

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM CONCRETOS

Hygor Andrew da Silva¹
Elton José Pereira Felix²
Alexandre Cunha Machado³
Luzan Beiriz Gonçalves⁴

Engenharia Civil



ISSN IMPRESSO 1980-1777
ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

RESUMO

O desgaste superficial e a porosidade são algumas das manifestações patológicas mais recorrentes na construção civil, acarretando em custos elevados para restaurar ou substituir o concreto danificado. A pesquisa busca melhoria na resistência através de parâmetros na dosagem e execução dos concretos, avaliando corpos de prova de concretos convencionais e com adição de sílica ativa, além de analisar a sua microestrutura. O estudo compõe-se na resistência aos esforços de compressão axial e no fenômeno do desgaste. Como a resistência do concreto é a capacidade de suportar a tensão sem apresentar fissuras, foram analisadas as rupturas dos corpos de prova nas idades de 7, 14 e 28 dias, observando sua trabalhabilidade. Para a seleção do concreto, de acordo com a literatura, a orientação é que a resistência à compressão é o fator mais importante de sua resistência à abrasão, logo, as informações obtidas são decorrentes de rompimentos que verificam a resistência mecânica que está relacionada diretamente à dureza superficial dos concretos. Por fim, os resultados indicam que a presença de sílica ativa aumenta a resistência à compressão e faz com que seja reduzido o desgaste superficial e a porosidade em concretos.

PALAVRAS-CHAVE

Concreto. Compressão. Microestrutura. microssílica.

ABSTRACT

The surface wear and porosity are some of the most frequent pathological manifestations in civil construction, resulting in high costs to restore or replace the damaged concrete. The research aims to improve the resistance through parameters in the dosage and implementation of the concrete, evaluating samples of conventional concrete and silica fume, and to analyze the microstructure. The study consists in the resistance to axial compression stresses and wear phenomena. As the concrete strength is the ability to withstand the tension without showing cracks, ruptures the specimens were examined at the ages of 7, 14 and 28 days, noting its workability. For the concrete selection, according to the literature, the guidance is that the compressive strength is the most important factor for its abrasion resistance, so the information obtained result from disruptions checking the mechanical resistance and directly to the surface hardness of concrete. Finally, the results indicate that the presence of silica fume increases the compressive strength and causes surface wear is reduced and the porosity of concrete.

KEYWORDS

Concrete. Compression. Microstructure. Sílica fume.

1 INTRODUÇÃO

As adições em concretos vêm sendo empregadas cada vez mais nos dias atuais, muitas delas podem melhorar as propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto, além de poder estar contribuindo com a inovação e o avanço da construção civil.

As pozolanas podem contribuir para o ganho de resistência mecânica e redução de água para a trabalhabilidade devido o efeito físico das partículas na distribuição granulométrica do sistema (NITA; JOHN 2007). De forma geral, uma baixa resistência do concreto deve-se principalmente à baixa resistência mecânica, em particular da camada superficial, que pode ser resultado de um excesso da água de mistura, da utilização de concreto com alta relação água/cimento (a/c), do elevado abatimento, do acabamento prematuro, das condições impróprias de cura, entre outros (FORMAINGTON, 2004).

Segundo Thomaz (2001) o emprego da microssilica (ou Sílica Ativa (SiO_2) finamente pulverizada, com superfície específica da ordem de 25.000 m^2/kg , atua benéficamente segundo dois mecanismos principais: o material reage quimicamente com a portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), que atuam como obstáculos para a propagação de fissuras e resultam em compostos estáveis e de elevada resistência mecânica; se na dosagem for empregada quantidade de sílica ativa superior àquela requerida

para a reação química, o material passa a funcionar como um microfiller, preenchendo os vazios entre os grânulos de cimento.

