


Análise experimental da resistência à compressão do concreto mediante a substituição do cimento por microssilica

 <https://doi.org/10.56238/sevened2024.003-029>

Luiza Ignez Mollica Marotta

Formação acadêmica mais alta: Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente
Instituição de atuação: Libertas - Faculdades Integradas
E-mail: marotta.eng@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7504-3684>

Leonardo Donizete Bicego Geremias

Formação acadêmica mais alta: Graduando em Engenharia Civil
Instituição de atuação: Libertas - Faculdades Integradas
E-mail: leobgeremias@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1623-8886>

Clayton Reis de Oliveira

Formação acadêmica mais alta: Doutor em Engenharia Civil
Instituição de atuação: Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL/MG
E-mail: clayton.oliveira@unifal-mg.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8752-295X>

Gustavo Soares Santos

Formação acadêmica mais alta: Doutorando em Engenharia de Biomateriais
Instituição de atuação: Universidade Federal de Lavras-UFLA
E-mail: gssengcivil@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3564-5426>

Fabiano Martins Cunha

Formação acadêmica mais alta: Engenheiro Civil, Especialista em Infraestrutura de Transportes e Rodovias.
Instituição de atuação: CONSUL-PRIME-BRASIL Engenharia e Consultoria LTDA
E-mail: fabiano.cunha@consulprimebrasil.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9011-0841>

RESUMO

Atualmente, no Brasil o concreto é elemento mais importante utilizado como material estrutural em todo ramo da construção civil, que revolucionou a história da humanidade em qualidade de vida e desenvolvimento, com seu índice físico mais importante sendo a resistência à compressão. Diante disso, novas técnicas de aprimorar esta propriedade tem surgido, dentre elas está a microssilica, que pode ser utilizada como adição ao concreto ou em substituição do cimento no concreto. Neste artigo foi feita uma análise de resistência à compressão da substituição de microssilica no concreto, com as quantidades de 0%, 5% e 10%, e consequentemente subtraída essa mesma percentagem de cimento. Com esses materiais, foram feitos ensaios de Slump Test que apontaram uma diminuição do abatimento conforme a substituição do cimento pela microssilica foi sendo aumentada, e ensaios de resistência à compressão, onde foi observado um aumento de cerca de 13% desta resistência.

Palavras-chave: Slump Test, Microssilica, Estruturas, Compressão.



1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da Engenharia e da Educação em Engenharia está diretamente relacionado aos avanços da ciência e da tecnologia. À medida que a tecnologia se torna mais complexa, em termos de necessidade de conhecimentos para solucionar problemas, torna-se objeto de estudo e aplicação na Engenharia. Esses conhecimentos são da ordem da matemática, física, química e expressão gráfica.

O concreto surgiu em Roma, cerca de 300 anos a.C. e ainda nos dias atuais esse material é utilizado com recorrência nos métodos construtivos no setor de construção civil. Através dele foi revolucionando a arte de projetar e construir, viabilizando diversos designs e formas no setor. Este elemento é o mais importante material estrutural em todo ramo da construção civil, que revolucionou a história da humanidade em qualidade de vida e desenvolvimento (OLIVEIRA, 2016).

O concreto é constituído mediante a mistura de cimento, areia, brita e água, dosados com alto critério, com eventuais aditivos que potencializam suas características pré-definidas, além de adições que tem por objetivo transformar suas características originais (OLIVEIRA, 2016).

Distintas adições químicas e minerais são utilizadas na mistura do concreto para aprimorar suas propriedades, podendo reduzir o consumo de cimento, dentre estas, encontra-se a microssílica, um resíduo industrial. A microssílica pode causar influência de quantidades variáveis nas adições de materiais à mistura do concreto como substituição parcial do cimento na resistência mecânica à compressão, trabalhabilidade e porosidade. (BONFIM, 2021)

A sílica também faz parte da reação pozolânica, esta reação ocorre quando o hidróxido de cálcio é consumido na formação de silicato de cálcio hidratado, efeito este que influencia na resistência mecânica, na resistência a penetração de agentes agressivos e preenchimento de vazios. Estes efeitos podem ocasionar maior durabilidade e melhor desempenho em distintos ambientes no concreto (DA SILVA; BONFIM, 2019).

