



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ANA LUIZA JOSÉ VENÂNCIO
DÉBORAH DE SOUSA PEREIRA**

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO
CONCRETO COM A SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO
AGREGADO MIÚDO POR ESCÓRIA PROVENIENTE DA
EXTRAÇÃO DE FERRO-NÍQUEL**

PUBLICAÇÃO Nº: 01

**GOIANÉSIA / GO
2021**



**ANA LUIZA JOSÉ VENÂNCIO
DÉBORAH DE SOUSA PEREIRA**

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO
CONCRETO COM A SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO
AGREGADO MIÚDO POR ESCÓRIA PROVENIENTE DA
EXTRAÇÃO DE FERRO-NÍQUEL**

PUBLICAÇÃO N^o: 01

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO
AO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG.**

ORIENTADORA: JÉSSICA NAYARA DIAS

GOIANÉSIA / GO: 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

VENÂNCIO, Ana Luiza José; PEREIRA, Déborah de Sousa.

Obtenção e caracterização mecânica do concreto com a substituição parcial do agregado miúdo por escória proveniente da extração de ferro-níquel. 2021, xx,56P, 297 mm (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2021).

TCC – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|---------------------|------------------|
| 1. Concreto | 2. Escória |
| 3. Sustentabilidade | 4. Solos porosos |
| I. Mineração | II. Resíduo |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

VENÂNCIO, Ana Luiza José; PEREIRA, Déborah de Sousa. Obtenção e caracterização mecânica do concreto com a substituição parcial do agregado miúdo por escória proveniente da extração de ferro-níquel, Publicação 01 2021/2 Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, Goianésia, GO, 56p. 2021.

CESSÃO DE DIREITOS

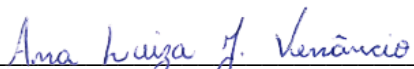
NOME DO AUTOR: Ana Luiza José Venâncio e Déborah de Sousa Pereira


TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Obtenção e caracterização mecânica do concreto com a substituição parcial do agregado miúdo por escória proveniente da extração de ferro-níquel.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2021

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.


 Ana Luiza José Venâncio

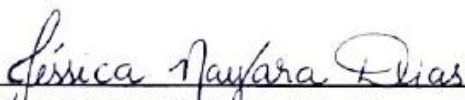

 Déborah de Sousa Pereira

**ANA LUIZA JOSÉ VENÂNCIO
DÉBORAH DE SOUSA PEREIRA**

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO
CONCRETO COM A SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO
AGREGADO MIÚDO POR ESCÓRIA PROVENIENTE DA
EXTRAÇÃO DE FERRO-NÍQUEL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA FACEG COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**


APROVADO POR:



JÉSSICA NAYARA DIAS, Mestra (FACEG)
(ORIENTADORA)



IGOR CÉZAR SILVA BRAGA, Mestre (FACEG)



VILSON DALLA LIBERA JUNIOR, Mestre (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: GOIANÉSIA/GO, 23 de NOVEMBRO de 2021.

*Dedicamos este trabalho:
aos nossos, pais e mães;
às nossas famílias e
aos nossos amigos de vida e de faculdade.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela minha vida, por me conceder paciência e sabedoria, para ultrapassar os obstáculos que surgiram ao longo desta caminhada.

Aos meus pais Ivanilde e Valdivino que acreditaram na minha capacidade e sempre foram meu grande exemplo de responsabilidade e comprometimento.

Ao meu irmão Fábio pelo incentivo. Ao meu namorado Wesley pela compreensão, encorajamento e apoio durante esta jornada.

Às minhas companheiras, desde o início do curso, Déborah e Neliana, pela amizade, pela ajuda mútua e por todos as dificuldades enfrentadas juntas.

Aos amigos que fiz durante a graduação, Jean, Gabriel, Isabela Cristina, Carolina, Victor Hugo, Isabella Vitória e Dyovana, por todos os momentos de descontração, de alegrias e preocupações.

Ao Benedito e Maria Rita por todo acolhimento.

A todos os professores que contribuíram com meu aprendizado durante esses anos, em especial à professora Jéssica Dias por todo seu empenho e comprometimento como orientadora deste trabalho.

Aos técnicos do Laboratório de Materiais e Estruturas do Centro Universitário de Anápolis, Ângela e Eder, por toda a assistência durante os ensaios realizados.

Ana Luíza José Venâncio.

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiríssimo lugar, devo minha imensa gratidão, por me conceder vida, saúde e forças para que eu pudesse chegar até aqui.

Agradeço aos meus pais, Israel e Sônia, e ao meu irmão Nathan pela compreensão, cuidado e assistência para comigo, que não mediram esforços e nunca cessaram suas orações por mim, tendo a plena certeza de que isso me ajudou a vencer essa longa e dura caminhada.

Aos meus avós, Joaquim e Idelma, que nunca negligenciaram o verdadeiro papel de fraternidade, orando por mim e me acolhendo, sempre que precisei. Ao meu avô Joaquim, em especial, que tanto serviu a cidade de Goianésia, no ramo da construção civil.

Ao meu namorado e companheiro Gabriel, pela compreensão nos momentos que precisei me ausentar, mas também pelo apoio e amparo com amor, carinho e atenção durante esses anos, juntamente com toda a sua família.

Aos meus primos, Tiago, Raquel, William, Tércio e Betínia em especial, que me assistiram em toda essa jornada de vida acadêmica, por muitas vezes enfrentando os mesmos desafios que eu.

Aos meus amigos de faculdade, que sem eles, jamais teria conseguido chegar até aqui e os levarei com muito carinho para o resto da minha vida: Andressa Pereira, Isabela Cristina, Neliana Rezende, Luis Eduardo, Jean Cantuário, Gabriel Tavares, Carolina Ribeiro, Isabella Vitória, Victor Hugo, José Bento e claro, minha parceira de monografia, Ana Luiza Venâncio.

Aos meus amigos de vida, Amanda Oliveira, Raisa e família, Bruna Luana, Júlia Song Alessandra Marynna, que mesmo não se envolvendo diretamente com este trabalho, me ajudaram com palavras de ânimo, atitudes de carinho e atenção e sem dúvidas estiveram se preocupando com a minha saúde física e mental.

Ao Coordenador de Produção da mineradora Anglo American, que nos auxiliou com informações importantes e mediou para que pudéssemos ter acesso ao objeto de estudo maior desta pesquisa, a escória de ferro níquel. Aos Técnicos do Centro Tecnológico da UniEvangélica, em Anápolis-GO, Ângela Vieira e Eber Rocha, que nos ajudaram diretamente nos ensaios realizados para essa a complementação dessa pesquisa.

Por fim, meus sinceros agradecimentos à nossa orientadora Jéssica Nayara, que não mediu esforços para que este trabalho pudesse ter sido realizado.

Déborah de Sousa Pereira

“... não temas, porque eu sou contigo; não te assombres, porque eu sou o teu Deus; eu te fortaleço, e te ajudo, e te sustento com a minha destra fiel.”
Isaías 43:10

RESUMO

A sustentabilidade é descrita como uma ação para evitar os efeitos que são prejudiciais ao meio ambiente tanto no cenário atual, quanto nas gerações futuras. A construção civil se enquadra como um dos setores que mais colaboram para a degradação e poluição do meio ambiente. Outra área que colabora com ações prejudiciais ao meio ambiente são as mineradoras, que na extração de seus minérios podem acumular barragens de rejeitos ocasionando a poluição local, visual e o possível risco de desmoronamentos. Partindo do exposto, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um concreto sustentável, com a substituição parcial do agregado miúdo por escória oriunda da extração de ferro-níquel, buscando o reaproveitamento de um resíduo e a melhoria das propriedades físicas e mecânicas do concreto. Afim de se atingir o objetivo proposto, foram realizados ensaios laboratoriais para a fabricação do concreto de referência, com agregado miúdo natural, e do compósito cimentício, com as substituições parciais desse agregado pela escória, cedida pela mineradora Anglo América localizada em Barro Alto – GO, nas proporções de 15%, 40% e 75%. Como resultado, obteve-se um compósito cimentício que superou a resistência do concreto de referência em duas porcentagens de substituição, a de 15% e a de 40%, sendo a de 15% a que obteve os melhores resultados para as 3 idades de ensaio, aos 7, 14 e 28 dias. O aumento seguido de queda na resistência à compressão, com o aumento da porcentagem de substituição de areia por escória, mostra que existe uma quantidade adequada de substituição e que mais estudos devem ser realizados visando a constatação dessa afirmação.

Palavras-chave: sustentabilidade; mineração; construção sustentável; compósito cimentício; resíduo.

ABSTRACT

Sustainability is as an action to avoid effects that are harmful to the environment in the current scenario and in future generations. Civil construction is one of the sectors that most contribute to the increase of the environment degradation. Another area that collaborates with actions that are harmful to the environment are mining companies, which in the extraction of their ores can accumulate tailings dams, causing local and visual pollution and the possible risk of landslides. Based on the that above, this work proposes the development of a sustainable concrete, with a partial replacement of the fine aggregate by slag from iron-nickel extraction, seeking to reuse a residue and improve the physical and mechanical properties of concrete. In order to achieve the proposed objective, experimental tests carried out to manufacture the reference concrete, with natural fine aggregate, and the cementitious composite, with partial replacements of this aggregate by slag, provided by the Anglo America mining company located in Barro Alto - GO , in the proportions of 15%, 40% and 75%. As a result, a cementitious composite was obtained that surpassed the strength of the reference concrete in two replacement percentages, 15% and 40%, with 15% being the one with the best results for 3 years of testing, at 7 , 14 and 28 days. The increase followed by a decrease in the compressive strength, with the increase in the percentage of replacement of fine agregate by slag, shows that there is an adequate amount of replacement and that more studies should be carried out to confirm this statement.

Keywords: sustainability, mining, sustainable construction, cementitious composite, residue.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Primeira ponte de concreto armado.	5
Figura 2 – Materias comumente utilizados na fabricação do concreto.	7
Figura 3 – Teste de Slump.	8
Figura 4 – Tipo de ruptura de corpos de prova.	9
Figura 5 – Corpos de prova rompidos.	10
Figura 6 – Tipos de Compósitos.	11
Figura 7 – Amostra do concreto com adição de fibras de Polipropileno (a) e amostra das fibras de Polipropileno (b) e (c).	12
Figura 8 - Areia reaproveitada dos rejeitos de minério de ferro.	14
Figura 9 - Tijolos fabricados com reaproveitamento dos rejeitos (a). Blocos de coloração acinzentada fabricados com reaproveitamento dos rejeitos (b).	14
Figura 10 – Barragens de escória de ferro-níquel, na mineradora Anglo American.	15
Figura 11 – Coleta de escória de ferro-níquel, na mineradora Anglo American.	16
Figura 12 – Localização das principais reservas minerais brasileiras de alumínio, cobre, estanho, ferro, manganês, nióbio, níquel e ouro.	17
Figura 13 – Fluxograma de plano de pesquisa.	18
Figura 14 – Localização da Mineradora Anglo American.	19
Figura 15 - Escória coletada na Mineradora.	20
Figura 16 – Materiais utilizados.	20
Figura 17 – Materiais utilizados na produção do concreto: Brita (a); Areia (b); Escória (c); Cimento (d); água (e).	21
Figura 18 – Aparelhagem utilizada para a determinação da massa unitária dos agregados.	22
Figura 19 - Preparo para a pesagem dos agregados.	22
Figura 20 - Areia submersa em água (a); Areia espalhada para secagem (b).	23
Figura 21 - Areia e tronco-cônico (a); Frasco com areia (b); Frasco com areia e água (c).	24
Figura 22 - Escorrimento da água da brita (a); Secagem da brita (b); Pesagem da brita no cesto de arame (c); Brita sendo levada para a estufa (d).	25
Figura 23 - Amostra de areia (a); Agitador de Peneiras (b); Quantidade de areia retida em cada peneira (c).	27
Figura 24 - Amostra de escória (a); Agitador de Peneiras (b); Quantidade de escória retida em cada peneira (c).	27

Figura 25 - Amostra de brita (a); Agitador de Peneiras (b).....	28
Figura 26 - Pesagem da peneiração da brita.....	29
Figura 27 – Gráfico para determinação da relação a/c em função das resistências do concreto e do cimento.	30
Figura 28 – Equipamento betoneira utilizado na confecção do concreto.....	34
Figura 29 – Realização do Slump Test. Equipamentos utilizados (a); medição do abatimento (b).	35
Figura 30 – Moldagem dos corpos de prova. Lubrificação (a); inserção do concreto nos moldes (b); adensamento do concreto (c).	35
Figura 31 – Cura do concreto. Cura inicial (a); Câmara úmida (b); corpos de prova em processo de cura (c).	36
Figura 32 - Prensa para ensaio de resistência à compressão.	37
Figura 33 – Corpo de prova rompido. Traço de referência (a); Traço com 15% de substituição (b); Traço com 75% de substituição (c).....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.....	6
Tabela 2 – Consumo aproximado de água.....	31
Tabela 3 - Volume de agregado graúdo compactado por m ³ de concreto.	31
Tabela 4 - Pesagem dos agregados.	38
Tabela 5 - Pesagem dos agregados.	38
Tabela 6 – Dados utilizados para obtenção do volume de água (V _a).....	39
Tabela 7 – Dados utilizados para obtenção da massa específica da areia.	39
Tabela 8 – Dados utilizados para obtenção da massa específica da brita 1.....	40
Tabela 9 – Granulometria do agregado miúdo (areia).....	40
Tabela 10 – Granulometria do agregado miúdo (escoria).	41
Tabela 11 – Granulometria do agregado graúdo (brita 1).	42
Tabela 12 – Dados utilizados para obtenção da resistência da dosagem do concreto.....	43
Tabela 13 – Dados utilizados para obtenção do fator água/cimento.	44
Tabela 14 – Dados utilizados para determinar o consumo de água.....	44
Tabela 15 – Dados utilizados para determinação do consumo de cimento.	44
Tabela 16 – Dados utilizados para obtenção do consumo da brita.....	45
Tabela 17 – Dados utilizados para obtenção de V _m	45
Tabela 18 – Dados utilizados para obtenção do consumo de areia.	45
Tabela 19 – Dados utilizados para o cálculo do consumo dos materiais no traço.	46
Tabela 20 – Traços utilizados no experimento.....	47
Tabela 21 – Resultados da análise de consistência pelo abatimento do tronco de cone.	47
Tabela 22 – Resultados do ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova.	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Formas de destinação dos resíduos da construção civil.....	4
Quadro 2 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto	7
Quadro 3 - Desvio-padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto.	30

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva Granulométrica do agregado miúdo (areia).....	41
Gráfico 2 - Curva Granulométrica do agregado miúdo (escoria).....	42
Gráfico 3 - Curva Granulométrica do agregado graúdo (brita).....	43
Gráfico 4 - Média das resistências à compressão dos corpos de prova nas suas respectivas idades.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- A – Aceleradores de pega.
- ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland.
- CA - Concreto Armado.
- CP – Concreto Protendido.
- Eq. - Equação
- FACEG - Faculdade Evangélica de Goianésia.
- IAR – Incorporadores de Ar.
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.
- Ltda. – Limitada.
- NBR – Norma Brasileira.
- NBR NM – Norma Brasileira Norma Mercosul
- ONU – Organização das Nações Unidas.
- P – Plastificantes.
- PA – Plastificantes Aceleradores.
- PNM - Plano Nacional de Mineração.
- PR – Plastificantes Retardadores.
- R – Retardadores de pega.
- SP – Superplastificantes.
- SPA – Super Plastificantes Aceleradores.
- SPR – Super Plastificantes Retardadores.

LISTA DE SÍMBOLOS

a/c - Relação água/cimento.

ρ_a - Densidade da água na temperatura do banho (g/cm^3).

ρ_b - Massa específica da brita (g/cm^3).

ρ_c - Massa específica do cimento (g/cm^3).

ρ_m - Massa específica da areia (g/cm^3).

ρ_{ar} - Massa unitária do agregado (kg/m^3).

ρ_s - Densidade do agregado na condição seca (g/cm^3).

m_A - Massa da amostra seca em estufa (g).

m_C - Massa da amostra na condição saturada superfície seca, mais a massa do frasco, mais a massa da água (g).

m_D - Massa do conjunto formado na condição saturada superfície seca (g).

m_r - Massa do recipiente vazio (kg).

m_{ar} - Massa do recipiente com o agregado (kg).

m_{unit} - Massa unitária compactada do agregado graúdo (g).

V - Volume (m^3).

V_a - Volume de água adicionada ao frasco (cm^3).

V_b - Volume do agregado graúdo seco (m^3).

V_{cp} - Volume dos corpos de prova (m^3).

C_a - Consumo de água.

C_b - Consumo de agregado graúdo.

C_c - Consumo de cimento.

C_m - Consumo de areia.

f_{cj} - Resistência à compressão do concreto aos j dias (MPa).

f_{ck} - Resistência característica à compressão do concreto (MPa).

S_d - Desvio padrão da dosagem.