Segundo Neville (1982), para o desgaste de concretos a resistência à compressão é o fator mais importante de sua resistência à abrasão. Assim, como um dos mais importantes efeitos da microssilica no concreto é a diminuição de fissuras pela sua capacidade de preenchimento dos vazios, os concretos que apresentam pouca exsudação tendem a ter uma camada superficial mais resistente. De acordo com Mehta e Monteiro (2008), a compressão é universalmente usada com um índice para todos os outros tipos de resistência. Este estudo tem como objetivo avaliar e comparar a resistência à compressão axial do concreto com diferentes percentuais de adição de microssilica, nas idades de 7, 14 e 28 dias, submetido às condições de cura úmida.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado, utilizando os concretos que foram produzidos no Laboratório de Matérias de Construção (LMC), localizado no Instituto Federal de Alagoas (IFAL), campus Maceió-AL, entretanto, os ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova (NBR 5739/2007) foram realizados no Laboratório de Estruturas e Materiais (LEMA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), campus A.C. Simões.

Os concretos foram preparados em três grupos ou dosagens, variando o teor de microssilica entre 0% a 2,5%, resultando em 42 corpos de prova (CP's) cilíndricos ($\varnothing 10 \times 20$ cm), ver Figura 1:

Figura 1 – Corpos de prova (CP's) de concreto



Fonte: Elaborado a partir da pesquisa.

A avaliação dos corpos de prova (CP's) foi dividida em duas etapas, cada uma com um traço. A primeira etapa foi realizada, utilizando o traço com resistência característica (f_{ck}) média de 25 MPa. Já a segunda etapa foi realizada com o traço que possui uma resistência característica (f_{ck}) média de 30 Mpa.

Foram produzidos concretos com 0% (convencional) de sílica ativa, para serem utilizados como parâmetros com os demais concretos com adição de microssílica, que foram, respectivamente, de 0,5%, 1,5% e 2,5% de adição em relação à massa de cimento.

No processo de moldagem, o adensamento foi feito de forma manual, utilizando uma haste de aço para realizar os golpes. A desforma dos CP's ocorreu 24 horas após a betonada e em seguida os mesmos foram colocados num tanque com água para realização da cura por via úmida. Os procedimentos de adensamento, desforma e cura foram realizados, seguindo as recomendações da norma brasileira NBR 5738:2015, que trata sobre os procedimentos de moldagem e cura de corpos de prova, ver Figura 2.

Figura 2 – Moldagem dos corpos de prova de concreto



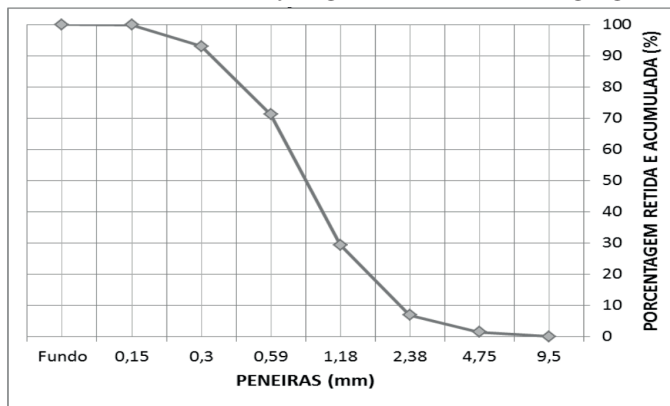
Fonte: Elaborado a partir da pesquisa.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NOS CONCRETOS

2.1.1 Agregado Miúdo

Na pesquisa foi utilizada areia média de origem quartzosa natural com distribuição granulométrica contínua, sendo esta caracterizada quanto à composição granulométrica de acordo com a NBR NM 248/2003. Tendo um módulo de finura de 4,01 e dimensão máxima característica de 4,75mm. Os resultados desta caracterização encontram-se expressos por meio de gráfico na Figura 3.

Figura 3 – Curva de distribuição granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Elaborado a partir da pesquisa.

