



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ANA CLARA ARAÚJO DE SÁ LEITÃO SOARES

**ATAQUE POR SULFATOS DE SÓDIO EM ARGAMASSAS CONFECCIONADAS
COM PÓ DE BRITA**

ANGICOS

2020

ANA CLARA ARAÚJO DE SÁ LEITÃO SOARES

**ATAQUE POR SULFATOS DE SÓDIO EM ARGAMASSAS CONFECCIONADAS
COM PÓ DE BRITA**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como um requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Sâmea Valensca Alves
Barros.

ANGICOS

2020

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S6764 Soares, Ana Clara Araújo de Sá Leitão.

29a ATAQUE POR SULFATOS DE SÓDIO EM ARGAMASSAS
CONFECCIONADAS COM PÓ DE BRITA / Ana Clara Araújo
de Sá Leitão Soares. - 2020.
38 f. : il.

Orientadora: Sâmea Valensca Alves Barros.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2020.

1. Ataques químicos. 2. pozolânica. 3. matriz
cimentícia. 4. durabilidade. 5. pó de brita. I.
Barros, Sâmea Valensca Alves, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ANA CLARA ARAÚJO DE SÁ LEITÃO SOARES

**ATAQUE POR SULFATOS DE SÓDIO EM ARGAMASSAS CONFECCIONADAS
COM PÓ DE BRITA**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como um requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 04 / 02 / 2020

BANCA EXAMINADORA

Sâmea Valensca Alves Barros
Prof.^a Dr.^a Sâmea Valensca Alves Barros. (UFERSA)
Presidente

Geberson Carlos Batista Dantas
Eng. Civil Geberson Carlos Batista Dantas (UFERSA)
Membro Examinador

Janielly Kaline de O. Ferreira do Fê
Prof.^a Janielly Kaline de Oliveira Ferreira (UFERSA)
Membro Examinador

A mulher mais incrível desse mundo, a qual tem por nome Maria de Fátima de Araújo e a chamo por mãe e a todos os meus familiares e amigos. Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus. Não poderia iniciar os agradecimentos sem antes falar do meu Criador e Mantenedor. Sou grata, porque Ele me dá forças todos os dias e para desenvolver esse trabalho Ele me deu a sabedoria, empenho, paciência e paz nos dias que pareciam mais impossíveis de manter o equilíbrio.

A mulher que mais admiro em todo o universo, pelo ser humano maravilhoso e mãe incrível que ela é. A minha mãe Fátima foi a pessoa que mais me incentivou a estar aqui, desde de pequena sempre me impulsionou nos estudos e hoje vejo o brilho em seus olhos de tamanha felicidade em ver até onde cheguei, pois além de ser meu sonho estar formada, esse era um dos maiores sonhos dela também.

Aos meus familiares, sejam os que moram perto ou os que moram longe, que com pequenos gestos fizeram toda a diferença nesta trajetória e me auxiliaram na realização deste trabalho.

Aos meus amigos que são a minha família de coração, vocês foram incrivelmente especiais e essenciais em todo o caminho percorrido até aqui. Com as orações, as vezes telefonemas, caronas, conselhos, desabafos, em absolutamente tudo vocês fizeram parte e por isso sou muito grata.

A disponibilidade do uso dos laboratórios de Construção Civil do IFRN Campus Mossoró e ao laboratório de Engenharia Civil da UFRSA Campus Angicos, em especial aos técnicos que me auxiliaram, deixo o meu obrigado e os parabéns pela dedicação ao trabalho de vocês.

A grande mulher e professora que tem por nome Sâmea Valensca Alves Barros, a qual passei a admirar desde o primeiro dia que a conheci em sala de aula ministrando a disciplina de Geologia Aplicada à Engenharia. Não é a primeira vez que trabalhamos juntas em trabalho de conclusão, mas sinto a mesma alegria que a primeira vez que fui orientada por ela, pois em sua companhia aprendi muito. Obrigada por me permitir viver essa experiência mais uma vez ao seu lado, você é uma das docentes que mais admiro e me impressiono pela dedicação e esforço na profissão que você escolheu. Se no mundo tivesse mais educadores como você, os profissionais da Engenharia Civil seriam muito mais capacitados. Muito obrigada por todo amor, incentivo e correções que você depositou nesta pesquisa, sem você eu não teria conseguido chegar até aqui.

A minha banca examinadora composta pelo Engenheiro Gerbeson e a Professora Janielly, também deixo minha gratidão por terem aceitado o convite e por terem se disponibilizado a analisar a presente pesquisa e agregar conhecimentos a este trabalho.

Com carinho agradeço a UFERSA Campus Angicos por ter sido palco da realização desse sonho, assim como de toda a equipe que constitui essa universidade tão maravilhosa. Todos fizeram parte de cada degrau conquistado, principalmente com todo aprendizado e amadurecimento que adquiri ao viver esses cinco anos de graduação. Essa família eu parabenizo de pé, porque essa universidade, em especial esse Campus, só é considerado incrível pela equipe que a compõe.

Por fim, estendo o meu agradecimento a todos que me auxiliaram durante minha trajetória até aqui, mesmo aqueles que não foram citados neste trabalho, mas estiveram a me ajudar seja de forma direta ou indireta, deixo o meu muito obrigado.

RESUMO

Durante muito tempo a atenção do setor de construção civil esteve voltada apenas para o desempenho mecânico de materiais confeccionados com cimento Portland. Percebeu-se com o passar dos anos que essas estruturas apresentavam em pouco tempo de uso elevado grau de deterioração. Diante do mencionado, com o intuito de prolongar a vida útil das estruturas de matriz cimentícia, iniciaram-se estudos sobre os agentes deterioradores desses elementos passando a ser essencial, na atualidade, que os projetos e a execução de obras civis tenham por critério a durabilidade desses elementos. Nessa perspectiva, o objetivo deste trabalho é verificar a ocorrência de ataques por sulfato de sódio em argamassas confeccionadas com pó de brita em substituição parcial a areia. Realizou-se a determinação do Índice de Atividade Pozolânica (IAP) do pó de brita com o intuito de verificar que uso seria dado ao mesmo. Após, a determinação do IAP utilizou-se a metodologia alternativa desenvolvida por Rezende (2013) para a investigação da ocorrência do ataque por sulfatos nas argamassas confeccionadas com pó de brita em substituição parcial ao agregado. Os resultados indicaram que as argamassas confeccionadas com pó de brita não sofreram ataques por íons de sulfatos de sódio de acordo com a norma ASTM C 452 (2002).

