

Análise de concretos produzidos com vidro moído e sílica ativa em submissão ao sulfato de magnésio

Analysis of concretes produced with ground glass and active silica in submission to magnesium sulphate

DOI:10.34117/bjdv7n10-67

Recebimento dos originais: 07/09/2021

Aceitação para publicação: 07/10/2021

Leonildo Oliveira da Silva

Graduado em Engenharia Civil na Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS
Endereço: Assentamento Almanara, 63 – Rural, Brasilândia – MS
CEP: 790670-000
E-mail: silvaleonildooliveira@gmail.com

Fernanda Carolina de Almeida

Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista de Ilha Solteira -
UNESP
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS
Endereço: Av. Atlântica, 1690 – Zona Sul, Ilha Solteira – SP
CEP: 15385-000
E-mail: f.almeida@unesp.br

Bruno Motta da Silva

Especialista em Gestão de Operações, produção e Serviços pelo Claretiano - Centro
Universitário de Ribeirão Preto - SP
Mestrando em Mecânica dos Sólidos pela Universidade Estadual Paulista de Ilha
Solteira - UNESP
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS
Endereço: Passeio Itu, 502 – Zona Sul, Ilha Solteira – SP
CEP: 15385-000
E-mail: engmotta@gmail.com

RESUMO

A produção do concreto causa impactos ambientais na extração da matéria prima como agregados e na grande quantidade de emissão de CO₂ em sua produção. Portanto a redução do consumo dos agregados naturais e do cimento é de grande importância como preservação desses recursos e a produção de um material com menor carga de poluentes, através das adições minerais. Em vista desses fatores, o vidro (V) por se tratar de um material reciclável e muita das vezes descartado como lixo e a sílica ativa (S.A) um tipo de adição mineral que substitui parcialmente o cimento diminuindo a emissão de CO₂ e aprimorando as propriedades do concreto, o estudo se apresenta relevante na análise dessas propostas, como banco de dados de informações, possibilitando novas pesquisas e experimentos, contribuindo com a evolução tecnológica, econômica, solucionando problemas e inovando os materiais e os métodos. Através de corpos de provas cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de comprimento dados por traços 1 : 1,93 : 3,04 (cimento: areia: brita) e uma relação a/c de 0,80, regidos em seu preparo e construção por normas

ABNT, separados em seus respectivos grupos combinatórios por porcentagens de 0%; 10% e 20%. A pesquisa contempla-se ainda na avaliação do comportamento dos concretos produzidos, em inspeção de durabilidade na submissão ao reagente patológico sulfato de magnésio em laboratório durante 143 dias, com a análise da propagação do mesmo e em teste de compressão mecânica. O estudo compõe-se de 5 capítulos com os títulos: 1.Introdução; 2.Objetivos; 3.Programa experimental – Material e métodos; 4.Resultados e discussões; 5.Considerações finais.

Palavra-chave: concreto, sílica ativa, vidro, sulfato de magnésio, compressão mecânica.

ABSTRACT

The production of concrete causes environmental impacts on the extraction of raw material as aggregates and in the large amount of CO₂ emissions in its production. Therefore, the reduction of the consumption of natural aggregates and cement is of great importance as preservation of these resources and the production of a material with lower pollutant load, through mineral additions. In view of these factors, glass (V) because it is a recyclable material and often discarded as garbage and active silica (S.A) a type of mineral addition that partially replaces cement, reducing CO₂ emissions and improving the properties of concrete, the study is relevant in the analysis of these proposals, such as information database, enabling new research and experiments, contributing to technological and economic evolution, solving problems and innovating materials and methods. Through cylindrical specimens of 10 cm in diameter and 20 cm in length given by traces 1 : 1.93 : 3.04 (cement: sand: gravel) and an a/c ratio of 0.80, governed in their preparation and construction by ABNT standards, separated into their respective combinatorial groups by percentages of 0%; 10% and 20%. The research is also contemplated in the evaluation of the behavior of the concrete produced, in durability inspection in the submission to the pathological reagent magnesium sulfate in the laboratory for 143 days, with the analysis of the propagation of the same and in mechanical compression test. The study is made up of 5 chapters with the titles: 1.Introduction; 2.Objectives; 3.Experimental program - Material and methods; 4.Results and discussions; 5.Final considerations.

Keywords: concrete, active silica, glass, magnesium sulfate, mechanical compression.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil no decorrer da evolução humana vem aperfeiçoando suas técnicas construtivas e ao avanço tecnológico paralelamente, para garantir obras de qualidade duradoura juntamente com a preservação dos recursos naturais e a cautela com o meio ambiente, pois o desenvolvimento para melhoria acontece quando o trabalho é similar em todos os setores envolvidos, para o cumprimento desses feitos.

Entendendo esse pensamento e tendo ciência de que o material mais empregado nessa indústria, é sem dúvida nenhuma o concreto, onde que o mesmo apresenta-se de forma contínua de estudos relacionados. O desenvolvimento e aprimoramento do

concreto se mostra com problemas tão grandes quanto sua respectiva expansão, pois questiona-se o que será da construção civil sem os recursos naturais, inicialmente tidos como inesgotáveis e renováveis, proporcionando em sua exploração excessiva e indiscriminada, graves problemas ambientais, ferindo setores importantes e que devemos considerar tanto quanto o desenvolvimento do material (VIEIRA; DAL MOLIN; LIMA, 2004).