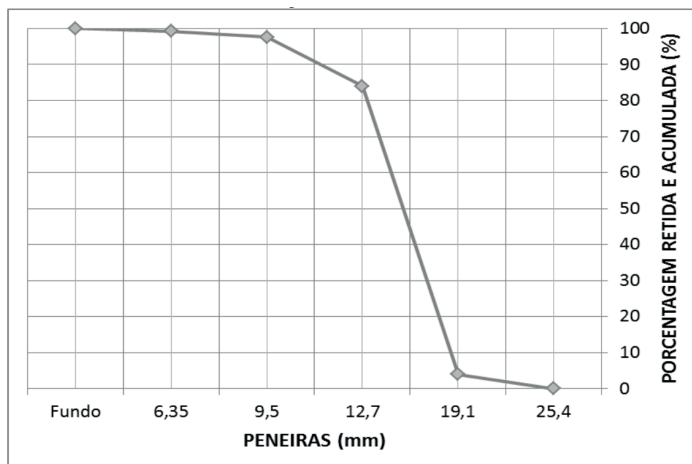
2.1.2 Agregado graúdo

Utilizou-se pedra britada de origem granítica do tipo 2, caracterizada quanto as suas propriedades físicas e seguindo os ensaios de determinação da composição granulométrica (NBR NM 248/2003). Possuindo módulo de finura de 3,85 e dimensão máxima característica de 19,10mm. Os resultados desta caracterização encontram-se expressos na figura 4.

2.1.3 Aglomerante

Foi utilizado como aglomerante na fabricação das peças de concreto o cimento CP II-Z-32 do fabricante CIMPOR, tendo caracterização física e química de acordo com o fabricante conforme a NBR 11578/1997, com massa específica de 2,96g/cm³.

Figura 4 – Curva de distribuição granulométrica do agregado graúdo

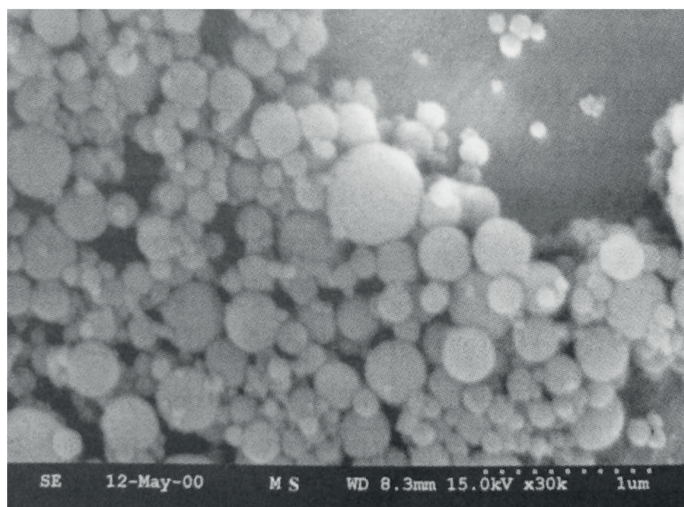


Fonte: Elaborado a partir da pesquisa.

2.1.4 Microssilica

A sílica ativa foi caracterizada quanto às suas propriedades físicas, seguindo os ensaios de determinação da massa específica (NBR NM 23/2001) de acordo com o fabricante, com massa específica de $2,17\text{g/cm}^3$, do tipo ND, com peso líquido de um pacote igual a 15 quilogramas. Também conhecida por outros nomes, como sílica volatizada, microssilica, ou fumo de sílica condensado, segundo Mehta e Monteiro (2008), a sílica é um subproduto da indução de fornos a arco nas indústrias de silício metálico e ligas de ferro-silício, considerada um pó extremamente fino que, em geral, possui diâmetro médio da ordem de $0,1\mu\text{m}$ e área superficial específica entre 15 e $25\text{m}^2/\text{kg}$, como é visto na Figura 5.

Figura 5 – Micrografia eletrônica de varredura de sílica ativa



(MEHTA; MONTEIRO, 2008). Cedida por Elken Company
Fonte: Elaborado a partir da pesquisa.

2.1.5 Água

A água utilizada na dosagem dos concretos foi proveniente da rede de abastecimento pública da cidade de Maceió, capital de Alagoas, Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL).