No Brasil, a aplicação das práticas de engenharia à construção de edificações teve início na transição do século XIX para o XX. Em um longo período foram de construções onde a própria pessoa edificava sua unidade habitacional de forma puramente empírica. Os últimos 100 anos foram de transformações e inovações nos métodos construtivos. Dessa forma, pode-se afirmar que trata-se de um setor que atua como avanço no desenvolvimento econômico, a construção civil deve atentar – se aos aspectos de qualidade do processo construtivo e da durabilidade das edificações

O Engenheiro Civil, ou responsável por uma obra deve-se ter em mente que além de calculista, deve, sempre que possível, efetuar o controle tecnológico do concreto utilizado em sua obra, o traço adequado do concreto de tal forma que obtenha a resistência requerida. Este controle deve ocorrer não somente durante o período de projeto, mas, principalmente, durante o decorrer da obra (BAUER; FALCÃO, 2018).

Este artigo teve por objetivo apresentar o estudo de concreto utilizando microsilica em sua estrutura. Para isso foram efetuados diversos corpos de prova com e sem a adição de microsilica, as quais foram estudados em laboratório para análise de trabalhabilidade e resistência à compressão.

2 CONCRETO

Nesse capítulo serão apresentados os principais fatores que influenciam diretamente na fabricação do concreto tradicional e com adição de agregados de microsilica.

2.1 COMPOSIÇÃO DO CONCRETO

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014):

As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto, e utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil.

De acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2006), o concreto de cimento Portland é um material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, metacaulim ou microsilica ativa), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água).

O concreto é constituído de cimento, agregados miúdos, agregados graúdos e água. O cimento é um aglomerante hidráulico, ou seja, necessita da adição de água para que ocorra seu endurecimento e, conseqüentemente, a resistência mecânica à compressão (BRAGA; RAMOS, 2019).

Segundo Bauer e Falcão (2018), o concreto fresco trabalha simultaneamente com seus agregados envolvidos por pasta de cimento (água e cimento), possui espaços cheios de ar denominado matriz, o ar encontra-se por meio de bolhas pela pasta, em espaços interligados, determinando pela predominância dessas formas de apresentação.

Para a elaboração de um concreto impermeável, é necessária a incorporação de aditivos ou adições. Além de ser indispensável o estudo de seu melhor traço, ou seja, a proporção dos agregados, cimento e água, o qual pode vir a eliminar os vazios sem a perda de resistência.

2.1.1 Cimento Portland

É um aglomerante hidráulico artificial obtido pela moagem de clínquer Portland a fabricação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio e adições minerais nos teores estabelecidos nesta Norma (ABNT NBR 16697:2018).

Quadro 1: Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland

Designação normalizada (tipo)	Sub tipo	Sigla	Classe de resistência	Sufixo		
Cimento Portland comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40 ^c	RS ^a ou BC ^b -		
	Com adição	CP I-S				
Cimento Portland composto	Com escória granulada de alto forno	CP II-E				
	Com material carbo-nático	CP II-F				
	Com material po-zolânico	CP II-Z				
Cimento Portland de alto-forno		CP III				
Cimento Portland po-zolânico		CP IV				
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	ARI ^d			
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40 ^c			
	Não estrutural	CPB	-	-		

^a O sufixo RS significa resistente a sulfatos e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.3, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

^b O sufixo BC significa baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.4, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

^c As classes 25, 32 e 40 representam os valores mínimos de resistência à compressão aos 28 dias de idade, em megapascals (MPa), conforme método de ensaio estabelecido pela ABNT NBR 7215.

^d Cimento Portland de alta resistência inicial, CP V, que apresenta a 1 dia de idade resistência igual ou maior que 14 MPa, quando ensaiado de acordo com a ABNT NBR 7215 e atende aos demais requisitos estabelecidos nesta Norma para esse tipo de cimento.

Fonte: NBR 16697 (ABNT, 2018).

2.1.2 Agregados

Define-se agregado para esse estudo como a brita 0 e brita 1, e areia lavada, que são classificados pela sua granulometria.

Os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto. (ABNT NBR 7211, 2005).

