



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE
MATERIAIS**

**INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO POR REJEITO DE
MINÉRIO DE FERRO NAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE
ARGAMASSAS**

Andoberty Zurita Jimenez

Foz de Iguaçu
2023



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE
MATERIAIS**

**INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO POR REJEITO DE
MINÉRIO DE FERRO NAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE
ARGAMASSAS**

ANDOBERTY ZURITA JIMENEZ

Projeto do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

**ORIENTADOR: PROFESSOR LOIC
BARBARA RODIER**

Foz de Iguaçu
2023

INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO POR REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO NAS PROPRIEDADES FÍSICOS-MECÂNICAS DE ARGAMASSAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.



Orientador: Prof. Dr. Loic Barbara Rodier
UNILA



Prof. Julián Eduardo Mejia Ballesteros
(Sigla da Instituição)



Prof. Rafael Henrique Filomeno
USP

Foz do Iguaçu, 23 de outubro de 2023.

TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor(a): Andoberty Zurita Jimenez

Curso: Bacharel em Engenharia de Materiais

	Tipo de Documento
(...x...) graduação	(...) artigo
(....) especialização	(...x...) trabalho de conclusão de curso
(....) mestrado	(....) monografia
(....) doutorado	(....) dissertação
	(....) tese
	(.....) CD/DVD – Obras audiovisuais
	(.....) _____

Título do trabalho acadêmico: Estudo da substituição parcial do cimento por rejeito de minério de ferro nas propriedades físicas mecânicas da argamassa

Nome do orientador(a): Loic Barbara Rodier

Data da Defesa: 23/10/2023

Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor(a):

a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.

Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

Na qualidade de titular dos direitos do conteúdo supracitado, o autor autoriza a Biblioteca Latino-Americana – BIUNILA a disponibilizar a obra, gratuitamente e de acordo com a licença pública *Creative Commons* **Licença 3.0 Unported**.

Foz do Iguaçu, 23 de outubro de 2023.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho de conclusão de curso.

Primeiramente, agradeço ao meu orientador, Prof. Loic Barbara Rodier, pela orientação precisa e valiosa, bem como pelo seu incentivo e confiança em meu trabalho. Sua paciência e disponibilidade em me ajudar foram fundamentais para o sucesso deste projeto.

Agradeço também à minha família, em especial aos meus pais e tia, Alejandro Zurita Ticliahuanca, Maria Josefa Jimenez Puelles e tia Enma Dorinda Zurita Ticliahuanca, pelo amor, apoio e incentivo ao longo de toda a minha trajetória acadêmica. Sem eles, certamente não teria chegado tão longe.

Aos meus amigos e colegas de curso, que me ajudaram com ideias, sugestões e encorajamento, muito obrigado. As horas de discussão e estudo conjunto foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também à Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana e também à laboratório do setor sul por ter me proporcionado a oportunidade de realizar um estágio que contribuiu significativamente para o tema deste TCC.

Por fim, agradeço a todos aqueles que, de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Muito obrigado a todos!

RESUMO

O trabalho tem como objetivo estudar o uso do rejeito de minério de ferro (RMF) como substituição parcial do cimento em argamassas. Para isso, dois cimentos foram avaliados, o CPV ARI e o CII-F-32. O delineamento experimental foi realizado com os traços (1:3) cimento aglutinante e teores de rejeito de minério de ferro de 0, 10, 20 e 30% em massa de substituição. Os ensaios realizados indicaram que a formulação com 10% em massa de substituição do cimento CPV-ARI por rejeito de minério de ferro apresenta o melhor desempenho nos ensaios de capilaridade, índice vazios e absorção de água por imersão. Além disso, as formulações que apresentam um índice de atividade pozolânica superior a 75%, como recomendando na norma ASTM C618, são 10 e 20% de substituição parcial do cimento CPV ARI, bem como 10% de substituição parcial de cimento CII-F-32. Com base nos resultados, conclui-se que a substituição parcial do cimento por rejeito de minério de ferro é uma alternativa viável e sustentável para a produção de argamassas

Palavras-chaves: Pozolâna, argamassas, rejeito de minério de ferro.

ABSTRACT

The aim of the work is to study the use of iron ore waste (RMF) as a partial replacement for cement in mortars. For this, two cements were evaluated, CPV ARI and CII-F-32. The experimental design was carried out with traces (1:3) of binder cement and iron ore waste contents of 0, 10, 20 and 30% by weight of replacement. The tests carried out indicated that the formulation with 10% by weight replacing CPV-ARI cement with iron ore waste presents the best performance in capillarity, void index and water absorption tests by immersion. Furthermore, formulations that have a pozzolanic activity index greater than 75%, as recommended in the ASTM C618 standard, are 10 and 20% partial replacement of CPV ARI cement, as well as 10% partial replacement of CII-F- cement. 32. Based on the results, it is concluded that the partial replacement of cement with iron ore waste is a viable and sustainable alternative for the production of mortars.

Keywords: Pozzolâna, mortars, iron ore waste.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UNILA	Universidade Federal da Integração Latino-Americana
CSH	Silicato de cálcio hidratado
Fe_2O_3	Hematita
SiO_2	Quartzo
Al_2O_3	Caulinita
C_3S	Silicato de cálcio
CaCO_3	Calcita
DRX	Difração de raios X
FRX	Florescência de raio X
RMF	Rejeito de minério de ferro

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da produção de minério de PA x MG (2010-2021)	6
Figura 2 - Esquema do processamento para obtenção do rejeito de minério de ferro	7
Figura 3 - Moinho de alta eficiência.....	13
Figura 4 - Argamassadeira e corpos de prova cilíndricos.....	15
Figura 5 - Ensaio de compressão.....	17
Figura 6 - Ensaio de capilaridade	18
Figura 7 - Difração de raios X dos materiais.....	21
Figura 8 - Ensaio de compressão cimento CPV-ARI nas idades de 7, 28, 90 dias	23
Figura 9 - Ensaio de compressão cimento CII-F-32 nas idades de 7, 28, 90 dias	24
Figura 10 - Perda de massa e resistência após aquecimento de 700 °C	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Unidades Federativas com produção de minério de ferro, Brasil (2020-2021)	5
Tabela 2 - Características físicas, mecânicas e químicas do cimento CII -F-32.....	10
Tabela 3 - Características físicas, mecânicas e químicas do cimento CPV-ARI.....	11
Tabela 4 - Elaboração de argamassas	14
Tabela 5 - Diâmetro médio dos materiais	20
Tabela 6 - Fluorescência de raios X presentes no rejeito de minério de ferro	21
Tabela 7 - Dados obtidos das argamassas da substituição parcial do cimento Portland CPV	22
Tabela 8 - Pozolânidade nas idades 7 e 28 dias	25
Tabela 9 - Comparação absorção, índice vazios e compreensão	25

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 PROCESSOS DE MINERAÇÃO	4
3.1.1 Minério de ferro	4
3.1.2 Rejeito de minério de ferro	6
3.2 REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO COMO MATERIAIS POZOLÂNICO	8
4. MATERIAIS.....	10
4.1 CIMENTO PORTLAND CPII-F-32	10
4.2 CIMENTOS PORTLAND DE ALTA RESISTÊNCIA INICIAL (CPV)	11
4.3 REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO E AREIA.....	12
5. MÉTODOS	13
5.1 PROCEDIMENTO DE MOAGEM	13
5.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MINERALÓGICA DOS MATERIAIS...	13
5.3 ELABORAÇÃO DAS ARGAMASSAS.....	14
5.4 ENSAIOS ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO E ÍNDICE VAZIOS.....	15
5.5 ÍNDICES DE ATIVIDADE POZOLÂNICA (IAP)	16
5.6 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE	17
5.7 PERDA AO FOGO DAS ARGAMASSAS	18
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
6.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MINERALÓGICA DOS MATERIAIS...	20

6.1.1 Análise granulométrica.....	20
6.1.2 Difração de raios X.....	20
6.1.3 Florescência de raios X.....	21
6.2 ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO É ÍNDICE VAZIOS.....	22
6.3 ÍNDICES DE ATIVIDADE POZOLÂNICA (IAP)	22
6.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE	25
6.5 PERDA AO FOGO DAS ARGAMASSAS	25
7. CONCLUSÃO	27
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

1. INTRODUÇÃO

Em 2019, o produto Interno Bruto (PIB) do Brasil foi proveniente da indústria de remoção mineral. No mesmo ano, o país exportou uma quantidade substancial de 358,7 milhões de toneladas de minerais, com a mineração de ferro representando 67% desse volume, conforme informações de (FONTES; PRETO, 2019). A mineração contribua para a economia, a demanda crescente por produtos à base de minérios de ferro resulta na produção de quantidades significativas de resíduos, que se originam durante o processo de beneficiamento do minério. Estima-se que, na fase de beneficiamento, a remoção de cada tonelada de minério resulte em 400 kg de rejeitos de minério de ferro (CARDOSO MENDES, [2019.]; PASCOAL ET AL., 2018). Esses resíduos são depositados em barragens, o que implica em despesas significativas para sua construção e conservação, requer grandes extensões de áreas naturais e traz preocupações sobre a segurança nas áreas de mineração (CAETANO ROCHA ANDRADE, 2017; PAULA JUNIOR; OLIVEIRA, 2022; ZALUTH BARBALHO ET AL., 2022).