2.2 QUANTIDADES DE MATERIAIS UTILIZADOS

Os concretos, tanto convencionais quanto os com teores de sílica ativa, do primeiro traço com f_{ck} médio de 25 Mpa, tiveram um consumo de cimento de $458,60\text{kg/m}^3$ e um consumo de água de $235,67\text{l/m}^3$, sendo a relação água/cimento (a/c) de 0,51 e o traço unitário utilizado foi de 1 : 2,02 : 1,35 : 0,51 (cimento : areia : pedra britada: relação água/cimento), ver tabela 1.

Já as peças de concreto do segundo traço, com fck médio igual a 30 Mpa, tiveram consumo de cimento de 541,40 kg/m³ e um consumo de água de 235,67 l/m³, com o traço utilizado de 1 : 1,60 : 1,15 : 0,44 (cimento : areia : pedra britada : relação água/cimento), ver Tabela 2.

Tabela 1 – Primeiro traço com fck médio de 25 MPa

Traço Unitário	Consumo de água	Relação água/cimento	Teor de sílica ativa	Consumo de cimento	Consumo de microssílica
(c:a:p)	(l/m ³)	(a/c)	(%)	(kg/m ³)	(kg/m ³)
1 : 2,02 : 1,35	235,67	0,51	0,00	458,60	0,00
1 : 2,02 : 1,35	235,67	0,51	0,50	456,30	2,30
1 : 2,02 : 1,35	235,67	0,51	1,50	451,72	6,88
1 : 2,02 : 1,35	235,67	0,51	2,50	447,13	11,47

Fonte: Elaborado a partir da pesquisa.

Tabela 2 – Segundo traço com fck médio de 30 MPa

Traço Unitário	Consumo de água	Relação água/cimento	Teor de sílica ativa	Consumo de cimento	Consumo de microssílica
(c:a:p)	(l/m ³)	(a/c)	(%)	(kg/m ³)	(kg/m ³)
1 : 1,60 : 1,15	235,67	0,44	0,00	541,40	0,00
1 : 1,60 : 1,15	235,67	0,44	0,50	538,70	2,70
1 : 1,60 : 1,15	235,67	0,44	1,50	533,28	8,12
1 : 1,60 : 1,15	235,67	0,44	2,50	527,87	13,53

Fonte: Elaborado a partir da pesquisa.

2.3 ANÁLISE POR MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA (MEV)

As análises da microestrutura dos concretos para os diferentes traços e adições foram realizadas com as amostras coletadas após o ensaio de resistência à compressão aos 28 dias, as quais foram submetidas à microscopia de varredura eletrônica (MEV). O ensaio foi realizado no Laboratório de Química do Instituto Federal de Alagoas, campus Maceió, por meio do microscópio eletrônico de varredura de elétrons VEGA3 LM, da marca *Tescan Orsay Holding*, operando neste ensaio com tensão de aceleração de 5 kV, possuindo capacidade de aumento de 2 à 1.000.000 vezes para fazer a caracterização da microestrutura das amostras de concreto.

3 RESULTADOS

Primeiramente foram produzidos concretos experimentais com teores de adição de 10% e 5% de sílica ativa, onde no "slump-test" seus abatimentos foram de zero milímetro, devido capacidade elevada de absorção de água da microssílica (SILVA,

2013), resultando em um concreto com baixa trabalhabilidade. Sendo assim, as dosagens foram estabelecidas depois de testes experimentais em 2,5%, 1,5% e 0,5% de adição de sílica ativa e os dois traços utilizados na fabricação dos concretos tem fck médio de 25 MPa e 30 MPa. Na Figura 6 é possível observar a comparação entre os abatimentos de 5% (0 cm) e 1,5% (6,52 cm) do primeiro traço com fck médio de 25 MPa.

Figura 6 – Comparação dos abatimentos de tronco de cone, onde (a) é do traço com 5% e (b) é do traço com 1,5% de adição de microssilica



Fonte: Elaborado a partir da pesquisa.

