



**Análise das propriedades físicas e mecânicas da argamassa fabricada  
com resíduos de minério industrial**

*Analysis of the physical and mechanical properties of mortar manufactured from  
industrial ore waste*

*Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del mortero fabricado a partir de  
residuos de mineral industrial*

**Thalyta Carolina de Souza**

Aluna Graduação, Unileste, Brasil

Thalyta.souza1@outlook.com

**Lucas Pinto de Carvalho**

Professor Mestre, Unileste, Brasil.

Lucas.carvalho@p.unileste.edu.br

**Fabricio Moura Dias**

Professor Doutor, Unileste, Brasil.

Fabricio.dias@p.unileste.edu.br



## RESUMO

A indústria da construção civil tem contribuído de forma significativa em ações que resultam em impactos ambientais e sociais, entre essas ações estão a utilização de recursos naturais não renováveis como matéria prima e a geração de resíduos. Por se tratar de recursos não renováveis, a exploração da brita e areia tem incentivado a busca alternativas sustentáveis capazes de substituir a utilização desses materiais por outros que apresentem propriedades similares. Esse estudo busca avaliar a viabilidade da utilização de resíduos, obtidos por meio do processo de mineração como substituto de agregado miúdo natural de uso mais frequente na construção civil. Durante o processo será realizada a coleta dos resíduos e feita a análise em relação as suas propriedades físicas e mecânicas, e posteriormente será realizado o ensaio de granulometria para que seja realizada a classificação do resíduo quanto a sua curva granulométrica. Será feita a produção de argamassa a fim de realizar ensaios de resistência à compressão axial e verificar o comportamento mecânico dos materiais. A análise comparativa das amostras revela que a adição de resíduo ao material está diretamente associada à resistência à compressão, os resultados reforçam a tendência de redução da resistência à medida que o percentual de resíduo no material aumenta.

**PALAVRAS-CHAVE:** Argamassa. Resíduo de mineração. Propriedades mecânicas. Impactos ambientais.

## ABSTRACT

*The construction industry has contributed significantly to actions that result in environmental and social impacts, among these actions are the use of non-renewable natural resources as raw materials and the generation of waste. As they are non-renewable resources, the exploration of gravel and sand has encouraged the search for sustainable alternatives capable of replacing the use of these materials. This study seeks to evaluate the feasibility of using waste obtained through the mining process as a substitute for natural fine aggregate most frequently used in civil construction. During the process, the waste will be collected and analyzed in relation to its physical and mechanical properties, after which the granulometry test will be carried out so that the waste can be classified according to its granulometric curve. Mortar will be produced in order to carry out axial compression resistance tests and verify the mechanical behavior of the materials. The comparative analysis of the samples reveals that the addition of residue to the material is directly associated with compressive strength. The results reinforce the tendency for resistance to reduce as the percentage of residue in the material increases.*

**Keywords:** Mortar. Mining residue. Mechanical Properties. Environmental impacts.

## RESUMEN

*La industria de la construcción ha contribuido significativamente con acciones que resultan en impactos ambientales y sociales, entre estas acciones se encuentran el uso de recursos naturales no renovables como materias primas y la generación de residuos. Al tratarse de recursos no renovables, la exploración de gravas y arenas ha fomentado la búsqueda de alternativas sostenibles capaces de sustituir el uso de estos materiales. Este estudio busca evaluar la viabilidad de utilizar los residuos obtenidos del proceso minero como sustituto del agregado fino natural más utilizado en la construcción civil. Durante el proceso, los residuos serán recolectados y analizados en relación a sus propiedades físicas y mecánicas, luego de lo cual se realizará la prueba de granulometría para que los residuos puedan clasificarse según su curva granulométrica. Se producirá mortero para realizar ensayos de resistencia a la compresión axial y verificar el comportamiento mecánico de los materiales. El análisis comparativo de las muestras revela que la adición de residuos al material está directamente asociada con la resistencia a la compresión. Los resultados refuerzan la tendencia de la resistencia a reducirse a medida que aumenta el porcentaje de residuos en el material.*

**PALABRAS CLAVE:** Mortero. Residuos mineros. Propiedades mecánicas. Impactos ambientales.



## **1. INTRODUÇÃO**

As indústrias de mineração contribuem de diversas formas para o desenvolvimento do país, fornecendo emprego, tecnologias e insumos para a população. Em contrapartida, a geração de resíduos sólidos nestes setores é uma realidade que causa impactos negativos tanto na sociedade quanto no meio ambiente. Incentivar o desenvolvimento de projetos que busquem reduzir o descarte dos rejeitos deveria ser uma alternativa reivindicada por todos que sofrem qualquer tipo de prejuízo, seja de forma direta ou indireta.

Os desafios ambientais vinculados à produção e descarte de resíduos sólidos da mineração têm o potencial de gerar efeitos prejudiciais no ecossistema global. Os efeitos decorrentes da má gestão destes resíduos sólidos estão predominantemente associados à poluição das águas subterrâneas e do solo, podendo ocasionar desequilíbrios nos ecossistemas e ter impactos na saúde humana (SILVEIRA, 2015). Este problema faz com que se busquem alternativas para a reutilização dos descartes das empresas.

