

ESTUDO COMPARATIVO DA DURABILIDADE DE CONCRETOS EXPOSTOS AO ATAQUE DE SULFATOS

Antonio Porto dos Santos Júnior (IC) e Simão Priskulnik (Orientador)

Apoio: PIBIC Mackenzie

RESUMO

Devido o concreto ser um material com uma enorme possibilidade de utilização, ele está inserido nos mais variados ambientes, desde o solo até a água do mar, onde estão presentes diversos agentes agressivos, como o íon sulfato. Este agente, quando entra em contato com o concreto endurecido, dá origem a compostos expansivos responsáveis pela redução da resistência do concreto, como a etringita. Esse trabalho tem como objetivo, investigar se os materiais utilizados na produção do concreto têm influência na sua resistência, frente ao ataque por íons sulfatos. Por meio de ensaios laboratoriais, utilizando dois tipos de cimento, o CII-E e o CIII, e agregados de diferentes origens mineralógicas, granítico e calcário, foi possível realizar ensaios de variação dimensional de barras de argamassa e de resistência à compressão axial de corpos de prova de concreto. A partir da análise dos resultados, foi possível observar que o tipo de cimento apresenta uma maior influência na resistência do concreto, frente ao ataque por íons sulfatos, do que os agregados origens mineralógicas diferentes. Portanto, conclui-se que para obter obras resistentes ao ataque por sulfatos, deve-se fazer uma seleção criteriosa dos materiais, a fim de se conseguir construções cada vez mais duradouras e de qualidade.

Palavras-chave: Resistência, Concreto, Íons Sulfato.

ABSTRACT

Due the concrete is a material with a huge possibility of use, it is inserted in the most varied environments, from soil to sea water, where several aggressive agents are present, such as the sulfate ion. This agent, when it comes into contact with the hardened concrete, gives rise to expansive compounds responsible for reducing the strength of the concrete, as the ettringite. The objective of this work is to investigate if the materials used in the concrete production have influence on their resistance, against the attack by sulfate ions. By means of laboratory tests, using two types of cement, CII-E and CIII, and aggregates of different mineralogical origin, granitic and limestone, it was possible to carry out tests of dimensional variation of mortar bars and resistance to axial compression of concrete samples. From the analysis of the results, it was possible to observe that the type of cement presents a greater influence on the concrete resistance, as opposed to the attack by sulfate ions, than the aggregates of different mineralogical origins. Therefore, it is concluded that in order to obtain

structures resistant to the attack by sulphates, a careful selection of the materials must be made in order to achieve durable and with quality constructions.

Keywords: Resistance, Concrete, Sulfate Ions.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um material que passou por diversas modificações desde que foi criado, pelos gregos e romanos, com o propósito de melhorar suas características. Dessa forma, esse material alterou o modo de vida das civilizações, proporcionando a construção de obras cada vez mais duráveis (COSTA, 2004).

Devido as suas propriedades, como facilidade de execução, boa resistência, denso e durável, este o concreto é utilizado em larga escala no mundo inteiro, estando presente em várias obras de engenharia (AMORIM, 2010).

Para Amorim (2010), o concreto de cimento Portland é o mais importante material estrutural e de construção civil da atualidade, e pode ser considerado como uma das descobertas mais interessantes da história e do desenvolvimento da humanidade. Como pode ser visto, de acordo com Rheinheimer e Khoe (2013, p.15, *apud* METHA E MONTEIRO, 1994)

[...] O concreto é o material construtivo mais utilizado pelo homem em épocas atuais, mesmo não sendo tão resistente quanto o aço. A sua resistência à água é muito elevada e o torna preferível em relação à madeira e ao aço para determinadas estruturas civis. [...].

Utiliza-se o concreto para construir, revestir, calçar e realizar coleta de esgoto e de águas pluviais, ou seja, esse material é de extrema importância para a construção civil, uma vez que possui uma enorme variedade de utilização nas mais variadas obras de engenharia, visando a melhoria de vida e o bem-estar da população (AMORIM, 2010).

Porém, devido à enorme possibilidade utilização, esse material está presente nos mais variados ambientes, como por exemplo, o meio urbano ou marinho, e dessa forma, exposto a diversos agentes agressivos, que podem reduzir significativamente sua vida útil (KULISCH, 2011).

Dentre os diversos agentes, destaca-se o sulfato como um dos mais deteriorantes das estruturas de concreto. Pois, de acordo com Costa (2004), foi observado a diminuição da vida útil do concreto inserido em ambientes com a presença do sulfato, iniciando-se uma preocupação com a durabilidade das estruturas de concreto.

De acordo com Linhares (2010), o ataque de íons sulfato tem sido estudado desde o século XX por conta dos danos causados ao concreto, sendo de extrema importância adotar medidas preventivas que garantam a durabilidade dessas estruturas.