SUMÁRIO

RESUMO.....	ix
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	2
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 Objetivo Geral	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
2 REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1 O CONTEXTO AMBIENTAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	4
2.2 CONCRETO.....	5
2.2.1 Conceituação Geral.....	5
2.2.2 Propriedades do Concreto e Ensaio específicos	7
2.3 COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS	10
2.3.1 Conceituação Geral.....	10
2.3.2 Tipos de compósitos cimentícios	11
2.4 ESCÓRIA	15
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
3.1 CRONOGRAMA DAS ATIVIDADES	18
3.1 VISITA À MINERADORA ANGLO AMERICAN PARA A COLETA DA ESCÓRIA	19
3.2 MATERIAIS UTILIZADOS.....	20
3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	21
3.3.1 Determinação da massa unitária	21
3.3.2 Determinação da massa específica dos agregados.....	23
3.3.3 Ensaio de Granulometria.....	26
3.6 DOSAGEM EXPERIMENTAL DO CONCRETO - MÉTODO ABCP/ACI	29
3.6.1 Resistência da dosagem do concreto	29
3.6.2 Fator água/cimento (<i>a/c</i>)	30

3.6.3 Consumo de água (C_a)	31
3.6.4 Consumo de cimento (C_c)	31
3.6.5 Consumo de agregado graúdo (C_b)	31
3.6.6 Consumo do agregado miúdo (C_m)	32
3.6.7 Cálculo do Traço	33
3.7 PRODUÇÃO DO CONCRETO	33
3.7.1 Mistura dos constituintes do concreto	33
3.7.2 Slump Test	34
3.7.3 Moldagem dos corpos de prova	35
3.7.4 Cura do concreto	36
3.8 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	38
4.1.1 Determinação da massa unitária dos agregados	38
4.1.2 Determinação da massa específica	39
4.1.3 Ensaio de Granulometria	40
4.2 DOSAGEM DO CONCRETO	43
4.2.1 Resistência da dosagem do concreto	43
4.2.2 Fator água/cimento (a/c)	43
4.2.3 Consumo de água (C_a)	44
4.2.4 Consumo de cimento (C_c)	44
4.2.5 Consumo de agregado graúdo (C_b)	45
4.2.6 Consumo do agregado miúdo (C_m)	45
4.2.7 Cálculo do Traço	46
4.3 ENSAIO DE ABATIMENTO	47
4.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	48
4.1.3 Análise Visual dos Corpos de Prova submetidos à compressão	50

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....52
REFERÊNCIAS53

1 INTRODUÇÃO

É de conhecimento geral que o mau uso dos recursos naturais, bem como o aumento da degradação do meio ambiente, vem causando sérios danos ao planeta terra, como a mudança climática e a perda da biodiversidade. Segundo Joice Msuya (2019), diretora executiva da ONU Meio Ambiente, se medidas não forem tomadas urgentemente, não haverá amanhã para muitos. Nesse requisito, a Construção Civil se enquadra como um dos setores que mais impactam negativamente o meio ambiente, tanto no que se refere a geração de resíduos e emissão de poluentes quanto na demanda por recursos naturais não renováveis (ARANDA, 2019).

A temática “sustentabilidade” vem ganhando cada vez mais espaço entre pesquisadores das mais diversas áreas, a ideia central de envolver setores específicos com pesquisas nesse segmento é evitar que a escassez de recursos possa impactar negativamente suas atividades, e, para tanto, se busca alternativas sustentáveis que possam suprir a demanda do mercado atual. Para Brundtland (apud TAVARES, 2018) “desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”.

A construção civil já vem realizando diversas pesquisas nesse sentido, visto que para Marques, Gomes e Brandli (2017) “durante a execução de uma obra se verifica boa parte dos impactos causados, o que justifica a necessidade de se inteirar a respeito da intensidade dos mesmos, pois, uma vez priorizados, podem ser reduzidos ou eliminados por meio de ações específicas”. Nesse sentido, é relevante ressaltar que a sustentabilidade e a construção civil devem ser aliadas, afim de promover a preservação ambiental, pois segundo Mantovani (2018), a incorporação das mesmas é uma tentativa de reduzir o impacto ambiental provocado pelo setor.

De acordo com Bezerra, Lira e Silva (2020), a mineração é uma atividade que gera emprego e renda para muitas comunidades em todo o mundo, entretanto, é uma zona que promove grande impacto ambiental, uma vez que, ao extrair os minérios, é necessário que haja a separação entre os minerais e o descarte, formando assim grandes barragens de rejeitos, que, segundo Duarte e Espósito (2009), podem resultar em trágicos desmoronamentos e fazer com que os resíduos sejam despejados no meio ambiente. Dessa forma, torna-se necessário aumentar a quantidade de pesquisas que visem atenuar tais impactos.

Partindo do exposto acima, o presente trabalho visa produzir um concreto sustentável por meio da substituição parcial de agregado miúdo natural por aquele proveniente da extração

de minerais de ferro-níquel, buscando que o mesmo adquira um bom desempenho e uma resistência favorável para ser utilizado em construções, contribuindo assim, com a redução do descarte acumulado nas mineradoras.

1.1 JUSTIFICATIVA

A construção civil, é uma atividade que se torna responsável por grande parte da poluição do meio ambiente e consumo excessivo de recursos naturais (EDWARDS, 2008 apud OLIVEIRA, 2017). Simultânea e positivamente, é um setor que ampara o homem desde o início das civilizações e de acordo com Teixeira e Carvalho (2006), é responsável por promover um impacto importantíssimo na economia brasileira. De forma ampla, afim de buscar soluções para uma construção sustentável, é imprescindível notar a relevância de outras atividades. O setor de mineração, colabora claramente para a economia brasileira, que segundo o Plano Nacional de Mineração 2030 (PNM – 2030), 4,2% no PIB e 20% do valor das exportações brasileiras, são geradas a partir deste ramo (LOBÃO, 2011).

Segundo Silveira (2015) Aliando ambos os setores citados, importantíssimos para a sustentação da economia brasileira e desenvolvimento de um planeta mais ecológico, é possível correlacionar os rejeitos do setor de mineração para serem utilizados de forma sustentável na construção civil, tendo em vista que esta, é responsável pelo detrimento de 15% a 50% dos recursos naturais extraídos.

De forma pontual, observando o cenário palpável para pesquisas e ensaios, se torna viável o estudo da incorporação da escória descartada em mineradoras, para a fabricação de concreto sustentável, utilizado comumente em edificações.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Comparar, através de ensaios laboratoriais, as propriedades mecânicas do concreto convencional, de referência, com o concreto com substituições parciais de agregado miúdo pela escória de ferro-níquel, em proporções de 15%, 40% e 75%.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar o resíduo de ferro-níquel de modo a determinar suas características físicas e químicas para incorporação no concreto;

- Avaliar o compósito cimentício em termos de sustentabilidade apresentando o porque sua fabricação é interessante tanto para o setor construtivo quanto para o meio ambiente;
- Comparar os dois tipos de concreto produzidos, convencional e com substituições parciais do agregado miúdo por resíduo de ferro-níquel, de modo a avaliar os aspectos físicos e mecânicos que os diferenciam, o que será feito por intermédio de ensaios de resistência a compressão.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O CONTEXTO AMBIENTAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Sem dúvida, a questão ambiental é um assunto importante, pois mesmo com muitas medidas a serem definidas para solucionar ou amenizar a situação, infelizmente ainda resta muito a ser feito para a redução dos impactos. Fatores como o descarte adequado do lixo e o tratamento de esgoto, que estão associados à poluição e contaminação dos recursos ambientais que são essenciais para os seres humanos, devem ser corretamente realizados de modo a manter as condições sanitárias de vida da população (BRASIL, 2020).

É importante ressaltar que muitas pesquisas relatam os impactos ambientais que são causados por resíduos depositados de forma desregulada, principalmente na construção civil. A construção civil é determinada como uma área geradora de um enorme volume de resíduos, situação que aumenta a cada dia, entretanto, também é de fundamental importância para a evolução da população (TESSANO; SACCOL DE SÁ; SCREMIN, 2012). De forma geral, os materiais não podem ser descartados da mesma maneira, existem diferentes formas de destinação do resíduo, como demonstra o Quadro 1.

Quadro 1 - Formas de destinação dos resíduos da construção civil

Classes	Destinação
A	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir sua utilização ou reciclagem futura.
B	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir sua utilização ou reciclagem futura.
C	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
D	Deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Fonte: Adaptado BRASIL (2002).

Com o alto número de resíduos gerados pelo setor da construção e ainda pelo constante impacto causado para o meio ambiente, os ataques provocados pelas ações das obras seguem devido as modificações no meio urbano juntamente com as transformações do paisagismo da cidade (LEITE; NETO, 2014). Contudo, as ações realizadas para reduzir os impactos ambientais representam a possibilidade de amenizar a situação atual da degradação ambiental apresentada nos países (ARAÚJO, 2002).

2.2 CONCRETO

2.2.1 Conceituação Geral

Assim como várias matérias possuem sua origem natural, o concreto provém da rocha sedimentar. O material surgiu no Império Romano, como uma composição de cacos de pedras, água, areia, cal e a pozolana (material silicioso de origem vulcânica). Com o passar do tempo o concreto foi evoluindo cada vez mais, de modo que com a junção com o ferro, para melhor resistência, surgiu o concreto armado. Um dos marcos na história do concreto foi a primeira ponte de concreto armado na França (Figura 1) feita por Joseph Monier, em 1875 (BUNDER, 2016). Desde então, o material é bastante utilizado nas obras de todo o mundo.

Figura 1 - Primeira ponte de concreto armado.



Fonte: BUNDER (2016).

O concreto, de maneira específica, é um produto ou massa com a reação composta por cimento, água, agregados finos e grossos. Podem ser utilizados diversos tipos de cimentos para a produção do concreto, além de agregados de pozolana como cinza volante, escória de alto-forno, sílica-ativa, adições minerais, entre outros componentes (NEVILLE; BROOKS, 2013). Desse modo é comum que seja empregado na construção de estradas, ruas, pontes, edifícios, casas, barragens, entre outras utilidades (KOSMATKA; *et al.* 2004).

O concreto é um material utilizado para fins estruturais e pode se apresentar de três diferentes formas: concreto simples (sem armadura); concreto armado (com uma armadura não pré-tracionada); e concreto protendido (com armadura pré-tracionada ativa). Quando é acrescentado uma armadura de aço no concreto comum, tem-se o concreto armado, que é

utilizado para montagem de lajes, fundações, vigas e pilares, permitindo uma grande segurança em relação a sustentação, já que o aço e o concreto reagem juntos, porém cada um com a sua resistência (COUTO; CARMINATTI; NUNES,2012).

Para a fabricação do concreto, é necessário estabelecer a correta proporção entre os materiais que o constituem, o que é conhecido como dosagem ou traço. Um ponto importante em relação ao seu preparo é a quantidade de água a ser adicionada à mistura, que deve seguir a risca aquilo que foi estabelecido no traço calculado. A água de amassamento é responsável por ativar a reação química que torna o cimento um aglomerante, dando liga à mistura. De acordo com o Portal do Concreto (2021), a quantidade define a qualidade do produto final, de modo que uma quantidade inferior a ideal não permite que ocorra a reação necessária por completo e uma quantidade superior, acarreta em queda na resistência em função do surgimento de poros quando esse excesso enfim evaporar. A relação estabelecida entre concreto e água é conhecida como relação água/cimento (a/c) e constitui o mais importante fator considerado no processo de dosagem.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) traz, na seção 7.4, a Tabela 1, que apresenta a correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto. Frente ao nível de agressividade, a norma apresenta os parâmetros mínimos que devem ser cumpridos para assegurar a durabilidade do material. Os requisitos mínimos apresentados nesta tabela, estão em função da relação a/c , que está diretamente ligada à resistência a compressão do concreto e sua vida útil. Na Tabela 1, as siglas CA e CP fazem referência, respectivamente, à concreto armado e concreto protendido.

Tabela 1- Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

Fonte: Adaptado de NBR 6118 (ABNT, 2018)

Os principais aspectos a serem observado de modo a se obter um concreto que apresente bons resultados em termos de resistência, durabilidade, bom aspecto visual e economia são: as propriedades de cada um dos materiais que constituem a mistura (que são abaixo apresentados);

propriedades do concreto e fatores que causam sua alteração; correta proporção da mistura; modo de manuseio durante fabricação, aplicação e processo de cura.

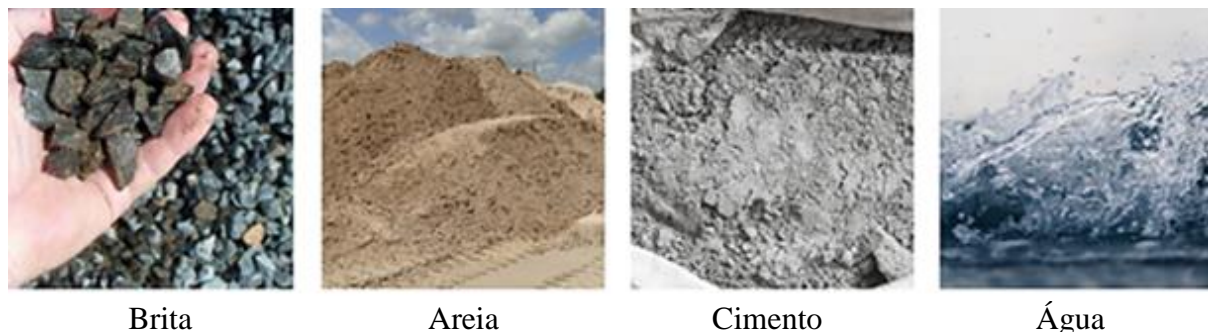
Conforme Oliveira (2015), os itens que podem constituir a mistura do concreto são os apresentados no Quadro 2, a autora apresenta ainda suas principais características. A Figura 2 mostra os materiais mais comumente usados na mistura.

Quadro 2 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Constituinte	Características
Aglomerantes	Em geral utiliza-se o cimento, material que em contato com a água gera uma reação exotérmica de cristalização que leva à resistência mecânica.
Agregado miúdo	Utiliza-se a areia, que pode ser natural (rios, minas, várzeas) ou artificial (pó de pedra proveniente de pedreiras), sendo sua classificação de acordo com os grãos que passam pela peneira ABNT 4,8mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075mm.
Agregado Graúdo	Pedregulho ou brita obtidos, em geral, em mineiradora, sua classificação se dá de acordo com os grãos que passam pela peneira ABNT 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT 4,8 mm.
Aditivos	São substâncias que podem ser adicionadas ao material visando a melhoria de alguma de suas propriedades. Principais tipos: plastificantes (P), retardadores de pega (R), aceleradores de pega (A), plastificantes retardadores (PR), plastificantes aceleradores (PA), incorporadores de ar (IAR), superplastificantes (SP), super plastificantes retardadores (SPR) e super plastificantes aceleradores (SPA).
Adições	São, também, adições que podem ser realizadas visando alteração e melhorias de propriedades. Alguns são inseridos aos cimentos ainda em fábrica, como a cinza volante, escória de alto forno, materiais carbonáticos, entre outros.

Fonte: Adaptado de Oliveira (2015)

Figura 2 – Materias comumente utilizados na fabricação do concreto.



Fonte: Adaptado de konkreta (2021).

2.2.2 Propriedades do Concreto e Ensaio específicos

De acordo com Neville (2016), a resistência do concreto transmite uma ideia simplificada da sua qualidade, além de ser determinada como a propriedade mais importante,

embora existam outras bastante significativas, como a durabilidade e a permeabilidade. Quando se trata da resistência, o concreto também recebe classificações: concreto de baixa resistência (<20MPa); concreto de resistência normal (de 20 a 50 MPa) e concreto de alta resistência (50MPa) (LIMA; *et al.*, 2013).

Para indentificar a resistência, durabilidade e consistência do concreto foram criados modos de ensaios de compressão. Para chegar ao resultado final é indispensável passar por etapas como: fazer a pesagem, análise e mistura dos materiais a serem utilizados; em seguida o ensaio de abatimento por tronco de cone, mais conhecido como *Teste de Slump* (Figura 3), onde o concreto fresco é colocado em três camadas dentro de um tronco de cone (que deve ser firmado com os dois pés), cada camada é compactada com 25 golpes com uma ferramenta denominada haste, após esse processo o tronco é retirado restando apenas o concreto, sendo assim com uma trena possível saber o valor obtido no teste de abatimento (ADOLFATO, 2002).

Figura 3 – Teste de Slump.



Fonte: ESCOLA ENGENHARIA (2019).

Após esse processo, é realizada a moldagem dos corpos de prova, compactando o concreto assim como feito no teste de slump, e posteriormente após 24 horas devem ser desmoldados e levados para câmara úmida para cura sendo retido somente no dia de ruptura. A última etapa é a colocação do corpo de prova na prensa hidráulica, para obter o resultado através dos corpos de prova através do rompimento (Figura 4).

De acordo com a NBR 5739:2018 (Concreto-Ensaio de Compressão de Corpos de prova), existem vários tipos de rupturas como Cônica e cônica afastada em 25 mm do

capeamento; Cônica e bipartida e cônica com mais de uma partição; Tipo C –Coluna com formação de cones; Tipo D –Cônica e cisalhada; Tipo E –Cisalhada; Tipo F – Fraturas no Topo/ou na base abaixo do capeamento; Tipo G – Similar ao tipo F –com fraturas próximas ao topo. Portanto, a cada corpo de prova rompido tem um tipo de fissura a ser analisada, como exemplifica a Figura 5.

Figura 4 – Tipo de ruptura de corpos de prova.