Dentro dos agregados, há dois grupos utilizados, sendo eles os agregados miúdos e os agregados graúdos, esses agregados são definidos por sua granulometria, ou seja, pelo tamanho de seus grãos. Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005):

- ✓ Agregado miúdo é definido como o aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos somente na peneira com abertura de malha de 150 mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.
- ✓ Já o agregado graúdo é definido como aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

2.1.3 Água

O processo de hidratação do cimento Portland compreende na estabilização dos minerais do clínquer pela água, gerando compostos como o C-S-H, etringita e portlandita. Esta hidratação do cimento Portland não depende exclusivamente dos componentes mineralógicos do clínquer e das adições ativas do cimento, mas também da relação água- cimento, finura, temperatura, procedimentos de cura e outros fatores físicos (FONSECA, 2010, p. 20).

A quantidade de água necessária para a hidratação deste material é definida através de cálculos, onde se deve definir primeiramente a resistência do concreto a ser utilizado e, posteriormente o traço. Esta relação depende de onde este material será utilizado e possui quantidades máximas definidas na tabela 7.1 da NBR 6118 (ABNT, 2023), conforme Quadro 2.

Quadro 2: Tabela de correspondência de classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.
^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2023).

2.1.4 Aditivos e Adições

Segundo NBR 11768 (ABNT, 1992) pode-se definir aditivo como produtos que adicionados em pequena quantidade a concretos de cimento Portland modificam algumas de suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições. Dentre os aditivos descritos nesta norma, os quais suas características equivalentes devem ser garantidas pelo fabricante, estão:

- ✓ Aditivo plastificante (tipo P): aumenta o índice de consistência do concreto mantendo a quantidade de água de amassamento, ou que possibilita a redução de, no mínimo, 6% da quantidade de água de amassamento, para produzir um concreto com determinada consistência;
- ✓ Aditivo retardador (tipo R): aumenta os tempos de início e fim de pega do concreto.
- ✓ Aditivo acelerador (tipo A): diminui os tempos de início e fim de pega do concreto, bem como acelera o desenvolvimento das suas resistências iniciais.
- ✓ Aditivo plastificante retardador (tipo PR): combina os aditivos plastificante e retardador.
- ✓ Aditivo plastificante acelerador (tipo PA): combina os efeitos dos aditivos plastificante e acelerador.
- ✓ Aditivo incorporador de ar (tipo IAR): incorpora pequenas bolhas de ar ao concreto.
- ✓ Aditivo super-plastificante (tipo SP): aumenta o índice de consistência do concreto mantendo a quantidade de água no amassamento, ou que possibilita a redução de, no mínimo, 12% da quantidade de água de amassamento, para produzir um concreto com determinada consistência.

✓ Aditivo super-plastificante retardador (tipo SPR): combina os efeitos dos aditivos super-plastificante e retardador, e aditivo super-plastificante acelerador (tipo SPA): combina os efeitos dos aditivos super-plastificante e acelerador (ABNT NBR 11768, 1992).

2.1.5 Adições minerais

As adições são materiais minerais finamente moídos misturados no concreto para se obter características específicas. Que adicionado ao concreto em quantidade adequada, obtém-se melhoria no estado fresco ocasionando maior coesão, resistência mecânica, química e mineral.

Para que isso ocorra, depende da situação do processo de obtenção do material, composição química, mineralogia, do grau de amortificidade, de granulometria, da quantidade usada nas condições de cura (BAUER; FALCÃO, 2018).

Conforme a NBR 11172 (ABNT, 1990) aglomerantes de origem mineral, como qualquer material que não seja água, agregados, cimentos hidráulicos ou fibras, usado como ingrediente do concreto ou argamassa adicionado a massa antes ou durante a mistura.

Segundo NBR 12.653 (ABNT, 2014) trata sobre requisitos para Materiais Pozolânicos, os quais são definidos como materiais siliciosos ou silicoaluminosos que, sozinhos, possuem pouca ou nenhuma propriedade ligante mas que, quando finamente divididos e na presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente, formando compostos com propriedades ligantes.

