX convergiram com os difatogramas obtidos nas análises de DRX, onde se verificou as concentrações de CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O com valores dentro dos padrões esperados para compósitos dessa natureza. Ainda se verificou a ocorrência de outros elementos, porém com baixa concentração, não influenciando no arranjo químicos das mesmas.

A análise de custos indicou que a substituição de cal hidratada pelo resíduo de ACM é vantajosa uma vez que atualmente o resíduo é um passivo ambiental, que ainda não possui valor agregado e é destinado para aterros sanitários.

Finalmente, os resultados mostram que as estratégias de incorporação de resíduo e ACM no conjunto de argamassas estudados podem ser adotadas como alternativas na obtenção de revestimentos argamassados eficientes, que contribuem não só para o revestimento de estrutura mas também para o desempenho da mesma quanto ao carregamento provocado por ela.

Além disso, esses revestimentos argamassados podem contribuir de forma significativa na redução de resíduos da construção civil, em especial os resíduos do ACM, proveniente do processo de fresagem, parcela totalmente descartada no processo produtivo, agregando assim uma perspectiva de economia circular ao processo.

6.2. Sugestões para Futuras Pesquisas

- Realizar análises estruturais com as proporções analisadas nesse trabalho por meio de ensaios de resistência à tração, sendo confeccionadas mini alvenarias em blocos cerâmicos normatizados de 8 furos. Cada face receberia as proporções estudadas para verificação de capacidade de resistência ao arrancamento por aderímetro;
- Replicar o processo metodológico visto na presente dissertação, sendo isso feito com o resíduo beneficiado por um processo de imantação (retirada de alumínio do resíduo) e por um processo de moagem, a fim de diminuir a granulometria do material e aplicá-lo não apenas por substituição, mas também por adição. Isto iria preservar a fração padrão de Cal hidratada CHI, buscando substituir e/ou adicionar o resíduo com foco na areia, assim fazendo-se uma análise das diferentes formas de inserção do material e seus respectivos impactos.

REFERÊNCIAS

ABBAS, Waleed A.; GORGIS, Ikbal N.; HUSSEIN, Mahdi J. Performance of Cement Mortar Composites Reinforced with Polyvinyl Alcohol Fibers. **Iop Conference Series: Materials Science and Engineering**, [S.L.], v. 518, n. 2, p. 022045, 1 maio 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/518/2/022045>.

ABDULRAHMAN, Payam Ismael, e Dillshad Khidhir Bzeni. «**Bond Strength Evaluation of Polymer Modified Cement Mortar Incorporated with Polypropylene Fibers**». *Case Studies in Construction Materials*, vol. 17, dezembro de 2022, p. e01387. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01387>.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

NBR 5732: Cimento Portland comum, Rio de Janeiro, 2018. **NBR 5735:** Cimento Portland de alto-forno, Rio de Janeiro, 1991. **NBR 5736:** Cimento Portland pozolânico, Rio de Janeiro, 1986.

NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Rio de Janeiro, 2006.

NBR 7175: Cal hidratada CHI para argamassas. Requisitos, Rio de Janeiro, 2003. **NBR 7200:** Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Procedimento, Rio de Janeiro, 1998

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

NBR 9202: 0,044 mm (n° 325). Método de ensaio, Rio de Janeiro, 1985.

NBR 11578: Cimento Portland composto. Especificação, Rio de Janeiro, 1991.

NBR 11579: Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (n° 200), Cimento Portland e outros materiais em pó. Determinação da finura por meio da peneira, Rio de Janeiro, 2013.

NBR 11582: Cimento Portland — Determinação da expansibilidade Le Chatelier, Rio de Janeiro, 2012.

NBR 12118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Métodos de ensaio, Rio de Janeiro, 2016.

NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Especificação, Rio de Janeiro, 2013.

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

NBR 13279: Resistência à tração na flexão e compressão, Rio de Janeiro, 2005.

NBR 13280: Densidade de massa aparente, Rio de Janeiro, 2005.

NBR 13528: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Determinação da

resistência de aderência à tração, Rio de Janeiro, 2019.

NBR 13749:Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Especificação, Rio de Janeiro, 2013.

NBR 15894-1:Metacaulim para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta Parte 1: Requisitos, Rio de Janeiro, 2010.

NBR 166697: Cimento Portland. Requisitos, Rio de Janeiro, 2018.

NBR NM 43: Cimento Portland. Determinação da pasta de consistência normal, Rio de Janeiro, 2017.

NBR NM 30: Agregado miúdo. Determinação da absorção de água, Rio de Janeiro, 2001.

NBR NM 45: Agregados. Determinação da massa unitária e do volume de vazios, Rio de Janeiro, 2006.

NBR NM 52:Agregado miúdo. Determinação da massa específica e massa específica aparente, Rio de Janeiro, 2009.

NBR NM 65: Cimento Portland. Determinação do tempo de pega, Rio de Janeiro, 2017.

NBR NM 248:Agregados. Determinação da composição granulométrica, Rio de Janeiro, 2003

NBR 15894-1:Metacaulim para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta Parte 1: Requisitos, Rio de Janeiro, 2010.

AL-MANSOUR, Ahmed *et al.* «**Enhanced Recyclability of Waste Plastics for Waterproof Cementitious Composites with Polymer-Nanosilica Hybrids**». *Materials & Design*, vol. 224, dezembro de 2022, p. 111338. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.111338>

AMRAN, Mugahed *et al.* «**Properties and Performance of Polypropylene Fibered High-Strength Concrete with an Improved Composite Binders**». *Case Studies in Construction Materials*, vol. 17, dezembro de 2022, p. e01621. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01621>.

APOLÔNIO, P. H.; MOTA, J. M. F.; BARBOSA, F. R.; COSTA E SILVA, A. J.; SILVA, G.A.; OLIVEIRA, R. A. (2015) ‘**Análise comparativa da resistência de aderência do chapisco com diferentes relações água-ligante e adição de metacaulim**’ *XI SBTA Simpósio Brasileiro de tecnologia das Argamassas*, (1), pp. 1–14.

BARBEROUSSE, H.; RUOT, B.; YÉPRÉMIAN, C.; BOULON, G. (2007) USSE, H.; RUOT, B.; YÉPRÉMIAN, C.; BOULON, G. *Civil, Argamassas*; SILVA, G.A.; OLIVEIRA, R.. *Building and Environment*, 42 (7), pp. 2555–2561. DOI: [10.1016/j.buildenv.2006.07.031](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.07.031).

BOTAS, S.; VEIGA, R.; VELOSA, A. (2017) S.; VEIGA, R.; VELOSA, A. IAN, C.; BOULON, Ga das Argamassas,.; SILVA, G.A.; OLIVEIRA, R. *A Materials and Structures*, 50 (5), p. 211. doi:10.1617/s11527-017-1086-7.

BRASIL, Amanda Cesar Azevedo; INACIO, Gabriel Graciano. **Aplicação do poliestireno**

sulfonado. PSS, obtido por meio da reciclagem e processamento de copos plásticos descartáveis, em adição na composição de argamassas cimentícias. 2021. 1 v. TCC (Graduação). Curso de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, 2021. Disponível em:

<https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/2994>. Acesso em: 08 nov. 2022.

BRIBÍAN, I. Z. et. al, Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis os energy and environmental impacts and evaluation os the eco-efficiency improvement. **Building and Environment**, v. 46, p 1133-1140, 2010.

CABRAL Junior *et al.* (2010): **Panorama e Perspectivas da Indústria de Revestimentos Cerâmicos no Brasil.** **Cerâmica Industrial**, vol. 15, n. 3, p. 7-18.

CAMILO, B. Q. *et al.* Resíduos sólidos na construção civil: análise da gestão frente aos impactos causados ao meio ambiente. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, p. e32711220994, 26 jan. 2022.