Os resíduos de mineração finos (RMF) possuem partículas menores do que a areia natural encontrada nos rios e consistem principalmente de ferro. Devido a essas propriedades, o RMF é considerado uma matéria-prima adequada para a fabricação de produtos usados na construção civil (ARYANE, 2017; DE FERRO PARA ESTADO DA BAHIA; SALEIMEN NADER BELO HORIZONTE, 2021; DIAS; HORIZONTE, 2010). Pesquisas demonstram diversas utilidades para os resíduos de mineração fina (RMF), incluindo a utilização na construção de estradas, como camadas para pavimentação de rodovias, bem como como componente na produção de argamassas (ALMADA et al., [2015]; CAROLINA REZENDE PINTO NARCISO INFLUÊNCIA DO RESÍDUO DE MINÉRIO DE FERRO NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS CIMENTO-MADEIRA LAVRAS-MG (2018).

Os RMF podem ser utilizados como substituição parcial do cimento (atuando de forma física e/ou química nos compostos). De acordo com a literatura, a redução no tamanho das partículas pode aumentar a reatividade de um material dessa

forma, o tratamento mecânico poderia contribuir para uma maior reatividade dos rejeitos, por consequência, aumentar o teor de substituição do cimento na matriz cimentícia (PAULA JUNIOR; OLIVEIRA, 2022; RUFINO; GALDINO, 2015).

Estudos recentes (RUFINO; GALDINO, 2015) mostraram que a utilização do rejeito de minério de ferro como substituição parcial do cimento na produção de argamassas pode trazer benefícios tanto ambientais quanto técnicos. Além de reduzir o volume de resíduos gerados pela indústria, essa prática pode melhorar as propriedades físico-mecânicas de argamassas, tais como resistência à compressão, e absorção de água (DIAS; HORIZONTE, 2010).

As propriedades mecânicas, como a resistência a compressão, quando se utiliza rejeito de RMF como substitutos em valores que variam de 10% a 30%, apresentam melhorias notáveis devido à formação de compostos de hidratação, tais como CSH (PAULA JUNIOR; OLIVEIRA, 2022). O reaproveitamento do RMF, além de reduzir o custo de armazenamento em barragens pode contribuir para elaboração de argamassas mais ecológicas, com redução no consumo de energia e nas emissões de dióxido de carbono (ARYANE, (2017).

Diante disso, o presente estudo tem como objetivo investigar o efeito da substituição parcial do cimento por rejeito de minério de ferro nas propriedades físico-mecânicas de argamassas. Para isso, os parâmetros como o tipo de cimento CPV-ARI e CPII-F-32 e a porcentagem de 10 %, 20% e 30% de substituição serão estudados.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Avaliar as propriedades físico-mecânicas de argamassas com substituição parcial do cimento por rejeito de minério de ferro.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar as propriedades físicas, químicas e mineralógicas do minério de ferro.
- Determinar a percentagem de substituição ideal do minério de ferro em relação ao cimento
- Avaliar a influência do tipo de cimento nas propriedades físico-mecânicas das argamassas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PROCESSOS DE MINERAÇÃO

A mineração é o processo de extração de minerais da terra. Existem dois tipos principais de resíduos da mineração: os estéreis e os rejeitos. Os estéreis são materiais escavados, gerados por atividades de degradação dos minerais. Os rejeitos são resíduos compostos por partículas finas derivadas da rocha explorada, e que não são aproveitados após o processo de beneficiamento (Cláudia et al., 2017b).

A produção de minerais de ferro envolve um processo composto por várias fases, incluindo a preparação da área, a limpeza ou lavra, o beneficiamento e a comercialização. No início da preparação da área, é prática comum armazenar o material sem valor econômico, conhecido como estéril, em pilhas de resíduos antes de iniciar a extração do minério de ferro (CLÁUDIA et al., 2017a).

Tanto os estéreis quanto os rejeitos são colocados na superfície de áreas de terra pré-determinadas, onde não há presença de minerais na subsuperfície. Tanto nas operações de mineração no céu aberto quanto no subterrâneo, as empresas mineradoras têm a responsabilidade de gerenciar a disposição de seus resíduos (CAETANO ROCHA ANDRADE, 2017; CLÁUDIA et al., 2017a).

3.1.1 Minério de ferro

O minério de ferro consiste em um conjunto de materiais ricos em ferro (Fe) encontrado nas rochas. O minério de ferro é um mineral que possui grande importância para a indústria, sendo a matéria-prima para a fabricação do aço. O aço é utilizado em diversos setores, como na construção civil, na indústria automobilística, na fabricação de eletrodomésticos, entre outros (Cláudia et al., 2017).

A Tabela 1 apresenta a produção de minério de ferro no Brasil registraram produção de minério de ferro. Notavelmente, os estados de Minas Gerais e Pará dominaram a produção desse mineral no país em 2021, contribuindo com

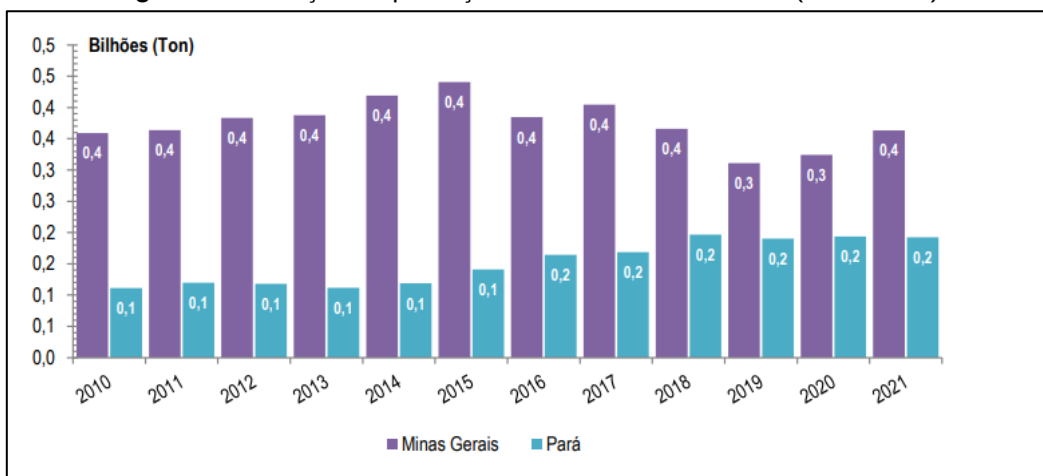
impressionantes 97,8% do total. Minas Gerais se destacou como líder na produção de minério de ferro, alcançando um total de 363,6 milhões de toneladas. Esse valor representou expressivamente 64% da produção nacional desse recurso. Em contrapartida, o Pará contribuiu com 192,3 milhões de toneladas, correspondendo a 33,8% da produção de ferro no Brasil. A produção de ferro no Pará diminuiu 0,7% em comparação com o ano anterior, enquanto Minas Gerais registrou um aumento de 12,2% em sua produção, resultando em um impacto positivo no crescimento da produção nacional de minerais, que alcançou 8,3% (Zaluth Barbalho et al.,2023).