Para Andrade (1972), a resistência do concreto ao ataque de sulfatos é conseguida de várias formas, como por exemplo, a confecção de concreto de baixa permeabilidade ou

por processos de favoráveis de cura. No entanto, acredita-se também que a origem mineralógica do agregado utilizado na fabricação do concreto possua alguma relação com sua resistência ao ataque de sulfatos.

Sendo assim, o objetivo principal desse trabalho é investigar se há alguma interferência na resistência do concreto frente ao ataque de sulfato, quando ele é preparado com agregados de diferentes origens mineralógicas ou com diferentes tipos de cimento Portland.

Para conseguir chegar nos resultados, foram preparados quatro séries de corpos de prova de concreto e quatro séries de corpos de prova de argamassa, com dois tipos diferentes de cimento, o CII-E e o CIII, e agregados com diferentes origens mineralógicas, o calcário e o granítico, sendo que uma parte dos corpos de prova passaram pelo ataque de sulfatos e a outra não. Após isso, foram analisados os resultados.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão vistos os principais conceitos sobre concreto, suas principais características e a forma como se desenvolve o ataque por sulfatos.

2.1. O Concreto

O concreto é um material constituído basicamente por cimento, areia, brita e água, e eventualmente, aditivos. Para Amorim (2010 *apud* MEHTA, 2008), o concreto é um compósito formado por uma pasta aglomerante que aglutina as partículas dos agregados, sendo que esta pasta aglomerante é originada a partir da reação do cimento hidráulico com a água.

2.1.1. Cimento Portland

O cimento Portland é denominado de aglomerante hidráulico por ser ele o responsável pela reação química que ocorre com a presença de água. É composto principalmente por calcário, sílica, alumina e óxido de ferro. Esses materiais são levados ao forno com aproximadamente 1400° C de temperatura, reagindo entre si, e dando origem a compostos mais complexos, que se mantêm quimicamente estáveis após resfriamento, fase denominada vítrea (RHEINHEIMER E KHOE, 2013).

Após a hidratação, o cimento origina compostos que são responsáveis pelas características do concreto. Na tabela 01, segue os principais constituintes do cimento (RHEINHEIMER E KHOE, 2013).

Tabela 01: Compostos do cimento Portland.

Nome do composto	Composição em óxidos	Abreviação
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Fonte: Rheinheimer e Khoe (2013, p.18, *apud* NEVILLE, 1997).

Segundo Linhares (2010), substâncias adicionais são misturadas ao clínquer do cimento Portland, produto originado após a retirada do forno, com o objetivo de melhorar suas propriedades, sendo possível conseguir cimentos com características especiais, como alta resistência inicial ou baixo calor de hidratação.

Além dessas adições, também é acrescentado gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ao clínquer, cuja função, segundo Kulisch (2011, *apud* MEHTA E MONTEIRO, 2008), é retardar a velocidade de reação do C_3A , que é imediata, e poderia inviabilizar a utilização do cimento na construção civil. Na tabela 02, estão relacionados os tipos de cimento Portland que são comercializados no Brasil e o teor de suas adições.

Tabela 02: Tipos de cimento Portland.

Nome técnico do cimento Portland	Sigla	Classes	Conteúdo dos componentes (%)			
			Clínquer + gesso	Escória	Pozolana	Filer Calcário
Comum	CPI	25,32,40	100		0	
Comum com adição	CPI-S	25,32,40	99-95		1-5	
Composto com Escória	CPII-E	25,32,40	94-56	6-34	0	0-10
Composto com Pozolana	CPII-Z	25,32,40	94-76	0	6-14	0-10
Composto com Filer	CPII-F	25,32,40	94-90	0	0	6-10
Alto Forno	CPIII	25,32,40	65-25	35-70	0	0-5
Pozolânico	CPIV	25,32	5-45	0	15-50	0-5
Alta Resistência Inicial	CPV-ARI	-	100-95	0	0	0-5
Resistente a Sulfatos	RS	25,32,40	-	-	-	-
Baixo Calor de Hidratação	BC	25,32,40	-	-	-	-
Branco Estrutural	CPB	25,32,40	-	-	-	-

Fonte: Linhares (2010, p. 34, *apud* Kihara e Centurione, 2005).

2.1.2. Agregados

Amorim (2010) define agregado como,

Material granular, sem forma ou volume definido, de dimensões e propriedades adequadas às obras de engenharia, para fabricação de concretos e argamassas de cimento Portland, que podem ser: naturais, britados, artificiais e reciclados.

Para Amorim (2010), o agregado não pode ser considerado apenas um material inerte de enchimento do concreto. É necessário conhecer melhor o material e suas propriedades, como: porosidade, composição granulométrica, resistência mecânica, módulo de deformação, entre outros.

Para Kulish (2011, *apud* NEVILLE, 1997), “[...] o agregado tem influência não apenas na resistência, mas também na durabilidade e no desempenho estrutural do concreto. [...]”, devendo-se sempre fazer uma escolha de agregado que leve em consideração propriedades que influenciam o desempenho final do concreto.

