



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL – *CAMPUS* ERECHIM
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

MICHAEL BIAVATI

**INCORPORAÇÃO DE ALUMÍNIO SÓLIDO COMO AGREGADO MIÚDO NA
FABRICAÇÃO DO CONCRETO PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**

ERECHIM

2019

MICHAEL BIAVATI

**INCORPORAÇÃO DO ALUMÍNIO SÓLIDO COMO AGREGADO MIÚDO NA
FABRICAÇÃO DO CONCRETO PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof^o M. Pedro Eugênio Gomes Boehl

ERECHIM

2019

MICHAEL BIAVATI

**INCORPORAÇÃO DO ALUMÍNIO SÓLIDO COMO AGREGADO MIÚDO NA
FABRICAÇÃO DO CONCRETO PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção de
grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e
Sanitária da Universidade Federal da Fronteira
Sul.

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em:

____/____/____

BANCA EXAMINADORA:

Prof^o M. Pedro Eugênio Gomes Boehl - UFFS
Orientador

Prof^o. Dr. Nerandi Luiz Camerini - UFFS

Prof^a. Dra. Marília Teresinha Hartmann - UFFS

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por estar ao meu lado em todas as decisões da minha vida e ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Aos meus pais Sirlei de Favere Biavati e Célio Vicente Biavati e familiares pelo constante incentivo e por participarem desta conquista.

Ao meu orientador, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

Ao Professor Dr. Eduardo Pavan Korf pelas contribuições em algumas análises.

E aos amigos que ganhei e me acompanharam nesta caminhada.

RESUMO

A utilização de materiais na construção civil é uma forma de reutilização de materiais e diminuição do acúmulo deste resíduo. Este trabalho tem por objetivo avaliar a possibilidade da utilização do alumínio como agregado miúdo, em substituição da areia, no concreto, para a utilização na construção civil. A proposta do trabalho foi à comparação da resistência e da deformação, obtidas através da realização do ensaio de compressão simples, das misturas, com substituição de 5% e 10% de alumínio e sem substituição de alumínio, além da análise da microestrutura através do MEV. A ruptura sem adição de alumínio apresentou-se de forma colunar (e) enquanto que, as rupturas com adição (5% e 10%) não se enquadram na classificação proposta pela norma. Os valores médios de resistência à compressão e deformação obtidos nos ensaios de compressão simples foram os seguintes: sem adição 10,98 Mpa; 4,4 mm; substituição de 5% 3,35 MPa; 7,43 mm; substituição de 10% 2,83 MPa; 2,5 mm. A substituição de alumínio como agregado miúdo diminui a resistência do concreto, assim como, os acréscimos de substituição acentuam esta perda de resistência. Alguns fatores relevantes para a redução na resistência com a utilização do alumínio como agregado miúdo são: formação de uma camada superficial de óxido entre as partículas; a diferença acentuada da granulometria entre a areia e o alumínio.

Palavras-Chave: Alumínio. Resistência. Reutilização. Compressão Simples.

ABSTRACT

The use of materials in construction is a way to reuse materials and decrease the accumulation of the same. This work aims to evaluate the possibility of using aluminum as a small aggregate, replacing sand, in concrete, for the use of civil construction. The purpose of this work was to compare the strength and deformation obtained by conducting the simple compression test of the mixtures with 5% and 10% aluminum substitution and without aluminum substitution, as well as the analysis of the microstructure through SEM. The rupture without addition of aluminum presents in a columnar form (e), whereas the ruptures with addition (5% and 10%) do not fit the classification proposed by the standard. The average values of compressive strength and deformation obtained in the simple compression tests were as follows: without addition 10.98 MPa; 4.4 mm; replacement of 5% 3.35 MPa; 7.43 mm; replacement of 10% 2.83 MPa; 2.5 mm. The replacement of aluminum as a small aggregate decreases the strength of the concrete, as well as, the substitution additions accentuate this loss of resistance. Some factors relevant to the reduction in the resistance with the use of aluminum as small aggregate are: formation of a surface layer of oxide between the particles; the sharp difference in grain size between sand and aluminum.

Keywords: Aluminum. Resistance. Reuse. Simple Compression.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Índice de reciclagem de latas de alumínio no Brasil, Japão, Europa e EUA.....	12
Figura 2 - Fluxograma apresentando o caminho percorrido até a obtenção dos objetivos	15
Figura 3 - Lata com tinta e pós-lixada. utilizadas nas análises.....	17
Figura 4 - Corte das latas de alumínio com dimensões de 10 cm x 2 mm..	17
Figura 5 - Corte das latas de alumínio com dimensões de 2 mm x 2 mm.....	18
Figura 6 - Corpos-de-prova cilíndricos. utilizados nas análises.....	20
Figura 7 - Areia, brita, cimento e alumínio pesados e separados para uma mistura	21
Figura 8 - Prensa Hidráulica com carga máxima de 2000 kN utilizada para o rompimento dos corpos-de-prova.	22
Figura 9 - Microscópio eletrônico de varredura utilizado nas análises MEV com aproximação de 15 a 300 mil vezes.	23
Figura 10 - Esboço dos tipos de rupturas características para os procedimentos de análise de resistência à compressão simples.	26
Figura 11 - Configuração da ruptura no momento em que o CP com substituição de 0% rompeu a partir da carga exercida pela prensa hidráulica	26
Figura 12 - Configuração da ruptura no momento em que os corpos-de-prova com substituição de 5% e de 10% romperam a partir da carga exercida pela prensa hidráulica.	27
Figura 13- Microscopias das amostras analisadas com 10% de substituição de alumínio (CP 7 a 9).	29
Figura 14- Análises semi-quantitativas da composição com 5 pontos específicos analisados.	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Porcentagem e peso do alumínio incorporado em cada amostra do experimento...	20
Tabela 2 - Análise granulométrica feita na areia, para posterior classificação e caracterização...	24
Tabela 3 - Quantidade de alumínio substituído pela areia na fabricação dos blocos...	24
Tabela 4 - Análise granulométrica feita na brita para posterior classificação e caracterização	25
Tabela 5 - Valores da caracterização granulométrica dos resíduos de latas de alumínio.....	25
Tabela 6 - Resultados da resistência à compressão simples para os corpos-de-prova	27
Tabela 7- Resultados da deformação vertical obtidas no ensaio de compressão simples para os corpos-de-prova	28
Tabela 8 - Elementos que fazem a composição do concreto das análises de 10% de substituição.....	31