Além da questão referente aos recursos naturais e os graves problemas ambientais que pequenas e grandes construções causam, tanto na extração quanto na área trabalhada, onde que os profissionais ativos desse meio se prendem apenas na durabilidade e estabilidade dessas construções, não sendo menos importantes, pois as mesmas se deparam com erros de projetos e execução e uma linha de ocorrências patológicas que afetam as estruturas, estruturas estas, que estão a servir e acomodar vidas humanas. Portanto são assuntos e fatores nem mais nem menos entre si, ambos são valiosos para a humanidade e o desenvolvimento.

Portanto o concreto sendo absolutamente o mais utilizado nesse meio construtivo, explicado justamente pela sua durabilidade, facilidade de assumir formas diferentes e versatilidade, fazendo com que o mesmo seja capaz de tomar diversas formas tanto em peças estruturais quanto não estruturais, abrindo um “leque” de possibilidades na incorporação e adição da mistura a base de cimento (MAQUES, 2006 citado por RIGHI et al., 2012).

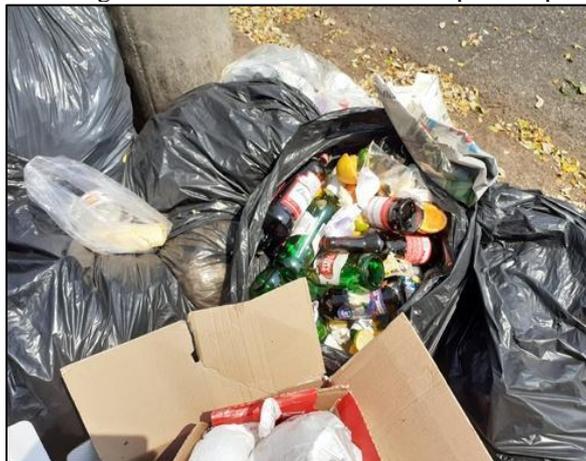
As adições na mistura ou um percentual de substitutos incorporados de agregados ou até mesmo do próprio cimento, são haveres de diversos estudos, em que expressam possibilidades com melhor trabalhabilidade e objetivação a preservar; aprimorando as propriedades quando empregado com a quantidade correta, reduzindo a quantidade e preservando os recursos naturais e reprimindo a agressão ao meio ambiente quando utilizados resíduos recicláveis, que muitas das vezes são simplesmente descartados em aterros.

Segundo GOMES, C. L.; POGGIALI, F. S. J.; AZEVEDO, R. C. revista *Matéria*, v.24, n.2, 2019. “[...] A produção do concreto é um dos maiores causadores de impacto ambiental e emissão de CO₂ [...]” Portanto, a necessidade de diminuir esse percentual de agressão, aplica-se estudos sobre misturas, adições e substitutos na preparação do concreto, sendo um foco interessante para implantação e utilização no mercado.

Á materiais recicláveis, mas que na sua produção abundante faz com que sua reciclagem seja limitada em comparação a todo o seu descarte. O vidro é uma dessas

problemática, principalmente com as garrafas “longneck” sendo a mais danosa e de preocupação mundial, pois são simplesmente descartadas, tratadas como lixo após o consumo da bebida do recipiente, não sendo reciclada e culminando grande ocupação de espaço no destino final (RIGHI et al., 2012). Como podemos ver na figura1.

Figura 1: Garrafas longneck descartadas sem nenhum tipo de separação adequada.



Fonte: SANTATEREZATEM.COM

Assim se inicia estudos para utilizar o vidro, material este reciclável, na base de cimento para o preparo do concreto, podendo dar ao vidro mais um das diversas utilidades e proporcionando um foco maior para sua reciclagem, diminuindo assim seu descarte excessivo, além de proporcionar uma diminuição na utilização dos agregados naturais no preparo do concreto, pois o vidro pode substituir parcialmente uma quantidade específica desses materiais.

De acordo com a pesquisa proporcionada pelos estudiosos Righi et al. (2012) a proporção em porcentagem de melhor trabalhabilidade em sua pesquisa com resultados similares ao concreto sem substituição, é de 20% como substitutos dos agregados.

Para Mazer et al. (2021), a otimização da granulometria dos agregados para aumentar o esqueleto inerte e obter maior capacidade, disponha-se de agregados com menor diâmetro, assim sendo a granulometria um importante fator a se considerar desses substitutos, outro importante ponto a ser considerado é o empacotamento das partículas. E para o reforço das ligações químicas primárias e secundárias entre partículas, provém através do uso de adições minerais, provocando o refinamento dos poros e dos grãos, são princípios básicos para superar os parâmetros de um concreto convencional (TUTIKIAN; ISAIA; HELENE, 2011).

Deste modo, a procura de um material adicional na casa dos aditivos minerais e que pode substituir parcialmente o cimento, encontra-se a sílica ativa, onde que a mesma trabalha no aprimoramento das propriedades existentes nessas misturas, sendo um princípio para o aumento de sua resistência, além de diminuir a emissão de CO₂ causada pelo preparo do concreto. A sílica ativa destaca-se como o material mais ativo nessas ligações primárias e secundárias, por isso se apresenta como o mais usado em construções com exigência de resistir a grandes eventos químicos da área patológica, como os sulfatos.