Palavras-chave: Ataques químicos. Matriz cimentícia. Pozolânica. Durabilidade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mesa <i>Flow Table</i> Manual.....	25
Figura 2 - Moldes cilíndricos de dimensões 50x100 mm.....	26
Figura 3 - Localização das linhas de referência para medições dos corpos de prova.....	27
Figura 4 - Recipiente com os corpos de prova que foram submetidos ao ataque por sulfatos....	28
Figura 5 - Desgaste dos corpos de prova exposto ao ataque por sulfatos de sódio. a) Traço de 1:3 e b) Traço de 1:3 com 25% de substituição.....	30
Figura 6 - Variação dimensional devido a exposição ao ataque por sulfatos. a) Traço 1:3 e b) Traço 1:3 com 25% de pó de brita.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Mecanismos de envelhecimento e deterioração das estruturas de Concreto.....	16
Tabela 2 - Classes de agressividade do meio ambiente.....	19
Tabela 3 - Resistência à compressão das argamassas A e B.....	29
Tabela 4 - Fator água/cimento para consistência determinada.....	29
Tabela 5 - Resistência à compressão simples para os corpos de prova antes e após o ataque por íons de sulfato.....	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A/C	Água/cimento
ASTM	American Society for Testing and Materials
C	Celsius
CP	Cimento Portland
Dr. ^a	Doutora
Eng	Engenheiro
F	Fíler
g	Gramas
IAP	Índice de Atividade Pozolânica
IFRN	Instituto Federal do Rio Grande do Norte
L	Litro
mg	Miligrama
mm	Milímetros
MPa	MegaPascal
NBR	Norma Brasileira
PB	Paraíba
pH	Potencial Hidrogeniônico
Prof. ^a	Professora
RCS	Resistência a Compreensão Simples
RN	Rio Grande do Norte
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-árido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo geral	14
1.1.2 Objetivos específicos	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 DETERIORAÇÃO DAS MATRIZES CIMENTÍCIAS	15
2.1.1 Tipos de ataques químicos as matrizes cimentícias	16
2.1.2 Importância do estudo de ataques por sulfato	18
2.2 DURABILIDADE	20
2.3 USO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS NA CONFEÇÃO DE MATRIZES CIMENTÍCIAS	22
2.3.1 Benefícios da utilização do pó de brita	23
3 METODOLOGIA	24
3.1 MATERIAIS	24
3.2 MÉTODOS	24
3.2.1 Definição do traço	24
3.2.2 Determinação da atividade pozolânica do pó de brita	24
3.2.3 Consistência da argamassa	24
3.2.4 Moldagem dos corpos de prova	25
3.2.5 Resistência a compressão simples (RCS)	26
3.2.6 Avaliação da resistência ao ataque por sulfatos	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 ATIVIDADE POZOLÂNICA	29
4.2 FATOR ÁGUA/CIMENTO	29
4.3 ATAQUE POR SULFATO DE SÓDIO DAS ARGAMASSAS ESTUDADAS	30
4.4 ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA APÓS ATAQUE QUÍMICO DE ÍONS DE SULFATO DE SÓDIO	33
5 CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

Os materiais de matriz cimentícia, tais como concreto e argamassa, são os materiais mais usados no Brasil para obras de construção civil. No entanto, antes da cessação da vida útil prevista pela NBR 6118:2014 (ABNT, 2014) os elementos executados com o uso de concreto armado já têm apresentado deterioração exorbitante.

Dentre os mecanismos de deterioração que ocorre nas estruturas cimentícias destacam-se os ataques químicos. Expõe Gomides, Carasek e Cascudo (2018) que o ataque por íons de sulfato merece uma atenção especial, pois atrelado a seus efeitos negativos em matrizes cimentícias, ainda existem muitas questões a serem entendidas sobre os fatores que realmente impulsionam e favorecem o desenvolvimento destes nos elementos.

Na busca de explicações para tais ocorrências, pode-se citar a escolha dos materiais constituintes inadequada, falta de manutenção, entre outros. Frente a esta realidade, é extremamente importante que haja uma busca mais intensa em estudos e pesquisas em laboratório para uso de materiais de matrizes cimentícios com maior durabilidade, isto é, que sejam menos susceptíveis aos ataques químicos, físicos ou biológicos do meio em que estão inseridas.

Segundo Menossi (2004) a preocupação do setor de construção civil não tem se resumido somente a durabilidade dos materiais, mas também com a sustentabilidade de seus serviços. Desta forma, incentivado a incorporação de rejeitos dos mais diversos setores econômicos na produção de concretos e argamassas. Dentre os resíduos, destaca-se o pó de brita.

Ao estudar o resíduo do pó de brita Campos (2015) concluiu uma melhora na trabalhabilidade de argamassas confeccionadas com o mesmo, demonstrando, em seu estudo, que a aplicação do pó de brita (rejeito das pedreiras) para substituição parcial da areia natural usada na confecção de argamassas torna-se uma alternativa totalmente aceitável.

É perceptível que desenvolvem-se cada vez mais estudos na confecção de matrizes cimentícias com a implementação de materiais alternativos. Notoriedade essa para argamassas produzidas com pó de brita. Todavia, a ênfase dos estudos são na parte mecânica, pouco se fala na durabilidade desses materiais sujeitos a ataques por sulfatos de sódio. Logo, a presente pesquisa tem como finalidade verificar a durabilidade de argamassas confeccionadas com pó de brita diante da ocorrência de ataques por sulfato de sódio.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Verificar se argamassas confeccionadas com pó de brita em substituição parcial a areia são susceptíveis ao ataque por sulfatos de sódio.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar a atividade pozolânica do pó de brita.
- Determinar o fator água/cimento dos corpos de prova confeccionados.
- Realizar o ataque por sulfatos e determinar a movimentação/comportamento em 7,14,21,28 e 42 dias.
- Verificar o efeito fíler através da resistência a compressão simples com e sem substituição do pó de brita.
- Obter a resistência à compressão simples das argamassas nos traços 1:3 com 25% de pó de brita e 1:3 sem substituição.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DETERIORAÇÃO DAS MATRIZES CIMENTÍCIAS

Em pleno século XXI, os seres humanos percebem-se encurralados diante dos desastres ambientais. Esse resultado, nada mais é do que uma consequência da expansão desenfreada das atividades humanas e o uso inadequado dos recursos naturais. No setor de construção civil, esses impactos no meio ambiente ajudam a comprometer não só o desempenho, mas também a durabilidade da infraestrutura, promovendo o uso de altos custos financeiros para manutenção, recuperação e a preservação dessas edificações (COSTA, 2001).

As manifestações patológicas são iniciadas pelo comprometimento da estética das estruturas, sendo os casos mais extremos quando há uma perda da capacidade do mesmo, podendo resultar em um colapso parcial ou total do suporte. O investimento depositado para solucionar esses danos pode ser elevado e, em alguns casos, inviável (SILVA, 2017).

Frente aos danos que estão ocorrendo nas matrizes cimentícias diante do efeito combinado da agressividade do meio ambiente, as dificuldades de ordem estrutural e implementação de práticas de execução impróprias no decorrer das diversas etapas do processo construtivo, muitos cientistas estão dedicando-se a estudar a durabilidade das edificações (ANDRADE, 1997).