Os agregados utilizados na fabricação do concreto são encontrados na crosta terrestre, de rochas ígneas ou magmáticas, como basalto granítico e diabásio, ou de rochas sedimentares, como arenito, argilito e calcário (AMORIM, 2010).

2.1.3. Água

É o elemento responsável pela hidratação do cimento. A água deixa a mistura mais trabalhável, e o seu excesso permanece no concreto até evaporar, criando poros no concreto. Ou seja, quanto mais água for utilizada na preparação do concreto, mais poroso ele será, e dessa forma, a tendência é que ele seja menos resistente (AMORIM, 2010).

Assim, a água deve ser colocada em quantidade suficiente para que ocorram as reações químicas, sendo o fator água/cimento de extrema importância para se alcançar resultados desejados. De acordo com Amorim (2010), a resistência à estanqueidade e a durabilidade do concreto estão relacionados à quantidade de água que adicionada para fabricação do concreto. Por isso, a água deve ter uma boa qualidade e deve ser livre de impurezas para evitar a contaminação por outras substâncias.

2.2. Hidratação do Cimento

Para Linhares (2010, p.35 *apud* KIHARA e CENTURIONE, 2005)

[...] o processo de hidratação do cimento Portland pode ser entendido como uma estabilização dos minerais do clínquer pela água, gerando uma composição mineralógica constituída predominantemente por fases de baixa alcalinidade [...].

O cimento inicia sua hidratação ao entrar em contato com a água. A gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e os outros componentes do cimento tendem a formar uma solução. Como a

reação entre o aluminato tricálcico (C_3A) e a água é rápida, dentro de um curto intervalo de tempo inicia-se a formação de cristais de sulfoaluminato de cálcio hidratado, mais conhecido como etringita, de formato acicular, e esta reação é acompanhada de liberação de grande quantidade de calor (KULISCH, 2011).

Passadas algumas horas, segundo Kulisch (2011), “[...] grandes cristais prismáticos de hidróxido de cálcio $[Ca(OH)_2]$ e pequenos cristais fibrilares de silicatos de cálcio hidratado (C_3S e C_2S) começam a preencher o espaço vazio ocupado originalmente pela solução [...]”.

Dias após o início da hidratação, depois de todo o consumo no sulfato, a etringita começa a se tornar instável e passa a ser convertida em monossulfoaluminato de cálcio hidratado, produto final da hidratação do cimento (KULISCH, 2011).

2.3. Durabilidade do Concreto Segundo

Kulisch (2011, p. 28),

A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003), estabelece no capítulo cinco os requisitos mínimos de qualidade que as estruturas de concreto devem atender, sendo eles:

- Capacidade resistente (segurança à ruptura)
- Desempenho em serviço (capacidade de se manter em condições plenas de utilização, sem apresentar danos que comprometam o uso da estrutura)
- Durabilidade (capacidade de resistir às influências ambientais).

Como pode ser visto, a durabilidade é um dos requisitos mínimos que as estruturas de concreto devem possuir. De acordo com Amorim (2010), a durabilidade é a capacidade resistente que o concreto possui, mesmo estando exposto a agentes agressivos, de manter as características para as quais foi projetado.

O concreto, como qualquer outro material, é exposto constantemente ao meio ambiente que contém agentes agressivos, os quais podem afetar sua durabilidade. Por isso, Kulisch (2011, p. 15, *apud* Lima, 2005) aponta a

[...] necessidade de conhecermos o meio ambiente onde a estrutura está inserida para realmente entendermos o seu comportamento, visto que este meio pode fazer com que um concreto devidamente especificado e executado tenha sua vida útil reduzida significativamente. [...].

A NBR 6118:2014 (Associação Brasileira de Normas Técnicas), classifica o ambiente conforme sua agressividade (ver tabela 03), estabelecendo limites mínimos de resistência que o concreto deve apresentar (ver tabela 04).

Tabela 03: Classes de agressividade ambiental.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1 2}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹	Grande
		Industrial ^{1 2}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1 3}	Elevado
		Respingos de maré	

1) Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

2) Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

3) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2014).

Tabela 04: Requisitos mínimos do concreto de acordo com a classe de agressividade do ambiente.

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação a/c em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

NOTAS

1) O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

2) CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

3) CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2014).

2.4. Íon Sulfato

Diversos ambientes apresentam-se de maneira agressiva ao concreto, desde ambientes urbanos, marinhos e industriais, sendo o íon sulfato um agente agressivo comum a estes ambientes (KULISCH, 2011).

Segundo Rheinheimer e Khoe (2013), o íon sulfato pode ter origem tanto natural quanto antrópica.