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO TEÓRICA E BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 RECICLAGEM DE ALUMÍNIO NO BRASIL E NO MUNDO	12
2.2 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	13
2.3 OBJETIVOS	14
2.3.1 Objetivos específicos	14
3. METODOLOGIA	15
3.1 FLUXOGRAMA DA MOLDAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA	15
3.2 MATERIAIS UTILIZADOS NA MOLDAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA	16
3.2.1 Areia	16
3.2.2 Latas de Alumínio	16
3.2.3 Brita	18
3.2.4 Cimento	19
3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	19
3.3.1 Moldagem dos corpos-de-prova	19
3.3.2 Resistência mecânica á compressão simples	21
3.3.3 Análises MEV	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA AREIA	24
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA BRITA	24
4.3 CARACTERIZAÇÃO DO ALUMÍNIO	25
4.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES	25
4.4.1 Resistência à compressão simples sem substituição do agregado	26
4.4.2 Resistência à compressão simples com 5% e 10% de substituição do agregado	26
4.5 ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES	27
4.6 ANÁLISE DAS DEFORMAÇÕES DURANTE ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES	28
4.7 ANÁLISE MEV	29
5. CONCLUSÕES	33
REFERÊNCIAS	34

1. INTRODUÇÃO

A ideia do trabalho surgiu pela visão de um mundo sustentável. O trabalho foca não apenas à questão econômica, mas também e principalmente à questão ambiental e social. Para diminuição dos problemas causados pelos resíduos, atualmente os estudos científicos vem se fortalecendo nas áreas de reutilização, redução e reciclagem de todos os resíduos produzidos.

O alumínio sendo um dos materiais mais extraídos do solo se tornou também um dos materiais mais presentes e utilizados, nas mais diversas fontes de produção industrial. Devido a isso, existe atualmente um acúmulo muito grande do material, mesmo tendo uma grande porcentagem de reciclagem (PETRUCCI, 1980).

Neste trabalho foi produzido um estudo para verificar a possibilidade de reutilização do alumínio como uma forma de redução de impactos diversos no planeta, visando à sustentabilidade e a conservação de matérias para as futuras gerações.

A construção civil é uma área que possibilita a incorporação de diversos materiais como agregado. A substituição de materiais como agregado no concreto, é uma ótima forma de reutilização e assim, contribuindo com o meio ambiente. Através destas substituições, tem-se a possibilidade de descobertas de novas misturas de concreto que tenham o peso menor, a resistência maior e o melhor custo-benefício (BRITO; VIEIRA, 2011).

Outro fator importante é o aumento da demanda por alumínio, que acarreta em uma extração do alumínio excessiva, esgotando a matéria-prima da rocha Bauxita, por sua vez, alterando o paisagismo dos lugares onde estão as minas de extração, conseqüentemente se transformando em “gigantes buracos” sem cobertura vegetal e drenagem adequada e com frequentes instabilidades por deslizamentos durante as chuvas (PETRUCCI, 1980).

O trabalho esta dividido em 5 tópicos principais, iniciando com uma revisão bibliográfica, seguido da metodologia do trabalho, dos resultados obtidos, considerações finais e por fim as referências utilizadas na formulação.

2. REVISÃO TEÓRICA E BIBLIOGRÁFICA

O alumínio surge a partir de sucessivas colisões entre os átomos de hidrogênio em temperaturas altas e pressões fortes durante o nascimento do sistema solar (REQUE, 2003).

O alumínio é um metal de número atômico 13, possui um aspecto cinza, prateado e fosco, devido à fina camada de óxidos que se forma rapidamente quando exposto ao ar, camada esta protetora que lhe proporciona excelente resistência a corrosão e durabilidade, porém se tornando muito reativo pelas suas características. Tendo uma densidade $2,75 \text{ g/cm}^3$ é muito maleável e dúctil (PETRUCCI, 1980).

Segundo Costa e Pires (2007) o descobrimento do alumínio foi pelo acaso na Pérsia na data de 6.000 a.C. onde os ceramistas fabricavam potes e recipientes com um tipo de barro que continha óxido de alumínio (Alumina). Já no ano de 3.000 a.C. este mesmo óxido é utilizado pelos egípcios e babilônios na fabricação de cosméticos, corantes e medicamentos.

Em uma realidade mais recente, a Associação Brasileira do Alumínio - ABAL (1997-2007) dispõe de um breve cronograma da evolução do alumínio, este descrito abaixo.

- 1809: Humphry Davy inglês, químico e fundador da eletroquímica, provou a existência do alumínio;
- 1821: Pierre Berthier francês, primordial no descobrimento de um mineral avermelhado que continha cerca de 52% de óxido de alumínio;
- 1825: Hans Christian Oersted cientista, físico e pesquisador dinamarquês conseguiu isolar o alumínio como cloreto de alumínio, forma utilizada até os dias atuais;
- 1855: Charles Martin Hall (EUA) e Paul Louis Toussaint Héroult (França) patentaram o processo de produção de alumínio pela redução eletrolítica da alumina em banho fundido de criolita, processo chamado de Hall-Héroult, dando assim início a produção industrial pelo mundo.
- 1945: Ouro Preto (MG) produção do primeiro lingote de alumínio no Brasil.

Em meio a estes anos, em 1880, o alumínio considerado material semiprecioso, chegou a ser mais valioso que o ouro e mais precioso que a prata, devido a ser extremamente difícil a separação e extração das rochas, pela sua preciosidade tornou-se um material de decoração, decorando a mesa da corte francesa, a coroa do rei da Dinamarca e até a capa do Monumento de Washington. Porém pelo seu alto custo, surge então a necessidade de ter uma grande produção para que o custo deste material se tornasse mais baixo e viável (BRITO; VIEIRA, 2011).

2.1 RECICLAGEM DE ALUMÍNIO NO BRASIL E NO MUNDO

De acordo com a definição do Ministério do Meio Ambiente, “reciclagem é um conjunto de técnicas de reaproveitamento de materiais descartados, reintroduzindo-os no ciclo produtivo. De todo lixo produzido no Brasil, 30% tem potencial para ser reciclado, entretanto uma pequena fração de apenas 3% deste total é efetivamente reciclada. A reciclagem é uma excelente e benéfica alternativa para a problemática de resíduos sólidos, alcançando a esfera ambiental, o âmbito social e o desenvolvimento econômico” (BRASIL, 2019).