CARDOSO, S. S. Tecnologia construtiva de fachada em chapas delgadas estruturadas em light steel Framing. 2015. 245p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

CARVALHO, Igor Mazon; BONFIM, Walter Batista; PAULA, Heber Martins de. Uso de lama residual de concreto como substituto da cal hidratada para produção de argamassas de revestimento. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Goiânia*, v. 15, n. 2, p. 75–87, 2019. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/59249>.

CAVALCANTE, Rebeca Araújo Sousa. **AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICA DA ARGAMASSA COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE POLIESTIRENO PROVENIENTES DO MUNICÍPIO DE PAU DOS FERROS. RN.** 2018. 1 v. TCC (Graduação). Curso de Engenharia Civil, Pró-Reitoria de Graduação

CUENCA-ROMERO, Lourdes Alameda *et al.* «Characterization Properties and Fire Behaviour of Cement Blocks with Recycled Polyurethane Roof Wastes». **Journal of Building Engineering**, vol. 50, junho de 2022, p. 104075. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104075>.

DANTAS, Anderson *et al.* PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO NATURAL POR RESÍDUO DE PET. **Repositório Universitário da Ânima (Runa)**, [s. l], v. 1, n. 1, p. 1-24, jun. 2022. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/25163>. Acesso em: 07 nov. 2022.

FERNANDES, Igor Vieira. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de argamassas de revestimento produzidas com agregado polimérico.** 2020. 91f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia), Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. Paraíba. Brasil, 2020. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/23640>.

GRAUPMANN, O. .; GRAUPMANN, S. .; MYMRINE, V. .; BROSOWSKY, L. . Uso de cinza do lodo de estação de tratamento de efluentes da indústria de papel na produção de argamassa. In: **WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS**, 2019. Anais [..]. Porto Alegre: ANTAC, 2019. p. 1–6. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/tecsic/article/view/340>. Acesso em: 9 nov. 2022.

HODUL, Jakub; ŠIŽKOVÁ, Nikol; DROCHYTKA, Rostislav; BORG, Ruben Paul. Influence of Crystallization Admixture on Mechanical Parameters and Microstructure of Polymer-Cement Mortars with Waste Limestone. **Solid State Phenomena**, [S.L.], v. 296, p. 27-34, ago. 2019. Trans Tech Publications, Ltd. DOI: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.296.27>.

HOU, Shaodan *et al.* «**Sustainable Utilization of Hybrid Recycled Powder and Recycled Polyethylene Terephthalate Fiber in Mortar: Strength, Durability and Microstructure**». *Journal of Building Engineering*, vol. 63, janeiro de 2023, p. 105541. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2022.105541>.

KAZMIERCZAK, C. DE S.; BREZEZINSKI, D.; COLLATTO, D. (2007) 'Influência das características da base na resistência de aderência à tração e na distribuição de poros de uma argamassa', *Estudos Tecnológicos*, 3 (1), pp. 47–58. Disponível em: <http://www.estudostecnologicos.unisinos.br/pdfs/64.pdf>.

LACERDA, Carlos Eduardo Silva. Estudo da durabilidade de argamassa produzida com agregado reciclado. 2020. 76f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia), Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. Paraíba. Brasil, 2020. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/23633>.

LIMA NETA, Maria Henriqueta Conceição. Estudo do aproveitamento de resíduo polimérico em substituição parcial do agregado miúdo em argamassa. 2020. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Amazonas, Manaus (AM), 2020.

MACHADO, Bruna de Moura. Influência de aditivo incorporador de ar em argamassas mistas com agregado reciclado de PET. Orientador: Simone Dornelles Venquiaruto. 2019. 137 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade Federal do Pampa, Curso de Engenharia Civil, Alegrete, 2019.

MELLO, Anselmo Lima. **Utilização dos resíduos de PEAD como alternativa aos agregados naturais em argamassa**. 2016. 1 v. Dissertação (Mestrado). Curso de Engenharia Ambiental Urbana, Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia. Ufba, Salvador, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/18456>. Acesso em: 18 dez. 2022.

Meng, Zixiang *et al.* «**Fiber Factor for Fresh and Hardened Properties of Polyethylene Fiber-Reinforced Geopolymer Mortar**». *Journal of Building Engineering*, vol. 53, agosto de 2022, p. 104556. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2022.104556>.

MIRANDA, Luana Varela. Compósito à base de polipropileno reciclado para utilização nas construções rural e civil. 2020. 69f. (Dissertação de Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande. Paraíba. Brasil, 2020. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/28175>.

MONTANER, J.M. **Depois do movimento Moderno**. Arquitetura da segunda metade do século XX. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2001.

OLIVEIRA, Alencar Ibeiro de. Uso de dregs em substituição da cal hidratada em argamassas mistas de revestimento. Orientador: Rafael de Avila Delucis. 2022. 69f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Programa de Pós-Graduação em Ciência e

Engenharia de Materiais, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

OLIVEIRA, GUSTAVO SANTOS. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS COLANTES COM SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO MÍUDO POR BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS. **Adelpha Repositório Digital**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 1-22, 17 dez. 2019. Disponível em: <https://dspace.mackenzie.br/handle/10899/29168>. Acesso em: 08 nov. 2022.

OLIVEIRA, L.A. **Tecnologia de Painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios**. São Paulo: EPUSP, 2003 (Boletim Técnico. Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/343).

RAMOS, M. C.; BARBOSA, J. A. (2016) 'Basic Unit Cost Simulation From Free-Stall Design To Dairy Cattle Confinement Using Different Construction Techniques', *Engenharia Agrícola*, 36 (6), pp. 972–983. DOI: [10.1590/1809-4430-eng.agric.v36n6p972-983/2016](https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v36n6p972-983/2016).

ROCHA, A. C. **Análise comparativa de planejamento e custo de fachada de edifício de múltiplos pavimentos com as tecnologias tradicional e com chapas delgadas estruturas em light steel framing**. Dissertação (mestrado em engenharia civil). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

ROHOLLAH, Rostami *et al.* «Effect of Superabsorbent Polymers on Microstructure and Strength of Blended Cements Mortars Reinforced by Polymeric Fibre». *CEMENT*, vol. 9, setembro de 2022, p. 100041. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cement.2022.100041>.

SANTOS, B. **Avaliação das propriedades físicas, mecânicas e microestruturais do concreto incorporado com borracha de pneus**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Universidade Federal de Campina Grande, 2018.

SANTOS, CAAS, Lucena,MS, Moraes, WS, Silva, LC,Silva, DEC, Serra, MAAO & Façanha Filho, PF. (2020). Composite material of mortar and polymer: a sustainable option for civil construction and reuse of waste tires in the city of Açailândia, Brazil.*Research, Society and Development*, 9 (7):1-15, e538974591.

SILVA, Rayanne de Oliveira. **Avaliação da viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo por politereftalato de etileno (PET) em argamassas**. 2019. 51f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia), Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-Paraíba. Brasil, 2019. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/23624>

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/4767/1/RebecaASC_MONO.pdf. Acesso em: 07 nov. 2022.

ZANOTTI, C.; BORGES, P. H. R.; BHUTTA, A.; BANTHIA, N. (2017) 'Bond strength between concrete substrate and metakaolin geopolymer repair mortar: Effect of curing regime and PVA fiber reinforcement', *Cement and Concrete Composites*. Elsevier Ltd, 80, pp. 307–121316. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2016.12.014.