Na natureza ele está presente na água do mar, no lençol freático, nos rios, chuvas ácidas e na decomposição de matéria orgânica, sendo que a dissolução de solos e rochas e oxidação de sulfeto, tornam-se os meios mais comuns de disposição desse íon no meio ambiente (RHEINHEIMER E KHOE, 2013).

A origem antrópica do sulfato provém das águas superficiais, principalmente da descarga de esgoto doméstico e industrial, sem o devido tratamento, nos cursos d'água (RHEINHEIMER E KHOE, 2013).

Para Linhares (2010, *apud* NEVILLE, 1997), os principais tipos de sulfatos presentes no solo são em forma de sais, como por exemplo o sulfato de sódio, potássio, magnésio e cálcio.

2.5. Ataque por Sulfatos

Os sulfatos podem entrar no concreto por meio da infiltração de íons ou de água contaminada com íons (RHEINHEIMER E KHOE, 2013).

A infiltração de íons sulfato ocorre pelas aberturas de poros no concreto, que dão acesso ao interior da estrutura. Já a infiltração de água contaminada com íons sulfato, iniciase pelas partes mais próximas da superfície, podendo migrar para as partes internas. A evolução de ambos os ataques depende da porosidade e permeabilidade do concreto, podendo haver aumento da porosidade e surgimento de fissuras no decorrer do ataque, acelerando o processo (RHEINHEIMER E KHOE, 2013).

Segundo Kulisch (2011, p. 36, *apud* COSTA, 2004),

Os dois principais meios de ataque por sulfatos são: reação com os produtos de hidratação do aluminato tricálcico não hidratado (C_3A) produzindo etringita; e reação com o hidróxido de cálcio produzindo gipsita. No concreto endurecido, a formação da etringita resultante do ataque de sulfato pode levar à expansão, e, devido à baixa resistência à tração do concreto, pode fissurar a peça.

3. METODOLOGIA

Para investigar se os materiais utilizados na preparação do concreto apresentam influência em durabilidade, quando expostas ao ataque por sulfatos, foram realizados ensaios laboratoriais, com corpos de prova, no laboratório de materiais de construção da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

3.1. Séries de corpos de prova

3.1.1. Concreto

Foram preparados 15 corpos de prova de concreto de cada uma das séries que segue abaixo, totalizando 60 corpos de prova, produzidos em formas cilíndricas, com 10 cm de diâmetro e 20 cm de comprimento:

- Série 1: corpos de prova com cimento CII-E e agregados de origem calcária;
- Série 2: corpos de prova com cimento CII-E e agregados de origem granítica;
- Série 3: corpos de prova com cimento CIII e agregados de origem calcária;
- Série 4: corpos de prova com cimento CIII e agregados de origem granítica.

Com essas séries, foi possível analisar tanto a influência que o agregado como do tipo de cimento, frente ao ataque por íons sulfatos.

3.1.2. Argamassa

Para as argamassas, foram produzidos 3 corpos de prova de cada uma das séries que segue abaixo, totalizando 12 corpos de prova de argamassa, preparados em formas prismáticas, com dimensões de 2,50 x 2,50 x 30 cm:

- Série 1: corpos de prova com cimento CII-E e areia de origem calcária;
- Série 2: corpos de prova com cimento CII-E e areia de origem granítica;
- Série 3: corpos de prova com cimento CIII e areia de origem calcária;
- Série 4: corpos de prova com cimento CIII e areia de origem granítica.

3.2. Características dos materiais estudados

3.2.1. Concreto

Após pesquisa bibliográfica, o traço definido foi de 1:2,6:3,4. A quantidade de água foi estimada para se conseguir um concreto que apresentasse um Slump de 80 ± 10 mm, como pode ser observado pela figura 01.

Figura 01: Slump teste realizado no concreto.



Fonte: Autoria própria.

Dessa forma, foram feitos os corpos de prova, como é visto na figura 02, com os seguintes traços:

- 1:2,6:3,2:0,65 – Para concretos preparados com cimentos tipo CII-E e CIII e agregados de origem calcária;
- 1:2,6:3,2:0,72 – Para concretos preparados com cimentos tipo CII-E e CIII e agregados de origem granítica.

Figura 02: Copos de prova moldados em laboratório.



Fonte: Autoria própria.

3.2.2. Argamassa

O traço utilizado para a produção das argamassas foi 1:2,6, sendo que a quantidade de água utilizada foi na mesma proporção que a usada no concreto. Dessa forma, foram utilizados os seguintes traços para as argamassas:

- 1:2,6:0,65 – Para argamassas preparadas com cimentos tipo CPII-E e CPIII e areia de origem calcária;
- 1:2,6:0,72 – Para argamassas preparadas com cimentos tipo CPII-E e CPIII e areia de origem granítica.

•

Figura 03: Preparo da argamassa.



Fonte: Autoria própria.