Tabela 1 - Unidades Federativas com produção de minério de ferro, Brasil (2020-2021)

BR/ UF	Ferro (Milhões de toneladas)		Var. (%) 2021/2020	Part. (%) 2021
	2020	2021		
Brasil	524,8	568,4	8,3	100,0
Minas Gerais	324,1	363,6	12,2	64,0
Pará	193,6	192,3	- 0,7	33,8
Mato Grosso do Sul	6,4	8,4	30,6	1,5
Bahia	0,4	3,4	662,9	0,6

Fonte: Adaptado (AMN,2023).

Ao examinar a trajetória histórica da produção de minério de ferro nos principais estados brasileiros produtores (Figura 1), constatou-se que o Pará registrou um crescimento progressivo, duplicando sua produção no período de 2010 a 2021. Em números absolutos, a produção passou de 0,1 para 0,2 bilhão de toneladas. No entanto, Minas Gerais manteve sua produção estável em 0,4 bilhão de toneladas (Zaluth Barbalho et al.,2023)

Figura 1 - Evolução da produção de minério de PA x MG (2010-2021)

Fonte: Adaptado (AMN,2023).

3.1.2 Rejeito de minério de ferro

O rejeito de minério de ferro refere-se a resíduos sólidos e líquidos gerados durante o processo de extração, beneficiamento e processamento de minérios de ferro. É composto principalmente por areia, óxidos minerais e minerais pesados, como oxi-hidróxidos de ferro, hematita e goethita. Os rejeitos podem ser separados de acordo com a granulometria que pode ser fina (lama) ou grossa (rejeitos granulares) (Cláudia et al., 2017b).

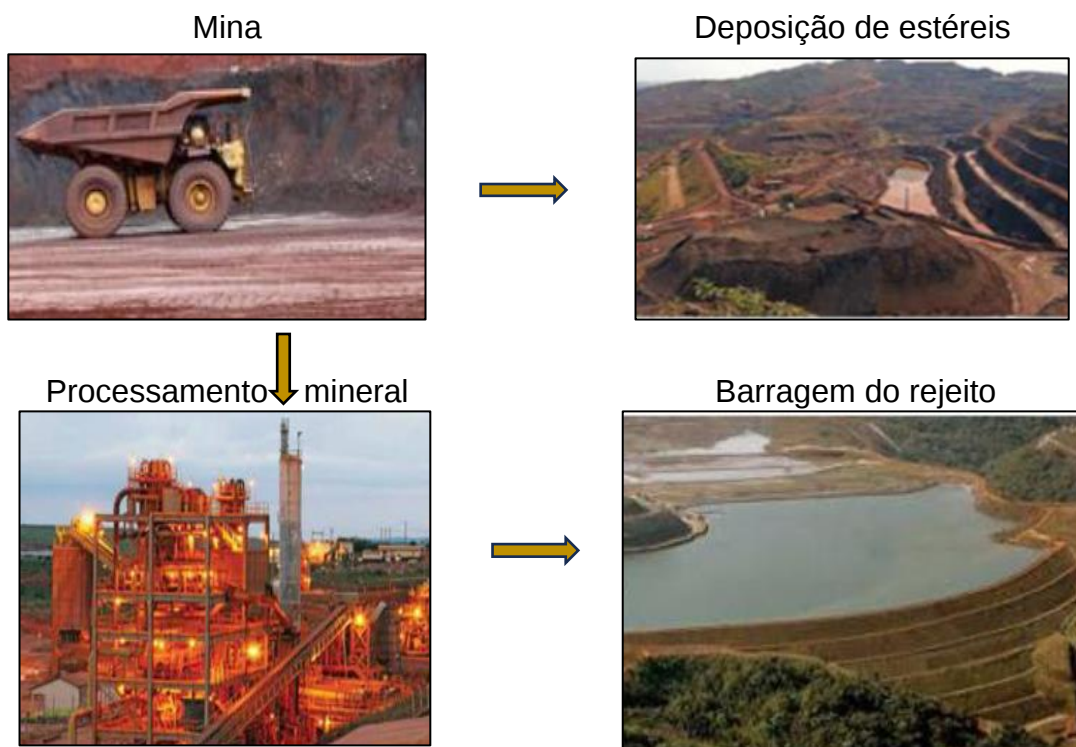
Rodrigues Bento (2017) destaca que o rejeito proveniente da extração de minerais de ferro é frequentemente descartado em barragens ou pilhas nas proximidades das mineradoras, representando um risco significativo para a fauna e a flora locais. Um exemplo notório é o trágico rompimento da barragem de rejeitos de minério de ferro no córrego do Feijão, no município de Brumadinho, MG. Esse desastre alcançou grande repercussão na mídia nacional e internacional. Cerca de 14 milhões de toneladas de lama e resíduos de minério de ferro foram espalhados por 8 quilômetros em questão de dias, causando uma contaminação do rio Paraopeba e resultando na perda de mais de 250 vidas. Esse evento foi um marco na retrospectiva, sendo o primeiro grande desastre ambiental do ano de 2019.

A extensa quantidade de minerais que eram categorizados como resíduos, em particular devido ao seu tamanho de partículas e ao processamento de partículas pequenas. De acordo com CLÁUDIA et al., (2017) as partículas de tamanho reduzido podem ser subdivididas em supercoloidais (menos de $0,2\mu\text{m}$), coloidais (menos de $1\mu\text{m}$), quase-coloidais (menos de $10\mu\text{m}$), pré-coloidais (menos de $10\mu\text{m}$), pré-coloidais (menos de $1\mu\text{m}$), e finas (menos de $150\mu\text{m}$), médias (menos de $50\mu\text{m}$) e grossas (mais de $500\mu\text{m}$).

Em alguns casos, o rejeito da mineração de ferro pode ser incorporado como componente na produção de cimento, auxiliando na redução do uso de materiais primários tradicionais, o que não apenas contribui para a melhoria da sustentabilidade na indústria de construção, mas também traz benefícios econômicos e ambientais significativos. Essa prática não apenas reduz o desperdício, mas também reduz a o dióxido de carbono, gerado pelo cimento no processo de moagem (Paula Junior; Oliveira, 2022).

A Figura 2 mostra o processo de obtenção de rejeito de minério de ferro

Figura 2 - Esquema do processamento para obtenção do rejeito de minério de ferro



Fonte: Adaptado (Claudia,2017).

3.2 REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO COMO MATERIAIS POZOLÂNICO

As pozolânas são materiais naturais ou artificiais que, quando finamente moídos e misturados com cal e água, reagem quimicamente para formar compostos que melhoram as propriedades do cimento e reforçam sua pegada de carbono. A incorporação de pozolânas na produção de cimento é uma prática sustentável que pode mitigar os impactos ambientais da indústria da construção, incluindo a mineração de minerais de ferro (CLÁUDIA et al., 2017a; FERRO_SM_ (2018). O cimento é o material mais utilizado no setor da construção civil, quando comparado ao aço, madeira, cerâmica e o asfalto nesse sentido, os rejeitos de minério de ferro vêm sendo estudados como substituição parcial do cimento Portland (SCHILLER; PALIGA; TORRES, 2021).

Quando incorporados à mistura do cimento Portland, esses materiais podem ser categorizados como adições inertes ou ativas. As adições inertes são materiais não reativos, conhecidos como fíler, e sintomas para o efeito de otimização física da granulometria, não demonstrando atividade química. Devido à sua granulometria semelhante ou mais fina que a do cimento, eles preenchem os espaços vazios na estrutura do cimento e podem também promover a formação de Silicato de Cálcio Hidratado (CSH), atuando como agentes nucleantes (DE MAGALHÃES et al., 2018; IMPRESSO NO BRASIL, 2005; LOPES et al., 2021).

De acordo com o estudo realizado por Jose et al. (2018), a inclusão de rejeitos de minério de ferro na composição da argamassa projetada a capacidade de melhorar tanto a trabalhabilidade quanto a coesão do material, ao mesmo tempo em que reduz a porosidade e a permeabilidade. No entanto, Ricardo (2016) menciona que a substituição parcial do cimento pelo rejeito de minério de ferro pode levar a uma diminuição na resistência mecânica da argamassa, bem como afetar outras propriedades, como a absorção de água.