3.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E TRABALHABILIDADE DOS CONCRETOS

O ensaio foi realizado no Laboratório de Estruturas e Materiais da Universidade Federal de Alagoas, onde foram coletados os corpos de prova de concreto diretamente dos tanques com água (cura) e submetidas nas idades estudadas de 7, 14 e 28 dias ao ensaio de resistência à compressão na Prensa Hidráulica de Ruptura, vista na Figura 7. As dosagens finais mostraram resultados significativos, com o aumento da resistência à compressão nos concretos que tinham teor de sílica ativa. No primeiro traço (fck = 25 MPa), os resultados da dosagem de 2,5% reduziram em relação aos resultados de 1,5% aos 7 e 14 dias de cura, porém, com 28 dias a dosagem de 2,5% ultrapassou as resistências das demais dosagens do ensaio, como é expresso na Figura 8. Já o segundo traço ocorreu o mais esperado, uma crescente resistência à compressão com o aumento do teor de sílica ativa, como é representado na Figura 9, entretanto, a trabalhabilidade dos concretos também reduziu. Nas tabelas

3 e 4 apresentam-se os resultados dos abatimentos dos concretos de referência e com teores de microssílica dos dois traços.

Figura 7 – Ensaio de resistência à compressão



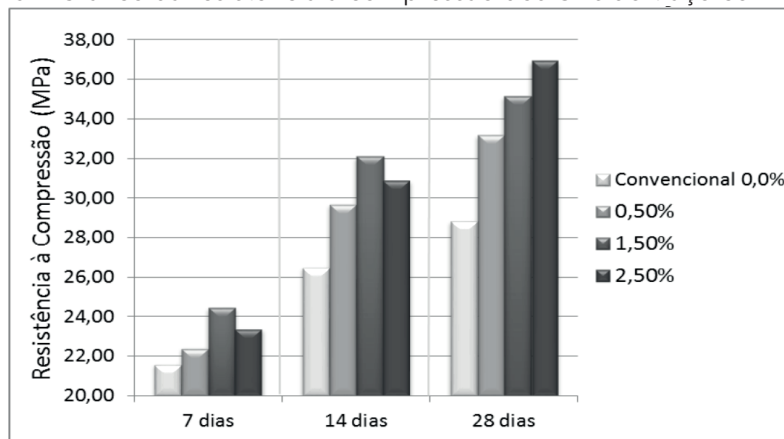
Fonte: Elaborado a partir da pesquisa.

Tabela 3 – Resultado do Slump Test com o traço de 1 : 2,02 : 1,35 : 0,51

Teor de Sílica Ativa (%)	Abatimento (cm)
0,00	9,38
0,50	7,67
1,50	6,52
2,50	4,56

Fonte: Elaborado a partir da pesquisa.

Figura 8 – Gráfico da resistência à compressão dos CP's do traço com fck médio de 25 Mpa



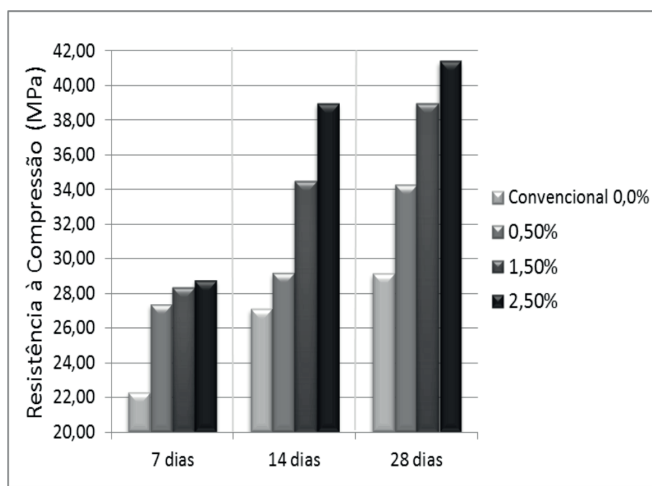
Fonte: Elaborado a partir da pesquisa.

Tabela 4 – Resultado do Slump Test com o traço de 1 : 1,60 : 1,15 : 0,44

Teor de Sílica Ativa (%)	Abatimento (cm)
0,00	7,22
0,50	6,78
1,50	5,65
2,50	4,73

Fonte: Elaborado a partir da pesquisa.