3.3. Parâmetros do ensaio acelerado

Uma parte dos corpos de prova ficaram imersos em solução agressiva de sulfato de sódio (Na_2SO_4), ver figura 04, de concentração 100 g/L conforme estipulado pela NBR 13583:2014.

Para acelerar o ataque pelos íons sulfato, foi elevada a temperatura da água onde os corpos de prova estavam imersos a aproximadamente 50° C, ver figura 05, superior a temperatura de 40 ° C estabelecida pela NBR 13583:2014. A referida norma estabelece um período de 45 dias para a realização dos ensaios, este estudo foi realizado em um período de 56 dias.

Figura 04: Corpos de prova em solução agressiva de sulfato.



Fonte: Autoria própria.

Figura 05: Medição da temperatura da solução agressiva de sulfatos.



Fonte: Autoria própria.

3.4. Cura dos corpos de prova

Após pesquisa bibliográfica realizada, foi estabelecido três fases de cura para os corpos de prova:

- Fase 01: todos os corpos de prova passaram 14 dias de cura em câmara úmida;
- Fase 02: metade dos corpos de prova continuaram em um período de 14 dias dentro da câmara úmida e a outra metade passou 14 dias imersos em solução agressiva de sulfato de sódio;

- Fase 03: metade dos corpos de prova continuaram durante 28 dias na câmara úmida e a outra metade ficou durante o mesmo período imersos em solução de sulfato de sódio.

Ao final de cada fase, foram realizados os ensaios com os corpos de prova.

3.5. Ensaio realizados

3.5.1. Concreto

Os corpos de prova de concreto passaram pelo ensaio de resistência à compressão axial, como propósito de comparar a resistência dos corpos de prova ao longo do estudo.

Sendo assim, foram realizados esses ensaios em três períodos distintos:

- Período 01: ao final da primeira fase de cura, aos 14 dias, foram rompidos 3 corpos de prova de cada série, totalizando 12 corpos de prova rompidos;
- Período 02: ao final da segunda fase de cura, aos 28 dias, foram rompidos 6 corpos de prova de cada série; 3 estavam em cura na câmara úmida e 3 estavam imersos por 14 dias em solução agressiva de sulfato. Dessa forma, foram rompidos um total de 24 corpos de prova;
- Período 03: ao final da terceira fase de cura, com 56 dias, foram rompidos também um total de 24 corpos de prova, sendo 6 de cada série; 3 em cura de câmara úmida e 3 imersos em solução de sulfato de sódio.

Figura 06: Ensaio de resistência à compressão axial dos corpos de prova de concreto.



Fonte: Autoria própria.

3.5.2. Argamassa

Com os corpos de prova de argamassa, foram realizadas medições de sua variação dimensional ao longo do estudo. Essa aferição foi realizada também em três fases:

- Fase 01: aos 14 dias de cura na câmara úmida foram realizadas as primeiras medições longitudinais das barras;
- Fase 02: aos 28 dias, 14 dias na câmara úmida e 14 dias imersos em solução de sulfato de sódio, foram realizadas as medições longitudinais dos corpos de prova;
- Fase 03: aos 56 dias, 14 dias na câmara úmida e 42 dias imersos em solução agressiva de sulfato de sódio, foram realizadas as medições finais das dimensões longitudinais das barras.

Para realizar as medições longitudinais dos corpos de prova das argamassas, foi utilizado o paquímetro disponível no laboratório de materiais de construção da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

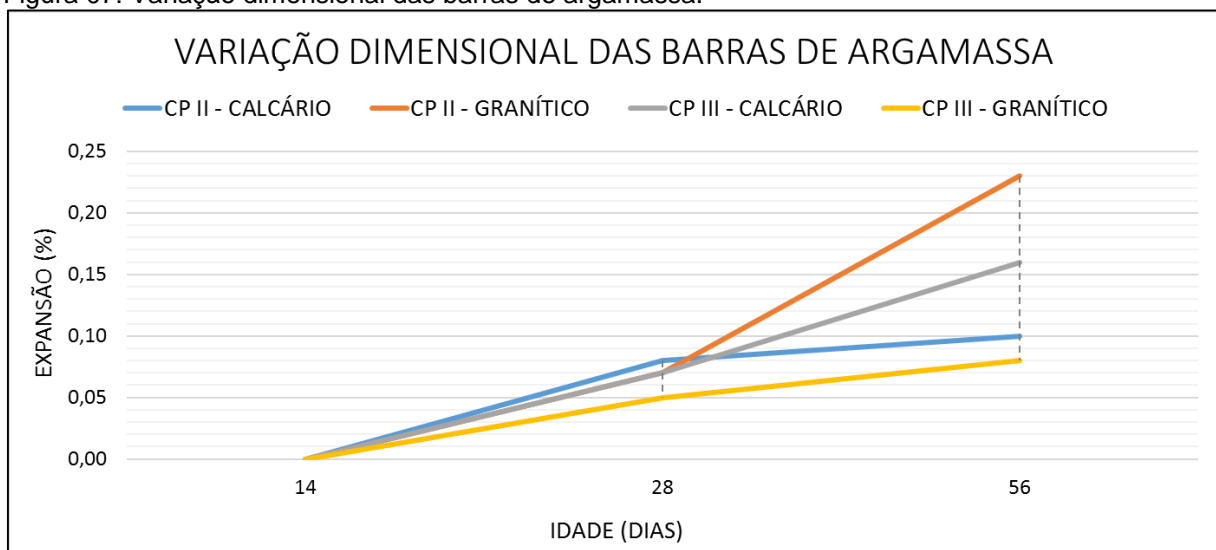
4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Após os ensaios realizados, os dados foram analisados e transformados em gráficos comparativos para o melhor entendimento dos resultados.