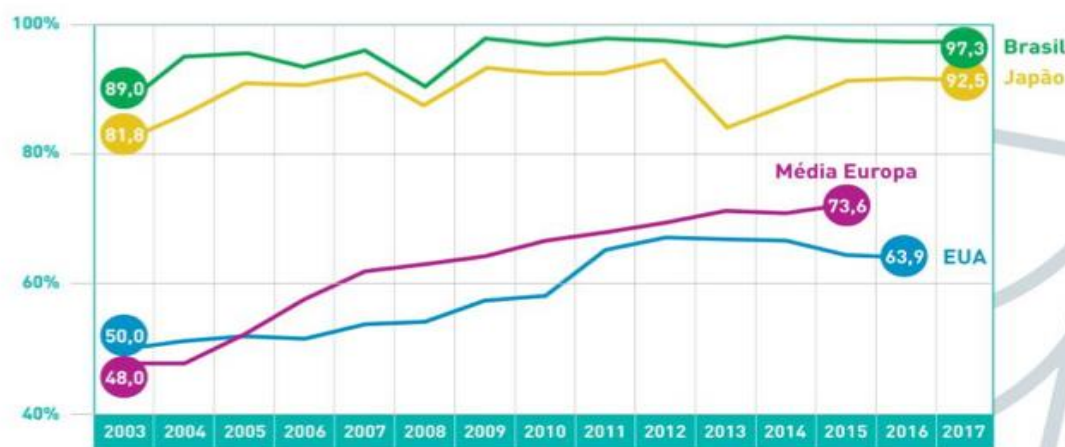
Dentre os materiais possíveis de reciclagem se destacam o papel, o vidro, os plásticos e o metal, principalmente o alumínio que representa o maior percentual de reciclagem no país, o que torna o Brasil líder mundial nas atividades de reciclagem de alumínio, sendo seguido pelo Japão. Isso ocorre porque o valor de mercado do alumínio é mais significativo que os demais materiais (ABAL, 2019).

Boa parte do alumínio destinado à reciclagem é proveniente das embalagens, em especial latas de bebidas. As latinhas destinadas à reciclagem são transformadas em lingotes que posteriormente são empregados na fabricação de novas latas e de inúmeros outros produtos feitos com esse metal (ABAL, 2019).

O Brasil é o país que mais recicla alumínio no mundo como mostra a figura 1. O índice de reciclagem do Brasil é superior ao do restante dos outros países. No mundo de uma forma geral cerca de 69 % do alumínio é reciclado (ABAL, 2019).

Figura 1 - Índice de reciclagem de latinhas de alumínio no Brasil, Japão, Europa e EUA.

Mundo: índice de reciclagem de latas de alumínio para bebidas – 2003 a 2017



Fonte: RECICLOTECA, 2019.

No ano de 2014 no Brasil venderam-se 294,2 mil toneladas de latas e reciclaram-se 289,5 mil toneladas, totalizando 98,4% de latas recolhidas. Em 2016, esse índice foi de 97,7% (ABAL, 2019).

Dados divulgados pela Associação Brasileira do Alumínio (ABAL, 2019) e Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio (ABRALATAS, 2019) apontam que, em 2017, reaproveitou-se 97,3% das latas produzidas no País. Ou seja, das 303.900 toneladas de latas de alumínio para bebidas colocadas no mercado em 2017, 295.800 toneladas foram recolhidas e recicladas.

Mesmo que o Brasil seja o país que mais recicla latas alumínio no mundo, vale mencionar que isso é de certa forma, consequência da falta de oportunidade no mercado de trabalho, se apresentando como alternativa de subsistência para grande parte da população. Visto a grande quantidade do material destinado à reciclagem, não houve redução na extração do minério bauxita, atividade esta de intenso impacto ambiental.

2.2 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

O MEV é um dos instrumentos mais versáteis utilizados para a visualização das microestruturas dos mais diversos materiais. Sendo comercializado e modernizado desde o ano de 1965 se tornou um instrumento com uma grande funcionalidade nas análises micro estruturais, por demonstrar e identificar resultados tridimensionais de elementos químicos presentes nas amostras (DEDAVID et al., 2003).

O princípio de funcionamento do MEV constitui-se em utilizar elétrons emitidos ou dispersados sobre a superfície da amostra. As imagens são obtidas com a interação entre o feixe de elétrons e o material da amostra, dependendo da tensão de aceleração e o número atômico da amostra. As fissuras que a amostra tiver aparecem na cor escura, as protuberâncias aparecem em cores mais claras, com isto forma-se uma imagem tridimensional da amostra que está sendo analisada (DEDAVID et al., 2003).

Juntamente com o MEV, é muito utilizado o sistema EDS (Energy Dispersive System), onde com este sistema é verificar a composição qualitativa e semi-quantitativa das amostras analisadas. Entre as vantagens desta acoplagem tem-se a rapidez e facilidade na preparação e nos resultados das análises (DUARTE, et al. 2003).

Para todas as análises, as amostras que não são condutores elétricos devem ser metalizadas, sendo a aplicação de uma micro camada de alguma matéria com uma alta

condutividade elétrica (ouro, platina, etc.) transformando estas amostras em condutores de corrente elétrica.

2.3 OBJETIVOS

O objetivo do trabalho foi estudar a resistência e a deformação à compressão simples, de misturas de concreto sem substituição e com uma substituição do agregado miúdo (areia), por alumínio, nas porcentagens de substituição de 5% e 10%.

2.3.1 Objetivos específicos

O objetivo específico do trabalho foi:

- 1 Realizar misturas de concreto com substituição de agregado miúdo, de areia por alumínio, verificando se a resistência se enquadra às boas técnicas da construção civil.
- 2 Realizar ensaios de compressão simples obtendo resistência à compressão com 28 dias de cura.
- 3 Comparar a resistência do concreto comum com a resistência do concreto com substituição.
- 4 Classificar o tipo de ruptura obtido.
- 5 Avaliar o comportamento destas misturas visando aplicação das mesmas na prática da construção civil.
- 6 Analisar as microestruturas entre o alumínio com os outros agregados e o cimento, além da composição química em alguns pontos da amostra, a partir das análise MEV (microscopia eletrônica de varredura).
- 7 Verificar a possibilidade de Reaproveitamento do alumínio na construção civil.