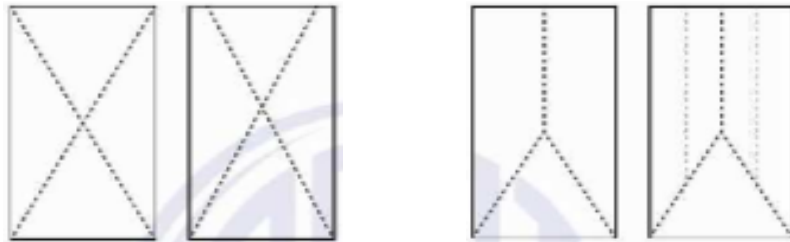


Figura 4.1 – Tipo A – Cônica e Cônica afastada em 25 mm do capeamento

Figura 4.2 – Tipo B – Cônica e bipartida e cônica com mais de uma partição

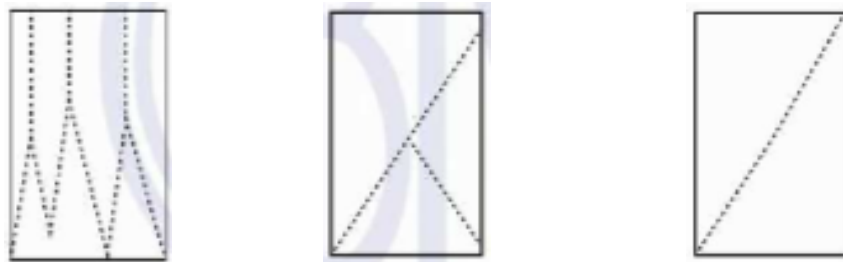


Figura 4.3 – Tipo C – Coluna com formação de cones

Figura 4.4 – Tipo D – Cônica e cisalhada

Figura 5.5 – Tipo E - Cisalhada



Figura 4.6 – Tipo Fraturas no topo e/ou na base abaixo do capeamento



Figura 4.7 – Tipo G – Similar ao tipo F – com fraturas próximo ao topo

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5739:2018.

Figura 5 – Corpos de prova rompidos.



Fonte: RESENDE (2016).

2.3 COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS

2.3.1 Conceituação Geral

De acordo com Santos (2018), os compósitos podem ser caracterizados pela junção de dois ou mais materiais distintos com a finalidade de apresentar um produto final de maior qualidade. Este já é um processo antigo na construção civil, no qual, desde o início das civilizações, se utilizava fibras vegetais, como capim e palha para a obtenção de barro cru segundo Guimarães, Novack e Botaro (2010).

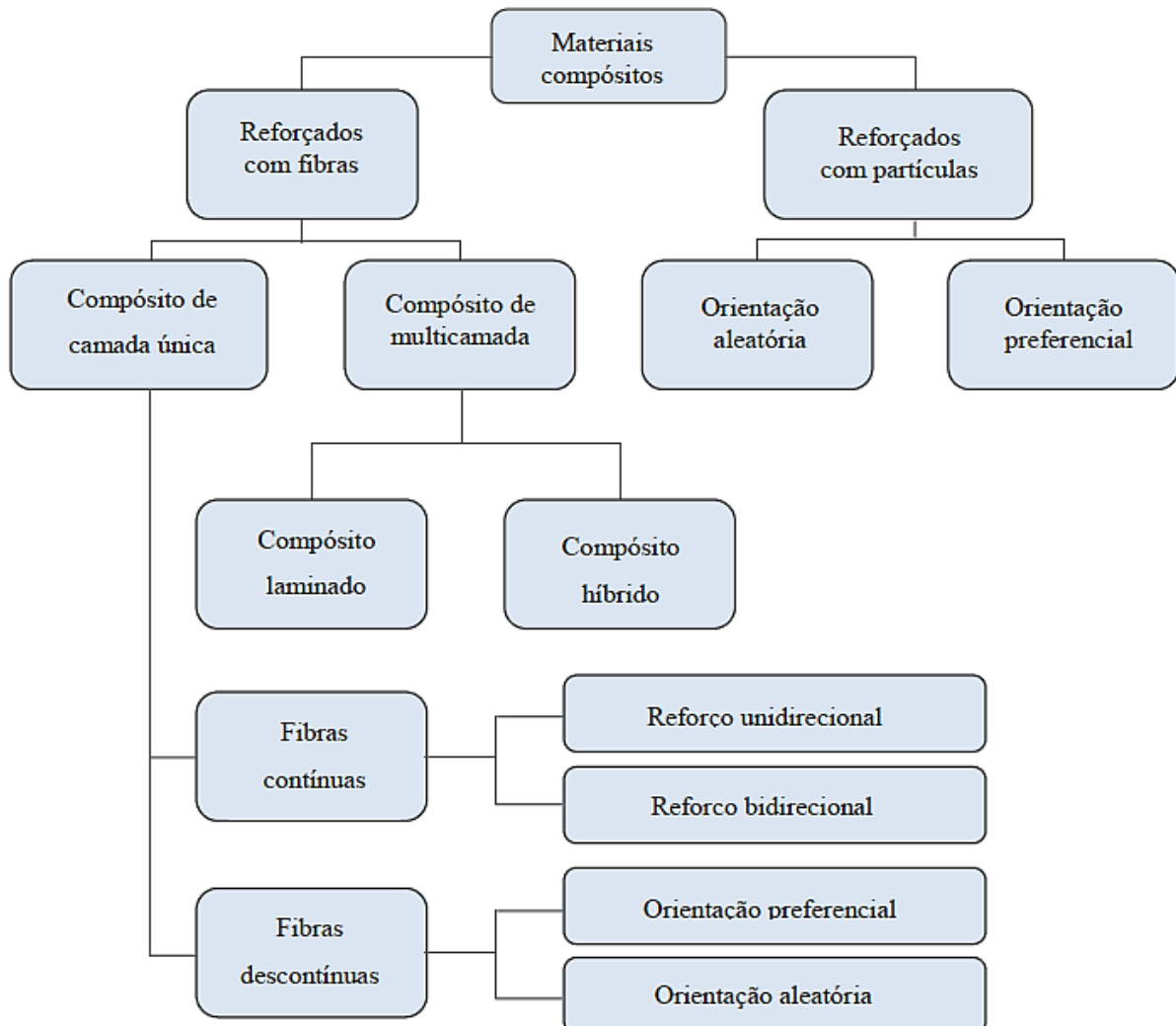
Mediante o avanço dos estudos dedicados à melhoria das construções, a partir do século XX, pode-se analisar que adicionar materiais aos concretos, poderia desencadear diversos tipos do mesmo com características e propriedades específicas, afim de melhorar a resistência à tração e compressão, regredir possíveis fissuras, além de promover a diminuição de impactos ambientais (PERRONE *et al.*, 2011). Ressalta-se que agregar materiais à mistura, sendo eles vegetais ou sintéticos, não torna o concreto livre de fissuras, entretanto, deve ser considerado que estes insumos ao invés de serem descartados no meio ambiente, podem ter uma finalidade sustentável na construção civil, como destaca Oliveira, Golveia e Teixeira (2014).

Segundo Weber (2018), atualmente esses compósitos servem para o feitiço de placas de cobertura, divisórias internas, revestimentos externos, e outras finalidades, desde que alcancem as especificações das normas técnicas pertinentes. No entanto, Paccola *et al.* (2015) afirmam que o propósito dos materiais compósitos é o de melhores propriedades físicas, mecânicas e econômicas da combinação de dois ou mais materiais diferentes, sendo o conceito comumente empregado na Construção Civil na fabricação de concreto armado.

2.3.2 Tipos de compósitos cimentícios

Pautando-se nas diferentes propriedades que possuem cada material que pode ser empregado na matriz, a escolha do compósito deve ser realizada de acordo com a função do tipo de aplicação do material resultante. Outros fatores que irão interferir diretamente são o custo, a viabilidade técnica e as vantagens ambientais (MARQUES, 2015). Para realizar a escolha, é importante conhecer os tipos de compósitos e sua classificação, o que é apresentado na Figura 6 por meio de um fluxograma.

Figura 6 – Tipos de Compósitos.



Fonte: Marques (2015).

2.3.2.1 Materiais compósitos – Reforçados com fibras

Analisando os compósitos em termos do elemento de reforço, este pode ser dividido em particulado ou fibroso. Um dos tipos mais comuns de compósitos cimentícios fabricados são aqueles com a inserção de fibras em sua matriz. Essa agregação pode ser feita a partir de diferentes tipos de materiais, como o aço, vidro, polipropileno (Figura 7), náilon, fibra textil, e até mesmo de descartes orgânicos (FIGUEIREDO, 2005).

Figura 7 – Amostra do concreto com adição de fibras de Polipropileno (a) e amostra das fibras de Polipropileno (b) e (c).



Fonte: Site Neomatrix – Fibras e Têxteis Técnicos para Engenharia (2021).

Em compósitos fibrosos a orientação e o número de fibras utilizadas é que determina sua resistência. Um compósito com fibras contínuas e descontínuas é analisado de acordo com o comprimento da fibra e possui uma grande importância, pois a ligação da fibra-matriz rompe na extremidade da fibra quando uma tensão é empregada no conjunto. Além disso, a definição da utilização de qual configuração é a mais apropriada dependerá do método de fabricação e aplicação do material (REIS, *et al.*, 2019).

2.3.2.2 Materiais compósitos – Reforçados com partículas

Por sua vez, os compósitos reforçados com partículas, possuem a fase de partículas mais dura e rígida em relação à fase matriz. Segundo Faria (2017), o concreto simples é um exemplo claro desse tipo de compósito, uma vez que este é formado pela junção de cimento como fase matriz, areia e brita.

Mediante o que cita Cordeiro e Désir, os materiais polozolânicos podem ser empregados nas misturas do concreto, e o seu uso não é novidade dentro da construção civil. Aplica-se os materiais, tais como a sílica ativa, cinza volante, cinza da casca de arroz, argila calcinada afim de encontrar um efeito satisfatório na mistura, por meio das partículas desdes materiais, que em geral possuem tamanho micrométrico e posicionam-se entre as intrínsecas partículas de cimentos. A partir da pesquisa realizada por Cordeiro e Dési, para o concreto produzido com 15% de substituição de cimento Portland por argila calcinada, apresentou aumento no ensaio de resistência à compressão.

Pedaços de vidro agregados às misturas do concreto, são interessantes a serem utilizados, pelo fato de ser um material de uso comum pela população e por isso, o seu descarte de forma inadequada, pode contribuir para a poluição do meio ambiente (CORREIA, FRAGA, RIBEIRO, LIMA, 2018). Mediante o estudo aprofundado e ensaios realizados, os autores observaram que os concretos fabricados a substituição parcial de 75% de areia natural pelo vidro, se mostraram muito consistentes e conseqüentemente o seu módulo de finura apresentou um melhor desenvolvimento mecânico.

2.3.2.3 Compósitos cimentícios reforçados com agregado de mineração

Segundo o relatório de pesquisa da IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2012), a atividade de mineração gera o movimento e extração de grandes volumes e massas de materiais, dentre eles, os resíduos que podem ser classificados em dois principais tipos: os estéreis e os rejeitos. Os resíduos oriundos dessas atividades não deixam de ser recursos que o ambiente fornece, os quais são modificados pelo ser humano para sanar necessidades e para administrar o setor da indústria de construção, ocorrendo dessa forma, o desenvolvimento econômico de uma região (KARPINSK; PANDOLFO; REINEHR, 2009).

As adições minerais, podem se aliar à construção civil afim de trazer melhorias na característica do concreto, como resistência à compressão, abrasão, trabalhabilidade e podem influenciar no estado fresco e endurecido da mistura, segundo o que aborda (SILVA, 2019). O concreto produzido com adições minerais, podem desempenhar a fabricação de pré moldados, argamassas, blocos, lajotas para pisos, tijolos e demais aplicações (SILVEIRA, 2015).

De acordo com Narciso (2018), é imprescindível analisar que a reutilização desses resíduos, vão muito além de questões sustentáveis e ambientais, é vantajoso também para as empresas e mineradoras que produzem tais resíduos, eliminando assim, os custos com armazenamento local e agregando valor ao material descartado.

Uma pesquisa realizada em uma mineradora, denominada Minério Itaúna Ltda. - MINERITA, localizada município de Itaúna-MG, baseou-se no reuso e agregação de rejeitos na construção civil (SILVEIRA. 2015). A pesquisa focou, principalmente, na fabricação de pré-moldados, e mostrou que a areia reaproveitada (Figura 8) é uma alternativa viável ecológica e socialmente, sendo considerada como uma das alternativas mais eficazes para a minimização dos danos causados pelas enormes barragens de rejeitos. Como resultado final dessa pesquisa, obteve-se a produção de blocos e tijolos com o material reaproveitado, como pode-se observar na Figura 9.

Figura 8 - Areia reaproveitada dos rejeitos de minério de ferro.



Fonte: SILVEIRA (2015).

Figura 9 - Tijolos fabricados com reaproveitamento dos rejeitos (a). Blocos de coloração acinzentada fabricados com reaproveitamento dos rejeitos (b).



(a)

(b)

Fonte: SILVEIRA (2015).

No âmbito financeiro há vantagens e desvantagens na utilização de aditivos minerais: os custos de energia são reduzidos, por não haver a lavra do mineral, entretanto há um elevado custo para o processo de beneficiamento dos finos de minério, o que torna o reaproveitamento desvantajoso (SILVEIRA, 2015).

2.4 ESCÓRIA

As escórias se formam pela agregação das impurezas do minério de ferro, juntamente com a adição de fundentes (calcário e dolomita) e as cinzas do coque (carvão mineral) (THOMAZ, 2016). De acordo com Santos (2013), as escórias mais estudadas e utilizadas em pesquisas, são a de alto-forno e de aciaria, que são um subproduto da fabricação de ferro e aço, gerada a partir das adições de cal virgem.

A partir da extração de ferro-níquel, gera-se grandes acúmulos de escória proveniente desta extração, que são consideradas como rejeitos. O minério de ferro-níquel, constitui-se em um metal ferromagnético, com elevada dureza, em coloração branco brilhante o qual serve para a composição de várias ligas de aços inoxidáveis, como cita Feitosa e Neves (2017). Embora não muito estudada e aplicada em projetos de pesquisa como as escórias de alto forno e aciaria, a escória de ferro-níquel é gerada no processo de fusão do minério de níquel, em forno elétrico trifásico, onde elementos não metálicos, tais como SiO_2 , MgO e FeO , são granulados na presença de água (BARRO ALTO PRESENTATION, 2012, apud SANTOS, 2013). A Figura 10 apresenta barragens de escória de ferro-níquel, estando estas localizadas na mineradora Anglo American, na cidade de Barro Alto – GO.

Figura 10 – Barragens de escória de ferro-níquel, na mineradora Anglo American.



Fonte: Autoras (2021).

Uma pesquisa realizada afim de produzir concretos de alta resistência com substituição parcial de cimento por finos de escória de aciaria, os concretos com substituição de até 40% se mostraram mecanicamente competentes, superando a resistência mecânica do concreto de referência (CARVALHO, FIGUEIREDO, PEIXOTO, 2019).

Outro estudo realizado, dessa vez por Diniz e Reis (2019), constata-se que a escória de ferro-níquel possui altos teores de sílica e magnésio e possivelmente pertence ao grupo das olivinas, que apresentam cor verde oliva, explicando seu nome e a coloração da escória citada, como demonstra a Figura 11. Quando a escória derretida é rapidamente resfriada com água em uma lagoa, ou resfriada com jatos de água poderosos, se forma em um fino, granular, quase totalmente não cristalino, forma vítrea conhecida como escória granulada, tendo propriedades hidráulicas.

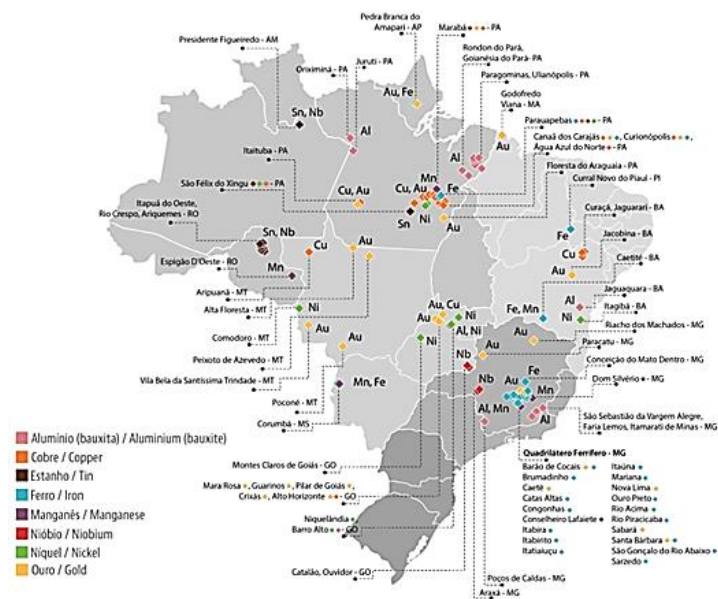
Figura 11 – Coleta de escória de ferro-níquel, na mineradora Anglo American.



Fonte: FEITOSA, G. F.A; NEVES, M.O (2017).