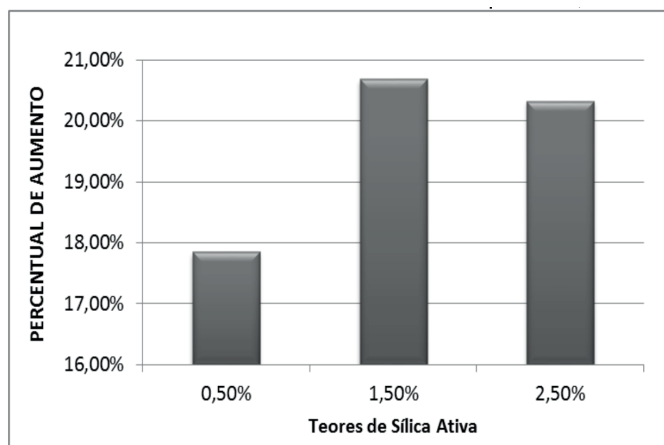
Figura 9 – Gráfico da resistência à compressão dos CP's do traço com fck médio de 30 Mpa



Fonte: Elaborado a partir da pesquisa.

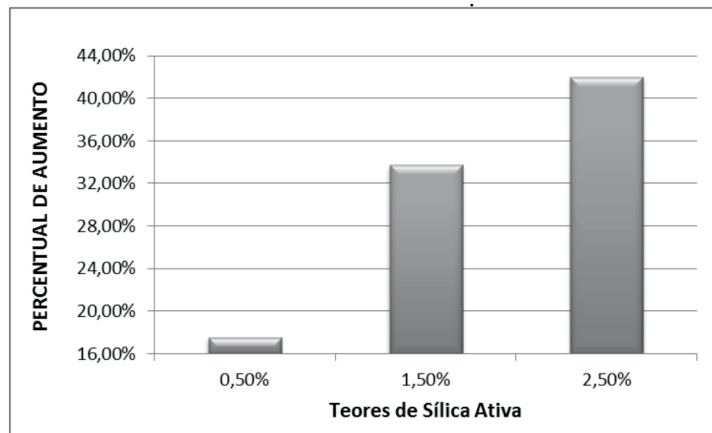
Os percentuais de aumento da resistência à compressão dos concretos, tanto do primeiro, quanto do segundo traço, em relação aos seus parâmetros de concretos convencionais, apresentam-se expressos nas Figuras 10 e 11.

Figura 10 – Percentual de aumento da resistência à compressão, fck médio de 25 Mpa



Fonte: Elaborado a partir da pesquisa.

Figura 11 – Percentual de aumento da resistência à compressão, fck médio de 30 Mpa

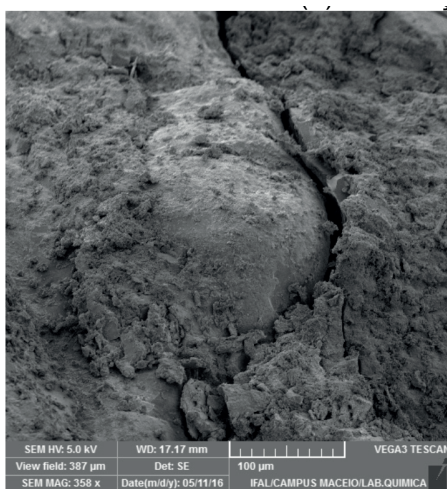


Fonte: Elaborado a partir da pesquisa.