Conforme observado por Santos et al. (2016), a adição de rejeito de minério de ferro à argamassa pode ocasionar um aumento na taxa de captação de água, o que, por sua vez, pode ter um impacto negativo na durabilidade do material. Além disso, Oliveira et al. (2018) apontam que a retração por secagem da argamassa pode ser reduzida por meio da incorporação de rejeito de minério de ferro, contudo, é imperativo

realizar uma dosagem criteriosa desse componente para evitar problemas como trincas e fissuras no material.

Já Gomes et al. (2017) relatam que a adição de até 20% de rejeito de minério de ferro na composição da argamassa não influenciou significativamente a resistência mecânica, mas a partir de 30% de substituição houve uma queda na resistência à compressão. Os autores também observaram uma redução na porosidade da argamassa com o aumento da proporção de rejeito de minério de ferro.

Outros estudos também destacam a importância da granulometria do rejeito de minério de ferro na substituição parcial do cimento na produção de argamassas. De acordo com Catarino et al. (2018), o uso de partículas mais finas de rejeito de minério de ferro pode resultar em uma melhor distribuição do material na argamassa e, conseqüentemente, em uma redução na porosidade e na permeabilidade. Além disso, os autores destacam que a incorporação de rejeito de minério de ferro na argamassa pode contribuir para a redução da emissão de gases de efeito estufa, uma vez que a produção de cimento é responsável por uma parcela significativa dessas emissões.

Por fim, vale destacar que o aproveitamento de resíduos de mineração, como materiais pozolânicos, na construção civil tem sido amplamente estudado como uma alternativa para reduzir o impacto ambiental da atividade mineradora (Brasileiro; Matos, 2015). Além do rejeito de minério de ferro, há outros tipos de resíduos que podem ser reaproveitados na produção de materiais de construção, como a escória de alto-forno e as cinzas volantes. Já Guimarães et al. (2019), diz que uso desses materiais pode reduzir a extração de recursos naturais, a emissão de gases de efeito estufa e o volume de resíduos destinados a aterros sanitários.

Em resumo, os estudos apresentados mostram que a substituição parcial do cimento por rejeito de minério de ferro, pode ser uma alternativa viável para melhorar as propriedades físicas-mecânicas das argamassas, desde que sejam cuidadosamente avaliados os efeitos.

4. MATERIAIS

4.1 CIMENTO PORTLAND CPII-F-32

O cimento CPII-F-32 foi fabricado pela Companhia Siderurgica Nacional (CSN). Ele recebe a designação F, pois possui adição de material carbonático denominado fíler.

Além disso, a Tabela 2 mostra as características físicas e mecânicas fornecidas pelo fabricante apresenta os limites normativos para a resistência à compressão do cimento CPII-F-32, que deve ser superior a 10,0 MPa após 3 dias de cura. Essa informação é importante para avaliar a qualidade do cimento utilizado no estudo e garantir que ele atenda aos requisitos normativos para sua utilização na construção civil.

Vale ressaltar que a escolha do cimento CPII-F-32 para o preparo das argamassas utilizadas no estudo foi baseada em sua ampla utilização na construção civil e em suas características físicas e mecânicas, que o tornam adequado para a preparação de argamassas de assentamento, revestimento, pisos e pavimentos de concretos.

Tabela 2 - Características físicas, mecânicas e químicas do cimento CPII -F-32

Características	Tipo de ensaio		Limites normativos
Físicas e Mecânicas	Resistência à compressão (MPa)	3 dias	>10,0
		7 dias	>20,0
		28 dias	>32,0
	Tempo de Pega (h:min)	Início	>1
		Fim	≤10
	Resíduo de Peneiração (%)	# 200	<12,0
		# 325	--
Análise Química	Perda ao Fogo		<6,5
	Resíduo Insolúvel %		<2,5
	Trióxido de enxofre	SO ₃ (%)	<4,0
	Óxido de cálcio livre	CaO Livre (%)	--
	Óxido de magnésio	MgO (%)	<6,5
	Óxido de alumínio	Al ₂ O ₃ (%)	--
	Óxido de silício	SiO ₂ (%)	--

Óxido de ferro	Fe ₂ O ₃ (%)	--
Óxido de cálcio	CaO (%)	--

Fonte: Autoria própria.

4.2 CIMENTOS PORTLAND DE ALTA RESISTÊNCIA INICIAL (CPV)

O Cimento Portland CPV-ARI foi fabricado pela SECIL CIMENTOS (SUPREMO). Ele possui a particularidade de alcançar altas resistências nos primeiros dias. Essa característica é resultado da utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, além da moagem mais fina do cimento. Essas alterações permitem que o cimento reaja rapidamente com a água, adquirindo resistências elevadas em menos tempo (Andrea; Ancie et al., 2012).

É importante destacar que a seleção do cimento CII-V-ARI foi feita devido à sua pureza e à ausência de materiais carbonatados em sua composição, o que contribui para a qualidade das argamassas elaboradas.

A Tabela 3 mostra a características físicas, mecânicas e químicas fornecidas pelo fabricante.

Tabela 3 - Características físicas, mecânicas e químicas do cimento CPV-ARI

Características	Tipo de ensaio		Limites normativos	
Físicas e Mecânicas	Resistência à compressão (MPa)	3 dias	38,3	≥ 24
		7 dias	42,1	≥ 34
		28 dias	50,2	--
	Tempo de Pega (min)	Início	238	≥ 60
		Fim	300	≤ 600
	Massa Específica $\frac{g}{cm^3}$		3,12	--
	Resíduo de Peneiração (%)	75 μm	0,00	≤ 6,0
		45 μm	0,88	--
		32 μm	6,21	--
Análise Química	Perda ao Fogo		5,4	≤ 6,5
	Resíduo Insolúvel		2,5	≤ 3,5
	Óxido de Silício	SiO ₂	18,3	--
	Óxido de Cálcio	CaO	59,2	--
	Óxido de Ferro	Fe ₂ O ₃	3,0	--
	Óxido de Magnésio	MgO	5,8	≤ 6,5
	Sulfatos	SO ₃	2,4	≤ 4,5

Anidrido Carbônico	CO ₂	4,1	≤ 5,5
Óxido de Alumínio	Al ₂ O ₃	4,3	--

Fonte: Autoria própria.

4.3 REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO E AREIA

A areia foi fabricada pelo instituto de pesquisa tecnológicas (IPT). O rejeito foi obtido da Mina da Conceição em Itabira, Minas Gerais.

5. MÉTODOS

5.1 PROCEDIMENTO DE MOAGEM

A moagem do rejeito de minério de ferro é realizada com o objetivo de reduzir o tamanho das partículas, o que pode melhorar o empacotamento da matriz cimentícia e, conseqüentemente, as propriedades físico-mecânicas das argamassas produzidas. Além disso, a redução do tamanho das partículas pode aumentar a reatividade do material, contribuindo para uma maior substituição do cimento na matriz cimentícia (PAULA JUNIOR; OLIVEIRA, 2022; RUFINO; GALDINO, 2015).

Para a moagem foi utilizado um moinho de bolas de marca Retsch PM100 (Figura 3) com uma velocidade de 500 rpm por 35 min.

Figura 3 - Moinho de alta eficiência



Fonte: Autoria própria.

5.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MINERALÓGICA DOS MATERIAIS

O analisador de tamanho de partículas modelo CILAS 1090 foi utilizado para avaliar a distribuição do tamanho das partículas. As mediadas foram realizadas em meio líquido, rango de 0.04 μm - 2500.00 μm e ultrassonografias de 60 segundos.

As análises de DRX foram realizadas na forma de pó no difratômetro multi- propósito EMPYREAN, da PANalytical com radiação Cu ($\lambda=0,15418$ nm). Foram

registradas em 2 θ ângulos de 5° a 90°, usando um tempo de contagem de 0,5 s por passo e um tamanho de passo de 0,01973°.

A composição química do RMF foi determinada pela técnica de espectrometria de fluorescência de raios X (FRX). As análises foram realizadas em um espectrômetro de fluorescência de raios X sequencial Philips, modelo PW 2404 equipado com um tubo intermediário de raios X de 4 kW e quatro cristais analisadores (LiF (220), LiF (200), PET e XS-55).