Figura 1: : microssilica



Fonte: <https://www.tecnosilbr.com.br>

Figura 2: microssilica



Fonte: <https://www.ecopore.com.br/>

2.1.6 Microssílica

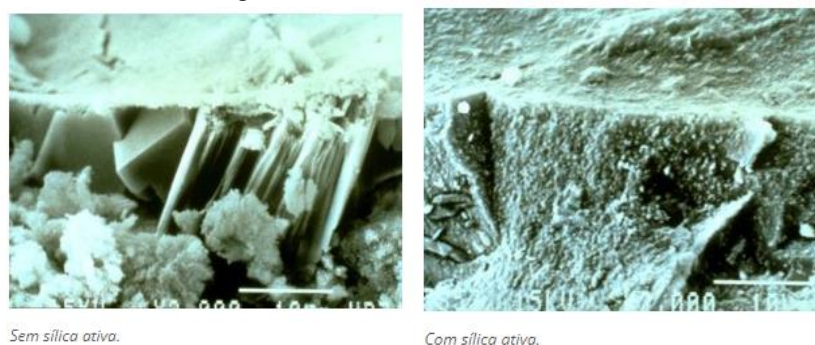
Conforme exposto na dissertação de Vaske (2005), a microssílica, é um subproduto oriundo das produções de silício metálico ou de ligas de ferro-silício a partir de quartzo de elevada pureza e carvão em fornos elétricos. Através do aquecimento das matérias primas utilizadas ocorrem reações químicas, as quais geram o vapor de SiO_2 (Óxido de Silício), este vapor gera, em baixas temperaturas, partículas esféricas extremamente pequenas, na ordem de $0,1 \mu\text{m}$ e superfície específica da ordem de 20.000 a $25.000 \text{ m}^2/\text{Kg}$.

Segundo Coelho (2016), quando utilizado de 3 % a 10 % em misturas de concreto a Sílica Ativa melhora o concreto, oferecendo uma série de benefícios, tais como:

- ✓ Aumento da resistência ao desgaste ou à abrasão das superfícies de concreto sob essas cargas;
- ✓ Aumento da resistência mecânica resistência à compressão;
- ✓ Aumento do módulo de elasticidade.
- ✓ Redução da permeabilidade devido a redução da porosidade.

Na Figura 3, é possível observa a microestrutura do concreto sem a inserção de microssílica ativa há uma maior segregação dos materiais, e conseqüentemente maior porosidade. Já com a adição ou substituição do cimento pela microssílica pode-se observar que o concreto apresenta um material mais homogêneo, uma vez que a microssílica adentra nos poros existentes no concreto, criando uma maior interação entre seus componentes.

Figura 3: Microestrutura do concreto.



Fonte: Bonfim (2021)

2.2 ENSAIOS

2.2.1 Slump Test

O Slump Test avalia a consistência do concreto fresco, garante a trabalhabilidade durante a concretagem e bombeamento e tem a função de evitar problemas graves como falhas na concretagem e entupimento de tubulações. Além disso, a falta de controle de consistência pode resultar na deterioração do desempenho curado do produto tal como durabilidade diminuída (ENGMIX,2022).

Cada obra ou fase de construção pode ter variações de trabalhabilidade ou abatimento, de acordo com a necessidade do cliente, pois à medida que o edifício cresce em alturas maiores, o bombeamento do concreto torna-se difícil. O problema pode ser resolvido fornecendo um produto mais fluido, que além das diretrizes de projeto visa ajudar o concreto a penetrar mais profundamente na armadura, facilitando assim a compactação (ENGMIX,2022).

Conforme a NBR 16889 (ABNT, 2020) o slump test deve ser feito quando “*a dimensão nominal máxima do agregado for superior a 37,5 mm, o ensaio deve ser realizado sobre a fração do concreto que passa pela peneira com abertura de malha de 37,5 mm*”, para isso, a norma estabelece que se deve:

- ✓ Colocar a placa de base sobre uma superfície rígida, plana, horizontal e livre de vibrações. Umedecer o molde e a placa de base e colocar o molde sobre a placa de base. Durante o preenchimento do molde com o concreto de ensaio, utilizando a concha de seção U, o operador deve se posicionar com os pés sobre as aletas, de forma a mantê-lo estável. Encher rapidamente o molde com o concreto coletado conforme a norma estabelece, em três camadas, cada uma com aproximadamente um terço da altura do molde.
- ✓ Adensar cada camada com 25 golpes da haste de adensamento. Distribuir uniformemente os golpes sobre a seção de cada camada. Para o adensamento da camada inferior, é necessário inclinar levemente a haste e efetuar cerca de metade dos golpes em forma de espiral até o centro. Adensar a camada inferior em toda a sua espessura. Adensar a segunda e a terceira camadas, cada uma por toda a sua espessura e de forma que os golpes apenas penetrem na camada anterior. No preenchimento e na compactação da camada superior, acumular o concreto sobre o molde, antes de iniciar o adensamento. Se, durante a operação de compactação, a superfície do concreto ficar abaixo da borda do molde, adicionar mais concreto para manter um excesso sobre a superfície do molde durante toda a operação da camada superior e rasar a superfície do concreto com uma desempenadeira, ou com uma colher de pedreiro, ou com movimentos rolantes da haste de compactação.
- ✓ Limpar a placa de base e retirar o molde do concreto, levantando-o cuidadosamente na direção vertical. A operação de retirar o molde deve ser realizada em 4 a 6 s. com um movimento constante para cima, sem submeter o concreto a movimentos de torção lateral.
- ✓ Imediatamente após a retirada do molde, medir o abatimento do concreto, determinando a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova, que corresponde à altura média do corpo de prova desmoldado, aproximando aos 5 mm mais próximos. (ABNT NBR 16889:2020).