De acordo com o *site* geotechconsultoria.com as principais reservas de minério brasileiras estão no Sudeste, Norte e Centro-Oeste. Explorando minérios como cobre, estanho, ferro, nióbio, níquel dentre outros. Se tratando do níquel o mapa (Figura 12) demonstra que as mineradoras exploradoras de níquel estão localizadas em Mato Grosso, Goiás, Bahia, Pará.

Figura 12 – Localização das principais reservas minerais brasileiras de alumínio, cobre, estanho, ferro, manganês, nióbio, níquel e ouro.



Fonte: AMN (2019).

Segundo Yuksel (2018), quando adicionado nas proporções certas, a mistura mineral melhora o trabalhabilidade do concreto fresco, sendo esta uma propriedade importante de produtos frescos, como argamassa ou concreto. Era sabido que a incorporação de adições minerais no concreto levaria a um aumento geral nas propriedades do concreto fresco que levaria a melhorar a consistência.

Vaclavic *et al.* (2012) afirmam que quanto mais fina é a moagem da escória, melhores são algumas propriedades, especialmente a resistência, trabalhabilidade e ligação. A escória de alto forno finamente moído tem uma área de superfície específica maior e, portanto, uma área de superfície de reação de água maior. Eles concluíram que a substituição por cimento acima de 20% em massa aumenta a consistência da mistura de concreto.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizado um programa experimental para obtenção dos compósitos cimentícios com substituições parciais de agregado miúdo pela escória de ferro-níquel. O preparo do material compósito foi feito com a cooperação e utilização de ferramentas disponíveis no Laboratório de Materiais e Estruturas, localizado na Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA, e na Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG.

A pesquisa experimental foi possível graças ao apoio da Mineradora de ferro níquel, denominada Anglo American, localizada em Barro Alto – GO. A referida empresa forneceu a escória, que é um rejeito acumulado por meio da extração do minério principal. Nos itens subsequentes são descritos os procedimentos executados no desenvolver do experimento.

3.1 CRONOGRAMA DAS ATIVIDADES

Para o desenvolvimento da pesquisa, algumas etapas precisaram ser rigorosamente realizadas, estando estas apresentadas no Fluxograma da Figura 13.

Figura 13 – Fluxograma de plano de pesquisa.



Fonte: Autoras (2021).

Conforme apresentata o referido fluxograma, primeiramente foi realizada uma pesquisa em campo por intermédio de um visita à Mineradora Anglo American, na ocasião, foi realizada a coleta da escória. Após a preparação de todos os materiais necessários para a realização dos ensaios, os mesmos foram executados: ensaio de granulometria, determinação da massa unitária e específica dos agregados e por fim, o cálculo do traço do concreto. Com o traços em mãos, o concreto foi produzido e, com as porcentagens especificadas de substituições para a pesquisa, moldou-se os corpos de prova, que passaram então pelo processo de cura e posterior rompimento, para determinação da resistência à compressão.

3.1 VISITA À MINERADORA ANGLO AMERICAN PARA A COLETA DA ESCÓRIA

Para que os ensaios fossem realizados, foi necessário fazer uma visita à mineradora Anglo American, que fica na cidade de Barro Alto – GO e cuja imagem via satélite é apresentada na Figura 14.

Figura 14 – Localização da Mineradora Anglo American.

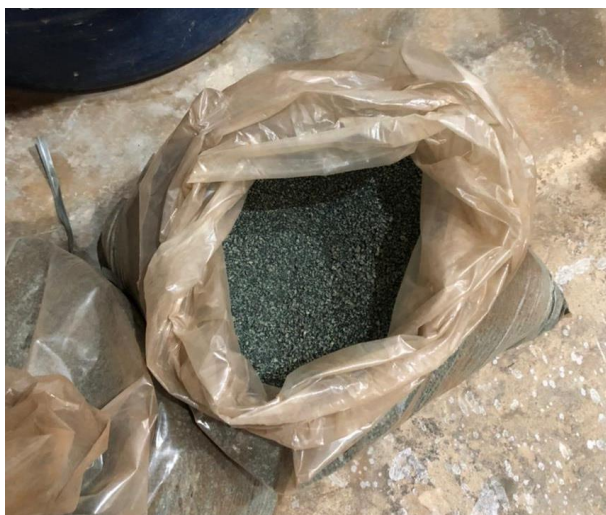


Fonte: Google Maps (2021).

Na ocasião, foi realizada a coleta de 2 amostras de escória, pesando 15kg cada uma, como mostra a Figura 15. De acordo com o responsável técnico da Anglo American, 13 milhões

de toneladas são movimentadas por ano, quantidade da qual 5 milhões são de fato minério, onde 2,4 milhões são destinados para a planta para serem processadas e 84% são a escória.

Figura 15 - Escória coletada na Mineradora.



Fonte: Autoras (2021).

3.2 MATERIAIS UTILIZADOS

Para a produção dos corpos de prova, baseando-se em pesquisas já realizadas, foram adotadas as substituições parciais de agregado miúdo nas porcentagens de 15%, 40% e 75% por escória de ferro níquel, além do resíduo de mineração: Cimento Portland CP II F 32; brita 1; areia e água, materiais apresentados na Figura 16.

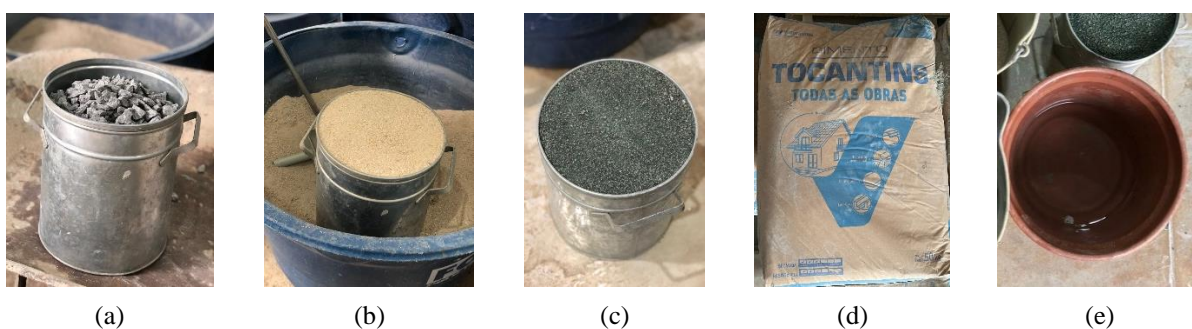
Figura 16 – Materiais utilizados.



Fonte: Autoras (2021).

Os agregados utilizados foram escolhidos por serem aqueles comumente empregados na fabricação de concretos, sendo a brita 1 o agregado graúdo (Figura 17.a) e a areia artificial média lavada o agregado miúdo utilizado (Figura 17.b). A escória de ferro níquel empregada, conforme já mencionado, foi obtida através da mineradora de ferro níquel Anglo American, sendo esta um resíduo de mineração (Figura 17.c). O cimento escolhido para a produção do concreto foi o CP II F-32 (Figura 17.d), cujas propriedades químicas e físicas foram obtidas através de laudos da ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, que encontram-se disponíveis em sites de buscas. A água adicionada à mistura foi aquela disponibilizada pela rede de abastecimento da cidade de Anápolis-GO (Figura 17.e). Os agregados e a água foram fornecidos pelo Laboratório de Materiais do Centro Tecnológico da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA, o cimento, por sua vez, foi adquirido por meio de compra formal em uma loja de materiais de construção.

Figura 17 – Materiais utilizados na produção do concreto: Brita (a); Areia (b); Escória (c); Cimento (d); água (e).



Fonte: Autoras (2021).

3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

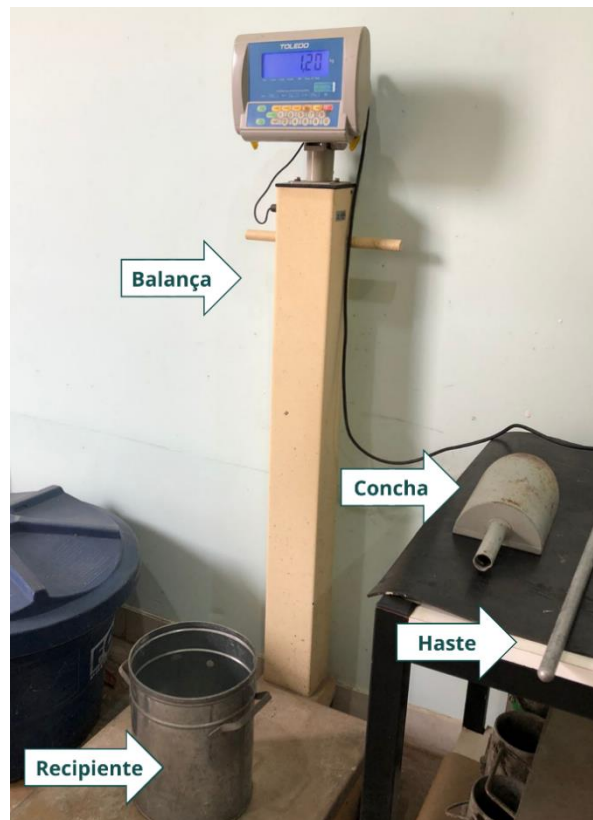
3.3.1 Determinação da massa unitária

A determinação da massa unitária dos agregados foi realizada como prescreve a NBR 16972 (ABNT,2021). A aparelhagem utilizada, é apresentada na Figura 18 e consiste em: uma balança calibrada; uma haste de adensamento de aço de 16mm de diâmetro e 600mm de comprimento; um recipiente com dimensões de 27cm de altura x 21,5cm de diâmetro e peso de 1,20kg; e uma concha com tamanho adequado para encher o recipiente.

Para a determinação da massa unitária da areia, brita e escória, foi adotado o Método C, prescrito pela NBR 16972 (ABNT,2021) e apresentado na seção 8.4. Para tanto, inicialmente

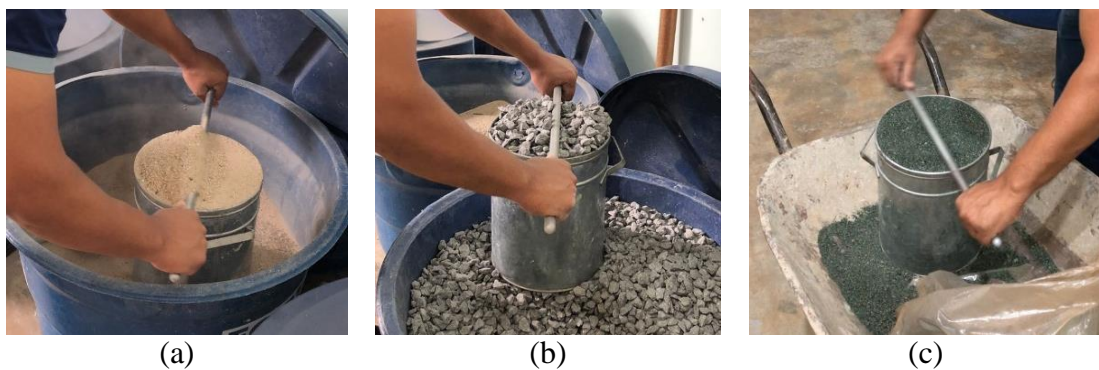
pesou-se o recipiente vazio, e em seguida, o mesmo foi preenchido pelos agregados (gráúdo, miúdo e escória) com o auxílio de uma concha, até que eles transbordassem e fossem nivelados para a pesagem, conforme demonstra a Figura 19. O processo de pesagem se repetiu 3 vezes, para cada um dos agregado, para que pudesse ser realizada a coleta dos dados necessários para o cálculo de suas respectivas massas unitárias.

Figura 18 – Aparelhagem utilizada para a determinação da massa unitária dos agregados.



Fonte: Autoras (2021).

Figura 19 - Preparo para a pesagem dos agregados.



Fonte: Autoras (2021).

A determinação da massa unitária dos agregados foi realizada seguindo o prescrito na NBR NBR 16972 (ABNT,2021). A Eq. (1) foi utilizada para o cálculo.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (1)$$

Onde:

ρ_{ar} é a massa unitária do agregado, expressa em quilograma por metro cúbico (kg/m³);

m_{ar} é a massa do recipiente com o agregado, expressa em quilograma (kg);

m_r é a massa do recipiente vazio, expressa em quilograma (kg);

V é o volume do recipiente com o agregado, expresso em metros cúbicos (m³).

3.3.2 Determinação da massa específica dos agregados

Para a determinação da massa específica dos agregados, baseou-se na NBR 16916 (ABNT 2021) para agregados miúdos e na NBR 16917 (ABNT 2021) para os agregados graúdos.

3.3.2.1 Massa específica do agregado miúdo – Areia

Para determinação da massa específica da areia, agregado miúdo utilizado para a fabricação do concreto, utilizou-se 2 kg da amostra, disponibilizada pela UniEVANGÉLICA. Seguindo os procedimentos especificados na NBR 16916 (ABNT 2021), inicialmente espalhou-se a amostra nas bandejas e estas foram cobertas com água, conforme mostra a Figura 20.a, sendo mantidas assim por 24 horas. Após este processo, retirou-se a água e areia foi espalhada em uma bancada, para que pudesse secar com a corrente de ar suave por tempo livre, verificando-se sempre o estado da areia (Figura 20.b).

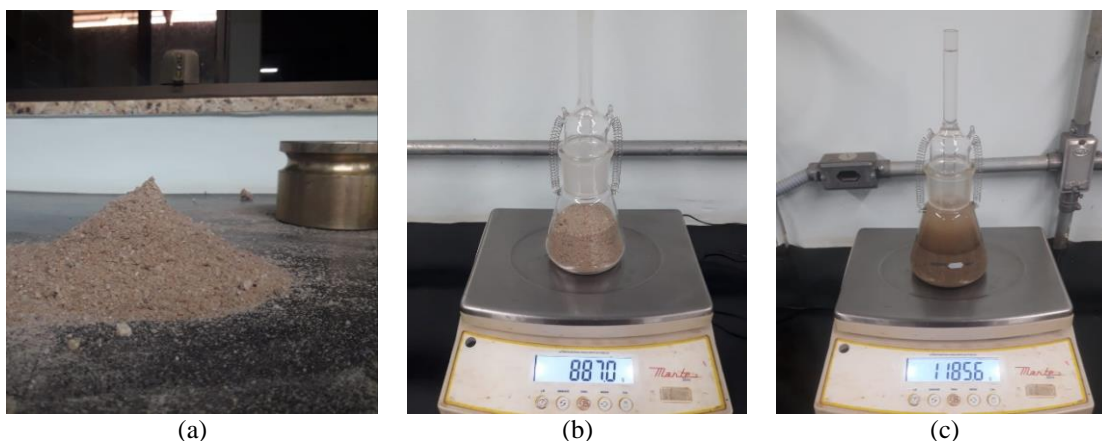
Figura 20 - Areia submersa em água (a); Areia espalhada para secagem (b).



Fonte: Autoras (2021).

Após esse processo, a amostra foi colocada no molde tronco-cônico, sem muita compressão e recebeu 25 golpes leves com a haste de compactação, tendo sido o molde retirado em seguida, afim analisar o estado do agregado, como consta na Figura 21.a. Prosseguindo com a determinação, 500g da areia em análise foi colocada em um frasco com tampa, para que a massa do conjunto fosse anotada (Figura 21.b).

Figura 21 - Areia e tronco-cônico (a); Frasco com areia (b); Frasco com areia e água (c).



Fonte: Autoras (2021).

Feito isso, adicionou-se água ao frasco, próximo e abaixo da marca de 500mL, e houve uma espera de 1h para que se adicionasse mais água até a marca exata de 500mL, determinando assim a massa total com exatidão (Figura 21.c). A amostra na condição saturada superfície seca foi colocada em uma bandeja e levada para a estufa, onde permaneceu por 24h, afim de determinar a massa da amostra seca com precisão.

Para a determinação da massa específica da areia, na condição seca, foi utilizada a Eq. (2), descrita na NBR 16916 (ABNT 2021).

$$\rho_s = \frac{m_A}{V - V_a} \quad (2)$$

Onde:

ρ_s é a densidade do agregado na condição seca, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3);

m_A é a massa da amostra seca em estufa a $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, expressa em gramas (g);

V é o volume do frasco calibrado, em centímetros cúbicos (cm^3);

V_a É o volume de água adicionada ao frasco, expresso em centímetros cúbicos (cm^3).

Para a determinação de V_a , utilizou-se a Eq. (3).

$$V_a = \frac{m_D - m_C}{\rho_a} \quad (3)$$

Onde:

m_D é a massa do conjunto formado pela massa da amostra na condição saturada superfície seca, mais a massa do frasco, expressa em gramas (g);

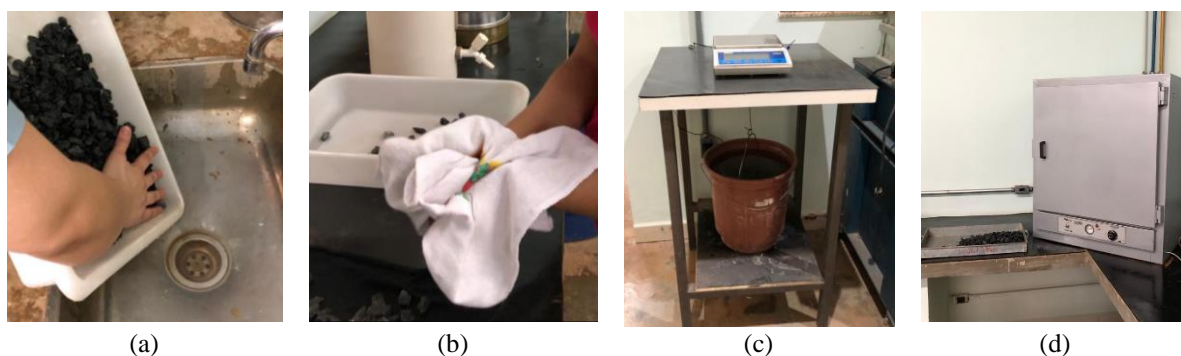
m_C é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, mais a massa do frasco, mais a massa da água, expressa em gramas (g);

ρ_a é a densidade da água na temperatura do banho, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3).