Por isso, torna-se essencial entender o que é durabilidade de elementos fabricados com cimento Portland. A mesma é definida por Levy (2001) como a capacidade de determinado elemento resistir à ação de agentes externos, isto é, conservar a sua forma original, excelência e competência de utilização quando exteriorizado a determinado meio ambiente.

De acordo com Brandão (1998) a palavra deterioração pode-se ser entendida como o antônimo de durabilidade. Sendo esta conceituada como a situação do que se muda de um estado bom para um estado pior, ou seja, é a danificação/degeneração de uma determinada estrutura.

Os fatores que condicionam a degradação dos elementos de matrizes cimentícias podem ser causados por ação humana, na razão água/cimento, absorção, permeabilidade e causas naturais, tais quais que reagem quimicamente. Os sinais que uma estrutura pode apresentar ao sofrer essas ações são principalmente as fissuras, indicando que o período de vida útil de determinada estrutura está próximo do fim ou, podem indicar que é ainda uma degradação prematura (BRITO, 2013).

De maneira sucinta, a NBR 6118:2014 (ABNT, 2014) expõe que os principais mecanismos de deterioração de uma estrutura de concreto podem ser identificados em três grupos (Tabela 1).

Tabela 1 – Mecanismos de envelhecimento e deterioração das estruturas de Concreto.

Deterioradores do concreto	➤ Lixiviação, processo responsável por dissolver os constituintes do cimento e carrear os mesmos para o exterior da estrutura. ➤ Expansão por sulfatos, presentes em águas e solos, podem causar reações que favorecem a expansão do elemento, deteriorando o material. ➤ Reação álcali-agregado, ocorre na presença de umidade quando a reatividade dos agregados age com os compostos da matriz cimentícia.
Deterioradores da armadura	A corrosão inicia-se por: ➤ Carbonatação, no momento é que o dióxido de carbono penetra no interior do concreto, despassivando a armadura. ➤ Ação de cloretos, quando há uma elevada presença do mesmo torna-se possível que os íon-cloro rompam a camada de passivação da armadura. OBS.: é necessária umidade para a ocorrência desses processos.
Deterioradores da estrutura como um todo	➤ Ações mecânicas; ➤ Movimentações térmicas; ➤ Impactos; ➤ Ações cíclicas; ➤ Retração; ➤ Fluência; ➤ Relaxação;

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6118:2014.

2.1.1 Tipos de ataques químicos as matrizes cimentícias

A maioria dos processos que podem acometer a durabilidade das estruturas de concreto resumem-se a dois mecanismos de transporte, nos quais podem ser através dos poros e das fissuras e na presença de água. Esses gases, líquidos e substâncias que são dissolvidas pelo elemento podem ser conduzidas para dentro do concreto já endurecido ou na permutação com o meio ambiente onde se encontra inserido (BRANDAO, 1998).

Conforme Silva (2017) os ataques as matrizes cimentícias podem ser classificados em três grandes grupos: físicos, químicos e biológicos. É necessário enfatizar que a separação dos ataques em físicos e químicos é apenas para facilitar a didática explicativa, pois na prática os dois grupos estão intimamente ligados. Além dos ataques físicos e químicos, ainda existem os ataques referentes aos agentes biológicos, que consiste na atuação dos animais e vegetais na durabilidade dos elementos.

Por sua vez, afirma Pereira et al. (2014) que os principais ataques químicos que promovem danos as estruturas de concreto são: ataques por sulfato, por ácidos, por cloretos, águas puras, água do mar, carbonatação e reações álcali-agregado. Essas reações podem ser provocadas tanto por agentes externos como podem resultar de reações internas.

Os ataques às estruturas de concreto por íons de sulfato ocorrem quando estas substâncias conseguem penetrar no interior do concreto através dos poros, no qual reagem com os compostos hidratados de cimento (como exemplo o hidróxido de cálcio) formando novos compostos como a etringita e a gipsita. Estes elementos, por sua vez, são compostos que geram expansão ou contração e a possível degeneração da estrutura como um todo (CENTURIONE; KIHARA; BATTAGIN, 2003).

Afirma Medeiros Junior et al. (2016) que os ácidos são substâncias que podem se desassociar em solução aquosa, que na presença de uma base podem resultar na formação de cristais de gesso compostos de alumínio, no qual aumentam a acessibilidade dos agentes externos no interior da estrutura e consequentemente reduz a vida útil do elemento. O ataque por ácidos torna-se mais ocorrente em tubulações de esgoto, estações de tratamento de águas residuais, limpeza do concreto com ácido muriático, entre outros.

A ação dos íons cloretos é, no entanto, uma das formas mais agressivas de deterioração das estruturas de concreto. Isto ocorre no que lhe concerne, pois mesmo a estrutura estando em elevada alcalinidade, ainda assim os cloretos conseguem deteriorar a armadura. A entrada desses íons pode ocorrer pela própria composição do concreto, no que diz respeito à utilização de aditivos que aceleram a pega ou na presença da água de amassamento e do agregado utilizado. Ao reagirem quimicamente com o silicato de cálcio hidratado do cimento facilitam o processo de corrosão (SIQUEIRA et al., 2017).

De acordo com Crauss (2010) a carbonatação promove uma corrosão generalizada no cobrimento do concreto, ocasionando uma redução do pH que protege a armadura. Esse processo ocorre quando o gás carbônico presente na atmosfera consegue adentrar no interior do concreto reagindo com o hidróxido de cálcio e formando o carbonato de cálcio, permitindo, desta forma, a despassivação das barras de aço.

Com relação aos ataques químicos por águas puras, é necessário primeiramente entender o porquê são assim chamadas. As águas são consideradas quimicamente puras quando não possuem sais dissolvidos em sua solução, por isso, quando em contato com cimento das matrizes cimentícias, facilita a dissolução de seus compostos, resultando no carreamento dos constituintes do elemento (BRANDÃO, 1998).

Segundo Corsini (2013) os ambientes marinhos são fortemente nocivos ao concreto devido a água do mar ter variados sais dissolvidos em sua composição, além da própria água que podem promover o desgaste ao entrarem em constantes impactos com as estruturas. Os sais, tais como cloretos e sulfatos, ao reagirem quimicamente com os compostos hidratados do cimento, alterarão sua composição, promovendo a deterioração do concreto e reduzindo sua durabilidade.

Já reação álcali-agregado é a única que ocorre no interior do concreto, isto é, sem ação externa de nenhuma substância. É assim chamado, pois é uma reação química que ocorre entre os hidróxidos presentes no cimento com os minerais que possuem reatividade nos agregados. Os produtos formados a partir desta reação, quando encontrados na presença de umidade, são agentes expansivos, resultando em fissurações e danificação das estruturas de concreto (HASPARYK, 2005).

Entretanto, Viscaldi e Silva (2014) consta que o mais agressivo ataque que pode surgir em estruturas de concreto, principalmente de fundações, são ataques por íons de sulfato diminuindo consideravelmente a qualidade e desempenho desses elementos fabricados com cimento Portland.