2.2.2 Resistência à Compressão

Para efetuar os ensaios de resistência à compressão, deve-se seguir a NBR 5739 (ABNT,2018), onde após executados os corpos-de-prova, estes devem ser cuidadosamente centralizado no prato inferior da prensa, com auxílio dos círculos concêntricos de referência, fazendo com que as cargas se distribuam uniformemente pelo eixo do corpo de prova.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste artigo foi feito um comparativo entre o concreto convencional e o concreto com adição de microssilica, onde foram analisadas as propriedades para o estado fresco quanto a sua trabalhabilidade através do Slump Test e em estado endurecido, onde foi verificada a resistência à compressão, conforme os parâmetros estabelecidos pela NBR 5739 (ABNT, 2018) aos 28 dias.

Como parâmetro de referencia, foi utilizado um concreto convencional com traço 1:2:2,5:0,55, onde se interpreta como 1 unidade de cimento para 2 unidades de areia, 2,5 unidades de brita e, por fim, 0,5 unidade de água. O cimento deste concreto foi substituído por 5% e 10% por microssilica, definindo o traço para o Fck de 25 MPa. Este traço foi retirado da monografia de Souza (2022), conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1: traço do concreto com Microssilica Ativa

Tipo de concreto	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita (Kg)	Água (Kg)	Microssilica Ativa (Kg)
Convencional	6,915	13,835	17,295	3,800	-
Substituição 5%	6,569	13,835	17,295	3,800	0,346
Substituição 10%	6,223	13,835	17,295	3,800	0,692

Fonte: Adaptado de SOUZA (2022)

3.1 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Foi utilizada como base a NBR 5738 (ABNT, 2015) para a execução dos corpos de prova, onde foram feitas amostras dos corpos de provas de 10x20 cm (Figura 4). Os moldes foram untados com uma fina camada de desmoldante para diminuir o atrito e facilitar a desforma dos corpos de prova.

Para efeito de amostragem foram moldados 4 corpos de prova convencional e 8 corpos de prova com substituição da microssilica, com as porcentagens indicadas na Tabela 1.

Figura 4– formas de corpo de prova



Fonte: Autores (2023)

Para confecção do concreto foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos, descritos a seguir, com suas respectivas imagens.

- **Betoneira:** este equipamento foi utilizado para mistura do material, criando assim um concreto com maior integração entre seus componentes. (Figura 5).

Figura 5– Betoneira



Fonte: Autores (2023)

- **Cimento:** Material aglomerante, fundamental para execução do concreto CP II F 32 - Votorantim (Figura 6).

Figura 6– Cimento



Fonte: Autores (2023)

- **Agregado Miúdo:** areia média, este material foi previamente peneirado para se obter um material livre de impurezas e com dimensões adequadas (Figura 7).

Figura 7– Areia Média



Fonte: Autores (2023)

- **Agregado Graúdo:** brita 1 com diâmetro de 19 mm Este material foi previamente peneirado para se obter um material livre de impurezas e com dimensões adequadas (Figura 8).

Figura 8– Brita 1



Fonte: Autores (2023)

- **Microsílica Ativa:** Também conhecida como microsílica, foi testada em laboratório obtendo seus componentes químicos (Figura 9).

Figura 9 – Microsílica Ativa



Fonte: Autores (2023)

- **Tronco de Cone:** Cone para ensaio de Slump Test, utilizado para obter a consistência do concreto diante de seu abatimento, este ensaio é normatizado pela NBR 16889 (ABNT, 2020). (Figura 10).

Figura 10– Cone para Slump Test.