3.3.2.2 Massa específica de agregado graúdo – Brita 1

Para que o procedimento com o agregado graúdo, ou seja a Brita 1, fosse realizado, utilizou-se 3kg do material, que passou pelo processo de lavagem, utilizando uma peneira com malha de 4,75mm, em água corrente sendo, em seguida, o material despejado em uma bandeja com água, onde permaneceu submerso durante 24h. Conforme a Figura 22.a, após o tempo mencionado, toda a água da bandeja foi descartada, e o material passou pelo processo de secagem com panos (Figura 22.b). Em seguida, a brita foi pesada afim de determinar a massa da amostra na condição saturada superfície seca, e colocada em um cesto de arame que foi submerso em água, como mostra a Figura 22.c, o que foi feito para a determinação da massa da amostra submersa em água. Por fim, o agregado graúdo foi levado para a estufa (Figura 22.d), onde permaneceu por 24h e logo após, pesado para a obtenção da massa de amostra seca em estufa.

Figura 22 - Escorrimento da água da brita (a); Secagem da brita (b); Pesagem da brita no cesto de arame (c); Brita sendo levada para a estufa (d).



Fonte: Autoras (2021).

Para a determinação da massa específica da brita 1, na condição seca, foi utilizada a Eq. (4), descrita na NBR 16917 (ABNT 2021).

$$\rho_s = \frac{m_A}{m_B - m_C} \quad (4)$$

Onde:

ρ_s é a densidade do agregado na condição seca, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm³);

m_A é a massa da amostra seca em estufa a (105±5) °C, expressa em gramas (g);

m_B é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, expressa em gramas (g);

m_C é a massa da amostra submersa em água na condição saturada superfície seca, expressa em gramas (g).

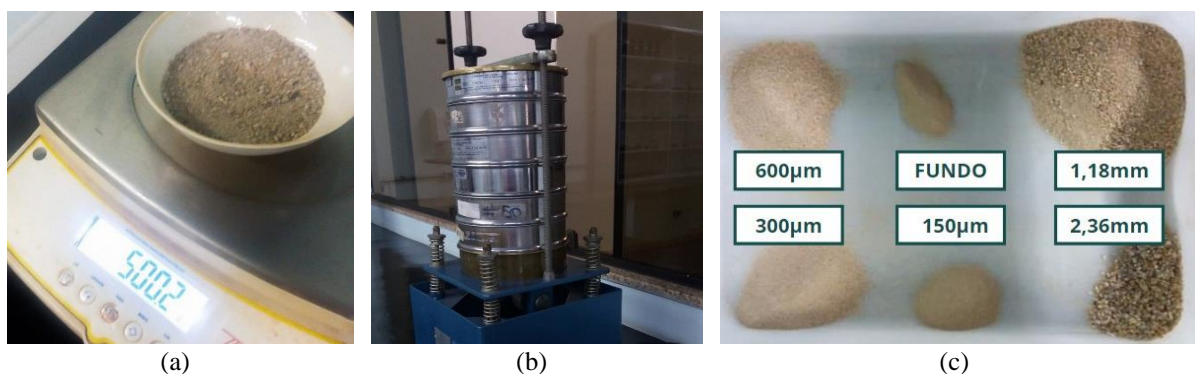
3.3.3 Ensaio de Granulometria

A caracterização da granulometria dos agregados foi realizado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), utilizando os seguintes equipamentos: Jogo de peneiras padronizadas da ABNT, com fundo e tampa; balança; almofariz e mão de grau; cápsulas para determinação de umidade, agitador de peneiras e estufa.

3.3.3.1 Granulometria do agregado miúdo – Areia

Para o ensaio de granulometria da areia, foram utilizadas as peneiras de 4,75mm, 2,36mm, 1,18mm, 600µm, 300µm, 150µm e fundo, como consta na NBR NM 248 (ABNT, 2003). Uma amostra de 500g de areia foi reservada e pesada (Figura 23.a), para dar início ao processo de peneiramento mecanizado (Figura 23.b). Após 5 minutos de peneiramento, as peneiras foram sendo desempilhadas com os respectivos acúmulos de agregados, fazendo assim as anotações necessárias quanto às quantidades retidas em cada uma das peneiras, como mostra a Figura 23.c.

Figura 23 - Amostra de areia (a); Agitador de Peneiras (b); Quantidade de areia retida em cada peneira (c).

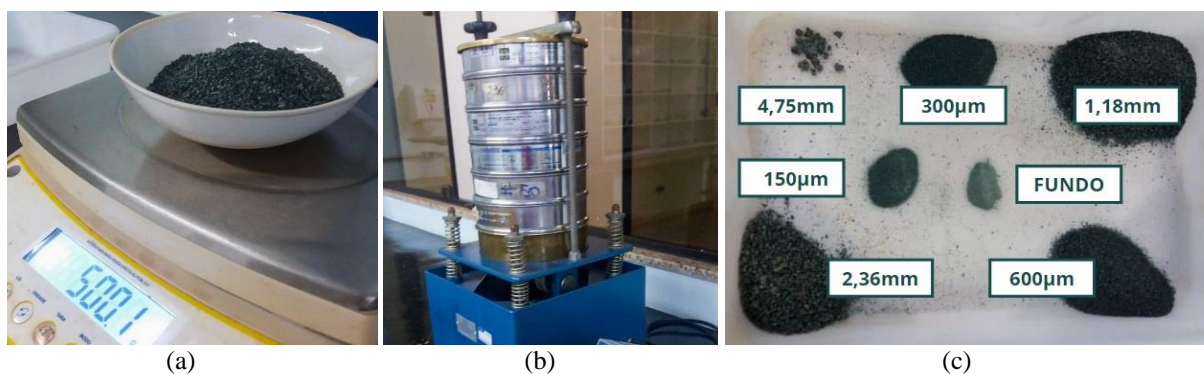


Fonte: Autoras (2021).

3.3.3.2 Granulometria do agregado miúdo – Escória

Assim como realizado no procedimento da areia, para a escória também foram adotadas as peneiras de 4,75mm, 2,36mm, 1,18mm, 600µm, 300µm, 150µm e fundo, utilizando também a NBR NM 248 (ABNT, 2003). Foram reservadas e pesadas 500g de escória (Figura 24.a), processo prosseguido de um tempo de 5 minutos de peneiramento mecanizado (Figura 24.b). Após esse tempo, as peneiras foram desempilhadas, sendo possível observar e anotar as respectivas massas retidas em cada peneira, como mostra a Figura 24.c.

Figura 24 - Amostra de escória (a); Agitador de Peneiras (b); Quantidade de escória retida em cada peneira (c).



Fonte: Autoras (2021).

3.3.3.3 Granulometria do agregado graúdo – Brita 1

Para o procedimento de determinação da granulometria da brita 1, pela NBR NM 248 (ABNT, 2003), foram utilizadas as peneiras de 19,00mm, 12,50mm, 9,50mm, 4,75mm, 2,36mm. Para dar início ao ensaio, foram pesados 5kg de brita 1 (Figura 25.a), em seguida, o

material foi colocado na pilha de peneiras, sob o agitador de peneiras, onde permaneceu por 5 minutos (Figura 25.b).

Figura 25 - Amostra de brita (a); Agitador de Peneiras (b).



(a)

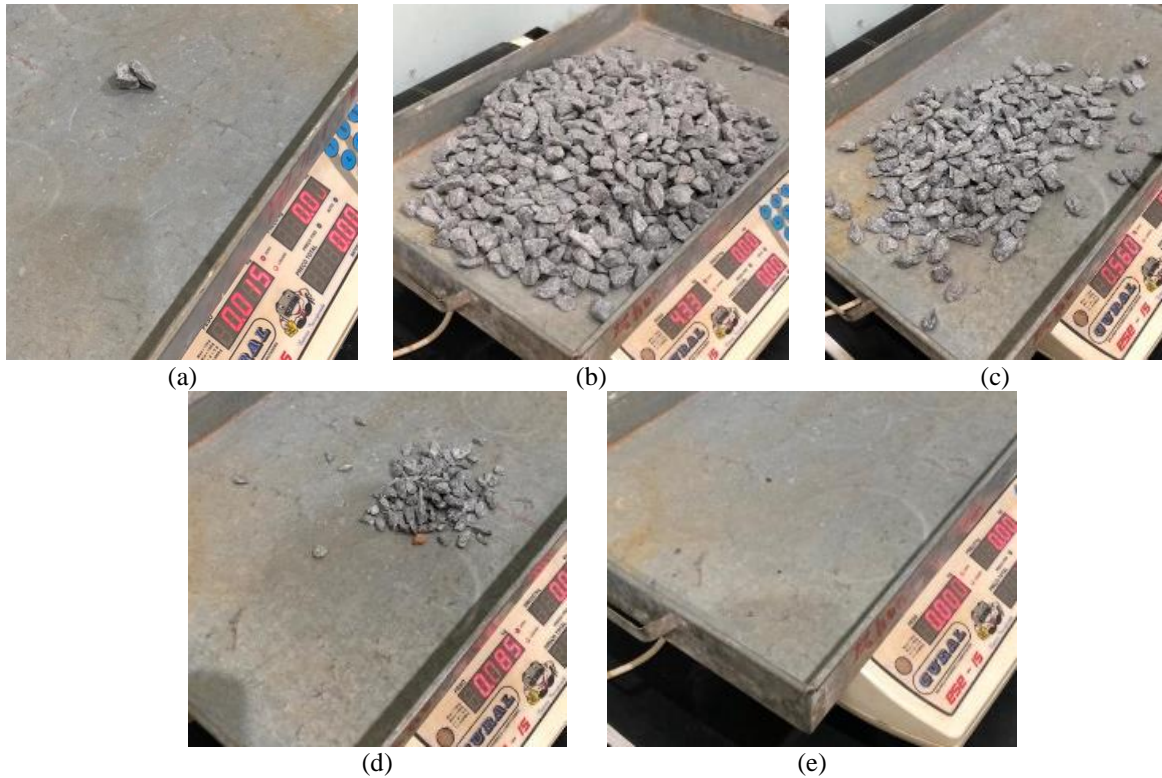


(b)

Fonte: Autoras (2021).

Finalizado esse tempo de peneiramento, as massas retidas de cada peneira foram sendo observadas e anotadas. Este processo foi realizado 3 vezes. A Figura 26 apresenta imagens da terceira vez em que foi realizado o processo de peneiramento de forma detalhada, onde cada uma das imagens, de (a) até (e), mostra as quantidades pesadas retidas em cada peneira utilizada (19,00mm 12,50mm; 9,50mm, 4,75mm, 2,36mm), respectivamente.

Figura 26 - Pesagem da peneiração da brita.



Fonte: Autoras (2021).

3.6 DOSAGEM EXPERIMENTAL DO CONCRETO - MÉTODO ABCP/ACI

O cálculo para o traço utilizado no presente trabalho, referente a dosagem do concreto, foi baseado no método ABCP/ACI . Seguindo os passos descritos nesta seção.

3.6.1 Resistência da dosagem do concreto

A resistência da dosagem do concreto ao total de dias em função do esforço solicitante de cálculo (S_d), foi determinada pela Eq. (5).

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65S_d \quad (5)$$

Onde:

- f_{cj} resistência à compressão do concreto aos j dias;
- f_{ck} resistência característica à compressão do concreto.

O valor do desvio-padrão S_d , de acordo com a medição dos componentes do concreto e a verificação do teor de umidade, ou seja, em função do rigor da produção do concreto, aos 28 dias, foi fixado pelo critério estabelecido no Quadro 3.

Quadro 3 - Desvio-padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto.

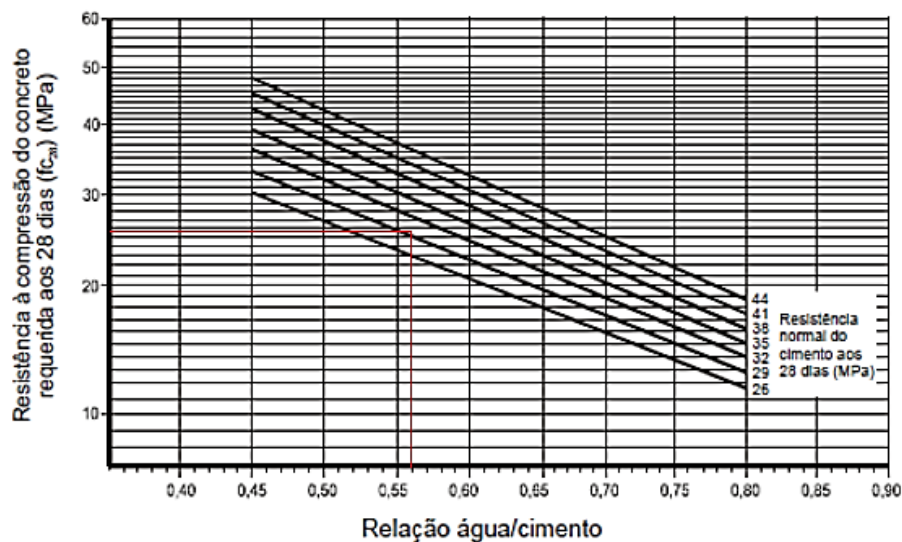
Condição de preparo do concreto	Desvio-padrão (MPa)
A	4,0
B	5,0
C	7,0

Fonte: Adaptada, NBR 12655:2015.

3.6.2 Fator água/cimento (a/c)

Para a determinação do fator água/cimento é necessário conhecer a resistência mecânica à compressão desejada ao concreto. Desse modo, pode-se selecionar um valor apropriado com o auxílio da Figura 27.

Figura 27 – Gráfico para determinação da relação a/c em função das resistências do concreto e do cimento.



Fonte: MÉTODO ABCP/ACI

3.6.3 Consumo de água (C_a)

Para estimar o volume de cimento (C_a) bastou somente procurar na Tabela 2, o valor que corresponde ao abatimento desejado para o concreto e a dimensão máxima do agregado graúdo a ser utilizado.

Tabela 2 – Consumo aproximado de água.

Consumo de água aproximado (l/m ³)					
Abatimento (mm)	D _{máx} agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: Adaptado de MÉTODO ABCP/ACI

3.6.4 Consumo de cimento (C_c)

O consumo do cimento por metro cúbico de concreto (m³) foi obtido dividindo o consumo de água (C_a) pelo fator água/cimento (a/c) como apresentado na Eq. (6).

$$C_c = \frac{C_a}{a/c} \quad (6)$$

3.6.5 Consumo de agregado graúdo (C_b)

O consumo de agregado graúdo por metro cúbico de concreto (m³) foi obtido utilizando as informações da Tabela 3. Onde, primeiramente deve-se ter a função da dimensão máxima característica do agregado graúdo utilizado e do módulo de finura da areia para descobrir o volume do agregado.

Tabela 3 - Volume de agregado graúdo compactado por m³ de concreto.

MF	Dimensão máxima (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,925	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745

MF	Dimensão máxima (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Adaptada de MÉTODO ABCP/ACI

Em seguida, para a determinação do consumo de agregado graúdo foi preciso utilizar a Eq. (7).

$$C_b = m_{unit} \times V_b \quad (7)$$

Onde:

m_{unit} Massa unitária compactada do agregado graúdo;

V_b Volume do agregado graúdo seco por m³ de concreto.

3.6.6 Consumo do agregado miúdo (C_m)

O consumo de agregado miúdo, areia (C_m), por metro cúbico de concreto fresco é obtido pela diferença entre a soma dos volumes absolutos dos demais constituintes já calculados em relação a 1 m³ de concreto, Eq. (8), sendo o consumo de areia obtido pela Eq. (10).

$$V_m = 1 - \left(\frac{C_c}{\rho_c} + \frac{C_b}{\rho_b} + C_a \right) \quad (8)$$

$$C_m = V_m \times \rho_m \quad (9)$$

Onde:

V_a volume de areia;

C_c consumo do cimento;

C_b consumo da brita;

C_a consumo de água;

C_m consumo de areia;

ρ_c massa específica do cimento;

ρ_b massa específica da brita;

ρ_m massa específica da areia.

3.6.7 Cálculo do Traço

Após a realização de todos os cálculos apresentados anteriormente, foi possível determinar os traços de concreto que foram utilizados na fabricação do concreto neste trabalho. Vale ressaltar que neste trabalho foram produzidos quatro diferentes traços: um de referência, sem nenhuma substituição de materiais, e os demais com a substituição parcial do agregado miúdo pela escória de ferro-níquel nas porcentagens de 15%, 40% e 75%.