4.1. Variação dimensional das barras de argamassa

A figura 07 apresenta o gráfico da variação longitudinal média de cada série de corpos de prova, durante um período de 56 dias.

Figura 07: Variação dimensional das barras de argamassa.



Fonte: Autoria própria.

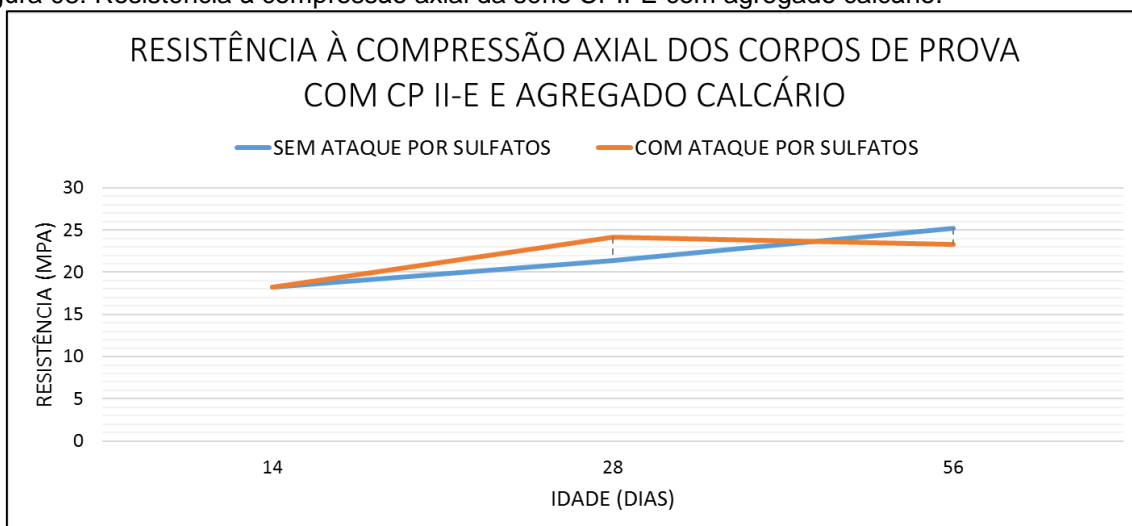
De acordo com o gráfico, é possível observar que barras produzidas com agregado de origem calcária apresentaram uma expansão mais uniforme, em uma faixa de 0,10% a 0,15%, enquanto as barras produzidas com agregado de origem granítica apresentaram resultados mais heterogêneos, sendo que a série CP III – granítico apresentou a menor expansão.

4.2. Resistência à compressão do concreto

Os gráficos apresentados nas figuras 08 e 09 são do ensaio de resistência à compressão axial, obtidos a partir de valores médios de duas séries de corpos de prova, ambas produzidas com cimento CII-E. Uma das séries foi produzida com agregados de origem calcária e a outra série foi produzida com agregados de origem granítica.