Fonte: Autores (2023)

Ao ligar a betoneira, foi feito uma imprimação, onde é utilizada brita e água, que ficam por cerca de 2 minutos dentro da betoneira ligada, batendo nas paredes do equipamento para os materiais que posteriormente forem adicionados não grudarem no maquinário.

Com a utilização do traço convencional, foram adicionados a metade da água e da brita e misturou-se por cerca de um minuto. Em seguida, foram adicionados os materiais restantes da brita e água, acrescentando areia e cimento e, misturou-se por mais 5 minutos misturando (Figura 11). Por fim, o concreto foi retirado para efetuar o ensaio de slump test, para verificação da trabalhabilidade do material e seu abatimento (Figura 12).

Figura 11 – Concreto dentro da betoneira.



Fonte: Autores (2023)

Figura 12– Slump Test



Fonte: Autores (2023)

Para execução do Slump Test, foi realizado o adensamento de forma manual por uma haste, o corpo de prova foi preenchido em duas camadas, em cada camada foram dados 25 golpes, conforme a NBR 5739 (ABNT, 2018). Ao final, depois de preenchida a última camada os moldes ficaram com excesso de concreto, desse modo foi efetuado o acabamento utilizando uma colher de pedreiro. O mesmo processo foi feito para os concretos com substituição de cimento pela microssílica ativa, porém nesse caso a microssílica é adicionado junto ao cimento, evitando perda do material nas paredes da betoneira.

Após o Slump Test, foi feita a moldagem de todas as amostras (Figura 13), as quais foram armazenadas em um local durante 48 horas em processo de cura e, posteriormente, adicionado em tanque com água durante 28 dias.

Figura 13– Amostras moldadas



Fonte: Autores (2023)

3.1.1 Ensaio de Resistência à Compressão

Os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de compressão aos 7 dias, obtendo sua resistências iniciais e aos 28 dias. Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2023), o rompimento para verificação da resistência deve ser feita na idade adulta do concreto, ou seja, aos 28 dias.

Os ensaios para verificação de resistência à compressão foram feitos no laboratório da empresa Cantieri, localizada na cidade de São Sebastião do Paraíso, utilizando uma prensa hidráulica, devidamente calibrada, conforme demonstra Figura 14.

Figura 14 – Amostras na Prensa Hidráulica.



Fonte: Autores (2023)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 NESTE CAPÍTULO SERÃO ABORDADOS OS RESULTADOS OBTIDOS A PARTIR DOS ENSAIOS EFETUADOS E SUAS RESPECTIVAS DISCUSSÕES.

4.1.1 Slump Test

No ensaio de Slump Test obtiveram-se os seguintes resultados, apresentados na Tabela 2:

Tabela 2: Resultado Slump Test

TIPO DO CONCRETO	ABATIMENTO	FATOR A/C:
CONVENCIONAL	22 CM	0,55
5% SUBSTITUIÇÃO	20 CM	0,55
10 % SUBSTITUIÇÃO	12 CM	0,55

Fonte: Autores (2023)

Diante do resultado obtido, pode-se observar que a medida que o cimento foi sendo substituído pela microssílica o abatimento foi diminuindo, cerca de 22,72% com a microssílica a 5% e cerca de 54,54%, com substituição a 10%, ocorrendo assim um endurecimento do material, e diminuindo, mesmo que em pequenas dimensões, sua trabalhabilidade.

4.1.2 Ensaio de Resistência à Compressão

Depois de efetuados todos os ensaios de resistência à compressão, respeitando todas as normas vigentes, obteve-se os seguintes resultados apresentados na Tabela 3, a seguir:

Tabela 3: Resultados Ensaio de Resistencia à Compressão

TIPO DO CONCRETO	Fck (MPa) 7 DIAS	Fck (MPa) 28 DIAS	Fck (MPa) adotado
CONVENCIONAL	19	23	22
		21	
		22	
MICROSSÍLICA 5%	15	23	23
		23	
		23	
MICROSSÍLICA 10%	16	24	25
		27	
		24	

Fonte: Autores (2023)

Pode-se observa que a substituição do cimento pela microssílica ativa apresentou uma melhora em sua resistencia à compressão, o que torna viável sua utilização, onde ao substituir o cimento pela microssílica no concreto, em comparação ao concreto convencional, concreto com substituição de 10 %, gerou uma melhoria de desempenho de 13,63% em relação resistência mecânica e, com a substituição em 5% da microssílica no concreto obteve uma melhoria de desempenho de 4,54%.