APÊNDICE

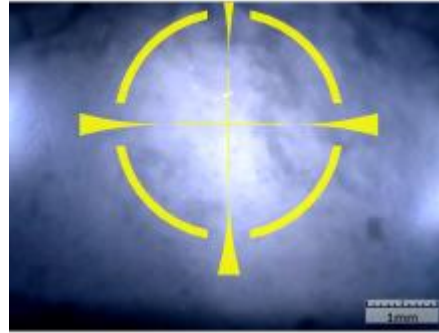
Measurement Information

Project	Project 15 – Sanderson	Date	3/1/2023	10:30 PM
Measurement	1-1-6 Ref ponto 1	Analysis	1-1-6 Ref ponto 1	
Workflow		User		

Measurement Settings

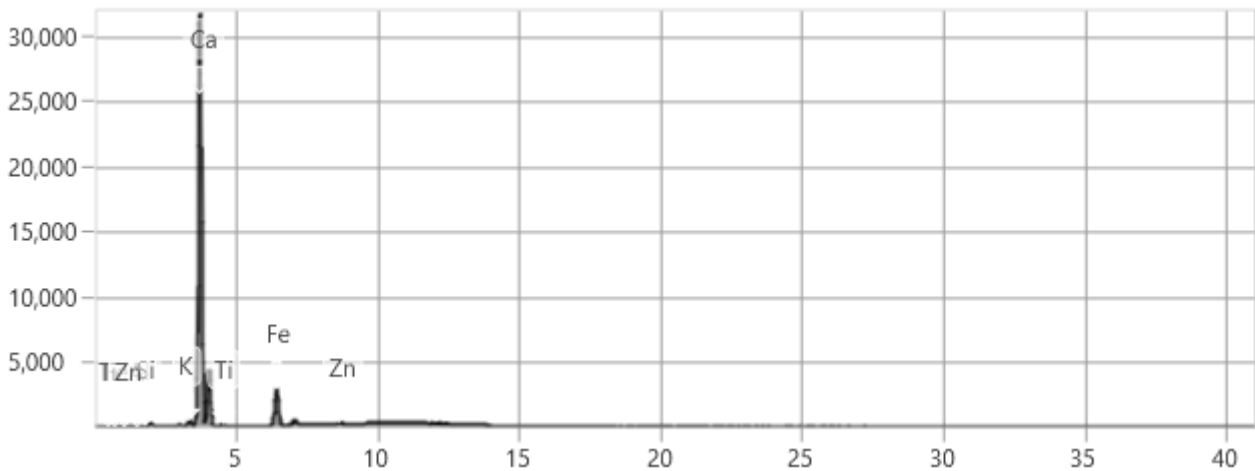
Voltage	15	kV
Filter	Low	
Meas Time	60	s
Current	200	μ A
Collimator	3 mm	
Processing Time	Process 2	

Sample Image



Result

Element	Concentration	Unit	Line	Intensity	Judgment
Fe2O3	2.3481	wt%	Kα	3586.54	---
TiO2	0.5781	wt%	Kα	230.96	---
K2O	1.1622	wt%	Kα	531.85	---
CaO	69.6381	wt%	Kα	34598.70	---
Al2O3	5.1874	wt%	Kα	5.05	---
SiO2	21.0241	wt%	Kα	73.12	---
ZnO	0.0620	wt%	Kα	144.90	---



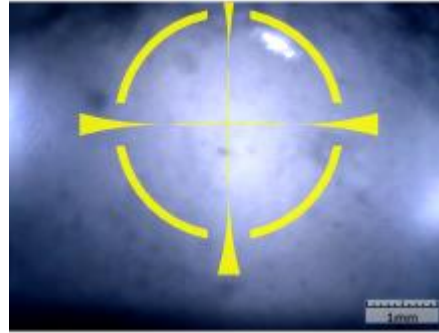
Measurement Information

Project	Project 15 - Sanderson	Date	3/1/2023	10:36 PM
Measurement	1-1-6 Ref ponto 2	Analysis	1-1-6 Ref ponto 2	
Workflow		User		

Measurement Settings

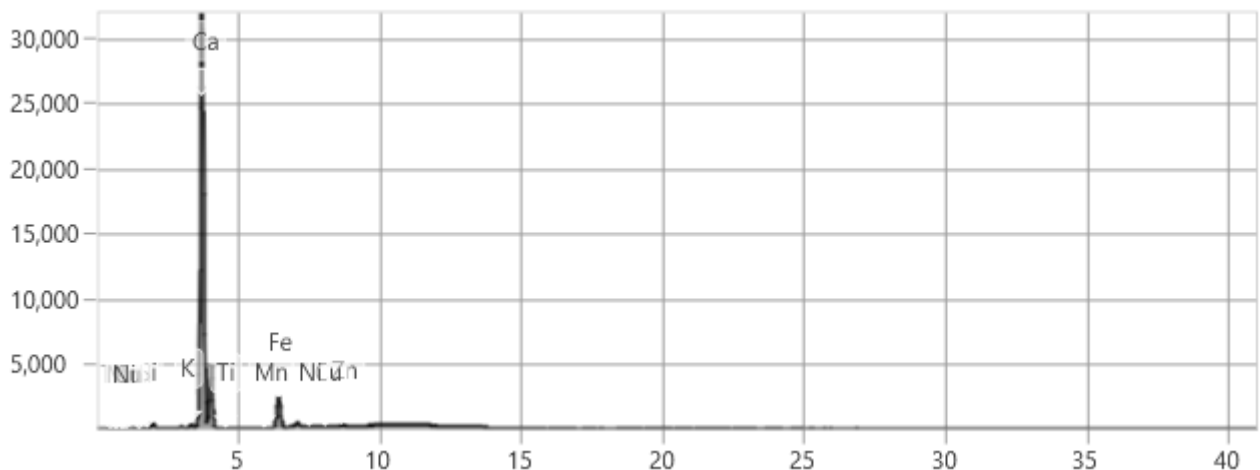
Voltage	15	kV
Filter	Low	
Meas Time	60	s
Current	200	μ A
Collimator	3 mm	
Processing Time	Process 2	

Sample Image



Result

Element	Concentration	Unit	Line	Intensity	Judgment
Fe2O3	2.5226	wt%	K α	3060.81	---
TiO2	0.3743	wt%	K α	118.77	---
K2O	1.0121	wt%	K α	474.63	---
CaO	84.4766	wt%	K α	39140.36	---
Al2O3	1.5655	wt%	K α	1.34	---
SiO2	9.9524	wt%	K α	32.28	---
ZnO	0.0516	wt%	K α	95.67	---
Mn	0.0196	wt%	K α	27.58	---
Cu	0.0139	wt%	K α	33.11	---
Ni	0.0114	wt%	K α	25.33	---



Measurement Information

Project	Project 15 - Sanderson	Date	3/1/2023	10:39 PM
Measurement	1-1-6 Ref ponto 3	Analysis	-1-6 Ref ponto 3	
Workflow		User		

Measurement Settings

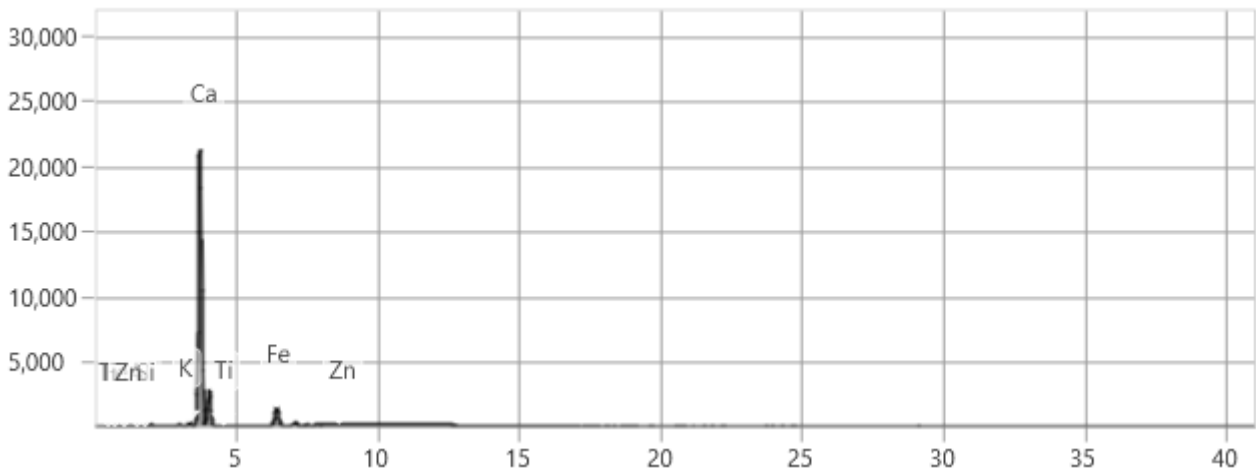
Voltage	15	kV
Filter	Low	
Meas Time	60	s
Current	200	μ A
Collimator	3 mm	
Processing Time	Process 2	