Ao adotar essa abordagem, os resíduos industriais que originalmente seriam descartados poderão encontrar uma nova utilidade na fabricação de materiais de construção, como exemplo a argamassa. A reutilização desses rejeitos na forma de agregados traz consigo benefícios significativos ao que se refere ao meio ambiente, sociedade e fator econômico da empresa. Isso devido a sua contribuição para a redução do acúmulo de resíduos nos pátios, redução do descarte no meio ambiente e a geração de novos empregos na indústria. Além disso, essa prática reduz a necessidade de exploração de recursos naturais, uma vez que os resíduos podem substituir parte dos materiais convencionalmente utilizados.

A pesquisa tem como objetivo realizar estudo para avaliar a viabilidade da utilização de resíduos provenientes da indústria de mineração, especificamente do minério de ferro, como agregado miúdo na fabricação de argamassas. Serão avaliados o comportamento reológico e a resistência do compósito após o seu endurecimento.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivos Gerais**

Este trabalho objetiva conduzir um estudo para avaliar a viabilidade da utilização de resíduos de minério de ferro como agregado miúdo na fabricação de argamassas.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Coletar os resíduos de mineração e utilizá-lo como material granulométrico;
- Executar ensaios para avaliar a variação granulométrica;
- Produzir argamassas para verificar o potencial de utilização dos agregados alternativos;
- Realizar ensaios físicos e mecânicos das argamassas;
- Analisar a viabilidade da utilização da argamassa com resíduo.



### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

Para proporcionar um contexto sobre as argamassas e os rejeitos de mineração, foi desenvolvida uma síntese que descreva a evolução histórica, explore as principais características distintivas desses materiais e ofereça uma visão das diversas aplicações relacionadas ao tema.

#### **3.1. História da Argamassa**

Na antiguidade as argamassas eram simples misturas de terra e água, usadas principalmente para revestir e preencher troncos que formavam cabanas rudimentares. Com a evolução da construção, as argamassas à base de terra passaram a ser utilizadas também para o assentamento de pedras e blocos nas alvenarias, refletindo o progresso na técnica de construção (VEIGA, FARIA, 2018).

Os gregos foram pioneiros no uso da cal como argamassa de revestimento, o que marca um avanço significativo na arquitetura monumental da época. Inicialmente, a cal era combinada com areia, mas logo os gregos começaram a incorporar a pedra de Santorini, uma pozolana rica em sílica. Essa inovação resultou na criação de um ligante hidráulico, cuja principal característica é a capacidade de ganhar prensa mesmo debaixo d'água (MARGALHA, 2011).

O investimento em pesquisa e desenvolvimento na área de argamassas levou a grandes avanços tecnológicos na construção civil. Um exemplo notável é o revestimento monocamada com argamassa decorativa, que oferece a vantagem de eliminar etapas adicionais de revestimento. Isso não apenas reduz o tempo de execução, mas também diminui o volume de resíduos gerados durante a obra (SANTOS, 2014).

#### **3.2. Características da argamassa**

A argamassa é um composto formado pela combinação de um ligante, um agregado e água, caracterizado por sua capacidade aglutinante. Além desses componentes básicos, é possível adicionar elementos como adjuvantes e pozolanas, a fim de conferir propriedades específicas à mistura (Margalha, 2011).

Os diversos tipos de revestimentos de argamassa utilizados na construção civil desempenham funções essenciais na proteção dos elementos dos edifícios, atuando como vedação contra a ação direta de agentes agressivos e auxiliando em características como o isolamento termoacústico e a estanqueidade à água e gases (Marciel, Barros e Sabbatini, 1998).

Outra função relevante é a regularização da superfície, preparando-a para a aplicação de outros revestimentos ou, em alguns casos, servindo como acabamento. Além das funções técnicas, o revestimento de argamassa também exerce um papel estético importante, agregando valor visual ao projeto arquitetônico e harmonizando a fachada da edificação (Marciel, Barros e Sabbatini, 1998).

#### **3.3. Resíduo de mineração**

Para analisar as características geotécnicas dos resíduos de mineração, é essencial compreender que esses resíduos resultam de uma série de processos físicos e químicos. Um aspecto relevante destacado pelo autor é a ausência de uma correlação direta entre a



distribuição granulométrica das partículas sólidas e a composição mineralógica dos resíduos, diferentemente do que ocorre em solos naturais (Bedin, 2010).

No estudo de caso conduzido por Araujo e Lucena (2018), diretores de duas das empresas entrevistadas revelaram que enfrentam custos associados ao gerenciamento de resíduos. Em uma dessas empresas, o principal custo está relacionado ao "bota-fora" gerado na operação da mina. Por outro lado, outra empresa afirmou não incorrer em despesas desse tipo, justificando que todo o resíduo gerado é reintegrado ao processo produtivo como matéria-prima.

A problemática da gestão inadequada de resíduos não é um fenômeno recente. Pires *et al.*, (2003) indicam que a poluição industrial remonta às primeiras manipulações de materiais pelo homem primitivo. Com o desenvolvimento da metalurgia, envolvendo metais como ferro, cobre e chumbo, os problemas ambientais, especialmente relacionados à geração de resíduos, começaram a surgir. Mesmo nas fases iniciais de desenvolvimento industrial, a prática comum era descartar os resíduos no meio ambiente, resultando na contaminação de rios, lagos, solos e da atmosfera.