5.3 ELABORAÇÃO DAS ARGAMASSAS

As argamassas foram elaboradas utilizando traços (1:3) de aglutinante e areia, mantendo uma relação água/aglutinante fixa igual a 0,5 para todos os traços das argamassas (Tabela 4). As etapas de mistura foram realizadas com o auxílio de uma argamassadeira (Figura 4) conforme a norma NBR 13276.

Após elaboração, os corpos de prova foram retirados dos moldes e submetidos a um processo de cura em água, mantido a uma temperatura de (23 $\pm$ 1) °C.

Tabela 4 - Elaboração de argamassas

	Cimento %	RMF %	Aglutinante: Areia	Água/Aglutinante
REF	100	0	1:3	0.5
RMF 10	90	10	1:3	0.5
RMF 20	80	20	1:3	0.5
RMF 30	70	30	1:3	0.5

Fonte: Autoria própria.

Figura 4 - Argamassadeira e corpos de prova cilíndricos



Fonte: Autoria própria.

5.4 ENSAIOS ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO E ÍNDICE VAZIOS

Foram elaboradas argamassas usando apenas o CPV-ARI. Os ensaios de absorção de água por imersão e índice vazios foram realizados conforme descrito na norma ABNT NBR 9778 (2005).

A absorção de água por imersão foi calculada usando a Equação 1, esse parâmetro é importante para avaliar a porosidade das argamassas e sua capacidade de absorver água, o que pode afetar sua durabilidade e resistência mecânica (LUIGI et al., (2015); RODIER; SAVASTANO, 2018a).

O índice de vazios foi calculado usando a Equação 2. Esse parâmetro é importante para a porosidade das argamassas, o que pode afetar sua resistência mecânica e sua capacidade de absorver água (LUIGI et al., (2015); RUFINO; GALDINO, 2015).

➤ Absorção de água por imersão

Para calcular absorção (A), foram usadas as seguintes equações:

$$A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

M_{sat} = Massa de corpo de prova saturada

M_s = Massa de corpo de prova seco em estufa por 72 horas.

➤ Índice de vazios

O índice de vazios em argamassas indica a proporção de espaço vazio, o que pode causar impacto em suas propriedades como resistência a compressão. Equação:

$$Lv = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \times 100 \quad (2)$$

M_i = Massa da amostra saturada imersa em água

5.5 ÍNDICES DE ATIVIDADE POZOLÂNICA (IAP)

Foram elaborados corpos de prova usando os cimentos Portland CPV-ARI e CII-F-32 para as idades de 7, 28 e 90 dias.

Para realização do ensaio de resistência à compressão, seguiram-se as recomendações da NBR 5739 (ABNT, 2007), com corpos-de-prova de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura (Figura 5). Esse ensaio consiste em aplicar uma carga axial crescente sobre o corpo de prova até que ocorra a ruptura. A resistência à compressão é um parâmetro importante para avaliar a capacidade das argamassas de suportar cargas de compressão, o que é essencial para sua utilização (LUIGI et al., 2015).

A norma ASTM C618 foi utilizada para avaliar a pozolanicidade das argamassas. Ele foi calculado como a razão entre a resistência à compressão de uma argamassa contendo aditivos minerais e a resistência a resistência de uma argamassa de controle sem aditivos minerais (Equação 3).

$$SAI = \frac{A}{B} \cdot 100 \quad (3)$$

A= Resistência à compressão da argamassa com aditivo

B= Resistência à compressão da argamassa de referência

O índice de atividade pozolânico das argamassas com materiais pozolânicos deve ser superior a 75% para que esses materiais sejam considerados pozolânicos.

Figura 5 - Ensaio de compressão



Fonte: Autoria própria.

5.6 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Os testes de absorção capilar de água foram realizados para determinar a influência do resíduo de pó do rejeito de minério de ferro no transporte de água nas argamassas por capilaridade, que é um indicador da durabilidade do material.

Foi realizado o procedimento de (Rodier; Savastano, 2018) que consiste em cobrir tanto a parte superior como as laterais dos corpos das argamassas com uma resina epóxi. Isso foi feito com o propósito de favorecer a absorção de água do fundo do corpo de prova.

Durante o período de 45 dias de contato com a água, a massa das argamassas foi monitorada para avaliar a absorção de água por capilaridade, verificando a variação de massa dos corpos de prova ao longo do tempo. Teor utilizado de rejeito de minério de ferro foi de 10%, 20 % usando cimento CPV-ARI.

Figura 6 - Ensaio de capilaridade

Fonte: Autoria própria.

A absorção de água por capilaridade é determinada pela equação 4:

$$C = \frac{M_{sat} - M_s}{S} \quad (4)$$

A absorção de água por capilaridade é expressa em gramas por centímetro quadrado (g/cm²) e é calculada em relação à massa saturada do corpo de prova (M_{sat}), que corresponde à massa do corpo de prova quando uma das faces está em contato com a água por um período de tempo especificado, e a massa do corpo de prova seco (M_s), que é medida assim que o corpo de prova atinge a temperatura de (23 ± 2) °C.

A área da seção transversal do corpo de prova é representada por S em centímetros quadrados (cm²). O cálculo da absorção de água por capilaridade é realizado com base nessas medidas e fornece uma indicação da quantidade de água que o corpo de prova é capaz de absorver.

5.7 PERDA AO FOGO DAS ARGAMASSAS

O ensaio de resistência ao fogo foi realizado para monitorar a influência do resíduo de pó do RMF no comportamento mecânico das argamassas após o

tratamento térmico. Esse parâmetro é importante para avaliar a quantidade de material orgânico presente na argamassa, o que pode afetar sua resistência mecânica e sua durabilidade (MACIEL et al., 2018).

Os corpos de prova foram avaliados nas idades de 28 dias, usado cimento CPV foram colocados em um forno mufla marca QUIMIS Q318M24 a uma temperatura de 700 °C por 2 horas. As amostras foram então resfriadas a 100 °C, para evitar choque térmico. E colocadas a temperatura ambiente de laboratório (25 ± 1 °C). As amostras foram posteriormente submetidas a ensaios de resistência à compressão (Rodier; Savastano et al.; 2018).

Perda de massa se cálculo conforme a Equação 5:

$$\text{Perda de massa \%} = \frac{(W_a - W_b) \times 100}{W_a} \quad (5)$$

Onde W_a é a massa inicial da argamassa e W_b é a massa da argamassa após o tratamento térmico.

A perda de resistência das argamassas foi determinada de acordo a Equação 6:

$$\text{Perda de resistência (\%)} = \frac{(\delta_a - \delta_b) \times 100}{\delta_a} \quad (6)$$

Onde δ_a é a resistência a resistência das argamassas sem tratamento térmico e δ_b é a resistência a resistência das argamassas após o tratamento térmico. Quatro amostras de cada formulação foram utilizadas para determinar a resistência e perda de massa.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MINERALÓGICA DOS MATERIAIS

6.1.1 Análise granulométrica

De acordo com Catarino et al. (2018), o uso de partículas mais finas de rejeito de minério de ferro pode resultar em uma melhor distribuição do material na argamassa e, conseqüentemente, em uma redução na porosidade e na permeabilidade.

A Tabela 5 mostra que o rejeito minério de ferro inicial (RMFI) possui um tamanho médio de partículas de 135,62 μm . De acordo com Maciel et al. (2018), é o tamanho das partículas que pode influenciar significativamente a resistência e a durabilidade do material. Isso ocorre porque partículas maiores resultam em menor número de pontos de nucleação entre elas, o que por sua vez, pode reduzir a formação de compostos de hidratação como CSH.

Após o processo de moagem do rejeito de minério de ferro (RMF I), obteve-se um tamanho de partícula de 5,67 μm . Esse resultado, de acordo com Paula Junior, Oliveira, (2022) pode levar a um aumento da demanda de água da mistura no caso de uma substituição parcial do cimento por rejeito de minério de ferro.