2.1.2 Importância do estudo de ataques por sulfato

Com a urbanização humana cada vez mais próxima das regiões litorâneas, muitas vezes ocasionado pela beleza e facilidade de lazer, a agressividade do meio ambiente para os elementos das edificações, incluindo as estruturas a base de cimento Portland, elevou-se consideravelmente, devido a junção dos gases industriais e veiculares com a presença de aerossol marinho (COSTA, 2001).

O ar dos centros urbanos é assinalado pela existência de íons de sulfato. Sendo os poluentes atmosféricos mais frequentes nos centros urbanos de São Paulo: monóxido de carbono (71%), hidrocarbonetos (11%), óxido de nitrogênio (16%) e elementos particulados (2%). O elemento de óxido de nitrogênio, produzido pela queima de combustíveis fósseis, é um

desses poluentes que pode se recombinar facilmente e se precipitar sob o meio ambiente na forma de íons de sulfato (UEDA E TOMAZ, 2011).

O aerossol marinho caracteriza-se pela frequência de íons de cloreto, magnésio e sulfatos. Estes, nas atmosferas marítimas são encontrados em média nas seguintes proporções: íons de sulfato (2800 mg/L), íons de cloreto (20000 mg/L) e íons de magnésio (1400 mg/L). Em especial, os íons de sulfato e cloreto, além de serem os que se encontram em maior quantidade, são extremamente agressivos (COSTA, 2001).

Além dos ambientes marinhos e na emissão de gases dos ambientes industriais, os íons de sulfato podem estar presentes nos rios, lençóis freáticos, água de pântanos, água de esgoto e até nos próprios agregados constituintes das matrizes cimentícias (SOUZA, 2006).

Expõe a NBR 6118 (ABNT, 2014) que a agressividade do ambiente é diretamente associada aos ataques químicos e físicos sobre os elementos de concreto. Demonstra ainda através de classes de agressividade (Tabela 2) que os ambientes marinhos ou com a presença de indústrias são os mais agressivos as estruturas.

Tabela 2 – Classes de agressividade do meio ambiente.

Classe de Agressividade ambiental	Agressividade	Tipo de ambiente em que é inserido o projeto	Grau de deterioração
I	Fraca	Rural	Irrelevante
		Submerso	
II	Moderada	Centros Urbanos	Pequeno
III	Forte	Regiões Marinhas	Grande
		Áreas Industriais	
IV	Muito Forte	Indústrias Químicas	Elevado
		Respingo de Maré	

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6118:2014.

Devido a elevada agressividade dos ambientes marinhos e industriais, a norma 6118:2014 também apresenta qual deve ser o cobrimento nominal das armaduras dos elementos de matriz cimentícia que, dependendo do tipo de estrutura (concreto protendido ou concreto armado) e o elemento (laje, pilar, viga ou elemento em contato com o solo), pode chegar a um cobrimento necessário de 55 mm.

A fragilidade das matrizes cimentícias com relação aos agentes agressivos do meio ambiente, principalmente os ataques de origem química, tem levantado interesse nos pesquisadores cada vez mais frequente tanto nos materiais constituintes do concreto, como em formas de execução do mesmo mais eficientes, tornando os elementos a base de cimento mais resistentes a esses ataques e promovendo maior durabilidade das estruturas (GAIER, 2005).

De acordo com Gomides, Carasek e Cascudo (2018) o estudo sobre o fenômeno dos ataques químicos por sulfatos vem desde o século XX. Desde então, entende-se que qualquer estrutura composta de cimento ao entrar em contato com íons de sulfato promove a formação de novos compostos que deterioram a matriz, o que torna essencial assumir medidas que possam evitar o problema.

Conforme Viscaldi e Silva (2014) a degradação do concreto por ataques de sulfato pode manifestar-se na forma de expansão e fissuração da estrutura cimentícia. No momento em que há fissuração, a permeabilidade do elemento é elevada e qualquer agente externo pode penetrar mais facilmente no interior do concreto, o que apressa o processo de deterioração. Os íons sulfatos também reduzem a resistência da estrutura, assim como favorecem a diminuição de massa por parte das reações ocorridas com os produtos hidratados do cimento.

É evidente que os prejuízos que são ocasionados pelos ataques por sulfatos são de caráter significativo, no qual tem-se verificado uma importância ainda maior dada ao assunto, quando percebeu-se que pelo menos 75% das publicações do ano 1920 a 1975 estavam a tratar de problemas nas estruturas de concreto devido a ação de íons de sulfato (SILVA FILHO, 1994).

No mais, torna-se de considerável importância estudos sobre os ataques químicos de íons de sulfato, pois, como afirma Helene (1997), as estruturas à base de cimento devem ser projetadas e executadas de tal forma que possam manter sua segurança, estabilidade e qualidade de serviço por pelo menos 50 anos, sem exigir medidas extremas de manutenção ou reparo das mesmas.

2.2 DURABILIDADE

A avaliação da durabilidade ganhou grande destaque no desenvolvimento de novos materiais, pois o mesmo é diretamente responsável pela prolongação da vida útil dos elementos, o elevado custo das obras civis, assim como dos investimentos direcionados a reparos ou substituições de estruturas em estado de degradação (REZENDE, 2013).

Silva Filho (1994) destaca que a durabilidade nem sempre foi um conceito amplamente aceito, pois durante muito tempo as edificações foram projetadas e construídas levando em

consideração apenas critérios financeiros e desempenho mecânico. Desta forma, o desenvolvimento de uma série de problemas de deterioração nas estruturas foi desencadeado com o passar do tempo, resultando na necessidade de muitos estudos na área de manifestações patológicas e reabilitação dos materiais.

Rezende (2013) afirma que os gastos efetuados em reparos e substituições a curto prazo, em países desenvolvidos industrialmente, representam 40% e que facilmente podem atingir 50% se não houver preocupação com o que está sendo projetado e construído.

Até poucas décadas atrás, entendia-se que a durabilidade dos materiais cimentícios estava diretamente ligado apenas à sua resistência mecânica. No entanto, hoje compreende-se que a durabilidade do material de matriz cimentícia está diretamente relacionada à sua permeabilidade, em outras palavras, à menor ou maior facilidade da água ou de gases externos penetrarem na estrutura, sendo a permeabilidade afetada pelas condições de cura, o tipo de cimento usado e a relação água/cimento (PIMENTEL, 2004).

De acordo com Pontes (2019) o conceito de durabilidade é muito parecido com o de desempenho, pois igual a este, a durabilidade de um elemento, de uma estrutura ou de uma construção civil como um todo é dada pela sua tendência a apresentar um bom desempenho quando se está em utilização, isto é, em estado de serviço.