### **3.4. Mineração no Brasil**

A crescente demanda e valorização econômica dos recursos minerais foram fatores determinantes para o estabelecimento de uma regulação jurídica específica para esses bens. Conforme destacado por Leoncy (1997), esses recursos passaram a ser objeto de uma série de princípios e normas jurídicas voltadas para sua descoberta, aproveitamento e exploração econômica.

O minério de ferro, em particular, se destaca na economia brasileira. De acordo com dados do IBGE (2023), em 2021, o minério de ferro foi o produto de maior receita, gerando R\$ 242,1 bilhões, o que representou 5,6% da indústria brasileira. Na região Sudeste, esse mineral correspondeu a 5,1% da indústria de minérios de ferro. O crescimento da receita líquida de vendas (RLV) foi impulsionado principalmente pelo aumento dos preços internacionais e pela valorização do dólar, favorecendo as exportações.

Historicamente, Minas Gerais tem sido o principal estado envolvido na atividade mineradora no Brasil, concentrando a maior parte das operações até a década de 1960. Embora a participação de Minas Gerais tenha diminuído, de cerca de 60% para aproximadamente 40%, com a emergência de novos polos, como Rondônia e Pará, o estado ainda mantém um papel central. Além disso, outras regiões do país também registraram atividades mineradoras importantes, como a extração de carvão no Sul e a exploração de scheelita no Nordeste (Da Silva, 1995).

### **3.5. Utilização de Resíduos Construção Civil**

As iniciativas bem-sucedidas de desenvolvimento de produtos para a construção civil que integram resíduos têm sido amplamente impulsionadas pelas regulamentações ambientais. Rocha e Jhon (2003) ressaltam que há uma política clara voltada para reduzir a disposição direta de resíduos em aterros industriais ou sanitários, exigindo um processo prévio de valorização ou



tratamento. Esse cenário tem incentivado a inovação e a adoção de soluções sustentáveis no setor da construção.

O reuso e a reciclagem de resíduos apresentam um potencial significativo de expansão, especialmente em países em desenvolvimento, segundo Lucas e Benatti (2008). A reciclagem de resíduos na construção civil está se destacando como uma prática fundamental para promover a sustentabilidade. Além de mitigar o impacto ambiental do setor, essa prática contribui para a redução de custos operacionais, beneficiando tanto o meio ambiente quanto as empresas.

Para que as estratégias de reutilização de resíduos ou subprodutos industriais sejam eficazes, Rocha e Jhon (2003) enfatizam a necessidade de um entendimento profundo dos processos nas unidades geradoras. Isso inclui a caracterização completa dos resíduos e a identificação de seu potencial de aproveitamento. Também é essencial reconhecer possíveis limitações que possam comprometer a utilização segura e eficiente desses materiais como matérias-primas secundárias.

### **3.6. Traços para argamassa**

A formulação e a proporção dos ingredientes nas argamassas utilizadas em projetos de construção no Brasil são determinadas com base em traços especificados em normas técnicas, como as estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Deste modo, ao utilizar argamassas na construção civil, é essencial consultar e seguir essas normas para garantir que a composição e dosagem atendam às melhores práticas e aos requisitos regulatórios.

A NBR 13281/2019 é a norma técnica brasileira que define os padrões para a formulação de argamassas utilizadas em revestimento e assentamento de alvenaria. Essa norma estabelece os requisitos e especificações que garantem a qualidade e o desempenho das argamassas em projetos de construção civil.

No estudo apresentado por Fontes (2013), foi analisada uma argamassa com dosagem de 1:1:6, na qual 10% da cal foi substituída por resíduos. Essa formulação resultou em propriedades distintas em comparação com outras argamassas, melhorando a trabalhabilidade e aumentando consideravelmente a resistência mecânica.

No estudo realizado por Moraes, de Carvalho e Dias (2023), optou-se pela substituição do agregado miúdo em percentuais de 25%, 50% e 75% para a confecção da argamassa, com uma dosagem de 1:1,26:6,74:1,78. As argamassas contendo 25% e 50% de resíduo demonstraram boa trabalhabilidade, enquanto a mistura com 75% de resíduo apresentou uma consistência superior em relação às demais.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

A metodologia a ser empregada será com abordagem qualitativa e inclui uma revisão bibliográfica, pesquisa de laboratório e execução de ensaios analíticos conforme as normas estabelecidas. Foi realizada análise granulométrica tanto para a areia quanto para o rejeito de minério de ferro. Será feita a produção de corpos de prova e a avaliação da resistência à compressão.



#### 4.1. Materiais

Os materiais utilizados na composição da argamassa serão: cimento Portland CP II, areia, cal, água proveniente da rede de abastecimento local e rejeito de minério de ferro.

##### 4.1.1. Rejeito minério de ferro

O rejeito de minério de ferro utilizado na produção da argamassa foi fornecido pela empresa Minas Mineração, localizada em Sabinópolis, Minas Gerais. Segundo informações disponíveis no site da empresa, a extração e concentração do minério de ferro são realizadas por meio de processos secos. O minério possui um teor elevado de aproximadamente 63,0% de Fe, o que reforça a eficácia das operações.