A sílica ativa é sem dúvida um material de desenvolvimento tecnológico no ramo dos materiais, pois os estudo desse material são haveres de muito empenho em laboratório no conhecimento de suas partículas e na ação da mesma nas misturas. De acordo com Hermann et al. (2016), a massa específica da sílica ativa é de 2.180 kg/m³, extremamente fina em comparação ao cimento, estando mais de 80% do material com diâmetro ínfimo a 1 µm, sendo o fator crucial para o contato e a ação de aprimoramento com as outras propriedades. Como pode ver visualmente na imagem 2, a sílica e o cimento na diferença dimensional.

Figura 2: Sílica ativa (A) e cimento (B).



(A)

(B)

Fonte: Próprios autores, 2020.

Portanto o presente estudo experimental vem para agregar como material na análise específica entre o uso do vidro e da sílica ativa na massa do concreto, sujeitado a teste de durabilidade dada pela submissão forçada do elemento patológico sulfato de magnésio, que atuam em sua desestabilidade e ao ensaio mecânico, que apresenta com esforços de natureza mecânico medindo o seu empenho a essa aplicação.

2 OBJETIVOS

Esta pesquisa de caráter experimental tem como objetivo criar corpos de provas cilíndricos de 10 cm de diâmetros e 20 cm de comprimentos, para a moldagem de

amostras comumente convencionais e amostras com porcentagem de vidro moído e sílica ativa como substitutos parcial dos agregados miúdos e do cimento respectivamente, além de avaliar sua durabilidade através de uma submissão forçada ao sulfato de magnésio e ao teste mecânico, no laboratório da Faculdades Integradas - AEMS, localizada no município de Três Lagoas - MS.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL – MATERIAL E MÉTODOS

3.1 PREPARO E DIVISÃO DOS CORPOS DE PROVA

O estudo desenvolvido aplicou-se na elaboração de corpos de provas com avaliação na inferência deletéria por sulfato de magnésio, sobre as variações ao decurso desse elemento em processo de iniciação e propagação de seus ataques, como também a submissão perante a ensaios de resistência à compressão em 36 corpos de provas dado por traços 1 : 1,93 : 3,04 (cimento: areia: brita), elaborados com cimento Portland composto.

Com o propósito de compreender e atingir minuciosamente o objetivo deste experimento, foram executados dois ensaios de compressão com as amostras do experimento. Dividiu-se os corpos de provas criados dentro de cada grupo experimental da pesquisa, em os que seriam submetidos ao processo forçado com o sulfato de magnésio, e os que não seriam expostos ao processo de submissão ao elemento químico, para a comparação e análise posteriores, além de fazer uso de amostras elaboradas com materiais comuns nesse procedimento.

Após a modelagem dos corpos de provas, dentre suas respectivas datas e o prévio endurecimento, os mesmos foram submetidos ao processo de cura que durou 28 dias, onde ficou locado em um tanque com água e cal para a hidratação do concreto, diminuindo a evaporação prematura da água, obtendo-se assim amostras com melhor estabilidade. Na figura 3, observa-se o processo de cura das amostras.

Figura 3. Processo de cura dos corpos de provas submersos em tanque, com cal diluído em água.



Fonte: Próprios autores, 2020.

Todo o procedimento foi realizado na Associação de Ensino e Cultura de Mato Grosso do Sul formada pela Faculdades Integradas – AEMS. O estudo se inicia no mês de dezembro de 2019 a maio de 2020, utilizando o laboratório disponível da instituição, se deu início a construção dos moldes para a elaboração e criação dos corpos de provas. Todo o procedimento foi desenvolvido dentro do laboratório seguindo as normas do local e as normas ABNT para a construção e manejo dos corpos de provas, representadas com suas respectivas formas de utilização:

- NBR 5738 (2015), para procedimentos de moldagem e cura dos corpos de provas;
- NBR 12655 (2015), referente ao concreto a partir do cimento Portland em função do seu preparo, controle, recebimento e aceitação;
- NBR NM 33 (1994), destinada a preparação de corpos de provas;
- NBR NM 67 (1996), para escolha de métodos de adensamento em função do abatimento.

Foram elaborados 36 corpos de provas cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de comprimento e com uma relação água cimento (a/c) de 0,8 aparentes na figura 4.

Figura 4. Corpos de provas cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de comprimento.



Fonte: Próprios autores, 2020.

O estudo propõe porcentagem na substituição parcial do cimento por sílica ativa (SA), na escala de 10% e 20%, e para os agregados finos 20% em substituição parcial por vidro (V), com malha mediana de 0,710 mm/ μ m. Pois a necessidade de diminuir os poros das amostras ocasionada por uma relação a/c alta, se faz de extrema necessidade quando relacionado a estudos de qualidade voltado ao sulfato de magnésio, que faz uso dos poros como meio de se propagar até o seu interior.

Portanto dentre os 36 corpos de provas, houve-se as seguintes separações, levando sempre em consideração a necessidade de obter-se controles de cada porcentagem proposta pelo estudo, assim termos:

- 6 amostras de 0% de substitutos, para o controle total dos demais, no conhecimento de quanto uma amostra criada com materiais comuns utilizados em construções com uma relação a/c de 0,80, se apresentam nos resultados em testes de compressão mecânica e de qualidade com o $MgSO_4$.

- 6 amostras com 20% de SA como substituto do cimento e 20% de V para os agregados finos;

- 6 amostras com 10% de SA para o cimento e 20% para os agregados finos;

- 6 amostras com 0% de SA. Portanto nesses corpos de prova, apenas os agregados finos foram substituídos com 20% por vidro;

- 12 amostras com 20% de SA como substituto do cimento e 0% de V. Essa porcentagem com uma quantidade diferencial de corpos de prova, se dá a fim de uma maior precisão para a média nos testes proporcionado pelo estudo, pois a sílica é um material de desenvolvimento tecnológico que otimiza as propriedades do concreto e minimiza ataques de sulfatos nas estruturas quando usado percentuais propícios para esse fator.