Sample Image



Result

Element	Concentration	Unit	Line	Intensity	Judgment
Fe2O3	2.5037	wt%	K α	1927.66	---
TiO2	0.3658	wt%	K α	73.62	---
K2O	1.1651	wt%	K α	331.14	---
CaO	81.7438	wt%	K α	23298.88	---
Al2O3	3.2848	wt%	K α	1.75	---
SiO2	10.9047	wt%	K α	21.51	---
ZnO	0.0321	wt%	K α	37.83	---



Measurement Information

Project	Project 15 – Sanderson	Date	3/1/2023	10:45 PM
Measurement	1-0,05-0,95-6 ponto 1	Analysis	1-0,05-0,95-6 ponto 1	
Workflow		User		

Measurement Settings

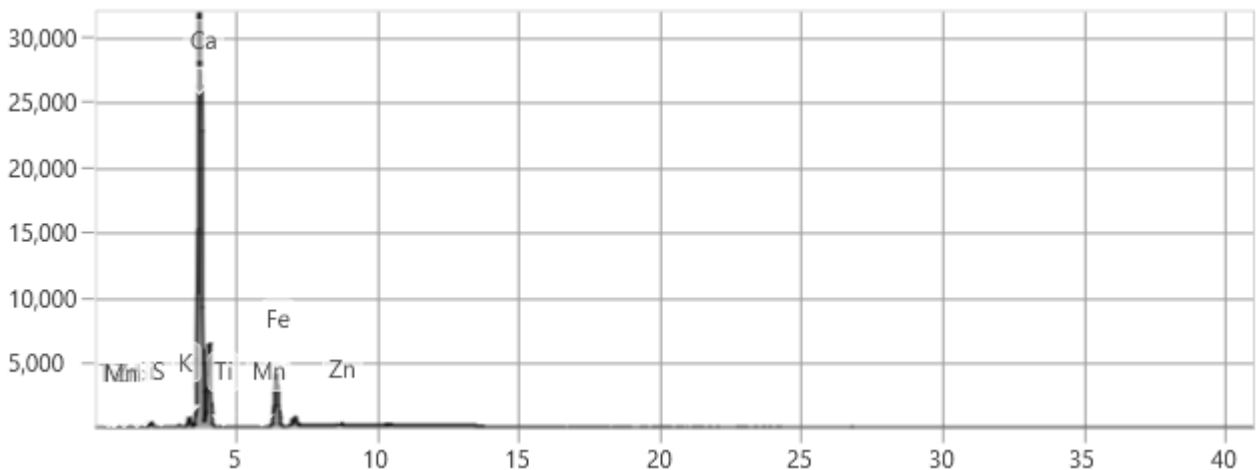
Voltage	15	kV
Filter	Low	
Meas Time	60	s
Current	200	μ A
Collimator	3 mm	
Processing Time	Process 2	

Sample Image



Result

Element	Concentration	Unit	Line	Intensity	Judgment
Fe2O3	3.4936	wt%	K α	5175.23	---
TiO2	0.3313	wt%	K α	129.01	---
K2O	1.4732	wt%	K α	879.36	---
CaO	86.6570	wt%	K α	49836.22	---
Al2O3	1.4886	wt%	K α	1.57	---
SiO2	6.2297	wt%	K α	24.97	---
ZnO	0.0916	wt%	K α	204.76	---
S	0.2025	wt%	K α	17.77	---
Mn	0.0325	wt%	K α	56.09	---



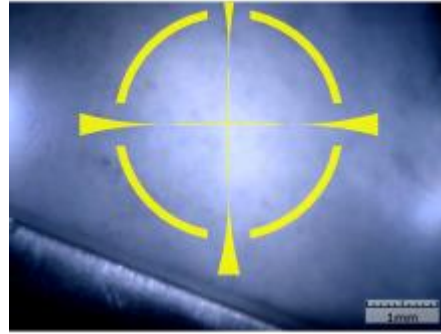
Measurement Information

Project	Project 15 – Sanderson	Date	3/1/2023	10:49 PM
Measurement	1-0,05-0,95-6 ponto 2	Analysis	1-0,05-0,95-6 ponto 2	
Workflow		User		

Measurement Settings

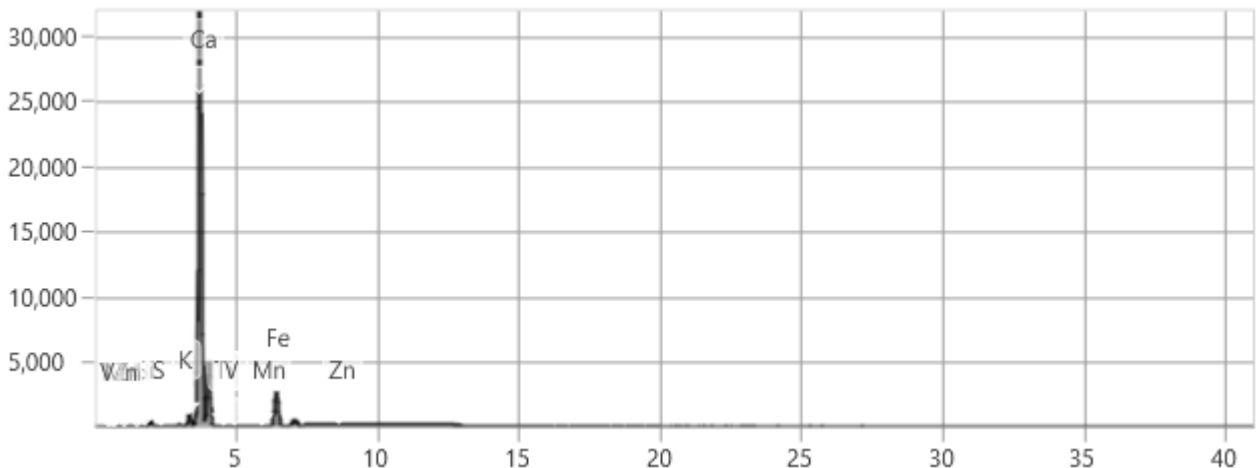
Voltage	15	kV
Filter	Low	
Meas Time	60	s
Current	200	μ A
Collimator	3 mm	
Processing Time	Process 2	

Sample Image



Result

Element	Concentration	Unit	Line	Intensity	Judgment
Fe2O3	2.7680	wt%	K α	3508.32	---
TiO2	0.2586	wt%	K α	85.75	---
K2O	2.2018	wt%	K α	1059.19	---
CaO	83.5614	wt%	K α	39001.36	---
Al2O3	1.5116	wt%	K α	1.34	---
SiO2	9.2437	wt%	K α	31.17	---
ZnO	0.0538	wt%	K α	103.95	---
S	0.3714	wt%	K α	26.34	---
Mn	0.0297	wt%	K α	43.68	---
V	0.0000	wt%	K α	0.00	---