Os resíduos foram coletados e armazenados no laboratório de Tecnologia dos Materiais da UNILESTE. No laboratório, o material foi peneirado com uma malha de 4,75 mm, resultando na separação do agregado reciclado em duas categorias: gráudo e miúdo. Para esta pesquisa, apenas o agregado miúdo foi utilizado na composição da argamassa.

##### 4.1.2. Cal

Conforme a definição estabelecida pela NBR 7175/2023, a cal hidratada é um pó resultante da hidratação da cal virgem, composto principalmente por uma combinação de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou possivelmente uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio.

##### 4.1.3. Areia

A NBR 7211/2009 estabelece as características dos agregados miúdos e gráudos. Segundo essa norma, a areia é definida como sendo composta por grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 4,8 mm e são retidos na peneira com abertura de malha de 0,075 mm. Conforme previsto na NBR 7215/2019, a distribuição granulométrica da areia normal deve atender aos parâmetros estabelecidos na Tabela 1.

Tabela 1 - Granulometria padrão da areia

Denominação	Abertura nominal da malha de peneiras (mm)	Porcentagem de massa de material retida nas peneiras (%)
Grossa	2,4 e 1,2	25 ± 5
Média grossa	1,2 e 0,6	50 ± 5
Média fina	0,6 e 0,3	75 ± 5
Fina	0,3 e 0,15	97 ± 3

Fonte: NBR 7215/2019

##### 4.1.4. Cimento Portland

O cimento Portland, um componente fundamental do concreto, destaca-se como o material mais vital na área da construção e engenharia atualmente. Apesar de ser um dos





materiais estruturais mais recentes, é possível reconhecê-lo como uma das descobertas mais fascinantes na história do progresso humano e no aprimoramento da qualidade de vida.

O cimento utilizado durante a produção da argamassa foi o CP-II, que possui outros materiais em sua composição, que como resultado reduz a liberação de calor no contato com a água.

#### 4.1.5. Equipamentos

No processo de produção da argamassa e realização dos ensaios, os principais itens utilizados foram balança; Forno de Secagem; Peneira granulométrica; Mesa vibratória; Misturador mecânico; Colher de pedreiro; Formas para molde de argamassa; Prensa hidráulica;

## 4.2. Análise Granulométrica

O ensaio de granulometria é um processo utilizado para determinar a proporção em peso de cada faixa específica de tamanho de partícula na massa total analisada. Os resultados obtidos permitem a construção da curva de distribuição granulométrica, essencial para a classificação dos solos e para a estimativa de parâmetros importantes, como filtros, bases estabilizadas, permeabilidade, capilaridade, entre outros.

Foi realizado o ensaio de granulometria por peneiramento dos agregados miúdos utilizados (areia e agregado reciclado), seguindo as orientações da NBR NM 248 (2003) como descrito abaixo nas tabelas 1 e 2.

Tabela 2 - Módulo de finura da areia

Abertura das peneiras (mm)	Massa retida na peneira (g)	% retida na peneira	% retida acumulada	% passante
4,75	4,3	0,43	0,43	99,57
2,36	25,5	2,56	2,99	97,01
1,18	121	12,15	15,14	84,86
0,6	239	23,98	39,12	60,88
0,3	444	44,54	83,96	16,04
0,15	134	13,44	97,10	2,90
Fundo	28,9	2,90	100	0
Módulo de finura				3,39

Fonte: Autores (2024)



Tabela 3 - Módulo de finura do agregado miúdo reciclado

Abertura das peneiras (mm)	Massa retida na peneira (g)	% retida na peneira	% retida acumulada	% passante
4,75	0	0	0	100
2,36	2,7	0,27	0,27	99,73
1,18	53,6	5,38	5,65	94,35
0,6	115	11,54	17,19	82,81
0,3	326	32,73	49,92	50,08
0,15	368	36,93	86,85	13,15
Fundo	131	13,15	100	0
Módulo de finura				2,60

Fonte: Autores (2024)

#### 4.3. Traço e produção da argamassa padrão e com agregado reciclado

Inicialmente, foi produzida a argamassa padrão para comparar suas propriedades com as das argamassas contendo agregado reciclado. A argamassa padrão foi formulada com base no traço de referência 1:1:6, conforme as orientações da NBR 13281. Para isso, foram utilizados 0,500 kg de cimento, 3,000 kg de areia, 0,500 kg de cal e 0,900 kg de água.

Após a dosagem dos materiais, iniciou-se a confecção da argamassa padrão. O misturador mecânico foi limpo, e com o equipamento em funcionamento, os materiais foram adicionados conforme as diretrizes da NBR 7215/2019.

Para a produção da argamassa com agregado miúdo reciclado, o agregado miúdo (areia) foi substituído por 5%, 10% e 15% de resíduo, em relação à quantidade total de areia no traço de referência. Foram realizadas quatro dosagens diferentes para obter dados mais abrangentes e confiáveis na comparação com o traço padrão. A escolha dos percentuais de resíduo baseou-se no estudo de Fontes (2013), que analisou argamassas com 10%, 20%, 50% e 100% de resíduo. A produção das argamassas seguiu os traços descritos no quadro 1, utilizando o misturador mecânico e os procedimentos estabelecidos pela norma.