Além de todas as informações acima, é importante lembrar-se de que cada porcentagem obedecerá o intuito de sujeitar apenas $\frac{1}{2}$ de cada proposta ao teste de qualidade, os outros servem como controle na identificação dos resultados.

Portanto os materiais utilizados para a construção dos corpos de provas dentro de seu receptivo grupo, foram: cimento Portland composto (CP II E-32), Areia, brita, sílica ativa, vidro moído e a relação água/cimento de 0,80, e estas separações entre grupos, se apresentam interessantemente para uma melhor inspeção tanto no ataque aparente do elemento estudado, quanto na comparação entre os grupos, a fim de obter resultados de um aprimoramento das propriedades do concreto aumentando sua resistência e mitigando sua exposição ao ataque por algum desses grupos.

3.2 ENSAIO MECÂNICO

As propriedades mecânicas apresentam-se nas estruturas em que estão sujeitos a esforços de caráter mecânico, isto remete nas propriedades, onde que determinam a maior ou menor capacidade de resistir aos esforços que são aplicados ao material. Portanto a resistência mecânica se torna a mais importante, por relacionar às forças internas de

atração presente entre as partículas que compõem o material, concedendo-se ao mesmo a capacidade de suportar as ações de determinados tipos de esforços (ENSAIOS MECÂNICOS DOS MATERIAIS, 2019).

A resistência a compressão do concreto é definida por meio de ensaios estandardizado de curta duração, o procedimento foi realizado após a submissão das amostras separadas para o teste de durabilidade, junto com os corpos de provas que não foram submetidos ao elemento patológico. Na figura 5 observa-se o equipamento utilizado para esse processo de compressão.

Figura 5. Equipamento de compressão mecânica.



Fonte: Próprios autores, 2020.

Portanto submetendo $\frac{1}{2}$ dos corpos de prova de cada grupo sem a interferência do elemento patológico, obtém-se resultados de compressão das amostras com suas propriedades intactas e com a resistência estabilizada, fazendo se uma média dessas amostras de cada grupo, veremos quão um corpo de prova cilíndrico de 10 cm de diâmetro e 20 cm de comprimento suporta ao ensaio de compressão mecânica. Em seguida, após o período determinado de submissão das amostras restantes de ambos os grupos, os mesmos serão sujeitos igualmente sob o ensaio de compressão mecânica, proporcionando uma segunda média, para assim comparar os dados obtidos entre as amostra submetidas ao sulfato de magnésio e as que não foram submetidas.

3.3 SUBMISSÃO AO REAGENTE PATOLÓGICO

A submissão dos corpos de provas de cada grupo ao sulfato de magnésio após o processo de cura dos mesmos, ocorre em uma bacia de formato retangular com capacidade de 20 litros, foram apostos $\frac{1}{2}$ das amostras de cada grupo, e em seguida

inseridos 10 litros de água com 1 quilo de sulfato de magnésio diluído nesses recipientes. A submissão se iniciou assim que finalizado o processo de cura das amostras, tendo 143 dias de contato ao elemento químico, podendo assim observar e acompanhar a propagação sobre os corpos de provas submetidos. Na figura 6 pode se observar a embalagem do sulfato de magnésio e o recipiente utilizado.

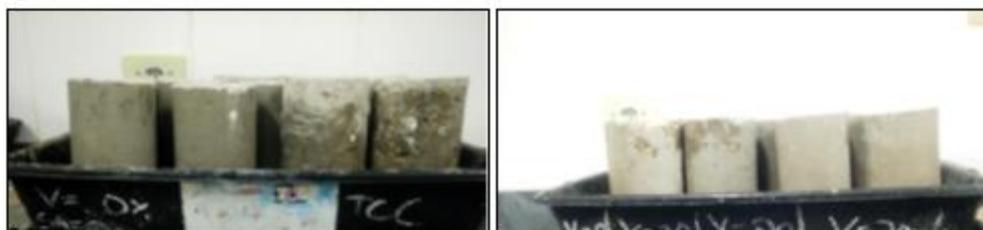
Figura 6. Embalagem com sulfato de magnésio e o recipiente retangular com capacidade de 20 litros (L).



Fonte: Próprios autores, 2020.

No recipiente de capacidade total de 20 litros, foram inseridos apenas 10 L de água para dissolver o elemento químico, no intuito de observar a manifestação patológica na região sazonal dos corpos de provas. Portanto a bacia foi locada com apenas ½ de sua capacidade, como podemos ver em uma das imagens obtidas em laboratório, figura 7.

Figura 7. Recipiente com MgSO₄ diluído em 10 litros de água juntamente com ½ das amostras de cada grupo.



Fonte: Próprios autores, 2020.