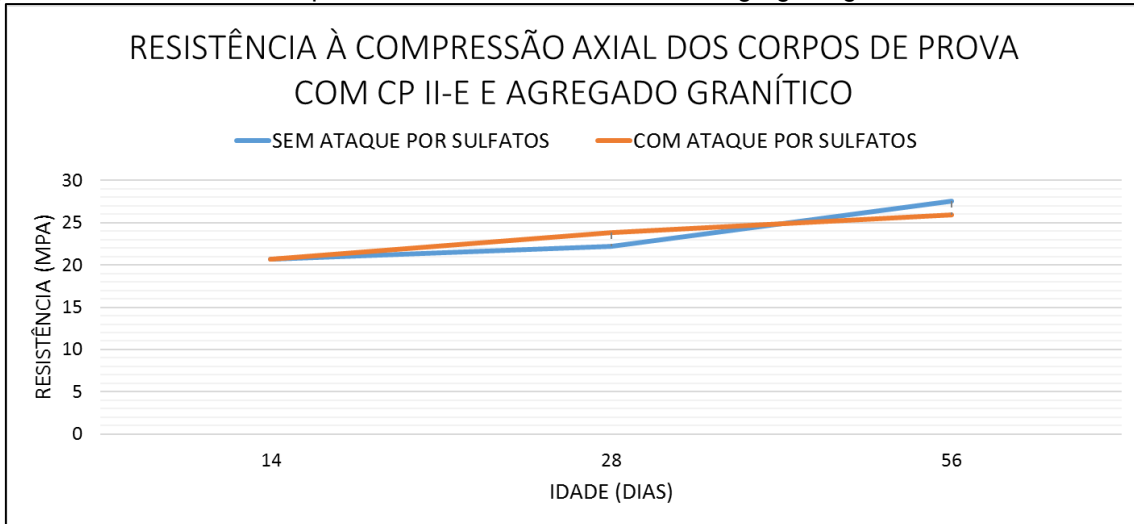
Ao analisar os dados, observa-se que em ambos os gráficos a resistência à compressão, aos 24 dias, dos corpos de prova que passaram pelo ambiente agressivo contendo sulfatos, foi superior em relação aos corpos de prova que não sofreram ataque. Porém, essa situação é invertida com a idade de 56 dias, ao qual observa-se uma queda ou diminuição no ritmo de crescimento da resistência à compressão dos corpos de prova que sofreram o ataque de sulfatos.

Figura 08: Resistência à compressão axial da série CII-E com agregado calcário.



Fonte: Autoria própria.

Figura 09: Resistência à compressão axial da série CP II-E com agregado granítico.

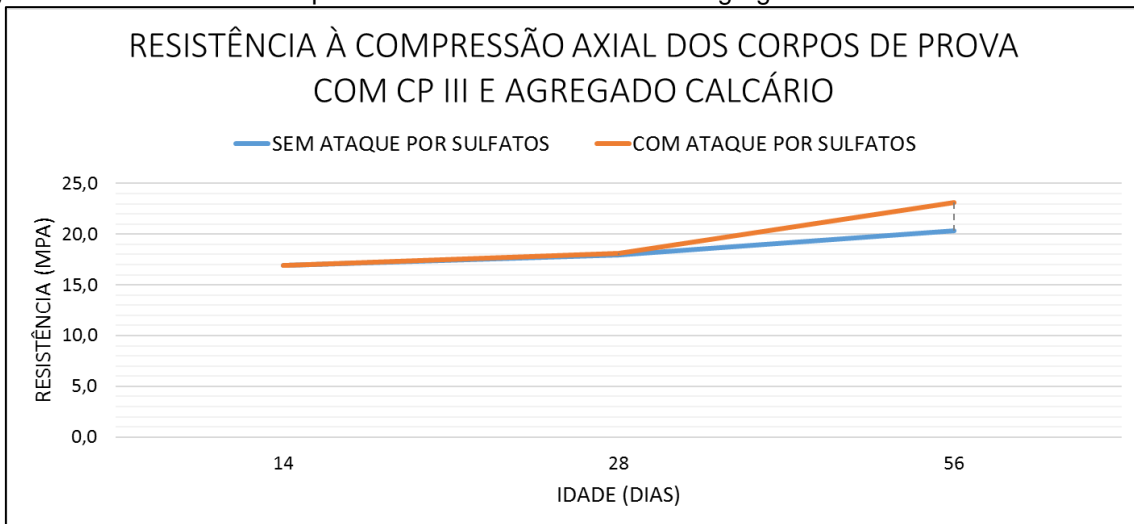


Fonte: Autoria própria.

Nas figuras 10 e 11, são apresentados os gráficos com os resultados médios, obtidos pelo ensaio de resistência à compressão axial. Em ambos os gráficos os corpos de prova foram produzidos com cimento CP III, sendo que para a produção dos corpos de prova, foram utilizados agregados de origem calcária, gráfico da figura 10, e agregados de origem granítica, gráfico da figura 11.