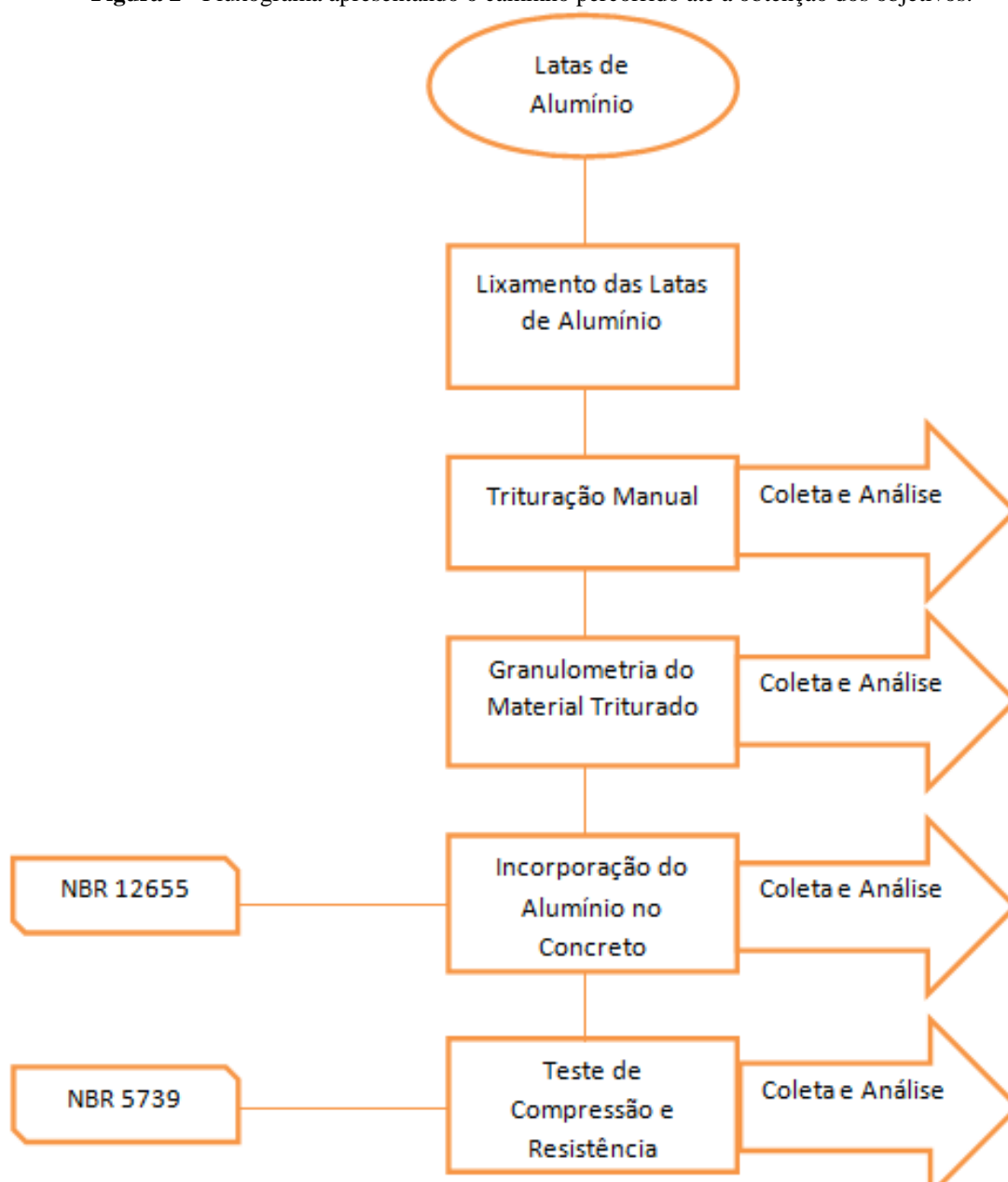
3. METODOLOGIA

Nas seções de itens iniciais com numeração 3 estão dispostas as metodologias empregadas na realização e formulação deste trabalho.

3.1 FLUXOGRAMA DA MOLDAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA

Como forma de organização do trabalho, a Figura 2 em forma de fluxograma mostra todo o caminho percorrido até a obtenção dos objetivos.

Figura 2 - Fluxograma apresentando o caminho percorrido até a obtenção dos objetivos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 MATERIAIS UTILIZADOS NA MOLDAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA

Nos subitens com iniciais três estão dispostos os materiais utilizados para a moldagem dos corpos-de-prova.

3.2.1 Areia

A areia é o agregado miúdo que passa na peneira número 4, tendo uma abertura de 4,8 milímetros.

A areia utilizada no experimento estava disponível nas dependências da UFFS-campus Erechim, segundo os técnicos responsáveis da área de construção civil da universidade, ela é oriunda das jazidas do Rio Jacuí, localizado no Rio Grande do Sul.

O Rio Jacuí é o maior rio do estado do RS e nele se concentram os maiores depósitos de areia utilizados na indústria de concreto do estado (SEMA, 2011).

Para o cálculo do peso específico da areia utilizou-se o seguinte método, como mostra a Equação 1.

$$\gamma = \frac{PT - PC}{VT - VC} \quad \text{Equação 1}$$

- Onde: γ : Peso específico da areia [g/cm³];
 PT: Peso total do cilindro com areia;
 PC: Peso do cilindro;
 VT: Volume total do cilindro com areia;
 VC: Volume do cilindro.

Esta equação dispõe de uma forma de realizar o cálculo do peso específico da areia. O método prático iniciou-se pesando e retirando o volume de um recipiente cilíndrico sem areia e, o mesmo, com areia, por fim, calculou-se o peso específico da areia pela equação 1.

3.2.2 Latas de Alumínio

As latas de alumínio foram obtidas através de doações e por recolhimento em lixeiras. Como o estudo previa a análise apenas do alumínio e não de outros compostos da lata, então elas foram lixadas e lavadas para a retirada da tinta, também foi retirado a tampa e o lacre das latas, como pode ser visualizado na Figura 3 abaixo.

Figura 3 - Lata com tinta e pós-lixada utilizadas nas análises.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o auxílio de uma tesoura de corte a trituração das latas foi realizada de forma manual, para que fosse possível ter uma precisão maior no tamanho do corte.

Primeiramente, as latas foram cortadas em tiras de cerca de 10 cm x 2 mm (comprimento x largura), posteriormente cortadas novamente para que tivessem uma área média de 4 mm², como mostram as Figuras 4 (corte de 10 cm x 2 mm) e 5 (corte 2 mm x 2 mm).

Figuras 4 - Corte das latas de alumínio com dimensões de 10 cm x 2 mm.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figuras 5 - Corte das latas de alumínio com dimensões de 2 mm x 2 mm.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.3 Brita

A brita é o agregado graúdo que fica retida peneira número 4.

A brita utilizada no experimento estava disponível nas dependências da UFFS-campus Erechim, segundo os Técnicos responsáveis na área de construção civil da UFFS, ela é oriunda de um Britador localizado na cidade de Erechim/RS. A brita utilizada na construção civil comum é classificada como classe 2, média, com isto foi realizado uma análise granulométrica para caracterização e classificação da brita. Para encontrar o peso específico da brita é utilizado a seguinte equação.

$$\delta = \frac{\text{Peso total}}{V_f - V_i} \quad \text{Equação 2}$$

Onde: δ : peso específico [g/cm^3];

Peso total: peso total de brita na pesagem;

V_i : Volume de água inicial no béquer;

V_f : Volume de água final no béquer.

A equação 2 dispõe de uma forma de realizar o calculo do peso específico da brita. O método prático iniciou-se pesando uma pequena quantidade da brita, após sendo mergulhada em um béquer com água, sabendo o volume inicial da água dentro do béquer e o volume final, os valores foram calculados com a equação 2.

3.2.4 Cimento

O cimento Portland é um material pulverulento, constituído de aluminatos e silicatos de cálcio, praticamente sem cal livre. Esses silicatos e aluminatos complexos, quando misturados com água, hidratam-se e assim, fazem o endurecimento da massa, podendo oferecer elevada resistência mecânica (PETRUCCI, 1980).

O cimento empregue na realização dos corpos-de-prova é um cimento comum, sendo o mais utilizado no concreto convencional civil, é caracterizado como Cimento Portland CP II Z 32. Segundo a indústria fornecedora o Cimento Portland CP II Z 32 permite uma boa secagem e trabalhabilidade adequada a todos os tipos de obra.