Segundo Souza (2008), um dos principais critérios exigidos pelos usuários das obras civis são o de durabilidade e vida útil e por isso é tão necessário entender seus conceitos. Durabilidade é a capacidade que um material possui de manter suas propriedades físicas, mecânicas e químicas durante determinado período de tempo. Pode a durabilidade ser avaliada pela sua resistência a agentes externos que reduzem seu desempenho em seu tempo de vida ou em anos de utilização. A vida útil é entendida como o período de tempo que um material consegue manter seu desempenho acima do projetado, desde que sejam feitas manutenções rotineiras.

Pontes (2019) comenta que os critérios mínimos de qualidade que as estruturas de cimento Portland devem atender é ter segurança (capacidade de ser resistente), desempenho em utilização (capacidade de permanecer em ótimo estado de serviço sem demonstrar danificações que comprometam o seu uso) e durabilidade (capacidade de suportar à ação de influências ambientais).

As estruturas à base de cimento Portland devem ser como um todo projetadas e construídas de acordo com as exigências da NBR 6118 (ABNT, 2014), com a finalidade de que seja conservada sua segurança, estabilidade e eficiência em serviço durante o período que correspondente à sua vida útil.

Para obter-se uma estrutura mais durável é necessário que a atenção do projetista e executor do projeto estejam ligadas a quatro fatores principais, tais quais são: traço da matriz cimentícia, compactação ou adensamento adequado, cura efetivada e cobrimento adequado (PONTES, 2019).

Comenta Costa (2001) que os profissionais de engenharia necessitam com urgência considerarem a durabilidade como um fator crucial na eficiência das edificações, dando importância nas fases de elaboração, planejamento e execução, ao uso e especificação correta dos materiais, a proteção do ambiente natural e a integração quanto as condições climáticas sejam elas locais ou regionais.

Sob o ponto de vista ecológico, a preocupação em produzir materiais mais duráveis, além de favorecer a conservação dos recursos naturais, diminui a existência do acúmulo de rejeitos oriundos de demolição de obras civis. A durabilidade de um produto pode ser então além de um mecanismo que favorece a segurança e aumento da vida útil, uma forma de auxílio para atingir cada vez mais um desenvolvimento sustentável (REZENDE, 2013).

2.3 USO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS NA CONFECÇÃO DE MATRIZES CIMENTÍCIAS

A implementação de materiais alternativos na construção civil tem grande relevância na atualidade em resposta a necessidade de práticas ambientalmente mais corretas. Os materiais alternativos são produtos confeccionados de forma não convencional, no qual reutilizam em sua composição resíduos sem destino final de descarte (GOLUB E SILVA, 2017).

Segundo Pacheco et al. (2016) devido a todas as demandas que o mercado de construção civil vem exigindo, seja na redução de custos, na questão da melhora das propriedades de seus produtos cimentícios e as exigências quanto a tornar-se uma atividade mais sustentável, esse setor contém cada vez mais uma produção com a adição de minerais, fibras e aditivos.

Afirmam Golub e Silva (2017) que a utilização de materiais alternativos quando empregados de forma inteligente colaboram consideravelmente com a qualidade dos produtos confeccionados com os mesmos, pois podem auxiliar na melhoria do desempenho, fornecem um processo de execução mais ágil, diminuição nos custos e novos conceitos de designer.

Com base em estudos, entende-se que a forma mais eficaz para a indústria de construção tornar-se uma operação sustentável é a prática da incorporação de resíduos de outros setores ou do próprio setor de construções em materiais de estrutura cimentícia. Isso ocorre, pois os materiais de estruturas cimentícias, tais como o concreto e as argamassas, são fortemente

utilizados para construção, podendo usar desses resíduos tanto para substituições parciais ou totais dos agregados ou dos aglomerantes quando houver atividade pozolânica (CAMPOS, 2015).

As adições minerais são as que mais se destacam, pois são reconhecidas por aumentar o desempenho e durabilidade de estruturas cimentícias. Essas adições, muitas vezes não possuem nenhuma atividade cimentícia, no entanto quando estão na presença de água conseguem promover reações químicas com o hidróxido de cálcio resultando em compostos que possuem propriedades cimentícias e por isso favorecem o aumento do silicato de cálcio hidratado e reduz a quantidade de portlandita na pasta (PACHECO et al., 2016).

2.3.1 Benefícios da utilização do pó de brita

Na indústria de construção, para a confecção de concreto armado é utilizado para cada metro cúbico de brita aproximadamente o dobro de areia natural. Desta forma, em uma análise anual a quantidade de areia que é utilizada ultrapassa rapidamente a casa dos milhões. Quase toda essa areia natural é retirada dos leitos dos rios e devido a sua considerável serventia, a mesma tem-se tornado escassa e por isso é um elemento altamente valorizado na atualidade no que diz respeito aos custos (MENOSSEI et al., 2010).

Em notabilidade, afirma Bezerra et al. (2017) que a indústria de extração de pedra britada é um dos maiores geradores de resíduos, em que uma quantidade considerável de suas reservas acaba gerando problemas ambientais e possíveis perdas diante da acomodação não adequada ou descarte do pó de pedra que é gerado de maneira imprudente no meio ambiente.

Ressalta Menossi et al. (2010) que o pó de brita é um resíduo resultante das indústrias de extração da brita, em que não possui nenhuma destinação, por isso formam grandes pilhas de pó alterando a paisagem dos locais em que são inseridas, assim como gerando poeira e quando atrelados a presença de chuva podem ser carregados para corpos hídricos ou canais de drenagem promovendo obstrução dos mesmos.

Nesse contexto, frente as vantagens econômicas e facilidade de encontrar pó de brita em pedreiras aos arredores dos centros urbanos, a implementação dessa substância em substituição parcial ou total da areia natural vem sendo estudada e realizada. Com a utilização do pó de pedra há uma diminuição nos custos e nos danos ambientais antes causados, tornando também a confecção de materiais com essa composição elementos sustentáveis (MENOSSEI, 2004).

3 METODOLOGIA

3.1 MATERIAIS

As matérias-primas que foram utilizadas nesta pesquisa são: pó de brita oriunda da indústria Coelho Brita de Mossoró/RN, cimento Portland composto com fíler, CP II-F, da marca VOTORAN comercializado em Campina Grande/PB, água da rede de abastecimento público (CAERN) e areia vendida no município de Angicos/RN. Vale ressaltar que o tipo de cimento Portland escolhido para presente pesquisa foi o CP II-F devido não conter materiais pozolânicos em sua composição química.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Definição do traço

Para os corpos de prova de referência foi usado o traço de 1:3 (g:g) e para os corpos de prova confeccionados com pó de brita o traço utilizado foi também de 1:3 com 25% de substituição da areia pelo pó de brita.

3.2.2 Determinação da atividade pozolânica do pó de brita

Para determinar a atividade pozolânica do pó de brita foi realizado o ensaio do índice de atividade pozolânica prescrito na norma (ABNT NBR 5752/2014), no qual foram moldados dois grupos, cada um com 3 corpos de prova. O primeiro grupo denominado de argamassa A, foi confeccionado apenas com cimento e o segundo, denominado de argamassa B, foi confeccionado com cimento e o material supostamente pozolânico (pó de brita).