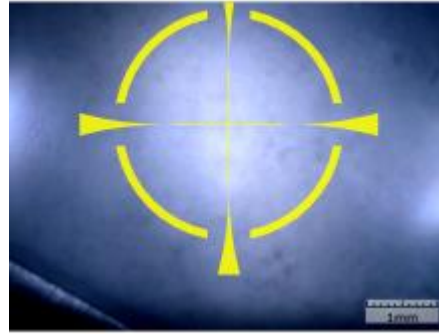
Measurement Information

Project	Project 15 – Sanderson	Date	3/1/2023	10:54 PM
Measurement	1-0,05-0,95-6 ponto 3	Analysis	1-0,05-0,95-6 ponto 3	
Workflow		User		

Measurement Settings

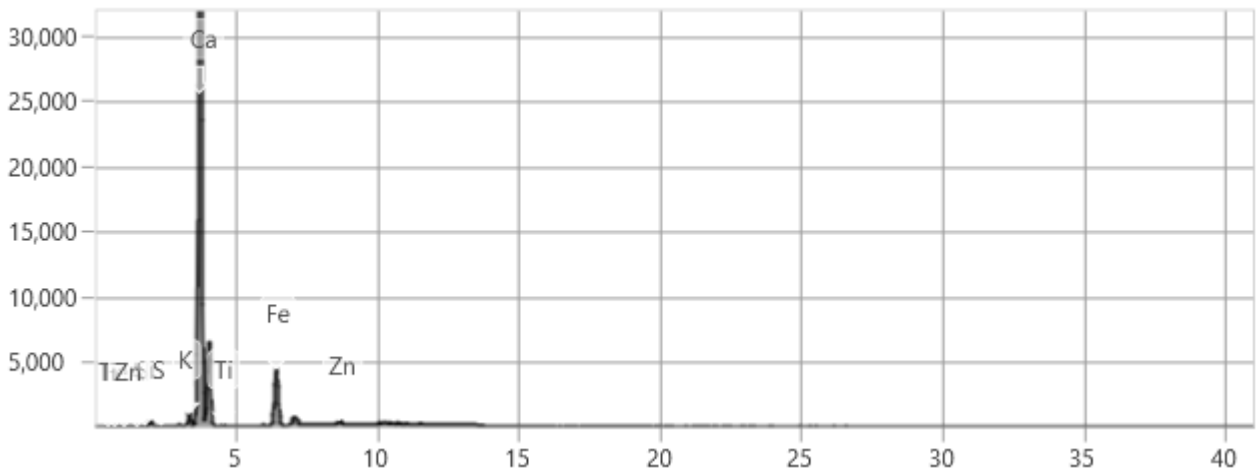
Voltage	15	kV
Filter	Low	
Meas Time	60	s
Current	200	μ A
Collimator	3 mm	
Processing Time	Process 2	

Sample Image



Result

Element	Concentration	Unit	Line	Intensity	Judgment
Fe2O3	3.7570	wt%	Kα	5695.95	---
TiO2	0.4661	wt%	Kα	186.24	---
K2O	1.7798	wt%	Kα	1099.99	---
CaO	87.2893	wt%	Kα	51435.35	---
Al2O3	0.0631	wt%	Kα	0.07	---
SiO2	6.1993	wt%	Kα	26.01	---
ZnO	0.1304	wt%	Kα	297.57	---
S	0.3150	wt%	Kα	28.86	---



Measurement Information

Project	Project 15 - Sanderson	Date	3/1/2023	11:00 PM
Measurement	1-0,1-0,9-6 Ponto 1	Analysis	1-0,1-0,9-6 Ponto 1	
Workflow		User		

Measurement Settings

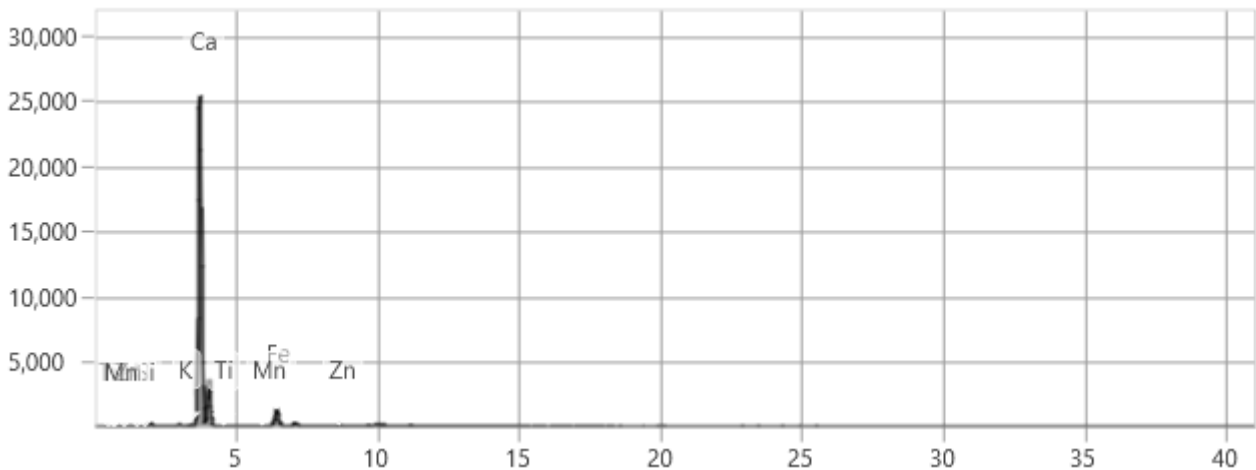
Voltage	15	kV
Filter	Low	
Meas Time	60	s
Current	200	μ A
Collimator	3 mm	
Processing Time	Process 2	

Sample Image



Result

Element	Concentration	Unit	Line	Intensity	Judgment
Fe2O3	2.3064	wt%	K α	1741.47	---
TiO2	0.2517	wt%	K α	49.60	---
K2O	0.5601	wt%	K α	177.90	---
CaO	89.5012	wt%	K α	27369.70	---
Al2O3	1.0521	wt%	K α	0.58	---
SiO2	6.2582	wt%	K α	13.22	---
ZnO	0.0505	wt%	K α	58.48	---
Mn	0.0197	wt%	K α	17.26	---



Measurement Information

Project	Project 15 - Sanderson	Date	3/1/2023	11:05 PM
Measurement	1-0,1-0,9-6 Ponto 2	Analysis	1-0,1-0,9-6 Ponto 2	
Workflow		User		

Measurement Settings

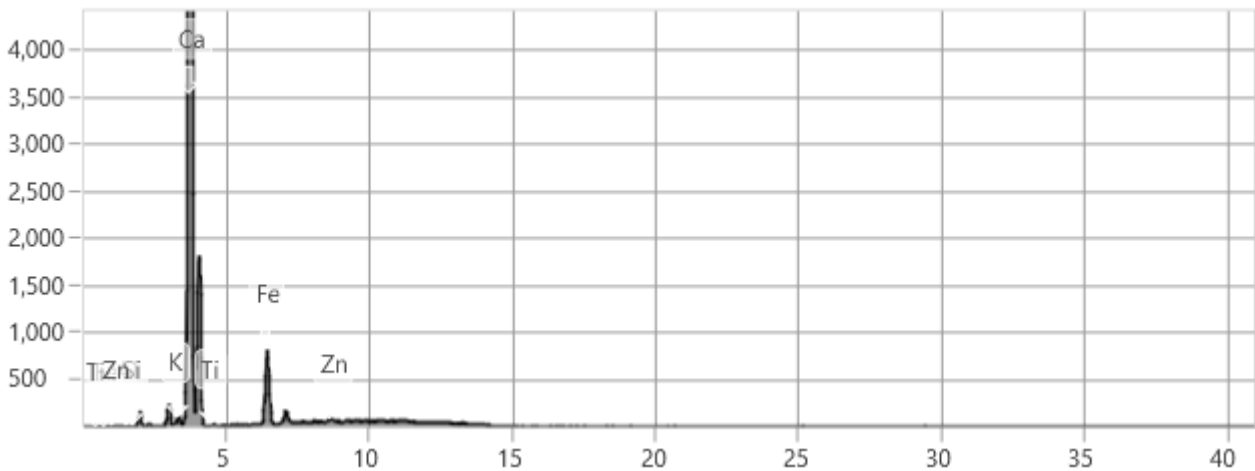
Voltage	15	kV
Filter	Low	
Meas Time	60	s
Current	200	μ A
Collimator	3 mm	
Processing Time	Process 2	