A indústria fabricante do Cimento Portland CP II Z 32 segue a norma NBR 16697 (ABNT 2018), referente aos requisitos e os tipos de cimentos, sobre o cimento utilizado a norma descreve:

O cimento Portland é um material ligante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona, durante a fabricação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio e adições minerais nos teores (ABNT NBR 16697, 2018).

3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os procedimentos experimentais estão divididos em três subitens, estes podem ser visualizados nos itens 3.3.1, 3.3.2 e 3.3.3.

3.3.1 Moldagem dos Corpos-de-Prova

Para a fabricação dos blocos de concretos foram utilizados os seguintes materiais: Cimento, areia, brita, água e material agregado (alumínio). As amostras de concreto foram realizadas nas dependências da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Os moldes utilizados para a realização das análises tem dimensões cilíndricas de diâmetro igual a 5 cm e comprimento de 10 cm, assim contendo um volume igual a 196,35 cm³, como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Corpos-de-prova cilíndrico utilizados nas análises.

Fonte: Elaborado pelo autor.

As misturas foram realizadas nas seguintes proporções: Três corpos-de-prova sem substituição de agregados, servindo como mistura base comparativa; três corpos-de-prova com substituição do agregado miúdo de 5%; três corpos-de-prova com 10% de substituição do agregado.

A Tabela 1 descreve a porcentagem do resíduo substituído, o peso do resíduo e as diferentes amostras com substituição de 5% e 10%.

Tabela 1: Porcentagem e peso do alumínio incorporado em cada amostra do experimento.

Amostra	Material Substituído	%	Peso Resíduo (g)
1	-	-	-
2	-	-	-
3	-	-	-
4	Areia	5%	10,5
5	Areia	5%	10,5
6	Areia	5%	10,5
7	Areia	10%	21,0
8	Areia	10%	21,0
9	Areia	10%	21,0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os corpos-de-prova de concreto foram moldados com traço 1:3:3 (cimento, areia e brita), já para a relação água-cimento, como não havia uma relação concreta de valor, foram feitos alguns testes para verificar a trabalhabilidade da mistura, chegando a um valor ideal de 0,7 desta relação.

Os materiais foram pesados individualmente para compor a mistura, como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Areia, brita, cimento e alumínio pesados e separados para uma mistura.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A sequência de mistura foi a seguinte:

- 1 Areia, alumínio e cimento;
- 2 Adição de $\frac{1}{2}$ de quantidade do total da água;
- 3 Adição da brita e o restante de água;
- 4 Moldagem dos Corpos-de-prova em cilindro com desmoldante.

O enchimento dos moldes foi realizado em 3 camadas, sendo levemente compactados, com o auxílio de um compactador manual, até o enchimento total de cada molde, isto para que os corpos-de-prova não ficassem com alguma falha ou aerados em seu interior.

A cura dos moldes realizou-se pela seguinte sequência:

- 1 Secagem por 7 dias nos moldes, ao ar livre;
- 2 Desmoldagem;
- 3 Imersão por 21 dias em água.

Os procedimentos foram realizados conforme a norma ABNT NBR 12655 (2006), onde preconiza que o concreto deve ter uma cura de 28 dias, a partir da sua concretagem.

3.3.2 Resistência Mecânica à Compressão Simples

Segundo Petrucci (1980) a aplicação de uma carga vertical em um corpo-de-prova tendo um formato cilíndrico até o rompimento é denominado ensaio de compressão simples. A carga aplicada sobre o corpo-de-prova é aumentada gradativamente, ela deve-se ser

distribuída uniformemente sobre toda a superfície vertical do corpo-de-prova, com isto é possível saber a de tensão de ruptura que é a carga máxima exercida em uma determinada área.

Para que o rompimento dos corpos-de-prova fosse realizado corretamente, foi utilizado os requisitos disponíveis na norma ABNT NBR 5739 do ano de 1994, onde ela “[...] prescreve um método de ensaio pelo qual devem ser ensaiados à compressão os corpos-de-prova cilíndricos de concreto, moldados conforme a ABNT NBR 5738 e extraídos conforme a ABNT NBR 7680[...].” (ABNT NBR 5739, 1994).

Estas análises foram realizadas na Universidade Regional Integrada-URI Erechim, Campus II, no Laboratório de Construções civil.

Para manter a verticalidade da carga de ruptura utilizou-se uma borracha na superfície superior de cada corpo-de-prova.

A prensa hidráulica (Figura 8) utilizada nos testes de compressão simples, tem uma pressão de carga máxima de 2000 kN. Esta prensa é uma prensa profissional, indicada para testes em laboratório de compressões simples de diversos materiais, mostrando a carga no momento do rompimento e a deformação de cada corpo-de-prova.

Figura 8 - Prensa Hidráulica com carga máxima de 2000 kN utilizada para o rompimento dos corpos-de-prova do trabalho em questão.



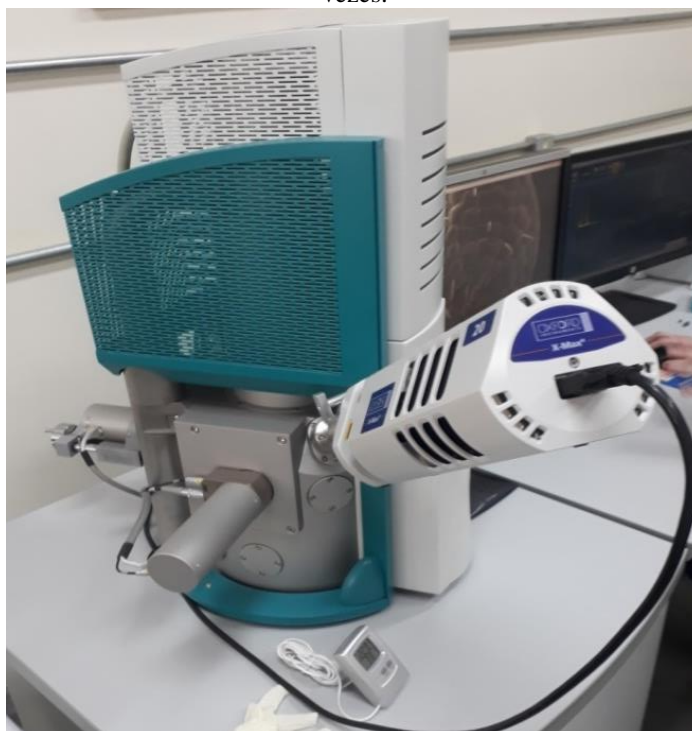
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.3 Análises MEV (Microscopia eletrônica de varredura)

Foram encaminhadas algumas amostras dos corpos-de-prova com 10 % de substituição, para as análises em um aparelho de MEV, com a proposta de verificar a microestrutura e a composição química das amostras analisadas.