Assim o estudo prossegue na proliferação do sulfato de magnésio nos corpos de provas que se encontram em submissão forçada, como teste de qualidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 APRESENTAÇÃO DA DETERIORAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS

- Ensaio mecânico

Analisando as amostras com 0% de substitutos, observamos que os corpos de provas que não foram submetidos ao MgSO₄ (controle), mostraram-se com resistência a

ruptura baixa, que pode ser explicado pela alta relação água cimento, que se mostra inadequado para o traço proposto no estudo, utilizando-se materiais comuns. Portanto prosseguindo a análise e comparando essas amostras com as que foram submetidas ao teste de qualidade, veremos que os resultados se apresentam com menor resistência ao teste de compressão mecânica em comparação ao corpos de provas que foram submetidos ao $MgSO_4$, sendo assim testando como “falso positivo”, onde o sulfato de magnésio influenciou nos resultados, mostrando-se com maior resistência a ruptura. Pode observar na figura 8, em que, comparando as médias observa-se uma diferença de 3,3 MPa e aproximadamente 39%.

Figura 8. Resultados das amostra sem $MgSO_4$ e com $MgSO_4$, construídas com 0% de substitutos.



NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos

Dados cadastrais da amostra

Nome Amostra: 0% SA, 0% V (controle)
 Tipo de Ensaio: NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos
 Cliente:
 Responsável:
 Data Moldagem: 07 dezembro, 2019

Dados cadastrais do corpo de prova

Nome C.P.	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo Ruptura
01	***	4,9(MPa)	3.890(kgf)	
02	***	5,2(MPa)	4.170(kgf)	
03	***	5,6(MPa)	4.490(kgf)	
Média:		5,2(MPa)	4.183(kgf)	

(Sem $MgSO_4$)



NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos

Dados cadastrais da amostra

Nome Amostra: 0% SA, 0% V (com $MgSO_4$)
 Tipo de Ensaio: NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos
 Cliente:
 Responsável:
 Data Moldagem: 07 dezembro, 2019

Dados cadastrais do corpo de prova

Nome C.P.	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo Ruptura
01	***	8,6(MPa)	6.880(kgf)	
02	***	8,8(MPa)	7.030(kgf)	
03	***	8,3(MPa)	6.620(kgf)	
Média:		8,5(MPa)	6.843(kgf)	

(Com $MgSO_4$)

Fonte: Próprios autores, 2020.

Para os corpos de provas com 20% de SA como substituto do cimento e 20% de V para os agregados finos, os resultados também apresentaram maior resistência a ruptura para aqueles que estiveram em contato com o sulfato de magnésio, sendo uma contrariedade, em um aumento de 1,2 MPa e aproximadamente 15%.

Porém o falso positivo foi menor quando comparado ao falso positivo dos corpos de provas anteriores preparados com materiais comuns, além de mostrar-se com maior resistência a ruptura entre as amostras controle. O controle de 0% de substitutos teve menor resistência no teste de compressão mecânica sobre as amostras controle de porcentagem entre 20% SA e 20% V. Como podemos ver na figura 9.

Figura 9. Resultados das amostra sem MgSO₄ e com MgSO₄, construídas com substitutos no percentual de 20% de sílica e 20% de vidro.

 NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos				
Dados cadastrais da amostra				
Nome Amostra:	20% SA, 20% V (controle)			
Tipo de Ensaio:	NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos			
Cliente:				
Responsável:				
Data Moldagem:	07 dezembro, 2019			
Dados cadastrais do corpo de prova				
Nome C.P.	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo Ruptura
01	***	5,9(MPa)	4.700(kgf)	
02	***	6,1(MPa)	4.890(kgf)	
03	***	8,0(MPa)	6.400(kgf)	
Média:		6,7(MPa)	5.330(kgf)	

(Sem MgSO₄)

 NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos				
Dados cadastrais da amostra				
Nome Amostra:	20% SA, 20%V (com MgSO ₄)			
Tipo de Ensaio:	NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos			
Cliente:				
Responsável:				
Data Moldagem:	07 dezembro, 2019			
Dados cadastrais do corpo de prova				
Nome C.P.	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo Ruptura
01	***	8,6(MPa)	6.870(kgf)	
02	***	8,9(MPa)	7.120(kgf)	
03	***	6,4(MPa)	5.100(kgf)	
Média:		7,9(MPa)	6.363(kgf)	

(Com MgSO₄)

Fonte: Próprios autores, 2020.

Nas amostras com 10% de SA para o cimento e 20% de V para os agregados finos, podemos observar que o controle dessa proporção de substitutos apresentou em sua média, maior resistência a ruptura que as amostras com 20% SA e 20% V, e conseqüentemente maior que os com 0% de substitutos. Podemos dizer que a aplicabilidade de granulometria para aumentar o esqueleto inerte e obter maior capacidade, citada por Tutikian et al. (2011), na introdução do presente estudo, é um fator importante para atingir um melhoramento na resistência.

Mas também testou como falso positivo, na comparação com as amostras que foram submetidos ao MgSO₄, com uma diferença de 1,1 MPa e aproximadamente 13%. No entanto o falso positivo dessa proporção mostra-se menor que os demais, como podemos ver na figura 10.

Figura 10. Resultados das amostra sem MgSO₄ e com MgSO₄, construídas com substitutos no percentual de 10% de sílica e 20% de vidro.

 NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos				
Dados cadastrais da amostra				
Nome Amostra:	10% SA, 20% V (controle)			
Tipo de Ensaio:	NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos			
Cliente:				
Responsável:				
Data Moldagem:	06 dezembro, 2019			
Dados cadastrais do corpo de prova				
Nome C.P.	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo Ruptura
01	***	7,0(MPa)	5.600(kgf)	
02	***	7,2(MPa)	5.740(kgf)	
03	***	7,7(MPa)	6.160(kgf)	
Média:		7,3(MPa)	5.833(kgf)	

(Sem MgSO₄)

 NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos				
Dados cadastrais da amostra				
Nome Amostra:	10% SA, 20% V (com MgSO ₄)			
Tipo de Ensaio:	NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos			
Cliente:				
Responsável:				
Data Moldagem:	06 dezembro, 2019			
Dados cadastrais do corpo de prova				
Nome C.P.	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo Ruptura
01	***	6,3(MPa)	5.050(kgf)	
02	***	9,4(MPa)	7.540(kgf)	
03	***	9,5(MPa)	7.590(kgf)	
Média:		8,4(MPa)	6.727(kgf)	

(Com MgSO₄)

Fonte: Próprios autores, 2020.

Os corpos de provas com apenas substitutos dos agregados finos, no caso os 20% de vidro, observamos nas amostras controle, que sua resistência a ruptura no teste de compressão mecânica, foram as que mostraram maior resistência quando comparado aos demais controles das outras proporções. Portanto no teste de qualidade apresentou um falso positivo menor, apenas aos corpos de provas com 0% de substitutos.

O resultado da média entre o controle e os submetidos ao sulfato de magnésio foi com uma diferença de 2,8 MPa e aproximadamente 24%, como podem observar na figura 11.

Figura 11. Resultados das amostra sem MgSO₄ e com MgSO₄, construídas com substitutos apenas para os agregados finos, por vidro em um percentual de 20%.

 NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos				
Dados cadastrais da amostra				
Nome Amostra:	20% V, 0% SA (controle)			
Tipo de Ensaio:	NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos			
Cliente:				
Responsável:				
Data Moldagem:	06 dezembro, 2019			
Dados cadastrais do corpo de prova				
Nome C.P.	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo Ruptura
01	***	8,7(MPa)	6.950(kgf)	
02	***	10,4(MPa)	8.360(kgf)	
03	***	8,1(MPa)	6.500(kgf)	
Média:		9,1(MPa)	7.270(kgf)	

(Sem MgSO₄)

 NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos				
Dados cadastrais da amostra				
Nome Amostra:	20% V, 0%SA (com MgSO ₄)			
Tipo de Ensaio:	NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos			
Cliente:				
Responsável:				
Data Moldagem:	06 dezembro, 2019			
Dados cadastrais do corpo de prova				
Nome C.P.	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo Ruptura
01	***	13,5(MPa)	10.810(kgf)	
02	***	10,2(MPa)	8.200(kgf)	
03	***	11,9(MPa)	9.560(kgf)	
Média:		11,9(MPa)	9.523(kgf)	

(Com MgSO₄)

Fonte: Próprios autores, 2020.

As amostras que foram construídas apenas com percentual de SA na escala de 20%, não testaram falso positivo, sendo assim o resultado entre as amostras controle e as amostras submetidas ao sulfato de magnésio, foi de 0,2 MPa e aproximadamente 3%.
Figura 12.

Figura 12. Resultados das amostra sem MgSO₄ e com MgSO₄, construídas com substitutos apenas para o cimento, com sílica em um percentual de 20%.



NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos

Dados cadastrais da amostra

Nome Amostra: 20% SA, 0% V (controle)
Tipo de Ensaio: NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos
Cliente:
Responsável:
Data Moldagem: 05 dezembro, 2019

Dados cadastrais do corpo de prova

Nome C.P.	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo Ruptura
01	***	8,2(MPa)	6.570(kgf)	
02	***	8,3(MPa)	6.650(kgf)	
03	***	4,4(MPa)	3.530(kgf)	
04	***	5,5(MPa)	4.420(kgf)	
05	***	5,0(MPa)	3.970(kgf)	
06	***	7,2(MPa)	5.780(kgf)	
Média:		6,4(MPa)	5.153(kgf)	

(Sem MgSO₄)



NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos

Dados cadastrais da amostra

Nome Amostra: 20% SA, 0% V (com MgSO₄)
Tipo de Ensaio: NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos
Cliente:
Responsável:
Data Moldagem: 05 dezembro, 2019

Dados cadastrais do corpo de prova

Nome C.P.	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo Ruptura
01	***	6,0(MPa)	4.790(kgf)	
02	***	5,5(MPa)	4.380(kgf)	
03	***	7,0(MPa)	5.640(kgf)	
04	***	6,4(MPa)	5.160(kgf)	
05	***	6,4(MPa)	5.110(kgf)	
06	***	6,1(MPa)	4.860(kgf)	
Média:		6,2(MPa)	4.990(kgf)	

(Com MgSO₄)

Fonte: Próprios autores, 2020.