Tabela 5 - Diâmetro médio dos materiais

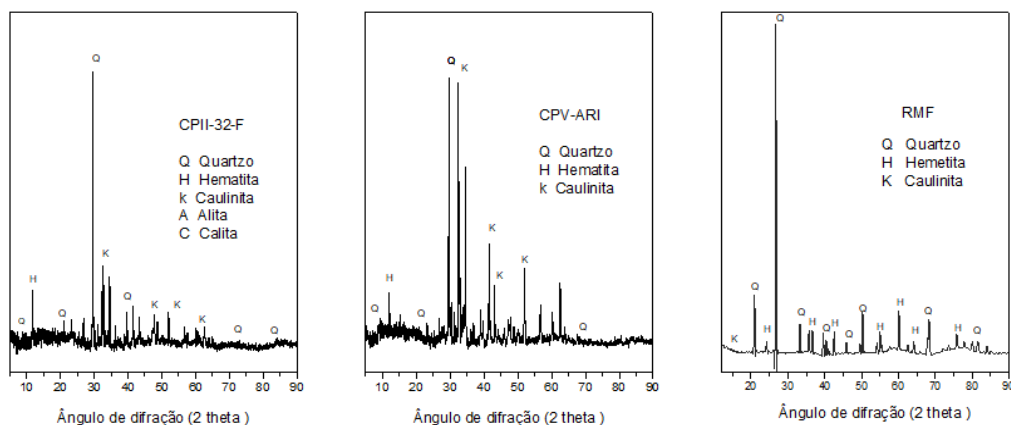
	d_{90}	d_{50}	d_{10}	Media μm
RMF I	295.46	98.22	13.18	135.62
RMF F	13.83	2.41	0.77	5.67
CPV -ARI	32.84	12.29	1.26	15.46
CPII-F-32	32.56	8.87	0.94	14.12

Fonte: Autoria própria.

6.1.2 Difração de raios X

A Figura 7 mostra as fases presentes no cimento Portland e rejeito de minério de ferro.

Figura 7 - Difração de raios X dos materiais



Fonte: Autoria própria.

Os minerais predominantes são quartzo SiO_2 , hematita Fe_2O_3 e caulinita Al_2O_3 . No CII-F-32 e CPV-ARI tem variações de 5 a 30 2theta ($^\circ$) percebe-se a presença de estrutura amorfo. Já no rejeito de minério de ferro, nota-se presença maior de caráter cristalino na amostra. Conforme Magalhães et al. (2018), o elevado caráter cristalino do rejeito de minério tende a inibir a reatividade do material, reduzindo a reação pozolânica.

Esses resultados são importantes para entender a interação entre o rejeito de minério de ferro e o cimento Portland, uma vez que a reatividade pozolânica do material pode estar relacionada a sua composição mineralógica.

6.1.3 Florescência de raios X

A Tabela 6 mostra os resultados da análise química do rejeito de minério de ferro, com os elementos predominantes sendo quartzo, hematita e caulinita. Conforme os requisitos químicos da norma ASTM C618 para materiais pozolânicos, a soma desses elementos deve ser superior a 70%. De acordo com os resultados, a soma dos elementos é igual a 99,42%, portanto, o rejeito de minério de ferro pode ser considerado como um material pozolânico.

Tabela 6 - Fluorescência de raios X presentes no rejeito de minério de ferro

Ensaio (%)												
Gravimetria		Fluorescência de raios X										
PPC* 1000 °C	Al ₂ O ₃	CaO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	ZrO
0,22	0,22	0,08	<0,01	19,42	<0,01	<0,1	0,04	<0,10	0,01	79,78	0,06	<0,01

Fonte: Autoria própria.

6.2 ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO E ÍNDICE VAZIOS

A Tabela 7 mostra os resultados da argamassa formuladas com o traço de 10% de substituição em massa do RMF, apresenta menor absorção de água e menor índice de vazios, assim constituindo a argamassa com menor concentração de porosidade. Junior; Oliveira, (2022) isso, principalmente devido ao melhor agrupamento das partículas dos agregados na argamassa em comparação com os outros traços. Os resultados obtidos apontaram o potencial do uso do rejeito de minério de ferro na produção de argamassas, sendo o traço de argamassa com o teor de 10% de RMF que apresentou a menor absorção e o menor índice vazios.

Tabela 7 - Dados obtidos das argamassas da substituição parcial do cimento Portland CPV

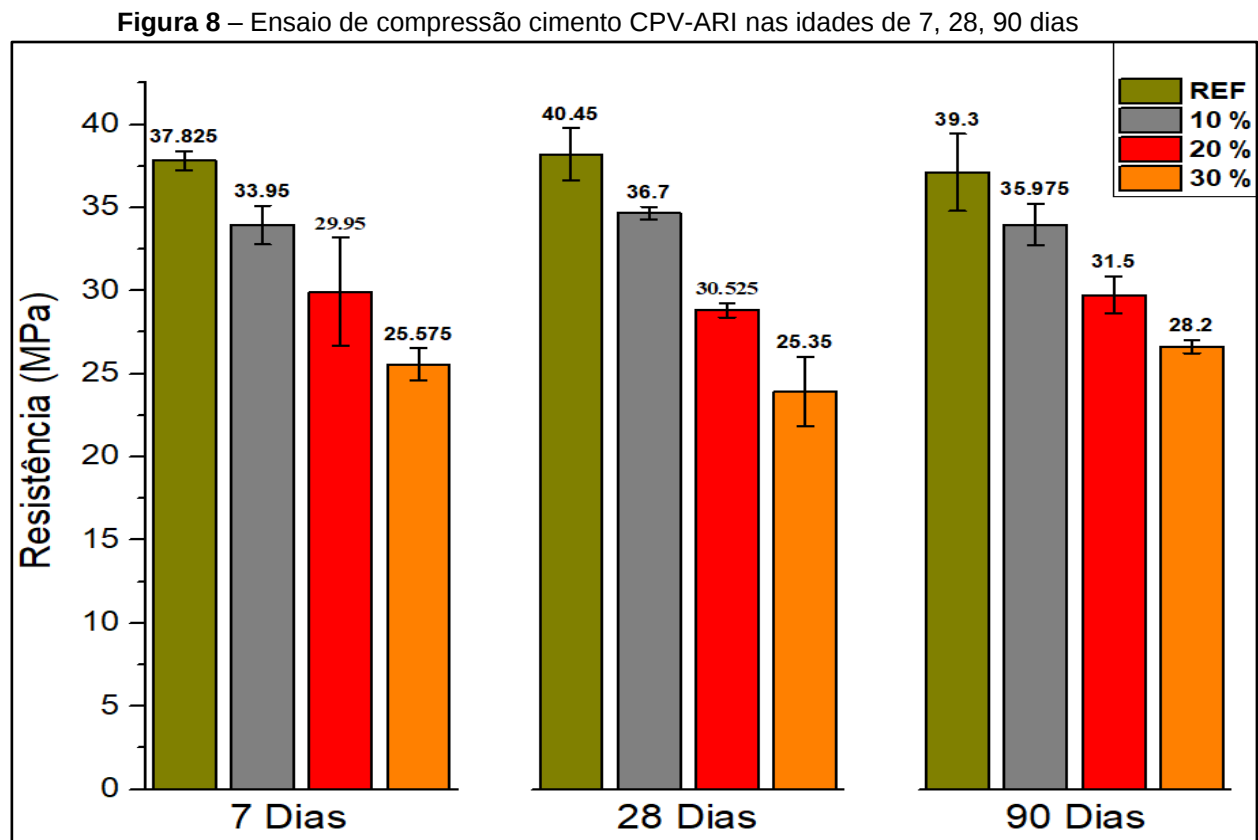
Traço	Absorção (%)			Índice de Vazios (%)		
	Média	Desvio Padrão	Coef. de Variação	Média	Desvio Padrão	Coef. de Variação
REF	8.85	0.25	2.82	18.09	0.40	2.21
10%	9.39	0.11	1.17	19.02	0.22	1.15
20%	10.49	0.24	2.28	20.47	0.32	1.56

Fonte: Autoria própria.

6.3 ÍNDICES DE ATIVIDADE POZOLÂNICA (IAP)

Na Figura 8 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão das argamassas utilizando o cimento CPV-ARI. Os resultados mostram que o aumento da percentagem de substituição do cimento pro RMF leva à redução da resistência à compressão das argamassas. Rodier; Savastano, (2018a) atribui essa redução ao efeito diluição, menos cimento implica uma diminuição dos produtos de hidratação, o que afeta negativamente a resistência a compressão das argamassas.

Com base no desvio padrão, observa-se que as formulações com 10% de substituição apresentam resistência à compressão semelhante à referência (REF) na idade de 90 dias.