Quadro 1 - Dosagem da argamassa

Argamassa	Traço	Materiais
T1	1: 1: 6	Cimento: Cal: Areia
T2	1: 1: 0,3: 5,7	Cimento: Cal hidratada: Rejeito minério de ferro: Areia
T3	1: 1: 0,6: 5,4	Cimento: Cal hidratada: Rejeito minério de ferro: Areia
T4	1: 1: 0,9: 5,1	Cimento: Cal hidratada: Rejeito minério de ferro: Areia

Fonte: Autores (2024)

Quadro 2 - Traço da argamassa em kg

Traço	Cimento	Cal	Areia	Rejeito	Água
T1	0,500	0,500	3,000	0,000	0,900
T2	0,500	0,500	2,850	0,150	0,900
T3	0,500	0,500	2,700	0,300	0,900
T4	0,500	0,500	2,550	0,450	0,900

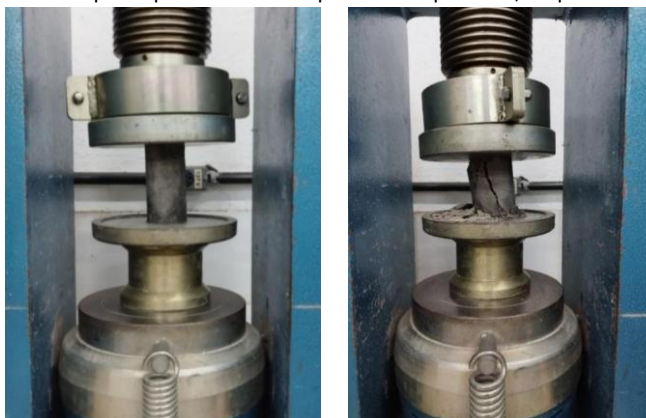
Fonte: Autores (2023)

#### **4.4. Resistência a compressão**

Os corpos de prova foram preparados e moldados seguindo as orientações da norma NBR 7215/2019. Foram utilizados moldes cilíndricos, com diâmetro de 50 mm e comprimento de 100 mm. Foram moldados 9 corpos de prova para cada dosagem de concreto feita, para serem rompidos 3 nas idades de 7, 14 e 28 dias respectivamente

O teste de resistência à compressão da argamassa é fundamental para determinar o limite de resistência à compressão e o comportamento pós-falha do material. Para esse experimento, os corpos de prova foram rompidos após períodos de 7, 14 e 28 dias de cura, contados a partir da data de moldagem. O ensaio foi realizado em laboratório, utilizando uma prensa hidráulica que aplicou gradualmente uma força crescente de compressão nos corpos de prova até o ponto de ruptura. A execução seguiu as orientações estabelecidas pela NBR 7215/2019, garantindo a conformidade com as normas técnicas vigentes.

Figura 1. Corpo de prova antes e depois do rompimento, respectivamente



Fonte: Autores (2023)

### **5. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Após a conclusão de todos os testes, torna-se fundamental organizar os resultados obtidos e realizar uma análise detalhada, a fim de compreender como os processos adotados durante a pesquisa influenciaram os resultados. Além disso, a comparação entre os resultados é essencial para avaliar a viabilidade do uso de resíduos no concreto.

Durante os testes, observou-se que a argamassa no estado fresco se comportou conforme o esperado, mesmo com a incorporação do resíduo de minério. Houve uma redução na fluidez à medida que o percentual de resíduo aumentava. No entanto, todas as amostras mantiveram boa trabalhabilidade, o que indica que o resíduo não comprometeu significativamente a aplicabilidade da argamassa.

Essa constatação foi reforçada durante o rompimento dos corpos de prova, quando se notou uma alteração na coloração do material, proporcional ao aumento do percentual de resíduo. Tal mudança pode ser atribuída à tonalidade escura do resíduo, que impacta na aparência final da mistura.

Figura 2. Corpos de prova rompidos



Fonte: Autores (2023)

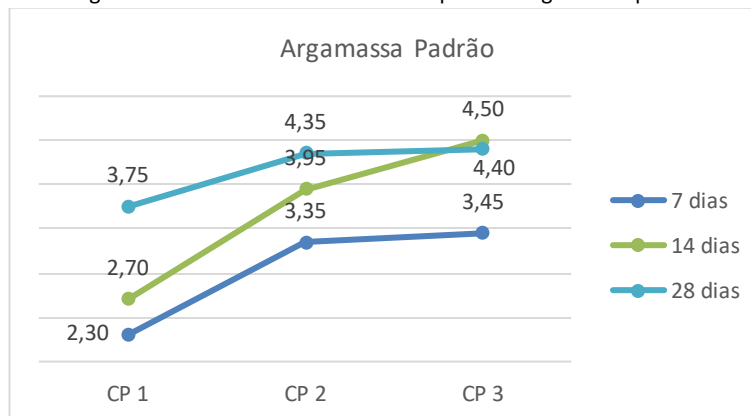
### 5.1. Teste argamassa padrão

No primeiro traço de argamassa produzido não foi adicionado rejeito de mineração em sua composição. Ele foi utilizado como referência para análise do comportamento dos demais concretos com adição de resíduos em diferentes percentuais.