As análises de MEV foram realizadas em Passo Fundo/RS, na unidade da Universidade de Passo Fundo, mais específico no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura. O aparelho utilizado para as análises foi o X-Max da OXFORD instruments, tendo uma variação de ampliação iniciando de 15 vezes até 300 mil vezes, este ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Microscópio eletrônico de varredura utilizado nas análises MEV com aproximação de 15 a 300 mil vezes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Primeiramente as amostras passaram pelo processo de metalização, com recobrimento em ouro. E por fim, foram inseridas no aparelho de MEV, formulando as imagens e os spectrum de cada ponto analisado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos subitens com iniciais quatro estão dispostos os resultados obtidos na realização do trabalho.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA AREIA

A granulometria da areia pode ser visualizada na Tabela 2. Onde pode ser observado, que grande quantidade do material ficou retido entre as peneiras 0,425mm e 0,15mm.

Tabela 2 - Análise granulométrica feita na areia, para posterior classificação e caracterização.

Abertura da peneira (mm)	Massa retida (g)	%
4,00	9,34	0,934
2,00	34,76	3,476
1,18	52,32	5,232
0,425	250,22	25,022
0,300	222,91	22,291
0,150	339,24	33,924
0,075	80,61	8,061
Materiais finos (silte)	10,60	1,060

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a Equação 1, foi possível determinar o peso específico da areia em que foi utilizado no experimento, tendo um valor de 1,46 g/cm³.

A partir do peso da areia, foi possível calcular a quantidade de alumínio que deve à substituir, para cada porcentagem de substituição (Tabela 3).

Tabela 3 - Quantidade de alumínio substituído pela areia na fabricação dos blocos.

Porcentagem Substituída (%)	Massa total (g)	Massa substituída (g)
5	630,0	31,5
10	630,0	63,0

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA BRITA

A granulometria da brita pode ser observada na Tabela 4. Onde grande quantidade do material ficou retido na peneira 9,5 mm.

Tabela 4 - Análise granulométrica feita na brita para posterior classificação e caracterização.

Abertura da peneira (mm)	Massa retida (g)	% retida
25	7,73	0,773
19	29,99	2,999
9,5	787,22	78,722
6,30	167,97	16,797
<6,30	7,08	0,708

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da Equação 2, determinou-se o peso específico da brita, sendo 2,23 g/cm³. Ressalta-se que a brita não foi substituída pelo alumínio.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO ALUMÍNIO

O alumínio foi reduzido em frações granulométricas entre, 4 mm e 0,425mm. Os valores da caracterização granulométrica estão disponíveis na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores da caracterização granulométrica dos resíduos de latas de alumínio.

Abertura da peneira (mm)	Massa retida (g)	% retida
4,00	1,2	1,81
2,00	55,47	83,56
1,18	8,36	12,59
0,425	1,26	1,90
<0,425	0,09	0,13

Fonte: Elaborado pelo autor.

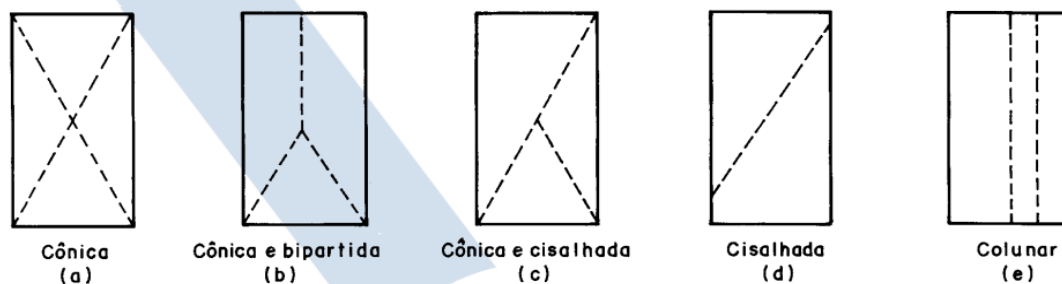
Como pode ser observado na Tabela 5, a predominância granulométrica é entre 2mm e 1,18mm.

4.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

Os ensaios seguiram rigorosamente as exigências da NBR 5739 (ABNT, 1994).

A Figura 10 ilustra os principais tipos de rupturas ocorridos em corpos-de-prova de concreto.

Figura 10 - Esboço dos tipos de rupturas características para os procedimentos de análise de resistência à compressão simples.



Fonte: ABNT NBR 5739 (1994).

As análises dos resultados obtidos após a ruptura dos corpos-de prova foram divididas em dois grupos, os sem substituição de agregado e os com substituição de agregado.

4.4.1 Resistência à compressão simples sem substituição do agregado

Os corpos-de-prova sem substituição (0% de alumínio), podem ser classificados como colunar (e) conforme a ABNT NBR 5739 de 1994. A Figura 11 demonstra a ruptura do corpo-de-prova.

Figura 11 - Configuração da ruptura no momento em que o CP com substituição de 0% rompeu a partir da carga exercida pela prensa hidráulica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.2 Resistência à compressão simples com 5% e 10% de substituição do agregado

Os corpos-de-prova com 5% e 10% de substituição, apresentaram uma forma de ruptura incomum. Observa-se na Figura 12, que a ruptura dos corpos-de-prova não se

enquadra no modelo proposto pela ABNT NBR 5739 de 1994, assemelhando-se a um esmagamento e desagregação generalizada do material.

Figura 12 - Configuração da ruptura no momento em que os corpos-de-prova com substituição de 5% e de 10% romperam a partir da carga exercida pela prensa hidráulica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5 ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

Na Tabela 6 seguem os resultados no instante da ruptura de cada corpo-de-prova.

Tabela 6 - Resultados da resistência à compressão simples para os corpos-de-prova.

Corpo de Prova	% de substituição de alumínio	Idade (dias)	Diâmetro (mm)	Força Máxima (kN)	Resistência a Compressão (MPa)	Média dos CPs em cada substituição	Desvio Padrão	Variância
CP 1	0	28	50	21,3	10,85	10,98	0,62	0,38
CP 2	0	28	50	22,9	11,65			
CP 3	0	28	50	20,5	10,44			
CP 4	5	28	50	7,3	3,7	3,35	0,58	0,33
CP 5	5	28	50	7,2	3,66			
CP 6	5	28	50	5,3	2,68			
CP 7	10	28	50	5,3	2,68	2,83	0,13	0,02
CP 8	10	28	50	5,7	2,9			
CP 9	10	28	50	5,7	2,9			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os corpos-de-prova sem adição de alumínio, apresentaram uma resistência à compressão simples média 10,98 MPa. Os corpos-de-prova com adição de 5%, apresentaram uma resistência à compressão simples média de 3,35 MPa. Os corpos-de-prova com adição de 10%, apresentaram uma resistência à compressão simples média de 2,83 MPa.