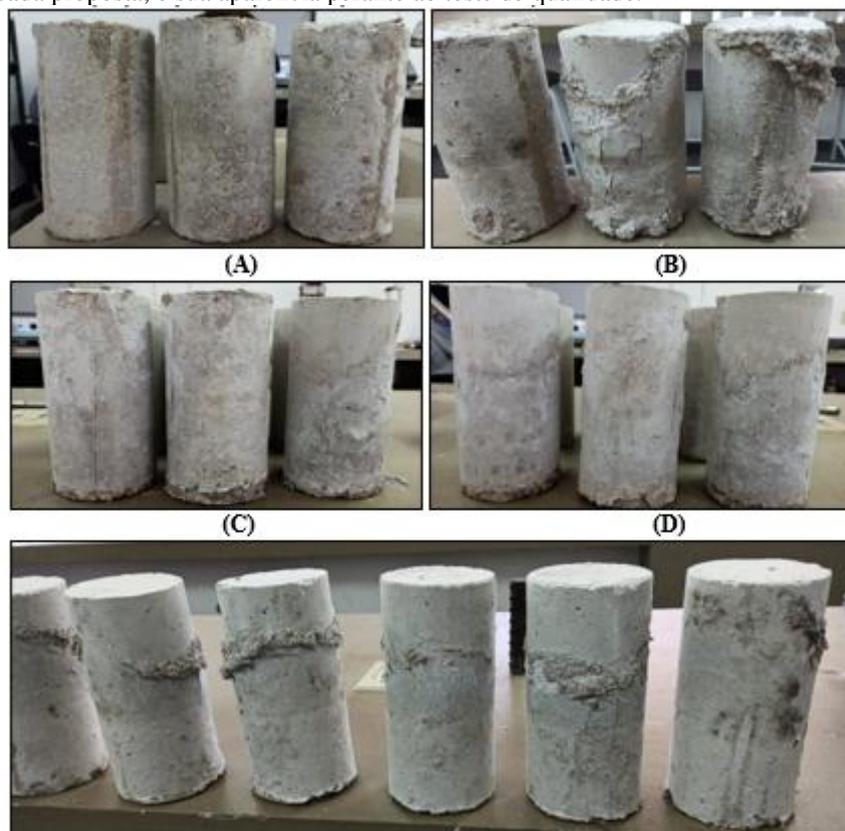
Porém a resistência a ruptura no teste de compressão mecânica para o controle e em comparação aos controles das outras proporções, os corpos de provas com 20% de sílica ativa se mostram com maior resistência apenas comparado ao controle com 0% de substitutos, já para os demais, sua resistência foi inferior.

- Submissão ao reagente patológico

As imagens obtida das amostras no processo de submissão depois dos 143 dias para cada proposta estabelecida pelo presente diagnóstico, segue da seguinte forma na figura 13:

- Para as amostras de 0% de substitutos, (A);
- As amostras com 20% de SA como substituto do cimento e 20% de V para os agregados finos, (B);
- As amostras com 10% de SA para o cimento e 20% para os agregados finos, (C);
- As amostras com 0% de SA, portando com 20% de vidro para os agregados finos, (D);
- E as amostras com 20% de SA como substituto do cimento e 0% de V, (E).

Figura 13. Amostras submetidas ao sulfato de magnésio. Podemos identificar na imagem $\frac{1}{2}$ do total das amostras de cada proposta, e sua aparência perante ao teste de qualidade.



Fonte: Próprios autores, 2020.

Podemos observar que a imagem (A), mostra-se em sua parte externa com menor manifestação do elemento. Todavia, também são os corpos de provas com maior percentual testado com falso positivo, portando seu interior se encontra com maior preenchimento de vazios por $MgSO_4$, que os demais, explicando sua maior resistência no teste de compressão mecânica, pois quanto menos vazio maior capacidade de resistir a determinados esforços, porém neste caso, negativamente por se tratar de um elemento químico que não só faz uso desses vazios como meio de propagar-se até o interior, como também expande e desestabiliza a estrutura a receber cargas nesse percurso de propagação.

Todas as imagens mostradas acima, consiste na propagação de um elemento patológico que se apresenta principalmente em estruturas de concreto, usado no presente estudo como teste de qualidade. Portanto qualquer manifestação dessa propagação visual em uma estrutura, se mostra necessário maior observância para a obra que se encontra com características análoga.

- Epílogo

As propostas de substitutos apresentadas no estudo sem a interferência do $MgSO_4$, no quesito de resistência a compressão mecânica, todos apresentaram maior resistência que o controle de 0% de substitutos. Porém as amostras moldadas com percentual de apenas vidros como substituto do agregado fino, com uma mala de 0,710 mm/ μm , sendo a que mostrou maior resistência que os demais, em aproximadamente 43% na comparação aos corpos de provas com materiais comuns (controle).

Ainda, quando relacionado ao quesito de qualidade na submissão de sulfato de magnésio, nas amostras com percentual de 20% do cimento por sílica ativa, observemos que a mesma realmente diminui a propagação do $MgSO_4$, mas em questão de resistência a ruptura, as amostra combinada com vidro ainda se mostraram com maior eficiência na resistência a compressão mecânica. Abaixo, observamos o quadro 1 que demonstra de forma simplificada os resultados do presente estudo experimental.

Quadro 1. Resultados simplificado do estudo.

Substitutos em %:	0% de substitutos	20% SA e 20% V	10% SA e 20% V	20% V	20% SA
Controle (médias em MPa):	5,2	6,7	7,3	9,1	6,4
Corpos de provas com MgSO ₄ (médias em MPa):	8,5	7,9	8,4	11,9	6,2
Diferença:	-3,3	-1,2	-1,1	-2,8	0,2
Percentual aproximado da diferença:	39%	15%	13%	24%	3%
relação água/cimento:	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Amostras com substitutos que obtiveram maior resistência que o controle no teste de compressão mecânica		Amostras que apresentaram maior combate ao teste de qualidade	Amostras que testaram falso positivo	Amostras que testaram percentual alto de falso positivo	

Fonte: Próprios autores, 2020.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo experimental apresentou detalhes visuais e de comportamento do elemento patológico sulfato de magnésio em corpos de prova, por meio de imagens e detalhes dessa propagação, na submissão forçada em 143 dias, e ensaios mecânicos, com as amostras elaboradas representando o concreto comum e sugestões de substitutos como mitigação. Assim criando um banco de dados onde podemos observar os efeitos, manifestações e a agressividade do elemento estudado no teste de qualidade, e sugestões que traz resistência mais favoráveis para o concreto perante a estes testes.