Para determinar o primeiro traço, o de referência, foi necessário calcular primeiramente o volume dos corpos de prova (V_{cp}), obtido em relação as suas medidas, e utilizar o consumo de cada material, cujo cálculo foi apresentado nas seções anteriores. A equação matemática utilizada para a determinação do consumo de cimento (C_c) foi a Eq. (10).

$$C_c = \frac{V_{cp}}{\frac{1}{\rho_c} + \frac{m_m}{\rho_m} + \frac{m_b}{\rho_b} + \frac{m_a}{\rho_a}} \quad (10)$$

Sabendo que o traço segue a relação de proporção (Cimento : Areia : Brita1 : Água) e o cimento é tomado como referência, obteve-se o traço a ser utilizado para a moldagem dos corpos de prova de referência. A determinação dos próximos três traços, referentes às substituições, foram feitos de maneira rápida e eficaz, recalculando somente a quantidade de areia e escória por meio da regra de três, mantendo a quantidade de cimento brita e água.

3.7 PRODUÇÃO DO CONCRETO

Com os cálculos realizados, passou-se para a parte de produção do concreto, dividida em quatro etapas: concreto de referência, concreto com substituição parcial de 15%, concreto com substituição parcial de 40%, concreto com substituição parcial de 75%. Para a confecção dos concretos, utilizou-se os traços previamente calculados para cada um deles.

3.7.1 Mistura dos constituintes do concreto

Seguindo a relação de proporção dos traços previamente calculados, os materiais constituintes da massa foram misturados em equipamento betoneira com capacidade de 250 litros disponível no laboratório (Figura 28). O procedimento de confecção do concreto foi realizado de acordo com NBR 12655 (ABNT, 2015).

Figura 28 – Equipamento betoneira utilizado na confecção do concreto.

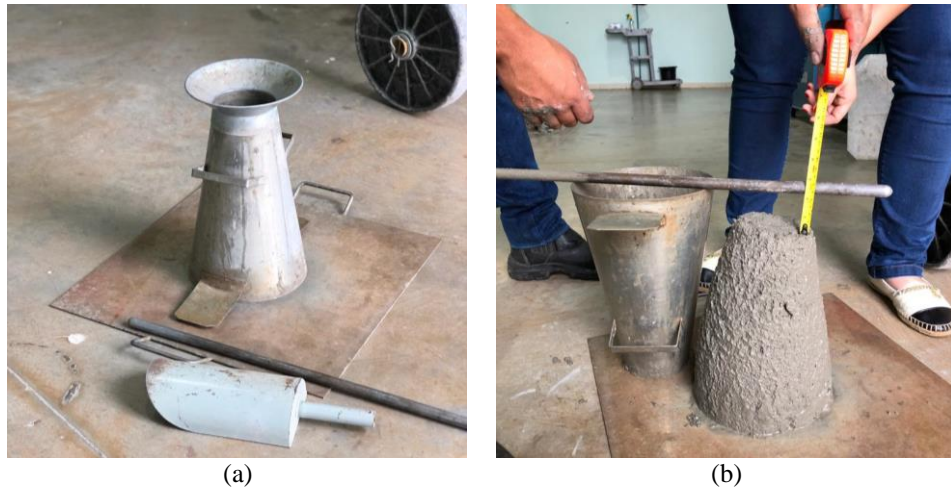


Fonte: Autoras (2021).

3.7.2 Slump Test

Após a mistura, foi realizado o ensaio de abatimento de tronco de cone, popularmente conhecido como *Slump Test*, para os 4 tipos de traços fabricados. Para o ensaio, utilizou-se a aparelhagem prescrita na NBR 67 (ABNT, 1998), composta pelo tronco de cone, haste de compactação, e placa de base e concha, que são mostrados na Figura 29.a. O concreto, depois de ser misturado na betoneira, foi colocado no tronco de cone dividido em 3 camadas, que receberam 25 golpes cada uma com a haste de compactação. Após esse processo, foi feita a retirada do tronco de cone, o mesmo foi colocado ao lado da massa invertido para a realização da medição do abatimento. A medição se deu com o auxílio da haste de compactação e de uma trena, processo esse que pode ser visualizado pela Figura 29.b.

Figura 29 – Realização do Slump Test. Equipamentos utilizados (a); medição do abatimento (b).



Fonte: Autoras (2021).

3.7.3 Moldagem dos corpos de prova

Para moldagem dos corpos de prova, foi coletada uma amostragem de concreto fresco, conforme a NBR NM 33 (ABNT, 1998). Os moldes metálicos utilizados apresentavam dimensões de 20 x 10 cm. Estes foram, inicialmente, lubrificados internamente (com um produto não reagente com o cimento) com o auxílio de um pincel (Figura 30.a), o que se faz necessário para facilitar a desmoldagem do corpo de prova, como ampara a NBR 5738 (ABNT, 2015). Em seguida, com uma concha de seção U, o concreto foi colocado dentro dos moldes. (Figura 30.b). Por ter a forma cilíndrica e dimensão básica de 10 cm, a mistura foi colocada em 2 camadas e cada uma recebeu 12 golpes para adensamento, como mostra a Figura 30.c. Todas as especificações seguiram rigorosamente a norma citada.

Figura 30 – Moldagem dos corpos de prova. Lubrificação (a); inserção do concreto nos moldes (b); adensamento do concreto (c).



Fonte: Autoras (2021).

3.7.4 Cura do concreto

Após o período de cura inicial de 24h, onde os moldes permaneceram sobre uma superfície horizontal rígida (Figura 31.a), livre de vibrações e de qualquer outra ação que pudesse perturbar o concreto, os corpos de prova foram desmoldados. Por fim, estes foram levados para uma câmara úmida (Figura 31.b), onde permaneceram (Figura 31.c) até suas respectivas datas de rompimento, ensaio de resistência à compressão axial, que se deu aos 7, 14 e 28 dias. Todo processo foi realizado de acordo com o previsto pela NBR 5738 (ABNT, 2015).

Figura 31 – Cura do concreto. Cura inicial (a); Câmara úmida (b); corpos de prova em processo de cura (c).



Fonte: Autoras (2021).

3.8 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O Ensaio de Resistência a Compressão foi realizado baseando-se na NBR 5739 (ABNT, 2018). Os corpos de prova foram rompidos em idades de 7, 14 e 28 dias. Ressaltando que a idade foi contada a partir do momento da moldagem. Para a realização do ensaio, os corpos de prova foram centralizados no prato inferior da prensa utilizada no ensaio (Figura 32), com o auxílio da circunferência de referência que a prensa possui. Durante a realização do ensaio, o carregamento aplicado somente foi cessado quando houve uma queda de força que indicou ruptura. A análise foi realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA.

Figura 32 - Prensa para ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Autoras (2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico serão abordados os resultados obtidos desde a caracterização dos agregados até a cura e rompimento dos corpos de prova. São apresentadas nesta seção os dados do teste de abatimento de tronco de cone e a análise visual dos corpos de prova após ruptura.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.1.1 Determinação da massa unitária dos agregados

A pesagem dos materiais constituintes do concreto para obtenção da massa unitária foi realizada 3 vezes, conforme especificado na seção 3.3.1 deste trabalho, que descreve todo procedimento realizado para obtenção dos dados que são apresentados na Tabela 4. Os valores são apresentados em kg.

Tabela 4 - Pesagem dos agregados.

Agregado	1ª Pesagem (kg)	2ª Pesagem (kg)	3ª Pesagem (kg)
Areia	15,30	15,30	15,20
Brita 1	14,55	14,65	14,70
Escória	15,60	15,60	15,50

Fonte: Autoras (2021).

Logo após a pesagem dos materiais, foi possível encontrar a massa unitária de cada um, utilizando a Eq. (1), apresentada na sessão 3.3.1, os valores são apresentados na Tabela 5, em kg/m³.

Tabela 5 - Pesagem dos agregados.

Agregado	1ª Pesagem (kg/m³)	2ª Pesagem (kg/m³)	3ª Pesagem (kg/m³)
Areia	1560,85	1560,85	1550,65
Brita 1	1484,34	1494,54	1499,64
Escória	1591,45	1581,25	1581,25

Fonte: Autoras (2021).

A comparação entre as três pesagens de cada agregado, apresentada na Tabela 5, se mostra válida, pois segundo a NBR 16972 (ABNT,2021), a diferença entre dois resultados individuais, obtidos a partir de uma mesma amostra, não poderiam apresentar um valor maior que 40 kg/m³.

4.1.2 Determinação da massa específica

4.1.2.1 Massa específica do agregado miúdo – Areia

Para que a massa específica da areia (ρ_m) pudesse ser encontrada, foi realizada a primeira pesagem da areia em um frasco, com e sem água, afim de encontrar o volume de água (V_a) adicionada, o cálculo desse parâmetro foi realizado utilizando a Eq. (3), apresentada na seção 3.3.2.1, e demonstrada a substituição dos dados na Tabela 6, o valor obtido para (V_a) foi de 298,6 cm³.

Tabela 6 – Dados utilizados para obtenção do volume de água (V_a).

	m_D	m_C	ρ_a
Valores	1185,6 g	887,0 g	1000 g/cm ³

Fonte: Autoras (2021).

Em seguida, utilizando a Eq. (2), também presente na seção 3.3.2.1 e os dados expostos na Tabela 7, foi possível encontrar a massa específica para o agregado miúdo (ρ_m) de 2,483 g/cm³.

Tabela 7 – Dados utilizados para obtenção da massa específica da areia.

	m_A	V	V_a
Valores	500 g	500 cm ³	298,6 cm ³

Fonte: Autoras (2021).

O resultado obtido para a massa específica da areia, ρ_m de 2,483 g/cm³, está dentro do intervalo preestabelecido pela NBR 8953 (ABNT, 2015), que indica que a massa específica seca para concreto normal desse material deve estar entre 2,000 g/cm³ e 2,800 g/cm³.

4.1.2.2 Massa específica de agregado graúdo – Brita 1

Para a obtenção da massa específica da brita 1 (ρ_b), como agregado graúdo do concreto na condição seca, utilizou-se a Eq. (4), apresentada na seção 3.3.2.2. Os dados obtidos para a determinação desse parâmetro são apresentados na Tabela 8. Por intermédio desses dados, obteve-se um ρ_b de 2,834 g/cm³.

Tabela 8 – Dados utilizados para obtenção da massa específica da brita 1.

	m_A	m_B	m_C
Valores	2978,9 g	2950,3 g	1899 g

Fonte: Autoras (2021).

4.1.2.3 Massa específica – Cimento

A massa específica para o cimento (ρ_c) é indicado em normativa específica para cada tipo de cimento. Como neste trabalho utilizou-se o CP II F-32, a NBR 16605 (ABNT, 2017) determina que se utilize uma massa específica de 3,11 g/cm³, devido a sua classificação.

4.1.3 Ensaio de Granulometria

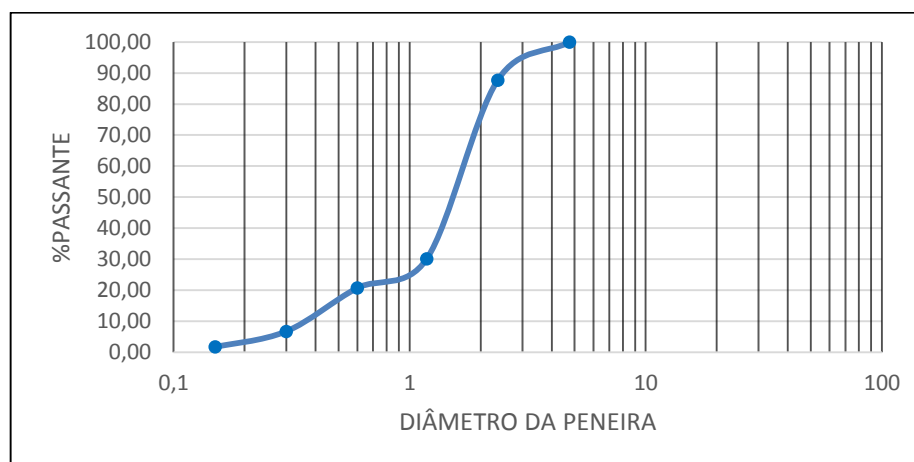
4.1.3.1 Granulometria do agregado miúdo – Areia

Seguindo o procedimento experimental descrito na seção 3.3.3.1 deste trabalho, que foi baseada na NBR NM 248 (ABNT, 2003), foi possível obter os dados apresentados na Tabela 9. Através desses dados, construiu-se a curva granulométrica para este agregado, que é apresentada no Gráfico 1.

Tabela 9 – Granulometria do agregado miúdo (areia).

Peneiras	Massa Retida (g)	% retida	% retida acumulada	% passante acumulada
4,75 mm	0	0,00	0,00	100,00
2,36 mm	60,0	12,27	12,27	87,73
1,18 mm	242,9	49,67	61,94	30,06
600 μ m	84,9	17,36	79,30	20,70
300 μ m	70,9	14,50	93,80	6,70
150 μ m	21,8	4,46	98,26	1,74
FUNDO	8,5	1,74	100,00	0,00
TOTAL	488,70			

Fonte: Autoras (2021).

Gráfico 1 - Curva Granulométrica do agregado miúdo (areia).

Fonte: Autoras (2021).

Segundo Montanari e Gonçalves (2016), a distribuição granulométrica serve para demonstrar as características de um agregado, influenciando diretamente nas propriedades do concreto, o que justifica a importância da obtenção desse dado para os agregados utilizado na pesquisa.

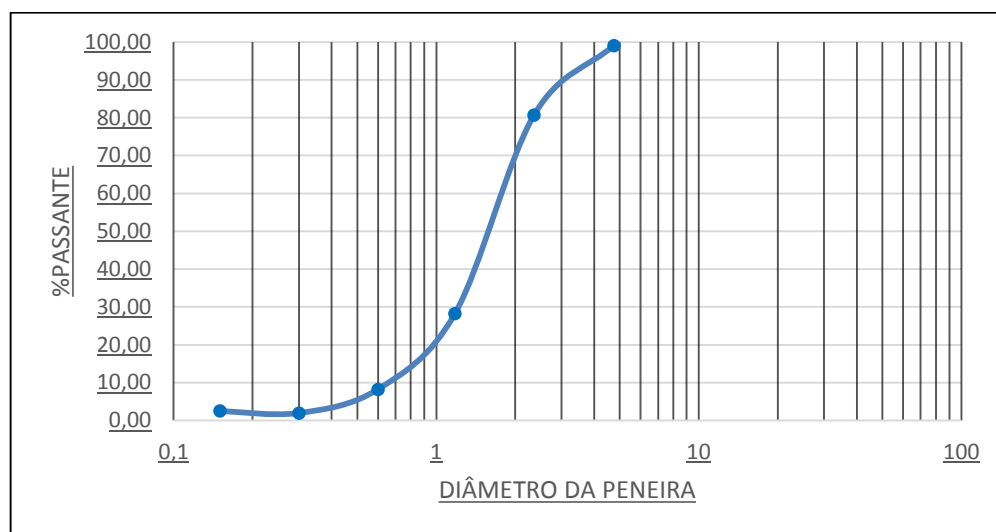
4.1.3.2 Granulometria do agregado miúdo – Escória

Para a obtenção da granulometria da escória, agregado miúdo utilizado neste trabalho em substituição parcial da areia, realizou-se o procedimento experimental apresentado na seção 3.3.3.2, presentes na NBR NM 248 (ABNT, 2003). Os dados obtidos para chegar ao resultado estão apresentados na Tabela 10. Através desses dados, foi possível construir a curva granulométrica para o resíduo, que é apresentada no Gráfico 2.

Tabela 10 – Granulometria do agregado miúdo (escoria).

Peneiras	Massa Retida (g)	% retida	% retida acumulada	%passante acumulada
4,75 mm	4,4	0,90	0,90	99,10
2,36 mm	90,2	18,36	19,26	80,74
1,18 mm	257,8	52,46	71,72	28,28
600 µm	98,5	20,04	91,76	8,24
300 µm	30,8	6,27	98,03	1,97
150 µm	7,1	1,44	99,47	2,57
FUNDO	2,6	0,53	100,00	0,00
TOTAL	491,40			

Fonte: Autoras (2021).

Gráfico 2 - Curva Granulométrica do agregado miúdo (escoria).

Fonte: Autoras (2021).