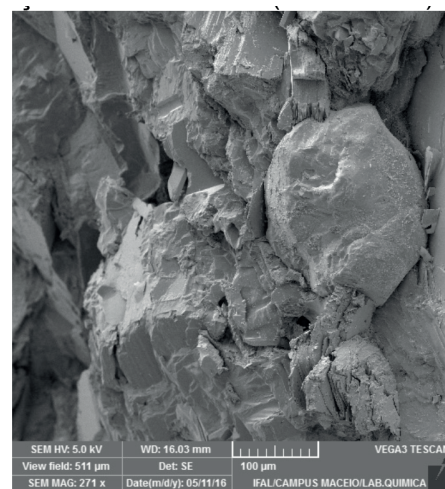
2.2 ANÁLISE POR MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA (MEV)

A seguir, são apresentadas as micrografias das amostras de concreto convencional e com adição de 2,5% de microssílica coletadas no ensaio de resistência à compressão com idade de 28 dias do primeiro traço (fck = 25 MPa). A figura 12 apresenta as amostras aumentadas em 358x e 271x com numa escala de 100µm. É notável a presença de C-S-H, silicato de cálcio hidratado, na amostra 12(a), com uma consistência porosa aparente e permeável. Já na Figura 12(b), percebemos uma consistência da amostra mais densa e menos permeável.

Figura 12 – Comparação das amostras analisadas no MEV, onde (a) é do traço convencional e (b) é do traço com 2,5% de adição de microssílica (fck=25MPa)



(a)



(b)

Fonte: Elaborado a partir da pesquisa

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi estudada a influência da sílica ativa adicionada ao concreto e seus efeitos na resistência à compressão. A partir das análises e comparações, foi possível identificar que a microssílica, por ser um material pulverulento e, de acordo com a literatura, com capacidade de absorção alta, faz com que o concreto tenha um abatimento no *slump-test* menor em relação ao concreto convencional, perdendo trabalhabilidade, entretanto, ainda com dosagens menores houve um aumento da resistência à compressão, fazendo com que diminuíssem os poros e elevasse a resistência mecânica.

As análises no MEV reforçam a hipótese de que quanto maior for o teor de microssílica, menor será a trabalhabilidade e a porosidade do concreto e maior será sua resistência mecânica, ou seja, a sílica ativa reage de forma positiva com o concreto, reduzindo o silicato de cálcio hidratado (C-S-H), que é responsável pelas propriedades mecânicas da pasta, melhorando a ligação da pasta com os agregados e deixando o concreto menos poroso, mais denso e com uma menor zona de transição entre agregado-pasta. Conclui-se que os resultados obtidos nesta pesquisa indicam que a microssílica presente no concreto faz com que aumente sua resistência mecânica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO de Normas Técnicas Brasileira. **NBR 11578**: Cimento Portland – Especificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO de Normas Técnicas Brasileira. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de Compressão de Corpos-de-prova Cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO de Normas Técnicas Brasileira. **NBR NM 23**: Cimento Portland e Outros Materiais em Pó - Determinação da Massa Específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO de Normas Técnicas Brasileira. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da Composição. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO de Normas Técnicas Brasileira. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento Para Moldagem e Cura de Corpos de Prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

FORMAINGTON, H.M. American Concrete Institute. **ACI 302.1R-04 - Guide for concrete floor and slab construction**. ACI Committee 302. 2004.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto**: microestrutura, propriedade e materiais. 3.ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 4.ed.,1982.

NITA, Clovis; JOHN, Vanderley Moacyr. **Materiais pozolânicos**: o metacaulim e a sílica ativa. São Paulo : EPUSP, 2007. 13p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil ; BT/PCC/451).

SILVA, C.V. Influência do uso de sílica ativa na resistência à abrasão em concretos empregados em pisos. LV Congresso Brasileiro do Concreto. **Anais...** IBRACON. 2013.

THOMAZ, E. **Tecnologia**: gerenciamento e qualidade na construção. 2001.

Data do recebimento: 12 de julho de 2016

Data de avaliação: 6 de agosto de 2016

Data de aceite: 3 de setembro de 2016

-
1. Acadêmico do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Tiradentes – UNIT. E-mail: hygor.andrew@hotmail.com
 2. Acadêmico do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Tiradentes – UNIT. E-mail: elton_txuhofes@hotmail.com
 3. Acadêmico do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Tiradentes – UNIT. E-mail: alexandrecm@hotmail.com
 4. Acadêmico do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Tiradentes – UNIT. E-mail: luzanbeiriz@yahoo.com.br