3.2.3 Consistência da argamassa

A relação água/cimento foi obtida através da determinação da consistência padrão na mesa *Flow table* (Figura 1), foi adotado um espalhamento de 260 mm, de acordo com a norma da (ABNT NBR 13276/2016). O ensaio foi executado no laboratório de Construção Civil do IFRN Campus Mossoró.

Figura 1 – Mesa *Flow Table* Manual.



Fonte: Autoria Própria (2019).

3.2.4 Moldagem dos corpos de prova

Os corpos de prova foram moldados no laboratório de Construção Civil do IFRN Mossoró utilizando moldes cilíndricos (Figura 2) com dimensões (50x100) mm, de acordo com a norma da (ABNT NBR 5738/2015). Após a moldagem dos corpos, estes foram colocados sobre uma superfície horizontal rígida durante 24 horas, ao término foram desmoldados e colocados em câmara úmida para ficarem 28 dias e depois serem retirados, uns para ensaio imediato de resistência a compressão simples e outros para ser analisado o ataque por sulfatos de sódio.

Figura 2 – Moldes cilíndricos de dimensões 50x100 mm.



Fonte: Autoria Própria (2019).

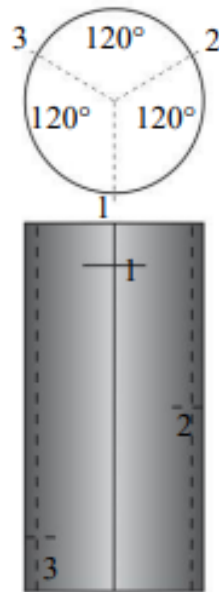
3.2.5 Resistência a compressão simples (RCS)

A determinação da resistência à compressão simples foi realizada na prensa de compressão manual e analógica do laboratório de Engenharia Civil da UFERSA Campus Angicos. Houve rompimento dos corpos de prova para 2 grupos: o primeiro foi rompido ao término dos 28 dias de cura e o segundo grupo, após terminar os 28 dias de cura, ainda foram expostos a ataque por sulfatos durante 42 dias e só após o término dessas seis semanas foram rompidos.

3.2.6 Avaliação da resistência ao ataque por sulfatos

Para a verificação dimensional dos corpos cilíndricos confeccionados, foi usado o método desenvolvido por Rezende (2013) em sua tese de doutorado. O método prescreve que devem ser feitas três marcações de altura (mm) em cada corpo de prova, no qual são igualmente espaçados pela base a cada 120° como demonstra a Figura 3. Essas marcações foram feitas com tinta permanente, para que fossem efetuadas sempre nos mesmos pontos, utilizando-se de três corpos de prova para cada composição. A leitura dessas dimensões foi realizada com auxílio de um paquímetro digital com duas casas decimais.

Figura 3 - Localização das linhas de referência para medições dos corpos de prova.



Fonte: (REZENDE, 2013).

Após 28 dias de cura, os corpos de prova foram devidamente marcados e divididos em dois grupos: seis corpos de prova foram imersos em solução de sulfato de sódio 1:10 (m/m) e outros seis foram imersos em água e cal na mesma proporção de 1:10 a uma temperatura de 23° C com margem de erro de 2°. Os recipientes em que foram colocados os corpos de prova foram devidamente vedados para que a água não evaporasse (Figura 4). As medições foram efetuadas no início do ensaio e a cada sete dias durante seis semanas, ou seja, até 42 dias após a imersão.

Figura 4 – Recipiente com os corpos de prova que foram submetidos ao ataque por sulfatos.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Para o cálculo da expansão individual dos corpos de prova foi usada a seguinte fórmula (Equação 1):

$$E_{ind} = \frac{Midade - Minicial}{Minicial} * 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo as variáveis:

E_{ind} – Expansão individual (%)

Midade – Média das medições (mm) efetuadas na idade correspondente em cada corpo de prova.

Minicial - Média das medições iniciais (mm) em cada corpo de prova;

A diferença entre os resultados obtido dos corpos de prova imersos em solução de sulfato de sódio e a dos corpos de prova imersos em água e cal é o resultado para variável que é conhecida por expansão resultante.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ATIVIDADE POZOLÂNICA

A Tabela 3 apresenta a resistência obtida pelos corpos de prova aos 28 dias de cura, utilizadas na determinação do IAP do pó de brita

Tabela 3 - Resistência à compressão das argamassas A e B;

Idade (dias)	Corpos de prova	Argamassa A (MPa)	Argamassa B (MPa)
28	CP1	19,35	14,26
	CP2	12,22	13,24
	CP3	19,86	10,19
	Resistência Média	17,15	12,56

Fonte: Autoria Própria (2019).

O índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias foi 73,27 %. Segundo a norma (ABNT NBR 12653:2014), o pó de brita não pode ser classificado como material pozolânico, pois teria que ter apresentado IAP superior a 90%.

4.2 FATOR ÁGUA/CIMENTO

Na Tabela 4, encontram-se os valores obtidos para fator água/cimento obtidos a partir da consistência padrão encontrada para os traços estudados.

Tabela 4 - Fator água/cimento para consistência determinada.

Traço	Tentativas	Consistência (mm)	Água (ml)	Fator a/c
1:3	1	250	170	0,84
	2	260		
	3	258		
1:3 com 25% de substituição	1	252	160	0,80
	2	256		
	3	259		

Fonte: Autoria Própria (2019).

Apesar do fator água/cimento ter sido bem elevado, não compromete a trabalhabilidade das argamassas confeccionadas, pois estas foram moldadas para uma consistência padrão, baseando-se no ensaio da mesa *flow table*. Corroborando com as conclusões de Tango (1987), no qual afirma que as matrizes cimentícias secas, quando respeitam os limites no processo de moldagem para que não haja deformabilidade no estado fresco, é um grande benefício ter um fator água/cimento mais elevado, pois pode aumentar o valor da resistência.

4.3 ATAQUE POR SULFATO DE SÓDIO DAS ARGAMASSAS ESTUDADAS

Os corpos de prova imersos na solução de sulfato de sódio, ao final do ensaio, apresentaram pequena deterioração devido à intrusão dos sulfatos em suas faces, conforme pode ser observado na Figura 5a e 5b.

Figura 5 – Desgaste dos corpos de prova exposto ao ataque por sulfatos de sódio. a) Traço de 1:3 e b) Traço de 1:3 com 25% de substituição.