Em uma análise conjunta média, observa-se que na adição de 5% houve uma redução de 69,5% da resistência à compressão simples, e que de outra forma, para a adição de 10% houve uma redução de 74,2% da resistência à compressão simples.

4.6 ANÁLISE DAS DEFORMAÇÕES DURANTE ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

Na Tabela 7, seguem os resultados numéricos das deformações no instante da ruptura de cada corpo-de-prova.

Tabela 7 - Resultados da deformação vertical obtidas no ensaio de compressão simples para os corpos-de-prova.

Corpo de Prova	% de substituição	Deformação Vertical (mm)	Média dos CPs em cada substituição	Desvio Padrão	Variância
CP 1	0	3,8	4,4	0,87	0,76
CP 2	0	4			
CP 3	0	5,4			
CP 4	5	10,1	7,43	2,36	5,58
CP 5	5	6,6			
CP 6	5	5,6			
CP 7	10	1,9	2,53	1,10	1,20
CP 8	10	3,8			
CP 9	10	1,9			

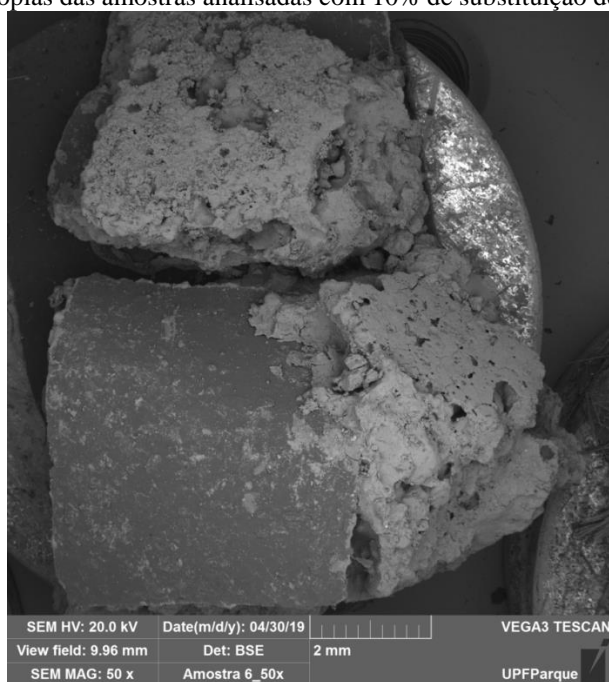
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os corpos-de-prova sem adição de alumínio apresentaram uma deformação vertical média durante o ensaio de compressão simples de 4,4 mm. Os corpos-de-prova com adição de 5% apresentaram uma deformação vertical média durante o ensaio de compressão simples de 7,43 mm. Os corpos-de-prova com adição de 10% apresentaram uma deformação vertical média durante o ensaio de compressão simples de 2,5 mm. Em uma análise conjunta média observa-se que na adição de 5% houve um acréscimo de 68,8% na deformação durante o ensaio de compressão simples, e que, de outra forma, para a adição de 10% houve uma redução de 43,2% na deformação, durante o ensaio de compressão simples.

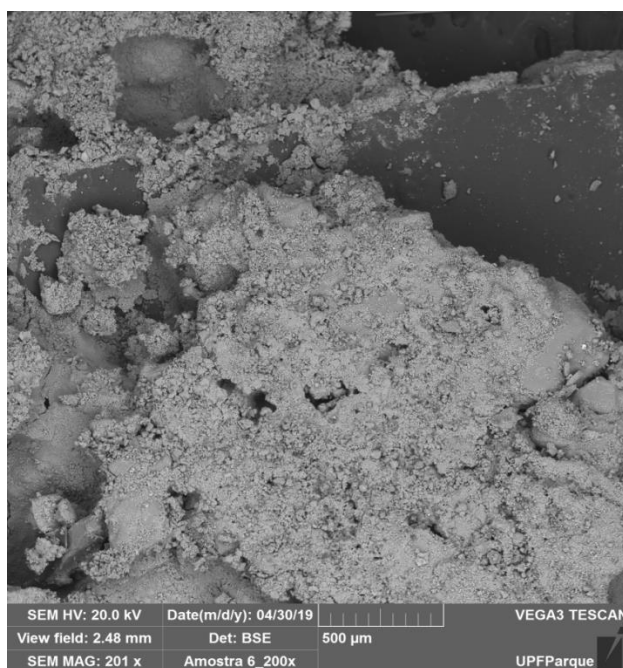
4.7 ANÁLISE MEV

De acordo com as análises do MEV, é possível visualizar a microestrutura dos corpos-de-prova após a ruptura. A Figura 13 ilustra as aproximações de (a) 50x, (b) 200x e (c) 1500x a partir de um microscópio.

Figura 13 - Microscopias das amostras analisadas com 10% de substituição de alumínio (CP 7 a 9).



(a) 50X



(b) 200X



(c) 1500X

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme a Figura 13 percebe-se que pelas micrografias a interação entre as partículas de alumínio e a estrutura do concreto, ocorreu de maneira heterogênea não havendo uma ligação completa com a microestrutura.

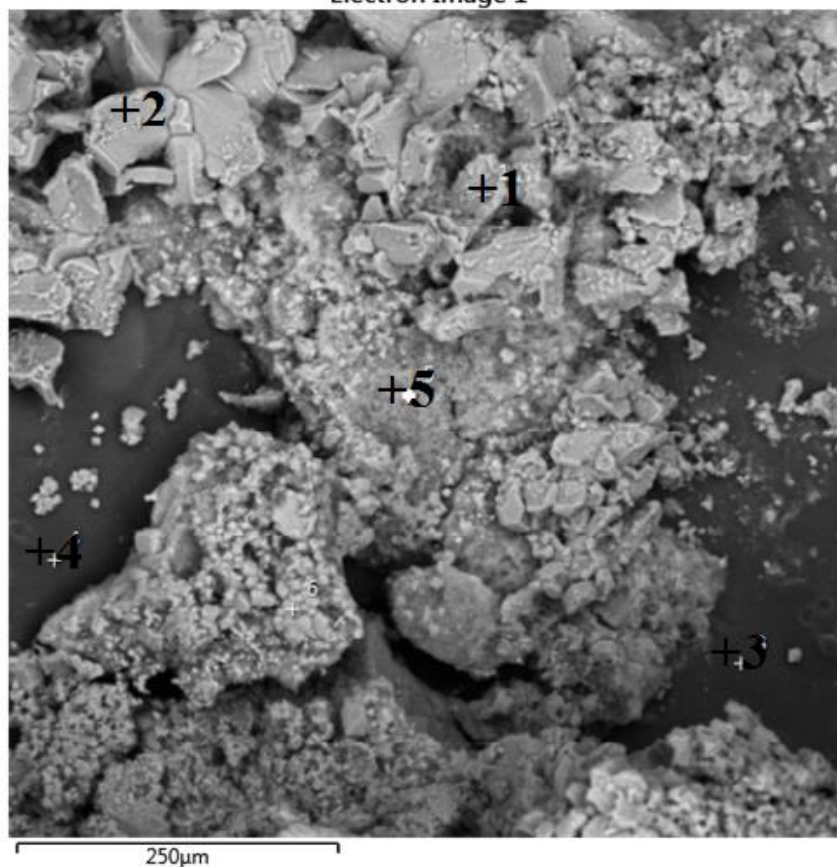
Esta discrepante interação entre as duas faces pode explicar a redução de resistência observada com a substituição do alumínio ao concreto, neste caso de 10%.