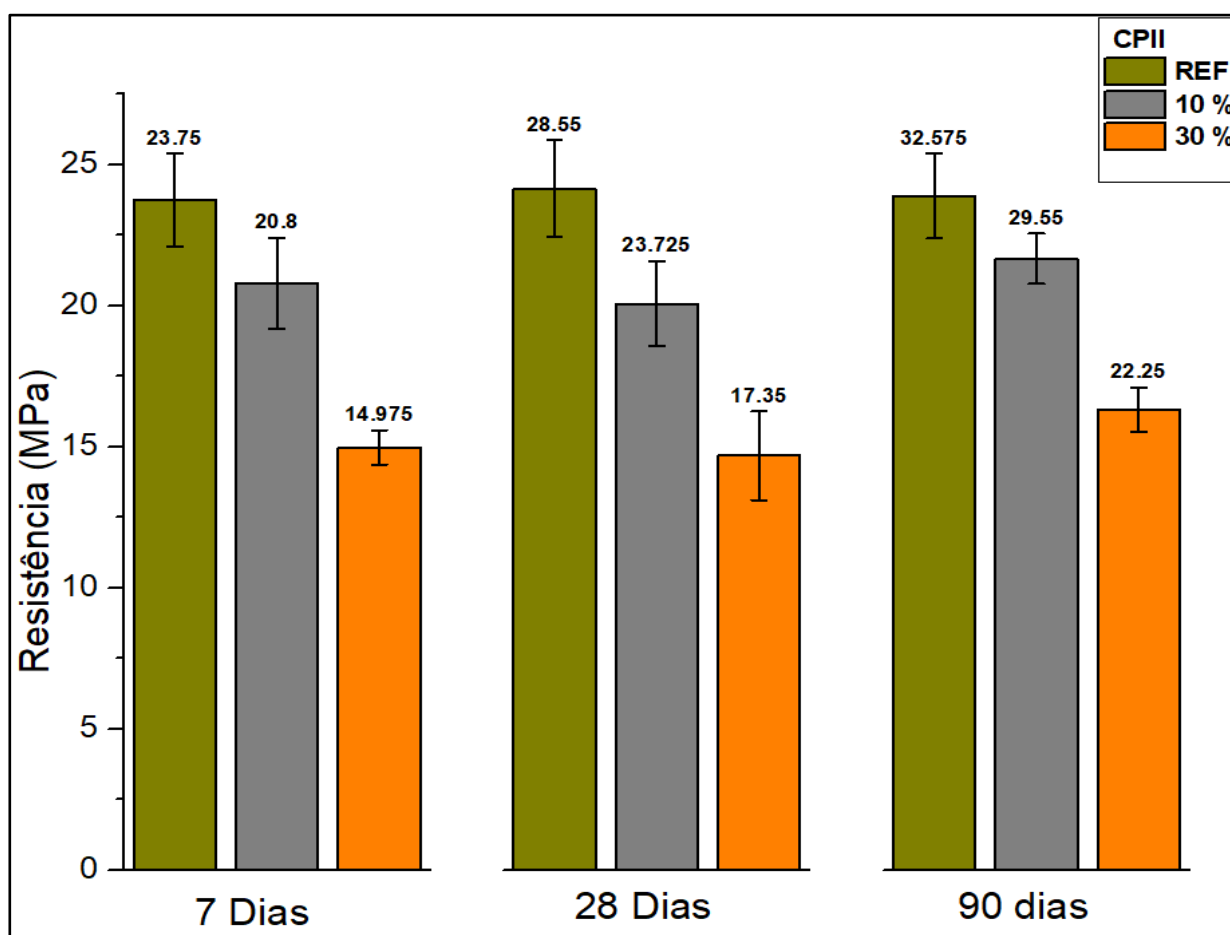
Fonte: Autoria própria.

A Figura 9, mostra o resultado do ensaio de resistência à compressão das argamassas utilizando o cimento CPII-F-32.

Com base no desvio padrão, observa-se que as formulações com 10% de substituição de rejeito de minério de ferro apresentam resistência à compressão semelhante à referência (REF) nas idades 7 e 90 dias.

Perda de resistência também é atribuído Rodier; Savastano, (2018a) a efeito diluição, menos cimento implica a formação de menos produtos de hidratação como SCH.

Figura 9 - Ensaio de compressão cimento CII-F-32 nas idades de 7, 28, 90 dias



Fonte: Autoria própria

A Tabela 8 apresenta os índices de atividade pozolânica das argamassas aos 7 e 28 dias.

De acordo com a norma ASTM C618, o índice de atividade de resistência das argamassas preparadas com materiais pozolânicos deve ser superior a 75% para que esses materiais sejam considerados pozolânicos. Os resultados mostram que a substituição de 10% e 20% do cimento CPV-ARI por rejeito de minério de ferro atende aos requisitos, enquanto no caso do CII-F-32, apenas, a formulação contendo de 10% de rejeito de minério de ferro atende aos requisitos da norma.

Tabela 8 - Pozolânidade nas idades 7 e 28 dias

Traço	CPV-ARI %		CP2-FII-32 %	
	7 Dias	28 Dias	7Dias	28 Dias
10%	89.76	90.73	87.58	83.10
20%	79.18	75.46	----	----
30%	67.61	62.67	63.05	60.77

Fonte: Autoria própria.

6.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

A absorção de água por imersão e o índice de vazios são parâmetros importantes para avaliar a porosidade das argamassas e sua capacidade de absorver água, o que pode afetar sua durabilidade e resistência mecânica das argamassas.

A Tabela 9, mostra os resultados do ensaio de absorção máxima de água por capilaridade usando cimento CPV-ARI. Observe-se que a menor absorção de água ocorre na formulação com 10% de substituição, ou que se deve à presença de um menor índice de vazios no matiz das argamassas.

Tabela 9 - Comparação absorção, índice vazios e compreensão

traço	saturação Max	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)	compressão Média (Mpa)
REF	1.66	8.85	18.09	40.45
10%	1.72	9.39	19.02	36.7
20%	1.85	10.49	20.47	30.52

Fonte: Autoria própria.

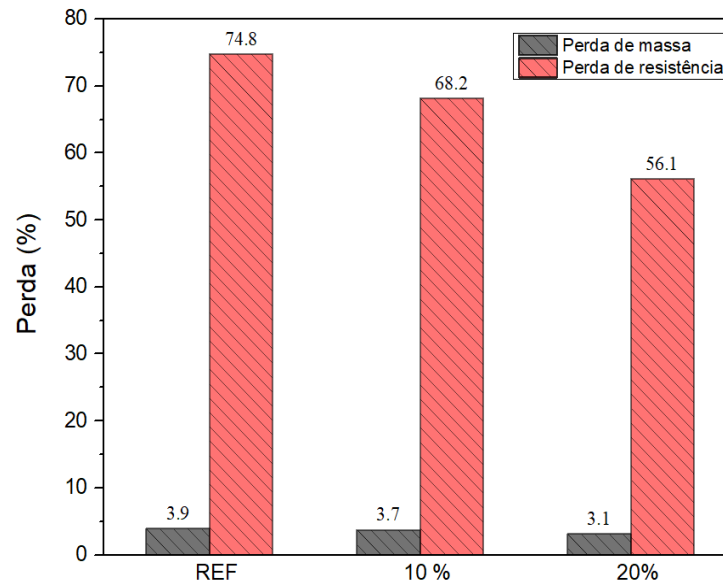
6.5 PERDA AO FOGO DAS ARGAMASSAS

A Figura 10 mostra os resultados de perdas de massa e resistência mecânicas das amostras. O aumento da porcentagem de substituição de rejeito de minério de ferro leva a uma menor a perda de resistência das amostras. Isso acontece

devido ao efeito da diluição causada pela substituição parcial do cimento por rejeito minério de ferro como foi visto nos outros ensaios.

Além disso observa-se que a substituição parcial do cimento por rejeito de minério de ferro não tem influência na perda de massa das argamassas.

Figura 10 - Perda de massa e resistência após aquecimento de 700 °C



Fonte: Autoria própria.

7. CONCLUSÃO

Por meio dos resultados obtidos e análises realizadas no desenvolvimento desse estudo, pode-se concluir que a substituição parcial do cimento por rejeito de minério de ferro é uma alternativa viável e sustentável para a produção de argamassas.