(a)

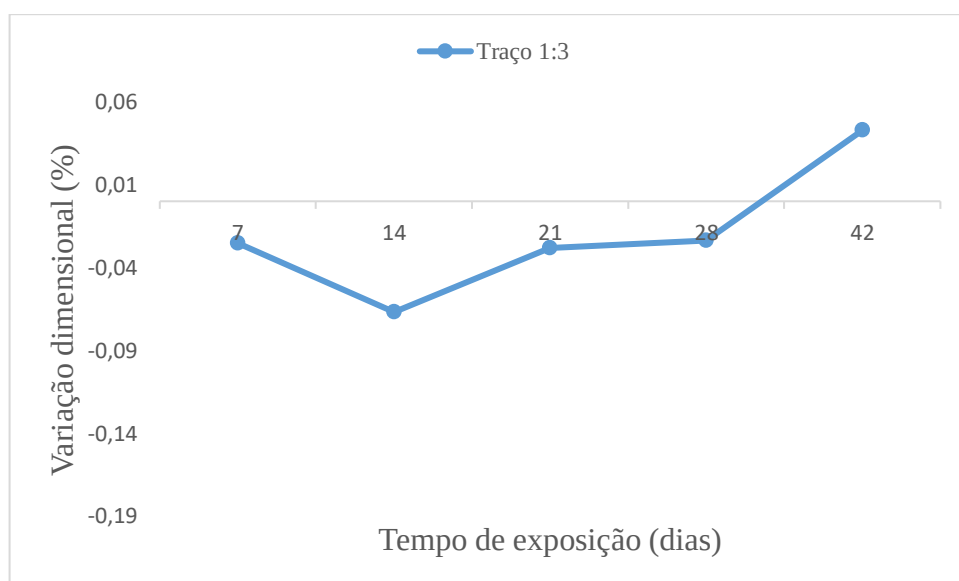


(b)

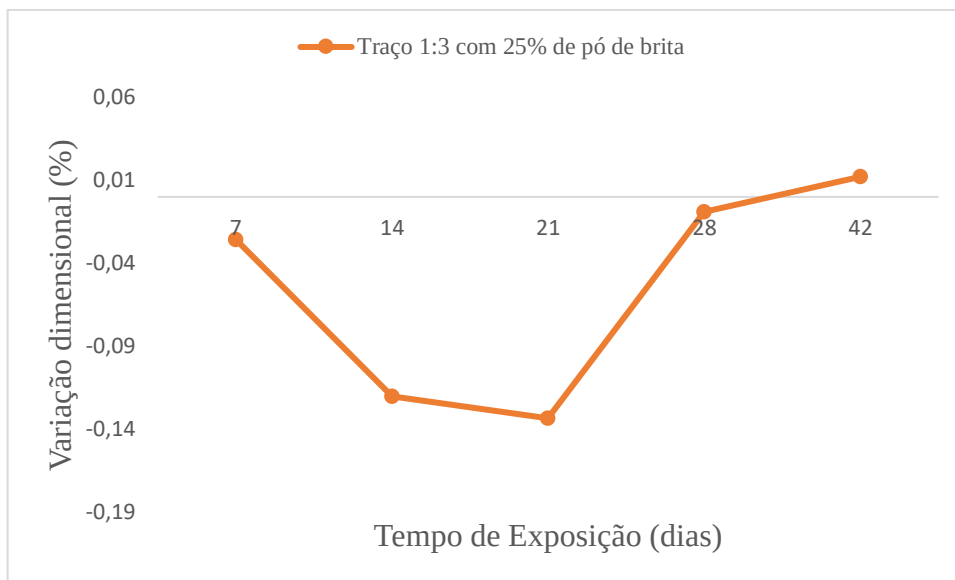
Fonte: Autoria Própria (2020).

Os resultados da variação dimensional causada pela exposição a sulfatos, calculada de acordo com a metodologia proposta por Rezende (2013) desenvolvida a partir de adaptações da NBR 13583 (ABNT, 1996), estão representados graficamente para os traços 1:3, considerados os de referência e para o traço 1:3 com 25% de pó de brita na Figura 6a e 6b, respectivamente.

Figura 6 – Variação dimensional devido a exposição ao ataque por sulfatos. a) Traço 1:3 e b) Traço 1:3 com 25% de pó de brita.



(a)



(b)

Fonte: Autoria Própria (2020).

Percebe-se que após serem imersos em solução de sulfato ocorreu uma retração nos corpos de prova com traço 1:3 até os 14 dias, sofrendo expansão no decorrer das outras medições e aos 42 dias com a sua maior expansão sendo 0,04%. Os corpos de prova com traço de 1:3 com 25% de pó de brita obtiveram retração até os 21 dias de exposição, todavia, após essa data sofreu expansão, tendo aos 42 dias uma expansão de 0,01%.

Esses valores evidenciaram que tanto as argamassas confeccionadas no traço 1:3, como as argamassas confeccionadas no traço de 1:3 com 25% de pó de brita podem ser consideradas resistentes ao ataque por sulfato de sódio, pois de acordo com o método de avaliação aplicado pela norma ASTM C 452 (2002), os valores obtidos de expansão aos 42 dias foram abaixo de 0,06%.

Vale salientar, que apesar da argamassa no traço 1:3 com 25 % de substituição ter sofrido retração nas primeiras idades, aos 42 dias sua expansão foi apenas de 0,01%, fato que evidencia a colaboração do pó de brita na resistência ao ataque químico por íons de sulfatos. Acredita-se que esse fenômeno ocorre, pois o pó de brita densifica o empacotamento do sistema diminuindo a porosidade do material, e consequentemente suportando a pressão sofrida pelos íons de sulfato.

4.4 ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA APÓS ATAQUE QUÍMICO DE ÍONS DE SULFATO DE SÓDIO

Apresenta-se na Tabela 5, os valores obtidos da resistência a compressão simples para os corpos de prova com 28 dias de cura (antes do ataque por íons de sulfato) e para os corpos de prova após os 42 dias submersos em sulfato de sódio.

Tabela 5 – Resistência à compressão simples para os corpos de prova antes e após o ataque por íons de sulfato.

Traço	RCS aos 28 dias (Mpa)	Desvio Padrão	RCS após 42 dias expostos ao ataque (Mpa)	Desvio Padrão
1:3	6,38	$\pm 1,36$	11,32	$\pm 1,33$
1:3 com 25% de substituição	9,60	$\pm 0,52$	13,87	$\pm 0,59$

Fonte: Autoria Própria.

Percebe-se que os corpos de prova após 42 dias expostos em solução de sulfato de sódio possuem uma resistência maior quando comparados aos corpos que foram rompidos antes do ataque, demonstrando que não ocorreu ataque por sulfatos de sódio. Fato esse explicado por Souza (2016), que declara que 42 dias de exposição não são suficientes em muitos casos para avaliar a ocorrência do ataque a sulfatos.

Todavia, é evidente que os corpos de prova confeccionados com 25% de pó de brita quando comparados com os corpos de referência (Traço 1:3) possuem resistência maior, demonstrando que o pó de brita promove um efeito filer na matriz, preenchimento os vazios, diminuindo a penetração de íons no elemento e consequentemente aumentando sua resistência a compressão simples.