Estas observações acima podem não refletir o comportamento dos corpos-de-prova antes da ruptura.

Observa-se que, a substituição de alumínio possa ser feita com uma granulometria menor (pó), a qual possibilita uma maior interação com a microestrutura, oferecendo um maior suporte para a formação do concreto, assim como ocorreria com as partículas de agregado miúdo para 0% de substituição.

Já a Figura 14 ilustra as análises semi-quantitativas da composição química em 5 pontos (spectrum) relacionadas na análise de EDS, como raios X característicos.

Figura 14 - Análises semi-quantitativas da composição com 5 pontos específicos analisados.
Electron Image 1



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 8 mostra os elementos que fazem a composição do concreto das análises de 10% de substituição.

Tabela 8 - Composição do concreto das análises de 10% de substituição.

Pontos	Ca (Cálcio)	Al (Alumínio)	Si (Silício)	Mg (Magnésio)	Fe (Ferro)	K (Potássio)	S (Enxofre)
1	73,8	13,0	8,6	1,7	1,4	0,8	0,7
2	99,3	-	0,7	-	-	-	-
3	97,5	1,1	1,4	-	-	-	-
4	79,9	7,6	8,9	-	-	3,7	-
5	90,2	4,9	3,2	-	1,6	-	-
6	98,8	0,7	0,6	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme a Figura 14 e os resultados da Tabela 8, verifica-se que nos pontos 3 e 4 existe maior presença de alumínio sob a face em coloração escura. Já para os demais pontos observa-se uma menor concentração de alumínio, porém o mesmo está presente em quase

todas as faces, indicando que houve uma possível dissolução da camada de óxido durante a formação do concreto.

Este é outro fator que pode ter sido responsável pelas reduções da resistência, pois a presença de alumínio pode acidificar o meio e retardar a formação completa do concreto.

5. CONCLUSÕES

Os experimentos propostos foram realizados com êxito.

A ruptura sem adição de alumínio apresenta-se de forma colunar (e) enquanto que, as rupturas com adição (5% e 10%) não se enquadram na classificação proposta.

Os valores médios de resistência a compressão e deformação obtidos nos ensaios de compressão simples foram os seguintes: sem adição 10,98 MPa; 4,4 mm; substituição de 5% 3,35 MPa; 7,43 mm; substituição de 10% 2,83 MPa; 2,5 mm.

Um fato relevante para a redução na resistência com a utilização do alumínio como agregado miúdo, é que este metal, forma uma camada superficial protetora de óxido depositando-se entre o alumínio e o cimento, podendo prejudicar a aderência do cimento ao alumínio.

Outro fator que pode ter causado a perda de resistência é a diferença acentuada da granulometria entre a areia e o alumínio.

A dissolução da película alumínio (óxido de alumínio) também pode ser responsável pelas reduções da resistência, pois a presença de alumínio pode acidificar o meio e retardar a formação completa do concreto.

Pode-se concluir que a substituição de alumínio como agregado miúdo, diminui a resistência do concreto, assim como, os acréscimos de substituição acentuam esta perda de resistência em uma faixa de análise de 5% a 10%.

REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.655, **Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento**, Brasil, 2006 (ABNT NBR 12.655/2006);

_____. NBR 16.697, **Cimento Portland – Requisitos**, Brasil, 2018 (ABNT NBR 12.697/2018);

_____. NBR 5.739, **Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**, Brasil, 1994 (ABNT NBR 5.739/1994);

ABAL – Associação brasileira do alumínio. **Relatório de sustentabilidade da indústria brasileira do alumínio**. São Paulo: ABAL, 2019. Disponível em: <<http://abal.org.br/publicacao/relatorio-de-sustentabilidade-2019/>>. Acesso em: 14 mar. 2019.

ABAL - Associação brasileira do alumínio. **Reciclagem do alumínio**. São Paulo: ABAL. 1997-2017. Disponível em: <<http://abal.org.br/aluminio/historia-do-aluminio/>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

ABRALATAS - Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio. Brasília. **Reciclagem do alumínio no Brasil**. Brasília: Abralatas. 2019. Disponível em: <<http://www.abralatas.org.br/#meioambiente>>. Acesso em 02 de mar. 2019.

BRASIL. **Ministério do meio ambiente, da produção e consumo sustentável**. Reciclagem. Brasília, 2019.

BRITO, G. V; VIEIRA, S. P. G. **Sistemas e materiais de construção: Materiais de construção alumínio**. Curso de arquitetura, laboratório de construção da faculdade de arquitetura da universidade do Porto, Porto, 2011. Disponível em: <https://ciamh.up.pt/arma/wp-content/uploads/2014/08/G39_-Aluminio.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2019.

COSTA, L. G; PIRES. H. **A contribuição da reciclagem do alumínio para o alcance do desenvolvimento sustentável**. IV SEGET – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos07/1262_artigo%20aluminio_Seget_2007_Prof.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2019.

DEDAVID, B.A.; GOMES, C. I; MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2003.

DUARTE, L. C. et al. **Aplicações de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e sistemas de energia dispersiva (EDS) no estudo de gemas: exemplos brasileiros**. Porto Alegre: UFRGS. 2003.

KNOLL, M. **Auflade potentiel und sekundar emission electron enbestrahlter korper**. Z Tech. Phys. v.16, p. 467-475, 1935.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 7ª edição. Porto Alegre: Globo. p. 307.1980.

RECICLOTECA. **Centro de informações sobre reciclagem e meio ambiente**. 2019. 1 fotografia. Disponível em: <<http://www.recicloteca.org.br/material-reciclavel/metal/aluminio/>>. Acesso em: 14 mar. 2019.

REQUE, S. **Reciclagem de latas de alumínio: Abordagem sócio econômica**. Universidade Tuiuiú Do Paraná, Curitiba. 2003. Disponível em: <<https://tcconline.utp.br/media/tcc/2015/12/RECICLAGEM-DE-LATAS-DE-ALUMINIO.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

SEMA - Secretaria Estadual Do Meio Ambiente Do Estado Do Rio Grande Do Sul, 2011. **Inventario florestal contínuo**. Disponível em: <<http://coralx.ufsm.br/ifcrs/frame.htm>>. Acesso em: 03 mar. 2019.