A resistência à compressão da argamassa aumentou conforme o tempo de cura, como é esperado em materiais cimentícios. Os corpos de prova rompidos após 7 dias de cura apresentaram uma resistência média de 3,033 MPa. Após 14 dias, essa média subiu para 3,883 MPa, e aos 28 dias, atingiu 4,167 MPa.

Entre os 7 e 14 dias de cura, observou-se um aumento médio de aproximadamente 0,85 MPa, um aumento significativo em um curto intervalo de tempo. Já entre os 14 e 28 dias, o aumento foi de cerca de 0,284 MPa. Embora o crescimento entre os 14 e 28 dias seja menor o que o observado no período anterior, ele continua a demonstrar um ganho constante na resistência da argamassa. Na figura 3 pode ser observado os resultados obtidos com o concreto padrão.

Figura 3. Resultado do ensaio de compressão argamassa padrão



Fonte: Autores (2023)

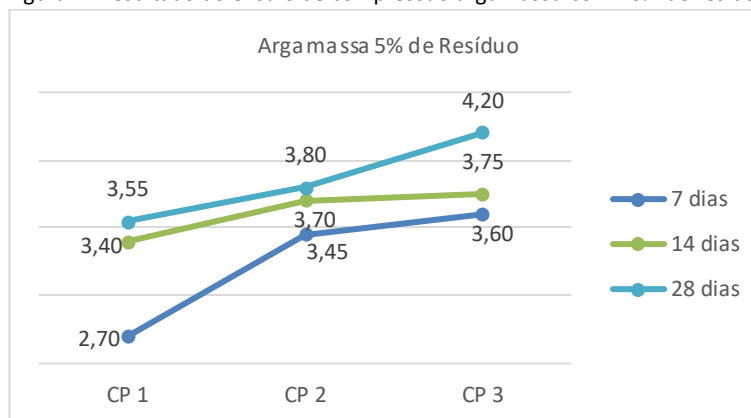
### 5.2. Teste com 5% de Resíduo

A análise temporal da resistência à compressão da argamassa com 5% de resíduo mostra um aumento constante conforme o tempo de cura avança, seguindo um padrão típico observado em materiais de construção, como a argamassa. Isso indica um fortalecimento contínuo da argamassa ao longo do tempo.

Após 7 dias de cura, a resistência média à compressão foi de aproximadamente 3,25 MPa. Aos 14 dias, a resistência média aumentou para cerca de 3,6167 MPa, e após 28 dias, a média da resistência atingiu aproximadamente 3,8667 MPa.

Durante o período de 7 a 14 dias, houve um aumento médio de aproximadamente 0,3667 MPa na resistência, o que representa uma melhora significativa em relação ao estágio dos 7 dias. Entre 14 e 28 dias, o aumento médio foi de cerca de 0,25 MPa. Embora esse incremento seja menor do que o observado no período de 7 a 14 dias, ainda demonstra um crescimento progressivo na resistência à compressão. Na figura 4 podemos visualizar as informações obtidas durante os testes.

Figura 4. Resultado do ensaio de compressão argamassa com 10% de resíduo



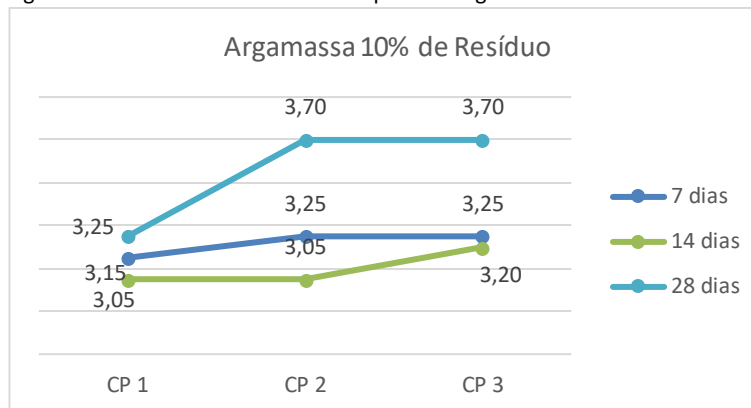
Fonte: Autores (2023)

### 5.3. Teste com 10% de Resíduo

Após 7 dias de cura, a resistência média à compressão do material foi de aproximadamente 3,2 MPa. Aos 14 dias, observou-se uma redução na resistência média, que caiu para cerca de 3,1 MPa. No entanto, aos 28 dias de cura, a resistência média voltou a aumentar, atingindo 3,55 MPa.

As amostras rompidas aos 7 dias apresentaram resistência relativamente uniforme, com valores variando entre 3,15 MPa e 3,25 MPa, o que indica uma consistência inicial nas propriedades do material. A ligeira queda na resistência após 14 dias pode estar associada às condições específicas de cura do material. Aos 28 dias, a resistência recuperou-se e seguiu um padrão esperado de aumento, característico do processo de cura. A figura 5 demonstra os valores obtidos no processo de rompimento dos corpos de prova.