- Baseando-se nos resultados obtidos no experimento, constatasse:

Que além de materiais apostos de baixa qualidade a combinação entre o traço e a relação água/cimento, influenciam diretamente na resistência do concreto.

Que uma construção que apresenta alguma anormalidade visual, precisa de uma atenção maior do que simples reparos, pois o causador dessas anormalidades podem estar muito mais profundo do que se apresenta superficialmente.

Que a sílica ativa trabalha positivamente mitigando as propriedades do concreto no controle a eventos químicos como o sulfato de magnésio, proporcionando às estruturas essências de qualidade maior com sua utilização.

Que o vidro pode substituir uma porcentagem dos agregados finos e obter-se resultados maiores que o concreto comum, aumentando significativamente a resistência contra pressões internas de esforços a compressão.

Portanto, se faz necessário mais estudos com outras porcentagens e outras combinações entre traço e relação a/c, e com outros testes de qualidade e resistência, para outros diagnósticos e comparações. O Mesmo para a sílica ativa que se apresenta promisso contra o $MgSO_4$. Assim entendemos que os estudos servem para trazer inovações, soluções, propostas, melhorias, e muito conhecimento em suas respectivas áreas, e que a função de engenheiros civis no cuidado e no conhecimento, mostra-se imprescindível para manter uma construção estabilizada e segura, pois a ignorância profissional pode ocasionar futuras complicações nas estruturas e construções utilizadas por seres humanos.

REFERENCIAS

VIEIRA, Geilma L.; MOLIN, Denise C. C. dal; LIMA, Flávio B. de. **Resistência e Durabilidade de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados Provenientes de Resíduos de Construção e Demolição**. *Civil.uminho*, Porto Alegre, p.5-18, 2004. Disponível em: <http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/Num19/Pag%205-18.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2020.

RIGHI, Débora; KÖHLER, Lucas; TABARELLI, Aline; KIRCHHOF, Larissa; LIMA, Rogério. **ANÁLISE DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM VIDRO MOÍDO QUANDO SUBMETIDOS À ELEVADAS TEMPERATURAS**. *Asaec*: Associação Sul Americana de Engenharia Estrutural, Rio de Janeiro, 19 set. 2012. Disponível em: https://cimentoitambe.com.br/_downloads/artigo_vidro_moido.pdf. Acesso em: 09 mar. 2020.

GOMES, Camila Lacerda; POGGIALI, Flávia Spitale Jacques; AZEVEDO, Rogério Cabral de. **Concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição e adições minerais: uma análise bibliográfica**. *Matéria (rio de Janeiro)*, [s.l.], v. 24, n. 2, 2019. Disponível em: FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620190002.0673>. Acesso em: 09 mar. 2020.

ANÁLISE DE REFORÇO ESTRUTURAL COM CONCRETO DE ULTRA ALTO DESEMPENHO. Curitiba - Pr: Brazilian Journal Of Development, v. 7, n. 7, 26 jul. 2021. Disponível em: <file:///C:/Users/usuario.computador/Downloads/33456-85459-1-PB.pdf>. Acesso em: 03 set. 2021.

TUTIKIAN, Bernardo F.; ISAIA, Geraldo Cechella; HELENE, Paulo. **Concreto de Alto e Ultra-Alto Desempenho**. 2011. 44 f. Ciência e Tecnologia, Ibracon, 2011. Cap. 36.

HERMANN, A.; LANGARO, E. A.; SILVA, S. H. Lopes da; KLEIN, N. S.. Empacotamento de partículas de cimento e sílica ativa em pastas pelo uso de modelo analítico: E. A. LANGARO. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*: Scielo, São Paulo, v. 9, n. 1, fev. 2016. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-41952016000100048&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 09 mar. 2020. Acesso em: 09 mar. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem cura de corpos de prova. 2 ed. 2015. 9 p. Disponível em: http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/NBR%205738%20-%202015_aula.pdf. Acesso em: 26 set. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro, 2015. 22 p. Disponível em: http://files.israel-tecnico-qualidade.webnode.com/200001290-4323c441bd/NBR%2012655%20-%202015_aula.pdf. Acesso em: 26 set. 2019.

CB-18 - COMITÊ BRASILEIRO DE CIMENTO, CONCRETO E AGREGADOS. **NM 33:1994**: Concreto - Amostragem de concreto fresco. 1998. 5 p. Disponível em:

http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/NBR%20NM%2033%20-%2098_aula.pdf. Acesso em: 26 set. 2019.

CB-18 - COMITÊ BRASILEIRO DE CIMENTO, CONCRETO E AGREGADOS. NM 67:1996: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. 1998. 8 p. Disponível em: http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/NBR%20NM%2067%20-%2098_aula.pdf. Acesso em: 26 set. 2019.

ESTRUTURAS E PROPRIEDADES DOS MATERIAIS; Ensaios mecânicos dos materiais. Disponível em: <https://jorgeteofilo.files.wordpress.com/2010/08/epm-apostila-capitulo09-ensaios-mod1.pdf>. Acesso em: 27 set. 2019.