Sample Image



Result

Element	Concentration	Unit	Line	Intensity	Judgment
Fe2O3	2.5932	wt%	K α	986.53	---
TiO2	0.3595	wt%	K α	35.77	---
K2O	0.6297	wt%	K α	100.36	---
CaO	89.1076	wt%	K α	13688.23	---
Al2O3	0.6882	wt%	K α	0.19	---
SiO2	6.5542	wt%	K α	6.98	---
ZnO	0.0676	wt%	K α	39.30	---



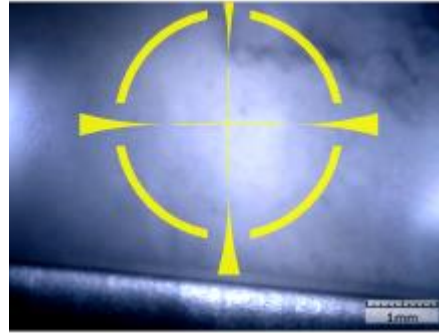
Measurement Information

Project	Project 15 - Sanderson	Date	3/1/2023	11:08 PM
Measurement	1-0,1-0,9-6 Ponto 3	Analysis	1-0,1-0,9-6 Ponto 3	
Workflow		User		

Measurement Settings

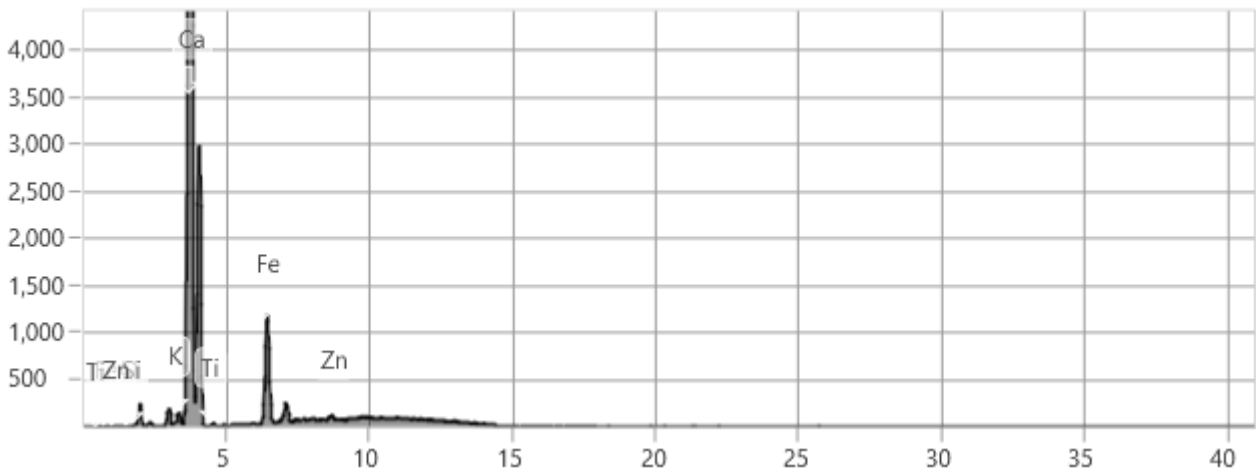
Voltage	15	kV
Filter	Low	
Meas Time	60	s
Current	200	μ A
Collimator	3 mm	
Processing Time	Process 2	

Sample Image



Result

Element	Concentration	Unit	Line	Intensity	Judgment
Fe2O3	2.3592	wt%	K α	1482.86	---
TiO2	0.2174	wt%	K α	35.65	---
K2O	0.6086	wt%	K α	163.96	---
CaO	90.4536	wt%	K α	23248.21	---
Al2O3	2.3329	wt%	K α	1.08	---
SiO2	3.9799	wt%	K α	6.92	---
ZnO	0.0484	wt%	K α	46.64	---



Measurement Information

Project	Project 15 - Sanderson	Date	2/8/2023	5:37 PM
Measurement	1-0,15-0,85-6-Amostra 6	Analysis	1-0,15-0,85-6-Amostra 6	
Workflow		User		

Measurement Settings

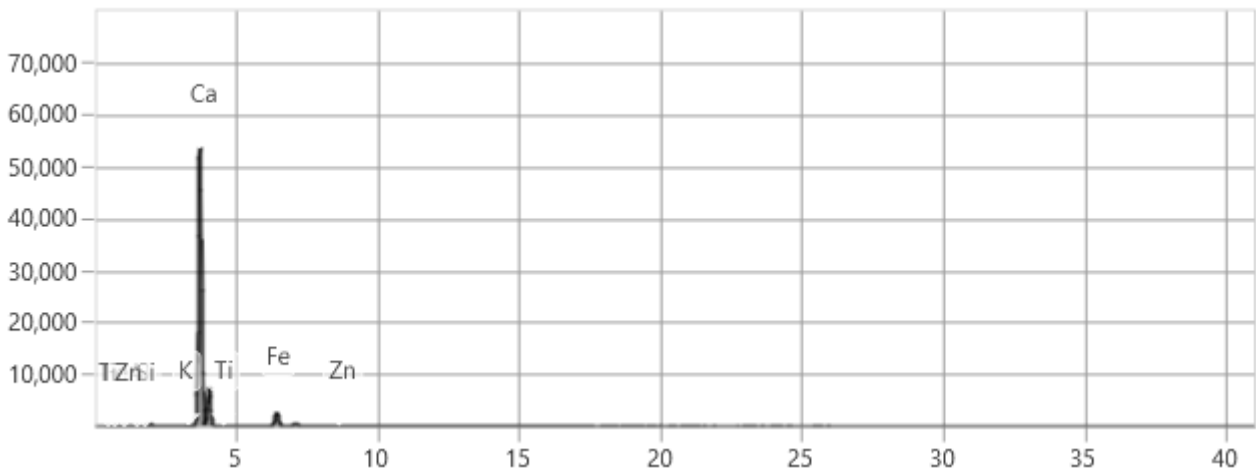
Voltage	15	kV
Filter	Low	
Meas Time	60	s
Current	200	μ A
Collimator	3 mm	
Processing Time	Process 2	

Sample Image



Result

Element	Concentration	Unit	Line	Intensity	Judgment
Fe2O3	2.4960	wt%	K α	3797.31	---
TiO2	0.2099	wt%	K α	83.38	---
K2O	0.5256	wt%	K α	352.18	---
CaO	91.9388	wt%	K α	58216.82	---
Al2O3	2.1016	wt%	K α	2.37	---
SiO2	2.6593	wt%	K α	11.35	---
ZnO	0.0688	wt%	K α	160.15	---



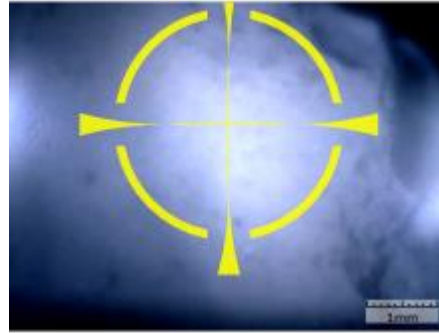
Measurement Information

Project	Project 15 - Sanderson	Date	2/8/2023	5:43 PM
Measurement	1-0,15-0,85-6-Amostra 6	Analysis	1-0,15-0,85-6-Amostra 6	
Workflow		User		