Figura 5. Resultado do ensaio de compressão argamassa com 10% de resíduo



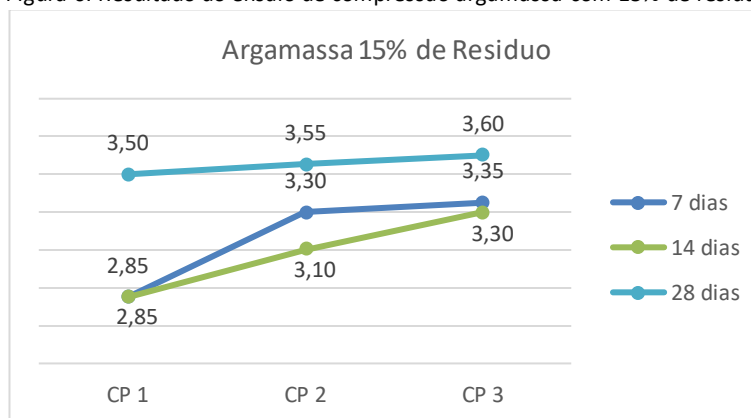
Fonte: Autores (2023)

#### 5.4. Teste com 15% de Resíduo

Após 7 dias de cura, a resistência média dos corpos de prova com 15% de resistência foi de aproximadamente 3,17 MPa, indicando um nível inicial de resistência após uma semana. Aos 14 dias, a resistência média foi ligeiramente menor, em torno de 3,08 MPa. No entanto, aos 28 dias de cura, observou-se um aumento na resistência, atingindo uma média de 3,55 MPa.

Em síntese, a resistência média do material aumentou ao longo do tempo, e a dispersão dos valores em relação à média diminuiu, o que sugere maior uniformidade e consistência entre as amostras. Os valores da resistência da argamassa com 15% de resíduo podem ser observados na figura 6.

Figura 6. Resultado do ensaio de compressão argamassa com 15% de resíduo



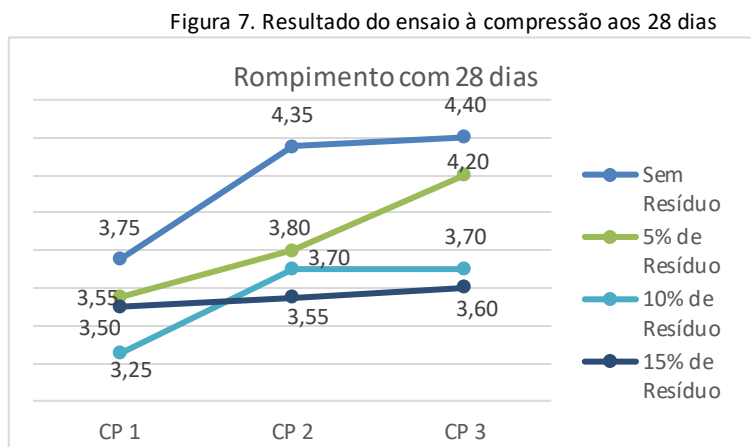
Fonte: Autores (2023)

#### 5.5. Análise geral

A análise individual dos corpos de prova com diferentes percentuais de resíduo revelou informações significativas sobre o comportamento dessas amostras em comparação com o material sem resíduo. A resistência dos materiais é um fator crítico em diversas aplicações, e entender como os resíduos afetam essa propriedade é essencial para a tomada de decisões.

Primeiramente, observou-se que as amostras sem resíduo apresentaram resistências à compressão de 3,75 MPa, 4,35 MPa e 4,4 MPa. Esses valores servem como uma importante referência para a análise comparativa, uma vez que representam o material de base, sem a influência dos resíduos.

Em seguida, ao analisar as amostras com 5% de resíduo, foi observado que a resistências foram de 3,55 MPa, 3,8 MPa e 4,2 MPa, evidenciando uma redução em relação às amostras sem resíduo. Quando o percentual de resíduo aumentou para 10%, as resistências das amostras caíram ainda mais, com valores de 3,25 MPa, 3,7 MPa e 3,7 MPa, indicando uma tendência consistente de redução na resistência à medida que a quantidade de resíduo aumenta. Por fim, as amostras com 15% de resíduo também apresentaram redução nas resistências, registrando 3,5 MPa, 3,55 MPa e 3,6 MPa. Esses resultados reforçam a tendência de diminuição da resistência com o aumento da quantidade de resíduo no material, como demonstrado na figura 7.



Fonte: Autores (2023)

Embora a resistência tenha diminuído à medida que o percentual de resíduo aumentou, é importante considerar outros fatores na escolha do material, como custo-benefício, durabilidade e facilidade de produção. A decisão de utilizar material com resíduo deve levar em consideração não apenas a resistência, mas também os requisitos específicos do projeto e a sua aplicação.

A análise desses resultados destaca a importância de estabelecer padrões de qualidade e critérios de aceitação para materiais em diferentes aplicações, garantindo que atendam aos requisitos mínimos de desempenho e segurança. Isso é fundamental para assegurar a qualidade e a confiabilidade de produtos e estruturas que dependem desses materiais.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das informações apresentadas, evidencia-se a necessidade de desenvolver métodos mais eficazes e ecológicos para o descarte de rejeitos industriais. O aprofundamento



deste tema pode oferecer uma visão mais ampla sobre o papel da construção civil na recepção e destinação final desses resíduos. A reutilização de materiais reciclados pode, inclusive, reduzir os impactos ambientais, valor na destinação do resíduo de minério de ferro e os custos de produção da argamassa.