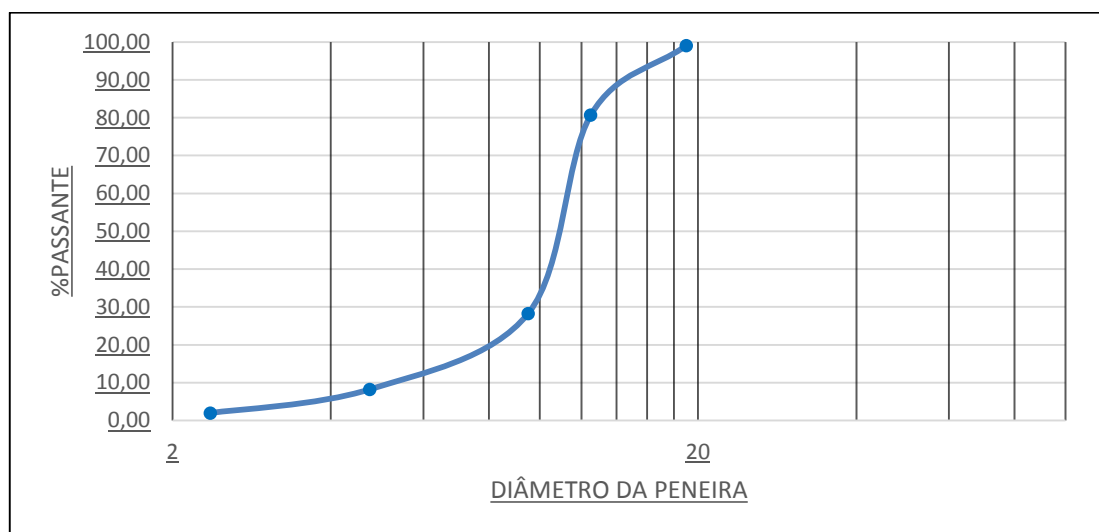
4.1.3.2 Granulometria do agregado graúdo – Brita 1

O procedimento realizado para determinação da granulometria do agregado graúdo, apresentado na seção 3.3.3.3, permitiu a obtenção dos dados que são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Granulometria do agregado graúdo (brita 1).

Peneiras	Massa retida (g)	Retida (%)	%Retida Acumulada	%passante acumulda
19,00mm	0,02	0,40	0,4	99,60
12,50mm	4,18	83,78	84,18	15,82
9,50mm	0,67	13,45	97,63	2,37
4,75mm	0,12	2,34	99,96	0,04
2,36mm	0,01	0,10	66,67	33,33

Fonte: Autoras (2021).

Gráfico 3 - Curva Granulométrica do agregado graúdo (brita).

4.2 DOSAGEM DO CONCRETO

4.2.1 Resistência da dosagem do concreto

Para encontrar a resistência da dosagem do concreto, utilizou-se a Eq. (5), presente na sessão 3.6.1, aplicando os dados disponibilizados na Tabela 12. O f_{ck} adotado neste projeto foi 20 MPa, e, analisando o Quadro 2, que apresenta os valores de S_d em função do rigor da produção, o valor obtido foi $S_d = 4$, que corresponde à condição A, concreto rodado em laboratório e pesado em massa. Após a aplicação dos dados, apresentados na Tabela 12, na Eq. (5), obteve-se um resultado do f_{cj} de 25,65 MPa.

Tabela 12 – Dados utilizados para obtenção da resistência da dosagem do concreto.

	f_{ck}	S_d
Valores	20 MPa	4

Fonte: Autoras (2021).

4.2.2 Fator água/cimento (a/c)

Para a determinação do fator água/cimento foi necessário conhecer a resistência à compressão do concreto aos 28 dias e a resistência de dosagem do concreto (f_{cj}), obtida na seção 4.2.1. Esses dados são apresentados na Tabela 13. Esse fator é dependente ainda de um gráfico disponibilizado pela NBR 6118 (ABNT, 2014), presente na seção 3.6.2 deste trabalho,

Figura 30. Desse modo, entrando com os dados da Tabela 13 no gráfico da Figura 30, obteve-se uma relação a/c para este trabalho de 0,560.

Tabela 13 – Dados utilizados para obtenção do fator água/cimento.

	f_{cj}	Resistência à compressão do cimento aos 28 dias
Valores	25,65 MPa	32 MPa

Fonte: Autoras (2021).

4.2.3 Consumo de água (C_a)

Após a determinação dos parâmetros necessários, que são apresentados na Tabela 14, utilizou-se a Tabela 2, apresentada na seção 3.6.3 deste trabalho, para determinar o consumo de água da mistura (C_a). O encontro desses dois dados na Tabela 2, estipulou a quantidade de água a ser utilizada, que foi de 205 litros.

Tabela 14 – Dados utilizados para determinar o consumo de água.

	Abatimento	D _{máx}
Valores	80 a 100 mm	19,00 mm

Fonte: Autoras (2021).

4.2.4 Consumo de cimento (C_c)

O processo para determinação do consumo de cimento (C_c) foi descrito na seção 3.6.4. Os dados necessários foram obtidos ao longo dos procedimentos experimentais obtidos anteriormente e são apresentados na Tabela 15. Por intermédio dos mesmos, e utilizando a Eq. (6), obteve-se um valor para C_c de 366,07 kg.

Tabela 15 – Dados utilizados para determinação do consumo de cimento.

	C_a	a/c
Valores	205 litros	0,560

Fonte: Autoras (2021).

4.2.5 Consumo de agregado graúdo (C_b)

O consumo da brita 1 (C_b), agregado graúdo utilizado na pesquisa, foi obtido por meio dos procedimentos expostos na seção 3.6.5 deste trabalho. Os dados obtidos no decorrer dos experimentos e necessários para esse cálculo são aqueles apresentados na Tabela 16. Através desses dados, utilizou-se a Eq. (7) e obteve-se o resultado para C_b de 875,76 kg.

Tabela 16 – Dados utilizados para obtenção do consumo da brita.

	D_{máx}	MF	m_{unit}	V_b
Valores	205 litros	2,82	1484,34 kg	0,590 m ³

Fonte: Autoras (2021).

4.2.6 Consumo do agregado miúdo (C_m)

Para a determinação do consumo de agregado miúdo, areia (C_m), foi necessário calcular a diferença entre a soma dos volumes absolutos dos demais constituintes já calculados em relação a 1 m³ de concreto (V_m), o que é expresso na Eq. (8), da sessão 3.6.6. A Tabela 17 apresenta os dados utilizados na expressão, obtendo um valor para V_m de 0,368m³.

Tabela 17 – Dados utilizados para obtenção de V_m .

	C_c	C_b	ρ_c	ρ_b	C_a
Valores	366,07 kg	875,76 kg	3110 kg/m ³	2834 kg/m ²	205 litros

Fonte: Autoras (2021).

Logo após, o consumo de areia (C_m) foi obtido pela Eq. (9), também apresentada na seção 3.6.6. A Tabela 18 apresenta os dados utilizados na expressão matemática. O valor para C_m foi de 913,74 kg.

Tabela 18 – Dados utilizados para obtenção do consumo de areia.

	V_m	ρ_m
Valores	0,368m ³ .	2483 kg/m ³

Fonte: Autoras (2021).

4.2.7 Cálculo do Traço

Neste trabalho, quatro traços foram confeccionados, sendo um de referência e os outros com as substituições parciais de agregado miúdo pela escória de ferro-níquel nas porcentagens de 15%, 40% e 75%. Conforme mencionado na seção 3.6.7, primeiramente foi calculado o traço unitário, por meio da relação em proporções da massa específica de cada material sobre a massa de cimento (kg/kg): Cimento : Areia : Brita₁ : Água. A Eq. (11) apresenta a relação obtida para cada material e a Eq. (12) apresenta o traço unitário resultante.

$$\frac{366,07}{366,07} : \frac{913,74}{366,07} : \frac{875,75}{366,07} : \frac{205}{366,07} \quad (11)$$

$$1 : 2,496 : 2,392 : 0,560 \quad (12)$$

Tendo determinado o volume do corpo de prova padrão utilizado, de $V_{cp} = 20,47 \text{ m}^3$, obteve-se o consumo de cada material, começando pelo cimento. Esse valor foi obtido através da substituição dos dados apresentados na Tabela 19 na Eq. (10). A Eq. (13) apresenta o valor obtido para o consumo de cimento do traço.

Tabela 19 – Dados utilizados para o cálculo do consumo dos materiais no traço.

	V_{cp}	m_m	m_b	m_a	ρ_c	ρ_m	ρ_b	ρ_a
Referência	20,47	2,496	2,392	0,560	3,11	2,483	2,834	1000

Fonte: Autoras (2021).

$$C_c = \frac{20,47}{\frac{1}{3,11} + \frac{2,496}{2,483} + \frac{2,392}{2,834} + \frac{0,560}{1,0}} = 7,50 \text{ kg} \quad (13)$$

Posteriormente, obte-se o consumo dos demais materiais através da multiplicação do consumo de cimento (C_c) pela massa do traço unitário, os valores obtidos para a areia, brita 1 e água são apresentados nas Eq. (14), (15) e (16), respectivamente.

$$C_m = 7,50 \times 2,496 = 18,72 \text{ kg} \quad (14)$$

$$C_b = 7,50 \times 2,392 = 17,94 \text{ kg} \quad (15)$$

$$C_a = 7,50 \times 0,560 = 4,20 \text{ kg} \quad (16)$$

Dessa forma, a Eq. (17) apresenta o traço de referência obtido.

$$7,50 : 18,72 : 17,94 : 4,20 \quad (17)$$

Com a obtenção do traço de referência, foi possível calcular os outros através de uma regra de três básica, pautando-se nas porcentagens de substituições da areia pela escória. O

concreto de referência, seguiu a relação de proporção Cimento : Areia : Brita1 : Água, conforme já mencionado, e os demais seguiram a relação de proporção Cimento : Areia : Escória : Brita1 : Água, como demonstra a Tabela 20.

Tabela 20 – Traços utilizados no experimento.

Traços	Cimento (kg)	Areia (kg)	Escória (kg)	Brita 1 (kg)	Água (kg)
Referência 0%	7,50	18,72	0	17,94	4,20
Substituição 15%	7,50	15,90	2,80	17,94	4,20
Substituição 40%	7,50	11,22	7,488	17,94	4,20
Substituição 75%	7,50	4,88	14,06	17,94	4,20

Fonte: Autoras (2021).

4.3 ENSAIO DE ABATIMENTO

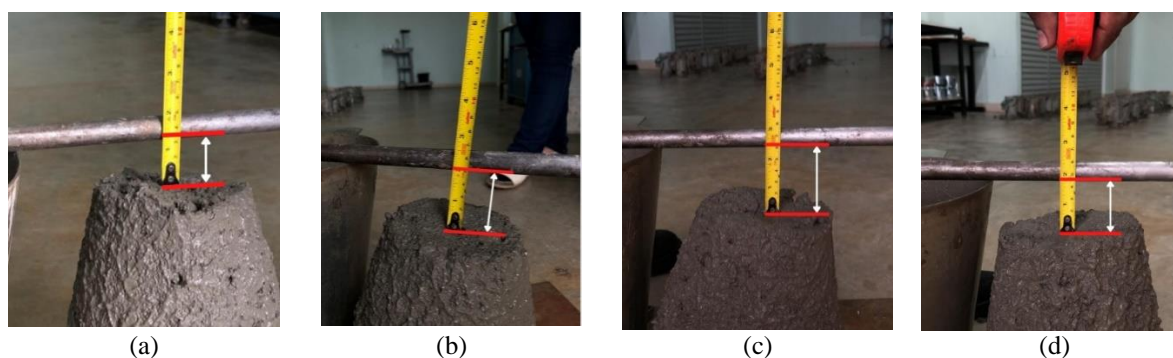
Os ensaios de abatimento de tronco de cone (*Slump Test*), seguiram as especificações da NBR 7223 (ABNT, 1998), o procedimento realizado foi descrito na seção 3.7.2 deste trabalho. Todos os 4 traços analisados na pesquisa tiveram seu abatimento medido, os valores obtidos são apresentados na Tabela 21. A Figura 33 mostra os abatimentos obtidos para cada traço, o de referência (Figura 36.a) e para cada substituição em massa de areia por escória de ferro-níquel: em 15% (Figura 36.b); em 40% (Figura 36.c) e 75% (Figura 36.d).

Tabela 21 – Resultados da análise de consistência pelo abatimento do tronco de cone.

Traços	Abatimento (cm)
Referência 0%	3,1
Substituição 15%	5
Substituição 40%	5,9
Substituição 75%	4,4

Fonte: Autoras (2021).

Figura 33 – Abatimento obtido para cada traço: referência (a); 15% substituição (b); 40% substituição (c); 75% substituição (d).



Fonte: Autoras (2021).

Segundo Campos e Paulon (2015), concretos que apresentam um abatimento entre $6,0 \pm 2,0$ cm, são amplamente utilizados em obras. Considerando que quanto menor o valor de abatimento maior é a sua consistência, pela análise da Tabela 22 é possível verificar que o concreto de referência apresentou uma alta consistência, se comparado com os outros que tiveram substituições em sua mistura. Pelo que determina a classe de consistências presente na NBR 8953 (ABNT, 2015), o concreto referência, e os com substituição parcial de 15% e 75%, pertencem à Classe S10, determinados a serem do tipo extrusado, vibroprensado ou centrifugado. Já o concreto com substituição de 40% ,alcançando um abatimento de quase 6 cm, pertence à Classe S50, que podem ser destinados para fabricação de alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundações. O efeito da trabalhabilidade no concreto com substituições de 15%, 40% e 75% provavelmente ocorreu devido à granulometria da mistura (areia+escória de cobre), pois segundo Vasconcelos (2016) essa mistura é mais grossa, à superfície lisa dos grãos de escória, além da sua massa específica, que é bem mais elevada do que a dos demais componentes da mistura.

4.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

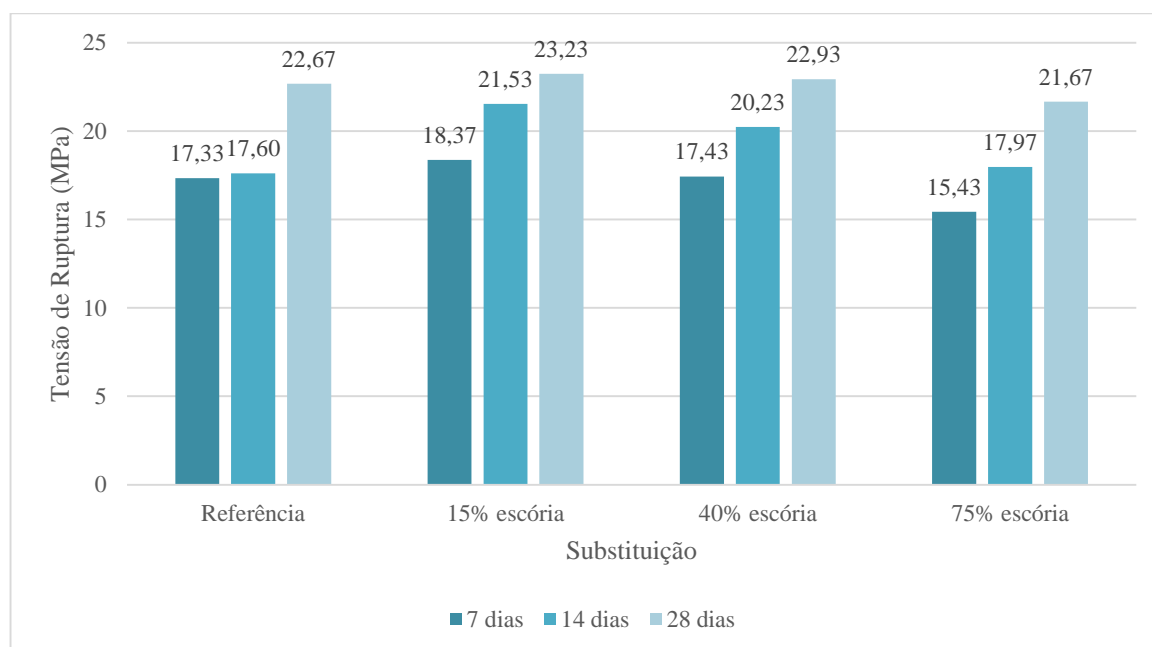
Os ensaios de resistência à compressão foram realizados para as idades de 7, 14 e 28 dias de idade do concreto. Nestas idades, foram ensaiados 3 corpos de prova para cada traço analisado (referência e com as substituições de 15%, 40% e 75% da areia pela escória), totalizando o rompimento de 12 corpos de prova em cada idade. A Tabela 22 apresenta todos os resultados obtidos para cada substituição e o traço de referência.

Tabela 22 – Resultados do ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova.

Idade	Resistência à compressão (MPa)			
	Referência	15%	40%	75%
7	16,4	18,6	16,1	15,5
	18,2	19,0	17,7	14,6
	17,4	17,5	18,5	16,2
14	16,7	21,7	18,4	17,9
	18,1	22,0	21,0	18,9
	18,0	20,9	21,3	17,1
28	23,0	23,6	22,5	20,7
	21,8	23,7	23,8	21,8
	23,2	22,4	22,5	21,0

Fonte: Autoras (2021).

O Gráfico 4 apresenta a média dos resultados em MPa, obtidos nos ensaios de corpos de prova, de acordo com a substituição e o dia específico para o teste compressivo.

Gráfico 4 - Média das resistências à compressão dos corpos de prova nas suas respectivas idades

Fonte: Autoras (2021).

Através da análise do Gráfico 3, observa-se o crescimento de todos os valores de resistência à compressão obtidos, para as 3 idades de rompimento, para a porcentagem de 15% de substituição do agregado miúdo pela escória. Observa-se ainda que houve uma queda

gradativa nos resultados de resistência com o aumento da quantidade de substituição (40% e 75%). Essas observações permitem constatar que há um ganho de resistência quando se adiciona escória de ferro-níquel à matriz cimentícia, no entanto, há um valor limite de substituição que deve ser realizado, e este é inferior aos 40% de substituição.