- De acordo com a norma ASTM C618 o rejeito de minério de ferro pode ser considerado como um material pozzolânico os ensaios físicos o cimento CPV-ARI, com teor de 10% e 20%, é CII-F-32 com teor de 10% são classificados como pozzolâneas.
- O ensaio de difração de raios X identificou as principais fases do rejeito de minério de ferro que são a Hematita, o quartzo e caulinita.
- O ensaio de absorção de água por imersão, índice vazios e capilaridade, mostrou que a substituição parcial do cimento por 10% de rejeito de minério de ferro é a melhor formulação.
- O ensaio de perda ao fogo mostrou que as argamassas contendo 20% em massa de rejeito de minério de ferro apresentam uma menor perda na resistência ao fogo.

Conclui-se que o uso do rejeito de minério de ferro é uma alternativa interessante para a produção de argamassas. Além disso, o uso do rejeito de minério de ferro como substituição parcial do cimento poderá contribuir para a redução do impacto ambiental causado pela disposição inadequada desse material.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMADA, Bruna Silva; DA Influência; DE Heterogeneidade; DE MINÉRIO, Rejeitos; FERRO, D. E. **UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS ESCOLA DE ENGENHARIA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL.** Dissertação de (Mestrado), 55, n. 46, p. 148, 2021.

ANDREA, Jeniffer; ANCI, Sanchez. **Ministério da Educação EFEITO DOS DIFERENTES TIPOS DE CIMENTOS EM ARGAMASSAS ELABORADAS COM ÁGUA SUBMETIDA A UM CAMPO MAGNÉTICO.** Dissertação (Teses), Universidade Federal de Integração Latino-Americana, foz de Iguaçu, p.55, 2017.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Literature review: Reuse of construction and demolition waste in the construction industry Ceramica.** Asociación Brasileira de Cerâmica, 2015. DOI: 10.1590/0366-69132015613581860.

CAETANO ROCHA ANDRADE, Luana DE. **LUANA CAETANO ROCHA DE ANDRADE CARACTERIZAÇÃO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO DE FERRO, IN NATURA E SEGREGADOS, PARA APLICAÇÃO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO CIVIL.** Universidade Federal de Viçosa.: f.82-91. p,112, 2014.

CARDOSO MENDES, Beatryz. **REAPROVEITAMENTO DO REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO, LIBERADO NO DESASTRE ENVOLVENDO O ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO (MG), NA PRODUÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS.** Universidade Federal de Viçosa, Minas Geras, CCC22. ed.624.183, p.88, 2014.

CAROLINA REZENDE PINTO NARCISO **INFLUÊNCIA DO RESÍDUO DE MINÉRIO DE FERRO NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS CIMENTO-MADEIRA LAVRAS-MG 2018.** Dissertação (Mestrado Acadêmico) -Universidade Federal de Lavras, p.78, 2018.

CLÁUDIA, Ana; GOMES, Franca; DE Estudo; DE Aproveitamento; DE MINERAÇÃO, Rejeito; PROF, Orientadora: MAGRIOTIS, Rísia; HORIZONTE, Papini Belo. **UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**. Dissertação (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro.p.243, 2017.

Saleimen nader Belo Horizonte, alizeibeck. **O cenário do minério de ferro e o impacto socioeconômico do Projeto**. Dissertação (Mestrado), Universidade Feral de Minas Gerias (Belo horizonte) f. 96-101. 2021.

DE MAGALHÃES, Luciano Fernandes; MORAIS, Isabella de Souza; LARA, Luis Felipe Dos Santos; DE RESENDE, Domingos Sávio; MENEZES, Raquel Maria Rocha Oliveira; AGUILAR, Maria Teresa Paulino; BEZERRA, Augusto Cesar da Silva. Iron ore tailing as addition to partial replacement of portland cement. *Em: MATERIALS SCIENCE FORUM* 2018, **Anais** [...].: Trans Tech Publications Ltd, 2018. p. 125–130. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.930.125.

DIAS, Karine; HORIZONTE, Silva Belo. **TECNOLOGIA AMBIENTAL REUTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE AREIA DE FUNDIÇÃO NO BRASIL E NO MUNDO O CONTEXTO DO ESTADO DE MINAS GERAIS**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). p,67, 2010.

FONTES, Wenna Carvalho; PRETO, Ouro. **UTILIZAÇÃO DO REJEITO DE BARRAGEM DE MINÉRIO DE FERRO COMO AGREGADO RECICLADO PARA ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO E ASSENTAMENTO**. Dissertação (Mestrado) -Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas, CivilCDU: 624-033.2. p,112, 2013.

Impresso no Brasil. [s.l: s.n.]. Disponível em: www.abnt.org.br. Acesso em: 04 junho, 2023.

LOPES, Raduan Krause; PIOVESAN, Jayne Carlos; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; GRONDONA, Atilio Efrain Bica. Partial replacement of Portland cement with industrial

glass waste in mortars. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, [S. l.], v. 14, n. 2, 2021. DOI: 10.1590/s1983-41952021000200014.

LUIGI, Giovanni; FILHO, Corrêa; ANTÔNIO,); PERUZZI, Paulo. **Avaliação de Propriedades Mecânicas de Argamassas Produzidas com Agregados de Rejeito de Mineração**. Dissertação (Teses), Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Civil, p,27, 2022.

MACIEL, Marcel Hark; BERNARDO, Heitor Montefusco; SOARES, Gabriela Simões; ROMANO, Roberto Cesar de Oliveira; CINCOTTO, Maria Alba; PILEGGI, Rafael Giuliano. Efeito da variação do consumo de cimento em argamassas de revestimento produzidas com base nos conceitos de mobilidade e empacotamento de partículas. **Ambiente Construído**, [S. l.], v. 18, n. 1, p. 245–259, 2018. DOI: 10.1590/s1678-86212018000100219.

PASCOAL, Aline da Luz; GONÇALVES, Filipe Mattos; CABRAL, Thiago Guerra; BORGES, Alysson Antônio; ALEXANDRINO, Júnia Soares; RODRIGUES, Otávia Martins Silva. APROVEITAMENTO DO REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO: TENDÊNCIA E OTIMIZAÇÃO DE PROCESSO ATRAVÉS DE CONCENTRAÇÃO MAGNÉTICA. **Tecnologia em Metalurgia Materiais e Mineração**, [S. l.], v. 15, n. 3, p. 197–201, 2018. DOI: 10.4322/2176-1523.1570.

PAULA JUNIOR, Wallyson Rodrigues De; OLIVEIRA, Carlos Augusto de Souza. Avaliação da utilização do rejeito de minério de ferro na formulação de argamassas. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 4, p. e0211425954, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i4.25954.

RODIER, Loïc; SAVASTANO, Holmer. Use of glass powder residue for the elaboration of eco-efficient cementitious materials. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 184, p. 333–341, 2018. a. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.02.269.

RUFINO, E. S.; GALDINO, A. G. S. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de argamassa com utilização de resíduos de fundição. **Cerâmica**, [S. l.], v. 61, n. 360, p. 428–434, 2015. DOI: 10.1590/0366-69132015613601947.

SCHILLER, Ana Paula Sturbelle; PALIGA, Charlei Marcelo; TORRES, Ariela da Silva. Estudo da potencialidade da substituição parcial do cimento por resíduos da construção civil em argamassa de revestimento. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 8, p. e31410817342, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i8.17342.

ZALUTH BARBALHO, Helder; DO NASCIMENTO BOTELHO DIRETOR-PRESIDENTE DEYVISON ANDREY MEDRADO GONÇALVES DIRETOR CIENTÍFICO, Marcel; MARIA DOS SANTOS QUARESMA, Elza; CRAVO SILVA, Luziane; SEBASTIÃO TAVARES SIDRIM DIRETOR ADMINISTRATIVO NICOLAU SÁVIO DE OLIVEIRA FERRARI, Jurandir; TRINDADE CARVALHO, Osvaldo. **GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ Governador do Estado do Pará FUNDAÇÃO AMAZÔNIA DE AMPARO A ESTUDOS E PESQUISAS (FAPESPA)**. Acesso em: 23 junho, 2023.