Measurement Settings

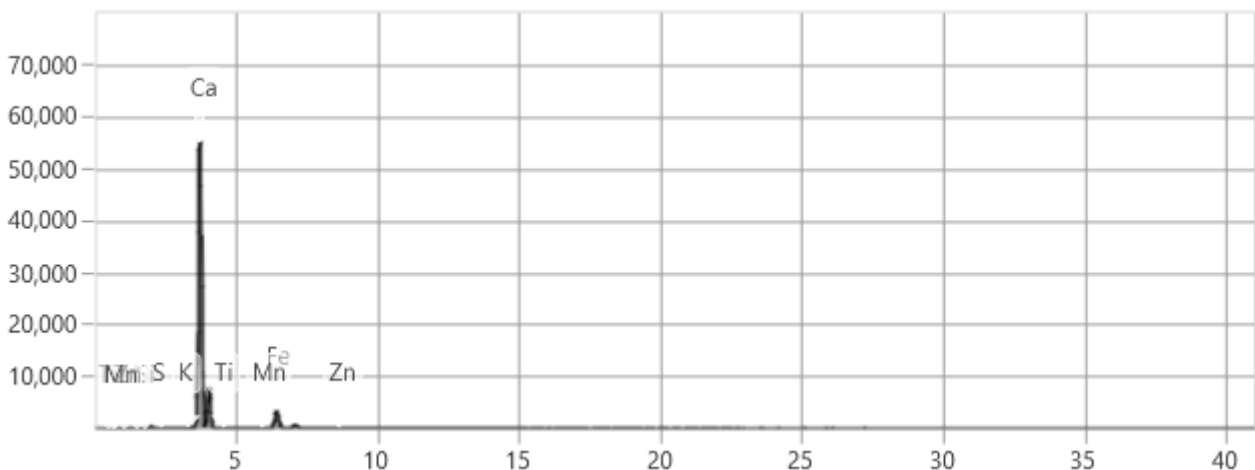
Voltage	15	kV
Filter	Low	
Meas Time	60	s
Current	200	μ A
Collimator	3 mm	
Processing Time	Process 2	

Sample Image



Result

Element	Concentration	Unit	Line	Intensity	Judgment
Fe2O3	2.9106	wt%	K α	4745.36	---
TiO2	0.2319	wt%	K α	98.97	---
K2O	0.5897	wt%	K α	409.80	---
CaO	90.1225	wt%	K α	59998.54	---
Al2O3	2.2707	wt%	K α	2.71	---
SiO2	3.6654	wt%	K α	16.46	---
ZnO	0.0580	wt%	K α	143.93	---
S	0.1292	wt%	K α	13.15	---
Mn	0.0221	wt%	K α	41.93	---



Measurement Information

Project	Project 15 - Sanderson	Date	2/8/2023	5:55 PM
Measurement	1-0,15-0,85-6-Amostra 6	Analysis	1-0,15-0,85-6-Amostra 6	
Workflow		User		

Measurement Settings

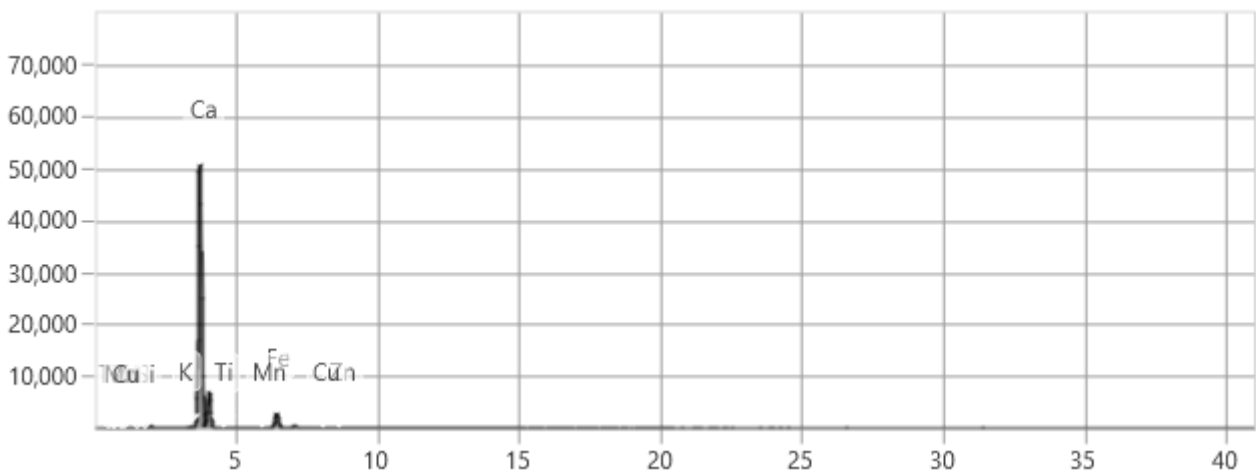
Voltage	15	kV
Filter	Low	
Meas Time	60	s
Current	200	μ A
Collimator	3 mm	
Processing Time	Process 2	

Sample Image



Result

Element	Concentration	Unit	Line	Intensity	Judgment
Fe2O3	2.7306	wt%	K α	3876.70	---
TiO2	0.2456	wt%	K α	91.21	---
K2O	0.6165	wt%	K α	391.97	---
CaO	92.8626	wt%	K α	55322.26	---
Al2O3	0.1131	wt%	K α	0.12	---
SiO2	3.3504	wt%	K α	13.77	---
ZnO	0.0521	wt%	K α	112.87	---
Mn	0.0195	wt%	K α	32.17	---
Cu	0.0095	wt%	K α	26.34	---



Measurement Information

Project	Project 15 - Sanderson	Date	2/8/2023	7:10 PM
Measurement	1-0,2-0,8-6 ponto 3	Analysis	1-0,2-0,8-6 ponto 3	
Workflow		User		

Measurement Settings

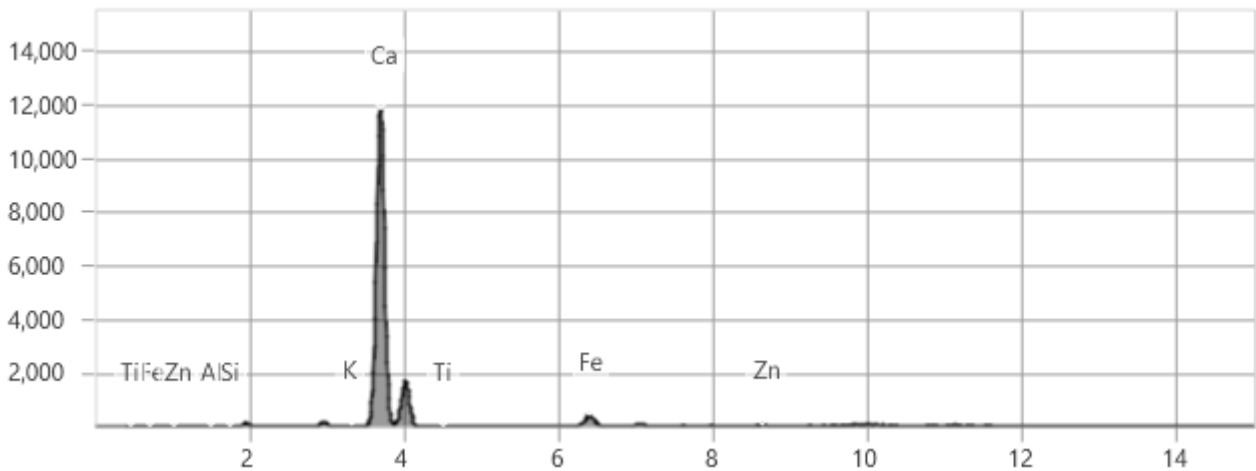
Voltage	15	kV
Filter	Low	
Meas Time	60	s
Current	200	μ A
Collimator	3 mm	
Processing Time	Process 2	