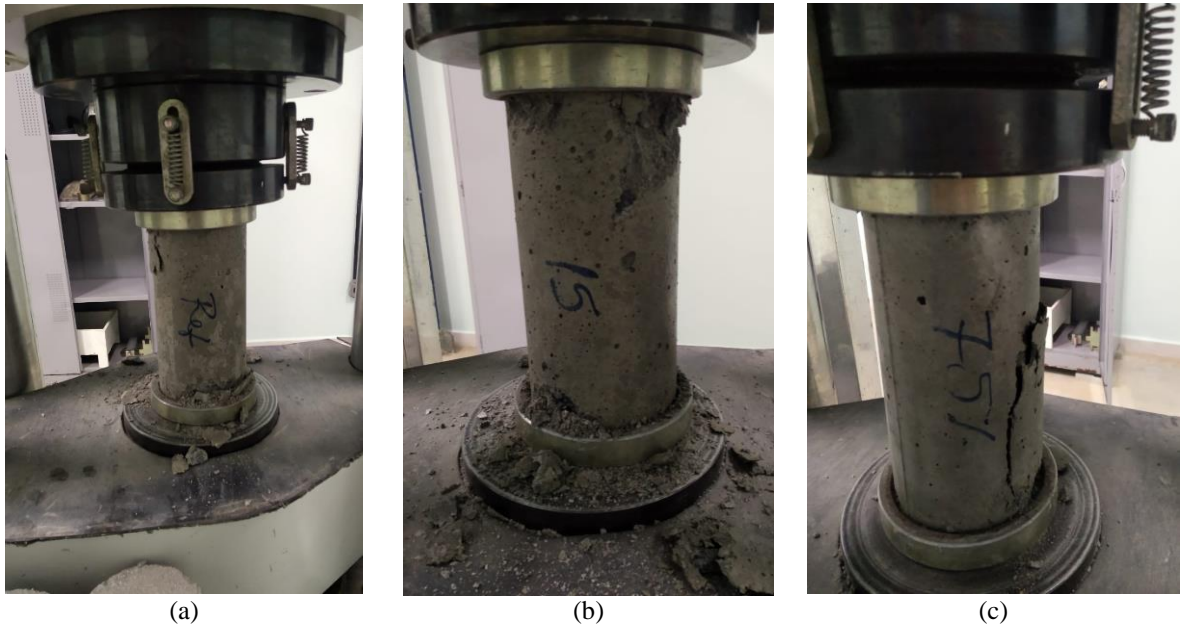
Avaliando de forma mais detalhada o resultado para os 15% de substituição, que foi o mais significativo, é possível afirmar que, em relação aos valores médios apresentados no Gráfico 3, aos 7 dias o ganho de resistência foi da ordem de 6%; aos 14 dias obteve-se um ganho de 22,33% e aos 28 dias de 2,47%. Nas 3 idades de ensaio houve acréscimo no valor da resistência à compressão, sendo o resultado mais significativo aquele obtidos aos 14 dias.

4.1.3 Análise Visual dos Corpos de Prova submetidos à compressão

Após a submissão dos corpos de prova ao ensaio de resistência a compressão foi realizada a análise do tipo de ruptura apresentada nos corpos de prova após seu rompimento. Essa análise foi feita nos corpos de prova rompidos aos 14 dias de idade. A determinação do tipo de ruptura predominante foi feita de acordo com a Figura 5, apresentada no referencial teórico deste trabalho, que foi retirada da NBR 5739 (ABNT, 2018).

A Figura 34.a mostra um corpo de prova que aguentou a carga exercida pela prensa até sofrer uma fratura na base do capeamento metálico, trata-se de um espécime sem nenhuma adição, feito com traço de referência. A Figura 34.b, por sua vez, mostra um corpo de prova com 15% de substituição da areia pela escória que sofreu uma ruptura no topo do capeamento metálico. Na Figura 34.c tem-se um corpo de prova com 75% com substituição em escória que sofreu, com o rompimento, um deslocamento da base.

Figura 33 – Corpo de prova rompido. Traço de referência (a); Traço com 15% de substituição (b); Traço com 75% de substituição (c).



Fonte: Autoras (2021).

Segundo o que menciona Madrid, García e Borges (2016), fazer uma incorporação de escória na mistura que contém cimento, pode modificar a natureza e as características dos hidratados formados, afetando a rede capilar do concreto, o que provavelmente pode ter sido a causa de os concretos com substituições por escória com mais de 40%, terem uma queda na resistência. Entretanto, a escória quando bem aplicada, preparada, tendo estudo apropriado do traço, pode apresentar pontos positivos em suas propriedades mecânicas para demais aplicabilidades.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar dos escassos estudos relacionados à utilização de rejeitos de minério de ferro níquel dentro da construção civil, é indispensável o seguimento de uma metodologia apropriada para que o material final apresente um bom desempenho, físico, mecânico e acessível sem acarretar em danos ambientais.

Mediante a realização da pesquisa bibliográfica, ensaios propostos, verificação dos resultados obtidos e finalmente concluído este estudo a respeito da incorporação de rejeito de ferro níquel, de forma parcial no concreto, visando a redução de impactos ambientais e a acessibilidade financeira para a construção civil, algumas conclusões foram alcançadas:

Utilizar a escória, mesmo que de forma parcial, na mistura do concreto apresentou ser uma boa solução ambiental, devido os três resultados de ensaio de abatimento estarem dentro dos padrões normativos, ou seja, a utilização da escória não trouxe modificações inusitadas para a trabalhabilidade do concreto, considerando um ponto positivo.

A substituição de 15% de areia por escória, apresentou nos ensaios de resistência à compressão uma relação aproximada ao resultado do concreto de referência, nas datas de 7, 14 e 28 dias, entretanto as misturas que obtiveram substituições de 40% e 75% apresentaram uma queda nos ensaios de resistência com as mesmas datas de rompimento. Recomenda-se que para pesquisas futuras utilizando a escória de ferro níquel incorporada ao concreto, se utilize porcentagens de 10% até 40%.

Conclui-se que a possibilidade da utilização de escória de ferro níquel no concreto, é viável visando principalmente os benefícios ambientais, uma vez que esse rejeito poderia ser utilizado nas construções, ao invés de ser alojado em grandes barragens de rejeito. Deve-se analisar a viabilidade financeira entre empresas da área da construção civil e a mineradora.

REFERÊNCIAS

ADOLFATO, Rodrigo Piernas. **Controle Tecnológico básico do concreto**. Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira (SP), 2002.

ANGLO AMERICAN. **Relatório de Sustentabilidade Anglo American Brasil** – Parâmetros do Relatório. Consolidar para crescer, 64 f., 2006.

ANGRIZANI, Clarissa C.; AMICO, Sandro C.; CIOFF, M^a Odila H.; ZATTERA, Ademir J. **Influência da Espessura nas Propriedades Mecânicas de Compósitos Híbridos Interlaminares de Curauá/Vidro/Poliéster**. Polimeros, vol. 24, n. 2, p.184-189, 2014.

ARANDA, D. **O colapso da Terra está cada vez mais próximo**. Instituto Humanitas Unisinos. Disponível em: <<http://www.ihu.unisinos.br/78-noticias/588966-o-colapso-da-terra-esta-cada-vez-mais-proximo>>. Acesso em: 04 Mar. 2021.

ARAUJO, Alexandre Feller de. **A aplicação da metodologia de produção mais limpa: estudo em uma empresa do setor da construção civil**. Resitório Institucional da UFSC, Florianópolis (SC), 2002.

BEZERRA, José Jailson Lima; LIRA, Wennir Bezerra; SILVA, Tiago da Costa. **Impactos ambientais causados pela mineração: uma análise da percepção de pequenos mineradores do município de Frei Martinho – PB**. REMOA (Revista Monografias Ambientais)- Universidade Federal de Santa Marta, v. 19, ed. 8, fev./abr. 2020. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/41705/html>> Acesso em: 4 mar. 2021.

BUNDER, Jeferson. **O Concreto: sua origem, sua história**. 2016. 20 f. Pós-Graduação – Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

CARVALHO, J. M. F.; PEIXOTO, R. A. F.; FIGUEIREDO, A.S; **Concreto de alta resistência com substituição parcial de cimento por finos de escória de aciaria**. 2018. Universidade Federal de Ouro Preto. 2018.

Concreto com Fibras de Polipropileno. Neomatex - Fibras e Textéis Técnicos para Engenharia. Disponível em: <<https://www.neomatex.com.br/concreto-fibras-polipropileno.html>> Acesso em: 15 abr. 2021.

CORDEIRO, G. C.; DÉ SIR, J.M. **Potencial de argila caulínica de Campos dos Goytacazes, RJ, na produção de pozolana para concreto de alta resistência**. 2010. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.2010.

CORREIA, J. V. F. B.; FRAGA, Y. S. B.; RIBEIRO, R. C. S. C.; LIMA, M. M.. **Influência da substituição da areia natural pelo vidro no desempenho mecânico do concreto**. Engineering Sciences, v.6, n.1, p.1-9, 2018

COUTO, José Antônio Santos; NUNES, Rogério Reginato Alves; CARMINATTI, Rafael Lima; MOURA, Ruan Carlos A. **O concreto como material de construção**. Caderno de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas – UNIT, Sergipe, v. 1, n. 3, p. 49-58. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/552>> . Acesso em: 15 abr. 2021.

DINIZ, Caio Cesar; REIS, Lucas Ariel do Carmo. **Tijolo solo-cimento com incorporação de escória de ferro-níquel**. 2019. TCC (Bacharelado em Engenharia Civil) - Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, 2019.

ESPOSITO, T. J.; DUARTE, A. P. **Classificação de barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais em relação a fatores de risco**. Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 63, n. 2, p. 393-398, June 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672010000200026>. Acesso em 06 Mar. 2021.

FEITOSA, G. F. A.; NEVES, M. O. **Estudos para utilização de escória de ferro-níquel na área de construção civil**. 2017. TCC (Bacharelado em Engenharia Civil) - Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, 2017.

FIGUEIREDO, Antonio D. **Concreto com fibras**. In: FIGUEIREDO, Antonio D. (Ed.). Instituto Brasileiro do Concreto. Livro Concreto: Ciências e Tecnologia, cap. 37, São Paulo, jan. 2011.

FILHO, Primo Fernandes. Utilização da cinza residual do bagaço de cana-de-açúcar na produção de materiais cimentícios alcalinamente ativados. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – Paraíba, 2012.

JUNIOR<, Mario Guimarães; NOVACK, Kátia Monteiro; BOTARO, Vagner Roberto. **Caracterização anatômica da fibra de bambu (*Bambusa vulgaris*) visando sua utilização em compósitos poliméricos**. 2010. Revista Iberoamericana de Polímeros. p. 442-456, dec. 2010.

KOSMATKA, Steven H.; KERKHOFF, Beatrix; PANARESE, William C.; TANESI, Jussara. **Projeto e controle de mistura de concreto**. 1ª Edição. Portland Cement Association, 2004.

LEITE, Jauaria Cecilia Pereira Simões; NETO, Mario Texeira Reis. **Meio Ambiente e os embates da construção civil**. Construindo, Minas Gerais, v. 6, n. 2, jul./dez. 2014.< Disponível em: <http://revista.fumec.br/index.php/construindo/article/view/2766>>. Acesso em: 14 abr. 2021.

LIMA, Caio Ivson Vasconcelos; COUTINHO, Carlos Otávio Dantas; AZEVEDO, Gabriel Gama Carnaúba; BARROS, Tarsys Yuri Gomes; TAUBER, Thiago Campos; LIMA, Sandovânio Ferreira. **Concreto e sua inovações**. Caderno de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas – UNIT, Alagoas, v. 1, n. 1, p. 31-40. Disponível em: < <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/1285>> Acesso em: 15 abr. 2021.

LOBÃO, Edison. **Plano Nacional de Mineração 2030** - Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2011.

MANTOVANI, D. **Sustentabilidade na construção civil: da importância à aplicação**. UNDB Centro Universitário. Disponível em: <<https://www.undb.edu.br/blog/sustentabilidade-na-construcao-civil-da-importancia-a-aplicacao#:~:text=A%20incorpora%C3%A7%C3%A3o%20da%20sustentabilidade%20na%20constru%C3%A7%C3%A3o%20civil%20%C3%A9%20uma%20tentativa,entre%20ambientes%20naturais%20e%20constru%C3%ADdos>>. Acesso em 06 Mar. 2021.

MARQUES, Cristian Texeira; GOMES, Bárbara Maria Fritzen; BRANDLI, Luciana Londero. **Consumo de água e energia em canteiros de obra: um estudo de caso do diagnóstico a ações visando à sustentabilidade.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 4, oct./dec. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212017000400079&script=sci_arttext&tlng=pt> . Acesso em: 4 mar. 2021.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2020. **Meio ambiente: melhoria na gestão de resíduos sólidos no brasil.** Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/financas-impostos-e-gestao-publica/500-dias/noticias-500-dias/meio-ambiente-melhoria-na-gestao-de-residuos-solidos-no-brasil>> . Acesso em: 14 abr. 2021.

MOURA, Washington Almeida; GANÇALVES, Jardel Pereira; LEITE, Monica Batista. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos contendo escória de cobre como agregado miúdo.** Journal of Materials Science, v. 42, p. 2226-2230, 2007.

NARCISO, C. R. P. **Influência do resíduo de minério de ferro na produção de painéis cimento – madeira.** 2018. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras. 2018.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto.** 5ª Edição. Porto Alegre: Ed. Brookman. 2016.

NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto.** 2ª Edição. Porto Alegre: Ed. Brookman. 2013.

OLIVEIRA, Luiz Fernando Andrade de. **Conhecendo bambus e suas potencialidades para uso na construção civil.** 2013. Monografia em Curso de Especialização em Construção Civil - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2013.

OLIVEIRA, Mariana do Prado. **Indicadores de desempenho ambiental em obras de construção civil no Município de Urbelândia.** Graduação em Engenharia Ambiental – Universidade Federal de Urbelândia, Urbelândia (Minas Gerais), 2017.

ORNELAS, Daniela Pereira de; JÚNIOR, Carlos Henrique Carvalho. **Viabilidade do uso de escória de alto forno na substituição parcial do cimento portland em concreto usinado.** Dissertação – Centro Universitário UniFacig, 2021.

PEREIRA, Caio. **O que é Slump do concreto e como fazer o teste?.** Escola Engenharia, 2019. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/slump-test/>. Acesso em 15 abr. 2021.

PERRONE, Vítor Cury; SHIMOMUKAY, Roseane; JR., Eli de Mello Clavijo; **Estudo do comportamento à flexão de compósitos cimentícios reforçados com fibras de polipropileno de alta tenacidade.** 2011. Dissertação Mestrado – Anais do 53º Congresso Brasileiro do Concreto – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2011.

RESENDE, Carlos. **A forma do rompimento do CP é importante?.** Clube do Concreto – Concreto e pré fabricados de concreto, 2016. Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2017/07/a-forma-de-rompimento-do-cp-e-importante.html>. Acesso em 15 abr. 2021.

SANTOS, G. P. P. **Um estudo sobre a utilização da escória de ferroníquel em pavimento rodoviário.** 2013. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2013.

SANTOS, R. F. **Compósitos Cimentícios Reforçados com Resíduo Têxtil e Fibra de Carbono**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado). Universidade Federal de Santa Catarina. 2018.

SILVA, V. P. **Uso de escória de ferro-níquel na fabricação de pavers**. TCC (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás Campus Goiânia, Goiânia, 2019.

SILVEIRA, M. D. **Utilização de resíduos de mineração na construção civil**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado). Universidade Federal de Minas Gerais. 2015.

SOUTO, J. M. F. **Avaliação do desempenho da cinza do bagaço de cana-de-açúcar na produção de concretos**. 2010. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Maringá. 2010.

TAVARES, Felipe. **Mudanças no entendimento sobre a sustentabilidade- equilíbrio, resiliência e coevolução**. Desenvolvimento Regenerativo, 2018. Disponível em: <[TEXEIRA, Luciene Pires; DE CARALHO, Fatima Marilia Andrade. **A construção civil como instrumento do desenvolvimento da economia brasileira**. Revista Paraenaense de Desenvolvimento, n. 109, p. 9-26, jul./dec. 2005.](https://medium.com/desenvolvimentoregenerativo/mudan%C3%A7as-no-entendimento-sobre-a-sustentabilidade-equil%C3%ADbrio-resili%C3%A4ncia-e-coevolu%C3%A7%C3%A3o-c589a9e026ed#:~:text=Esta%20forma%20de%20pensar%20reflete,sem%20afetar%20o%20equil%C3%ADbrio%20ambiental.>. Acesso em: 4 mar. 2021.</p></div><div data-bbox=)

TESSARO, Alessandra Bruss; SACCOL DE SÁ, Jocelito; SCREMIN, Lucas Bastianello. **Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.12, n. 2, abr./jun. 2012. Disponível em:< https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212012000200008&script=sci_arttext>. Acesso em: 14 abr. 2021.

THOMAZ, E. C. S. **Escória de alto forno – Parte 1 – Fabricação**. p.1. Notas de aula [2016].

WEBER, A. M. **Viabilidade técnica da utilização de fibra de curauá (Ananas erectifolius) como reforço em compósitos cimentícios laminados**. 2018. Dissertação (Mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2018.

YUKSEL, Isa. **Resíduos e materiais cimentícios complementares em concreto**. Bursa Technical University, Bursa, Turquia, 2018