5 CONCLUSÃO

Após os estudos realizados na presente pesquisa foi possível concluir:

- O pó de brita utilizado não apresentou atividade pozzolânica, sendo utilizado em substituição parcial ao agregado no teor de 25%.
- A trabalhabilidade das argamassas estudadas foi obtida para uma consistência padrão, logo os altos valores do fator A/C não interferiram nessa propriedade.
- Os corpos de prova confeccionados não sofreram ataques por sulfatos de sódio, pois nenhum atingiu o limite estabelecido pela norma ASTM C 452 (2002) de 0,06% de expansão aos 42 dias.
- As argamassas com teor de 25% de pó de brita obtiveram melhores resistências do que o traço de referência, logo pode-se concluir que a adição do pó de brita promove o efeito fíler.
- Os valores obtidos de Resistência a Compressão simples após as argamassas ficarem expostas ao ataque por sulfatos por 42 dias foram mais elevados do que as argamassas que foram rompidas com 28 dias de cura antes do ataque, demonstrando que o tempo de ataque não foi suficiente para causar fissurações que comprometessem essa propriedade mecânica.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Jairo José de Oliveira. **Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco**. 1997. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 452**: Standard Test Method for Potential Expansion of Portland-Cement Mortars Exposed to Sulfate, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12653**: Materiais pozolânicos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT 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, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5752**: Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto armado. Rio de Janeiro, 2014.
- BEZERRA, Anaiza Anália Silva dos Santos et al. Estudo de viabilidade da utilização do resíduo do pó de pedra como agregado miúdo em concreto. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2017, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: ConGeA, 2017.
- BRANDÃO, Ana Maria da Silva. **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto**. 1998. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia das Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.
- BRITO, Nuno João Pereira de. **Efeito da Incorporação de Resíduo da Indústria Petrolífera na Durabilidade de Argamassas de Reparação de Estruturas de Betão**. 2013. 201 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2013.
- CAMPOS, Heloisa Fuganti. **Concreto de alta resistência utilizando pó de pedra como substituição parcial do cimento Portland: estudo experimental**. 2015. 152 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

CENTURIONE, Sérgio Luiz; KIHARA, Yushiro; BATTAGIN, Arnaldo Forti. Durabilidade de concreto submetido a ataque de íons de sulfato. In: 47º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 2003, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Associação Brasileira de Cerâmica, 2003.

CORSINI, Rodnei. Ambientes Agressivos. **Revista Técnica**, Edição 196, ano 21, 01 de julho de 2013.

COSTA, Eduardo Antônio Lima. **Determinação do potencial de agressão dos sais marinhos sobre as argamassas de revestimento na região metropolitana de Salvador**. 2001. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

CRAUSS, Camila. **Penetração de cloretos em concretos com diferentes tipos de cimento submetidos a tratamento superficial**. 2010. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

GAIER, Claudia Veppo. **Análise do Desempenho de materiais de reparo industrializados para estruturas de concreto frente ao ataque ácido**. 2005. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia na modalidade Profissionalizante) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

GOLUB, Anderson; SILVA, Cristiano Vitorino da. Influência do uso de materiais alternativos em argamassa de revestimento interno: avaliação quanto ao isolamento térmico. **PERSPECTIVA**, Erechim. v. 41, n.154, p. 111-126, junho/2017.

GOMIDES, Maria de Jesus; CARASEK, Helena; CASCUDO, Oswaldo. **Ataque por sulfatos ao concreto compactado com rolo**. 2018. 16 f. Pesquisa (Investigação) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018.

HASPARYK, Nicole Pagan. **Investigação de concretos afetados pela reação álcali-agregado e caracterização avançada do gel exsudado**. 2005. 326 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

HELENE, Paulo R. L. Introdução da Durabilidade no projeto das estruturas de concreto. **Ambient. Constr.** São Paulo, v. 01, n. 02, p. 45-57, jul/dez, 1997.

LEVY, Salomon Mony. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. 2001. 208 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MEDEIROS JUNIOR, R. A. et al. Avanço do ataque do ácido acético ao concreto – influência da idade de exposição. **Revista eletrônica de Materiais e Processos**, v. 11, n. 01, p. 01-09. 2016.

MENOSSEI, Rômulo Tadeu et al. Pó de pedra: uma alternativa ou um complemento ao uso da areia na elaboração de misturas de concreto? **HOLOS Environment**. v. 10 n. 02, p. 209, 2010.

MENOSSE, Rômulo Tadeu. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto**. 2004. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.

PACHECO, Antônia Alana Lima et al. Efeito da adição de pó fino de quartzo na trabalhabilidade, resistência e microestrutura do concreto convencional. In: 60º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 2016, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia/SP: 2016.

PEREIRA, Eduardo et al. Ataque interno por sulfatos em estruturas de concreto contaminadas por pirita: uma revisão da literatura. In: 1º CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES, 2014, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ALCONPAT, 2014.

PIMENTEL, Lia Lorena. **Durabilidade de argamassas modificadas por polímeros e reforçadas com fibras vegetais**. 2004. 139 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

PONTES, Victor Cunha Pereira. **Efeitos dos sulfatos na degradação do concreto**. 2019. 127 f. Trabalho (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.

REZENDE, Maria Luiza de Souza. **Resíduo de caulim primário como material pozolânico em concreto seco: propriedades físico-mecânicas e durabilidade**. 2013. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

SILVA FILHO, Luiz Carlos Pinto da. **Durabilidade do concreto à ação de sulfatos: análise do efeito da permeação de água e da adição de microsilica**. 1994. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

SILVA, Sarah Santo e. **Diagnóstico de Estruturas de Concreto em Ambientes Marinhos: Estudo de Caso de uma Plataforma de Pesca**. 2017. 87 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

SIQUEIRA, M. V. et al. Análise de carbonatação e corrosão por íons cloreto em uma passarela da zona oeste do Recife. In: Conferência Nacional de Patologia e Recuperação de Estrutura, 2017, Recife. **Anais...** Recife: CONPAR, 2017.

SOUZA, Diego Jesus de. **Capacidade de adições minerais em mitigar o ataque por sulfatos de sódio e magnésio em argamassas de cimento Portland**. 2016. 229 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

SOUZA, Jozilene de. **Estudo da durabilidade de argamassas utilizando cinzas e casca de arroz**. 2008. 161 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

SOUZA, Rui Barbosa de. **Suscetibilidade de pastas de cimento ao ataque por sulfatos – método de ensaio acelerado**. 2006. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção civil e Urbana) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

TANGO, C. E. S. **Blocos de concreto: produção, dosagem e controle de qualidade**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, 1987.

UEDA, Ana Cláudia; TOMAZ, Edson. Inventário de emissão de fontes veiculares da Região Metropolitana de Campinas, São Paulo. **Química Nova**. vol.34, n.9, São Paulo, 2011.

VISCALDI, Diego Z.; SILVA, Bruno do V. **Análise do concreto submetido a ataque por sulfato de ferro em áreas degradadas pela mineração do carvão**. 2014. 17 f. Artigo (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Santa Catarina, 2014.