Observou-se ainda que ao 7 dias de idade foi constatado que o concreto convencional obteve maior resistência mas durante o processo de cura foi ultrapassado pela utilização da microssílica nos demais traços. Este fato pode ter ocorrido, devido aos poros presente no concreto, onde no decorrer do amadurecimento do material, a microssílica pode ter diminuído a porosidade do concreto com a utilização de substituição.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do estudo desse artigo foi comparar propriedades mecânica e física do concreto e do concreto convencional e do concreto com substituição de cimento por microssílica.

Contudo, foi possível observar que o concreto com substituição do cimento pela obteve menor trabalhabilidade, cerca de 54,54%, este fato ocorre devido a necessidade maior hidratação do material.

Diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que a substituição do cimento pela microssílica ativa afeta e aumenta o desempenho da idade adulta do concreto, onde a resistência à compressão foi aumentada em até 13,63% com substituição de 10% do material.

Com isso, pode-se afirmar que os efeitos positivos da microssílica foram confirmados, reforçando estudos já existentes, onde foi produzido um concreto mais resistente. Podendo assim, afirmar que a microssílica é um material viável e também contribui de forma benéfica para a sustentabilidade, pois aproveita um subproduto industrial que é descartado.



REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projetos de Estruturas de Concreto – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2014. 256 p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16889: Concreto Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone —. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9575: Impermeabilização – Seleção e Projeto. Rio de Janeiro, 2003. 12p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro-RJ, 2012. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: Concreto – Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2006. 22 p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: Concreto - Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 1996. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT. NBR 5739: Concreto -Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8953: concreto para fins estruturais-classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência Rio de Janeiro, 2015

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697:2018 Cimento Portland – Requisitos

BAUER, Roberto José Falcão. ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO: DESEMPENHO E SUSTENTABILIDADE. 2018.

BOMFIM, Danilo Silva et al. Análise da microssílica como suplemento cimentei-o. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 4, p. 43511-43522, 2021.

BRAGA, F. M.; RAMOS, I. M. Análise da resistência do concreto com adição de vidro moído após exposição a elevadas temperaturas. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil). Faculdade Evangélica de Jaraguá, Jaraguá, 2019.

COELHO, Gustavo M. Estudo do efeito de adições minerais em concreto. Trabalho de conclusão de curso. Joinville, 2016.



OLIVEIRA, Dra. Fabiana. O Concreto: sua origem, sua história. 2016. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado.

SOUZA, Silvia Marques. Estudo comparativo das propriedades do concreto convencional e concreto com contribuição de sílica ativa. 2022.

SANTIAGO, Wagner C.; BECK, André Teófilo. Um estudo da conformidade da resistência do concreto convencional produzido no Brasil. Congresso Brasileiro do Concreto. 2017.

VASKE, N. R. Contribuição ao estudo de argamassa com adição de sílica ativa em reforços de elementos comprimidos de concreto. 2005. 116 f. Dissertação (Mestrado e Engenharia Civil) - Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8953: concreto para fins estruturais - classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência Rio de Janeiro, 2015

VOTORANTIM ENGMIX - Slump Test: Abatimento de tronco de cone 2022



ANEXO

FICHA TECNICA DA MICROSSÍLICA USADA



Metha Tecnologia em Sustentabilidade de Materiais Ltda
CNPJ: 02.826.480/0001-70

ANÁLISE QUÍMICA	
Microsilica Ativa	
Ensaio	Resultados (%)
SiO ₂	95,60%
Al ₂ O ₃	0,610%
MgO	0,794%
CaO	1,300%
Fe ₂ O ₃	0,256%
Equivalente alcalino Na ₂ O	1,498%
Umidade	0,40%
Densidade	0,54%
Perda ao fogo	2,21%
Índice desempenho c/ cimento Portland aos 7 dias	119,10%
Finura por meio da peneira 45 retido	2,30%

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Umidade: 3% máximo

Granulometria: 5% máximo

Retido: na # 325 mesh

Data:

11/01/22

Químico:

Sérgio Monteiro

Fábrica:

Av. Tiradentes, 38, Centro
Bom Jesus dos Perdões – São Paulo
CEP 12955-000 – TEL.: (11) 4891-3006
adm@methatec.com.br
comercial@methatec.com.br