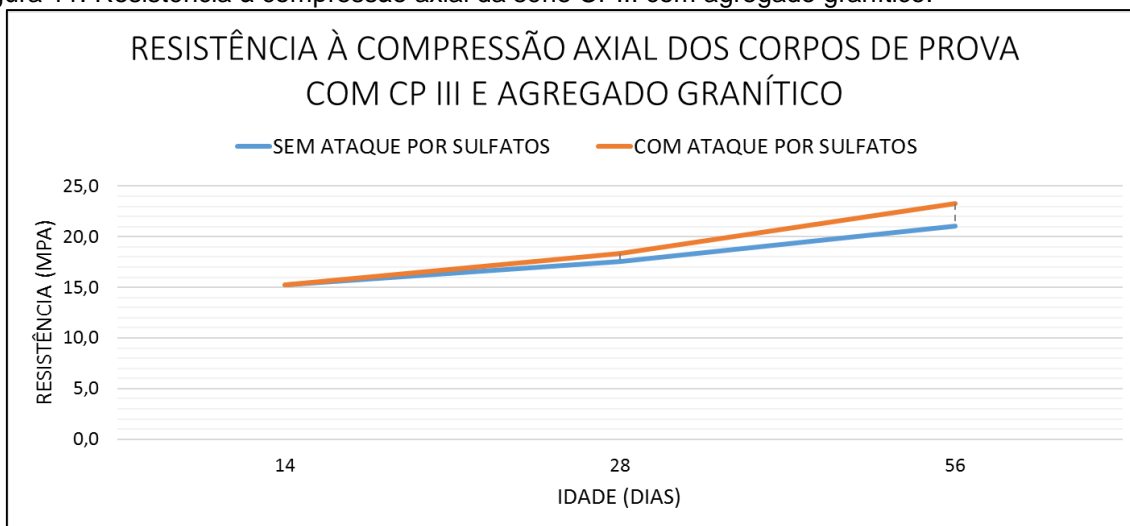
Para essas duas séries, é possível observar resultados mais homogêneos, com resistências crescentes, independente do agregado que foi utilizado e do ambiente que os corpos de prova estavam inseridos.

Figura 10: Resistência à compressão axial da série CP III com agregado calcário.



Fonte: Autoria própria.

Figura 11: Resistência à compressão axial da série CPIII com agregado granítico.



Fonte: Autoria própria.

4.3. Análise conjunta dos resultados

Com relação à expansão sofrida pelas barras de argamassa, não se pode afirmar que o tipo de material apresenta influência na resistência do concreto ao ataque de sulfatos, pois apresentaram resultados dispersos. No entanto, ao analisar os resultados de resistência à compressão axial das quatro séries de corpos de prova, é possível observar que o tipo de cimento influenciou de forma mais significativa do que o tipo de agregado utilizado. Isto pode ter ocorrido por conta das adições presentes em cada tipo de cimento.

Como o cimento CPIII possui um teor maior de adição que o cimento CII-E, conseqüentemente ele possui uma quantidade menor de compostos do concreto que são suscetíveis ao ataque de sulfatos. Por conta disso, as séries produzidas com o CPIII se apresentaram menos vulneráveis ao ataque de sulfatos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para realizar este estudo, com o objetivo de investigar se a resistência do concreto é influenciada pelos materiais constituintes, foram utilizados referenciais de normas para conseguir simular as condições mínimas que devem ser atendidas. Após a análise dos resultados e de todo referencial teórico, é observável como o cimento possui maior influência na resistência que o concreto apresenta quando está inserido em ambientes agressivos contendo sulfatos, quando comparado com a influência dos agregados.

Mesmo que a parte experimental possa apresentar alguns resultados sutis, para obras que ficam expostas a agentes agressivos por grandes períodos de tempo, essas diferenças podem ser significativas para aumentar a durabilidade das construções.

Este estudo foi realizado com uma idade de 56 dias dos corpos de prova, no entanto, as obras ficam por longos períodos expostas a ambientes agressivos, que podem reduzir a sua durabilidade. Por isso, é necessário fazer o correto emprego dos materiais com o propósito de aumentar a vida útil das obras de construção civil.

6. REFERÊNCIAS

ANDRADE, Ruben Duffles. **Corrosão de condutos de concreto para esgotos: causas e remédios**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo: 1972.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13583: **Cimento Portland – Determinação da variação dimensional de barras de argamassa de cimento Portland expostas à solução de sulfato de sódio**. Rio de Janeiro, 2014.

AMORIM, Anderson Anacleto de. **Durabilidade das estruturas de concreto armado aparentes**. Monografia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: 2010.

Disponível em:

<<http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg1/Monografia%20Anderson%20Anacleto%20de%20Amorim.pdf>>. Acesso em 03 de dezembro de 2016.

COSTA, Rodrigo Moysés. **Análise de propriedades mecânicas do concreto deteriorado pela ação de sulfato mediante utilização do UPV**. 2004. 225 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004. Disponível em: <<http://www.pos.dees.ufmg.br/defesas/54D.PDF>>. Acesso em: 04 dez. 2016.

LINHARES, Bruno Tasca de. **Avaliação de cimentos CII E e CII F com diferentes teores de pozolanas frente ao ataque de íons sulfato**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: 2010. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/26024>>. Acesso em 03 de dezembro de 2016.

KULISCH, Daniele. **Ataque por sulfatos em estruturas de concreto**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2011. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/1/1e/DANIELE_KULISCH.pdf>. Acesso em 04 de dezembro de 2016.

RHEINHEIMER, Bianca; KHOE, Sarah Shima. **Ataque por sulfatos em estações de tratamento de efluentes**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2013. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/3/33/TCC_sulfatos.pdf>. Acesso em: 04 de dezembro de 2016.

Contatos: Antonio Porto dos Santos Júnior - junior_portto@hotmail.com/Simão Prizskulnik,
e-mail: sprisz@gmail.com