Sample Image



Result

Element	Concentration	Unit	Line	Intensity	Judgment
Fe2O3	1.6039	wt%	K α	544.12	---
TiO2	0.1868	wt%	K α	16.46	---
K2O	0.2528	wt%	K α	37.48	---
CaO	91.9733	wt%	K α	12983.82	---
Al2O3	0.6116	wt%	K α	0.15	---
SiO2	5.3193	wt%	K α	5.19	---
ZnO	0.0522	wt%	K α	27.41	---



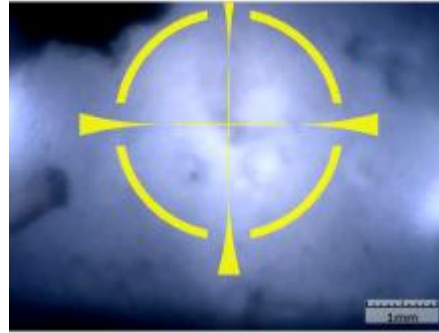
Measurement Information

Project	Project 15 - Sanderson	Date	2/8/2023	5:10 PM
Measurement	1-0,25-0,75-6-Amostra	Analysis	1-0,25-0,75-6-Amostra	
Workflow		User		

Measurement Settings

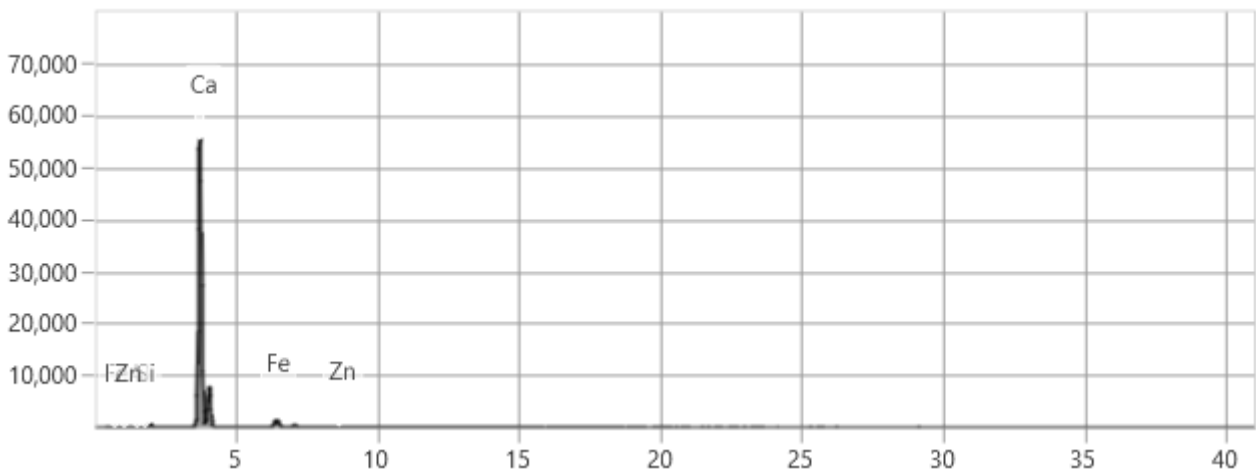
Voltage	15	kV
Filter	Low	
Meas Time	60	s
Current	200	μ A
Collimator	3 mm	
Processing Time	Process 2	

Sample Image



Result

Element	Concentration	Unit	Line	Intensity	Judgment
Fe2O3	1.4647	wt%	K α	2129.83	---
CaO	95.7375	wt%	K α	60460.16	---
Al2O3	1.7993	wt%	K α	2.01	---
SiO2	0.9412	wt%	K α	3.99	---
ZnO	0.0573	wt%	K α	129.08	---



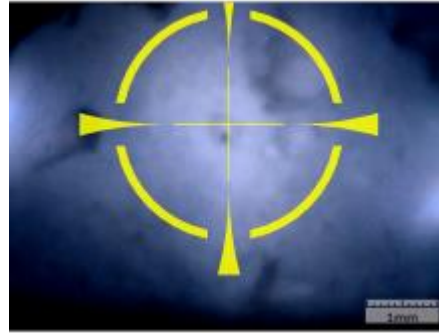
Measurement Information

Project	Project 15 - Sanderson	Date	2/8/2023	5:18 PM
Measurement	1-0,25-0,75-6-Amostra 3C	Analysis	1-0,25-0,75-6-Amostra 3C	
Workflow		User		

Measurement Settings

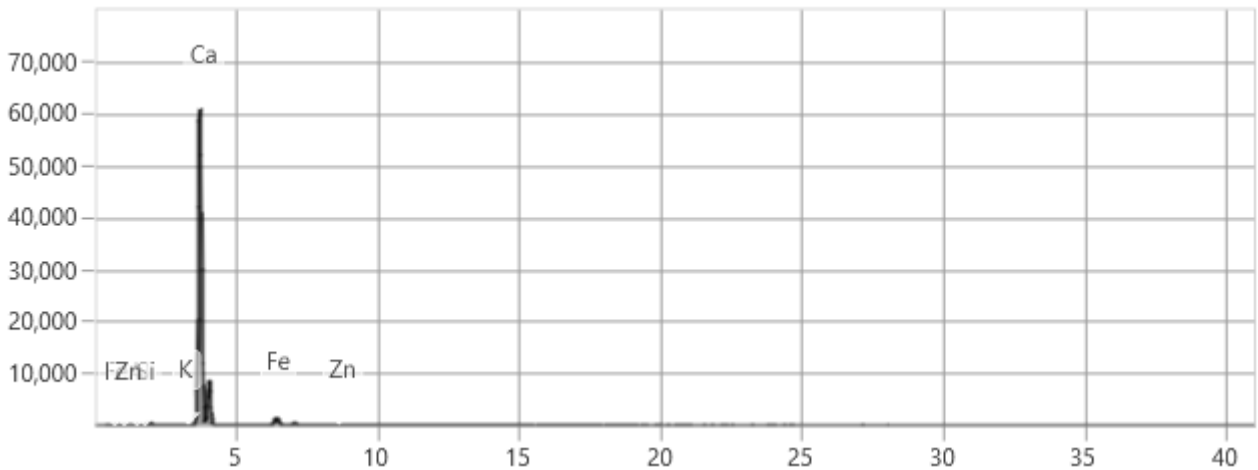
Voltage	15	kV
Filter	Low	
Meas Time	60	s
Current	200	μ A
Collimator	3 mm	
Processing Time	Process 2	

Sample Image



Result

Element	Concentration	Unit	Line	Intensity	Judgment
Fe2O3	1.4049	wt%	K α	2301.25	---
K2O	0.2651	wt%	K α	199.23	---
CaO	94.6489	wt%	K α	66226.53	---
Al2O3	3.1990	wt%	K α	3.99	---
SiO2	0.4140	wt%	K α	1.92	---
ZnO	0.0682	wt%	K α	173.07	---



Measurement Information

Project	Project 15 - Sanderson	Date	2/8/2023	5:22 PM
Measurement	1-0,25-0,75-6-Amostra 3C	Analysis	1-0,25-0,75-6-Amostra 3C	
Workflow		User		

Measurement Settings

Voltage	15	kV
Filter	Low	
Meas Time	60	s
Current	200	μ A
Collimator	3 mm	
Processing Time	Process 2	

Sample Image



Result

Element	Concentration	Unit	Line	Intensity	Judgment
Fe2O3	1.7861	wt%	K α	3125.22	---
K2O	0.2776	wt%	K α	216.40	---
CaO	92.8246	wt%	K α	68309.29	---
Al2O3	3.3216	wt%	K α	4.36	---
SiO2	1.6122	wt%	K α	7.87	---
ZnO	0.0734	wt%	K α	198.13	---
Ti	0.1044	wt%	K α	79.22	---