A análise comparativa das amostras deste trabalho revelou que a adição de resíduos ao material está diretamente associada à diminuição da resistência à compressão. Esse é um dado crucial para a tomada de decisões quanto à utilização desse material em diferentes aplicações, permitindo a otimização de processos e a garantia da qualidade em projetos que envolvem materiais compostos. É importante ratificar que não é somente a resistência que importa para a argamassa, pois dependendo da aplicação, este requisito não é o mais importante.

Ao comparar os dados, levando em consideração o valor mínimo de resistência, observa-se que, mesmo nas amostras com 15% de resíduo, todas as resistências estão acima do limite mínimo estabelecido por norma. Isso permite concluir que, em termos de resistência à compressão, todas as amostras atendem aos requisitos mínimos exigidos, demonstrando que o material é adequado para determinadas aplicações.

Para futuras pesquisas, torna-se essencial o aprimoramento das investigações teóricas e das análises das propriedades físicas do material, a fim de obter uma compreensão mais detalhada das características dessa argamassa. Aspectos como durabilidade, resistência à tração na flexão, permeabilidade, entre outros atributos relevantes devem ser explorados para uma avaliação completa e precisa do desempenho desse material em diversas condições e usos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Andressa de; LUCENA, Luciana. Avaliação da Gestão de Resíduos Sólidos Gerados Pelo Setor de Mineração e Beneficiamento de Calcário no RN. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, v. 38, p. 1-14, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281** - Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos. Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 7211** - Agregados para concreto – especificação. [S.l.], 2009.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas - Requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 13276**: Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos. – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

BEDIN, Jucélia. Estudo do comportamento geomecânico de resíduos de mineração. 2010.

DA SILVA, Olintho Pereira. A mineração em Minas Gerais: passado, presente e futuro. **Geonomos**, 1995.

FONTES, Wanna Carvalho. Utilização do rejeito de barragem de minério de ferro como agregado reciclado para argamassas de revestimento e assentamento. 2013.





HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. Concreto de cimento Portland. **Isaia, Geraldo Cechella. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** São Paulo: IBRACON, v. 2, p. 905-944, 2007.

LEONCY, Léo Ferreira. O regime jurídico da mineração no Brasil. **Perdões: UFPA**, 1997.

LUCAS, Denis; BENATTI, Cláudia Telles. Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. **Revista em agronegócio e meio ambiente**, v. 1, n. 3, p. 405-418, 2008.

MACIEL, Luciana Leone; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, Fernando Henrique. Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos. **São Paulo: EPUSP**, 1998.

MARGALHA, Maria Goreti. Argamassas. 2011.

MORAIS, Ricardo Martins; DE CARVALHO, Lucas Pinto; DIAS, Fabrício Moura. Estudo da aplicação de rejeito de minério de ferro como agregado miúdo na produção de argamassa para assentamento e revestimento. **Scientific Journal ANAP**, v. 1, n. 4, 2023.

PIRES, José Maurício Machado et al. Potencial poluidor de resíduo sólido da Samarco Mineração: estudo de caso da barragem de Germano. **Revista Árvore**, v. 27, p. 393-397, 2003.

NERY, Carmen. Pesquisa Industrial Anual- PIA-Produto 2021: minério de ferro permanece o principal produto e indústria alimentícia lidera entre as atividades industriais. Agência IBGE Notícias, 29 de junho de 2023. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37247-pia-produto-2021-minerio-de-ferro-permanece-o-principal-produto-e-industria-alimenticia-lidera-entre-as-atividades-industriais> Acesso em: 14 de julho de 2023.

SAKAMOTO, Angela Ruriko; RODRIGUES, Rodrigo Meireles Mattos; ALVES, Kaio César Souza. O novo regulamento do código de mineração brasileiro: Impactos na captação de investimentos para a indústria do ferro. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 14473-14486, 2020.

SANTOS, Weberton Sá dos. Conheça os procedimentos de execução de revestimento monocamada com argamassa decorativa. e-disciplina USP, Janeiro de 2014. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5075733/mod\\_resource/content/1/Procedimentos%20de%20execu%C3%A7%C3%A3o%20de%20revestimento%20monocamada%20com%20argamassa%20decorativa%20%28T%C3%A9cnica%202014%29.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5075733/mod_resource/content/1/Procedimentos%20de%20execu%C3%A7%C3%A3o%20de%20revestimento%20monocamada%20com%20argamassa%20decorativa%20%28T%C3%A9cnica%202014%29.pdf) > Acesso em: 25 de setembro de 2023.

ROCHA, Janaíde Cavalcante; JOHN, Vanderley M. Utilização de resíduos na construção habitacional. **Coletânea habitare**, v. 4, 2003.

SILVEIRA, Marina Duque. Utilização de resíduos de mineração na construção civil. 2015.

VEIGA, M. Rosário; FARIA, Paulina. O papel das argamassas na durabilidade das alvenarias antigas. In: **CirEA2018 - Conferência Internacional sobre Reabilitação de Estruturas Antigas de Alvenaria**.