CONCRETO DE PÓS REATIVOS COM HIBRIDIZAÇÃO DE FIBRAS- CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA DURABILIDADE ATRAVÉS DA ANÁLISE DA RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO.

PACHECO, F.; CHRIST, R.; TUTIKIAN, B. F.
Unisinos, ITT Performance, engenheira civil, e-mail: fernandapacheco.fe@gmail.com
Unisinos, Professor Mestre em engenharia civil, e-mail: beto.christ@gmail.com
Unisinos, Professor Doutor em engenharia civil, e-mail: btutikian@terra.com.br

RESUMO

A construção civil, setor de alto desenvolvimento em nosso país, devido às inúmeras construções de infraestrutura e habitação, busca através de pesquisas e análises o desenvolvimento de materiais que proporcionem durabilidade e desempenho. Dessa forma, os materiais comumente utilizados são substituídos por inovações que melhorem estas características. Fruto deste objetivo de aprimorar os materiais utilizados é o concreto de pós reativos (CPR), que consiste em um concreto de alto desempenho com substituição total do agregado graúdo por agregados miúdos com ótima compactação, diminuindo os vazios do material, proporcionando travamento mecânico dos componentes, e através da adição de fibras, conduzindo a resultados de resistência à tração e compressão significantemente superiores em relação ao concreto convencional. Além disso, a durabilidade do material é ampliada pelas suas características de reduzida relação água/cimento e redução dos vazios. O presente estudo consiste na análise da resistência do material diante dos ataques químicos, realizando-se neste ensaios de ataque químico nos ácidos clorídrico, nítrico e sulfúrico. Para isto, será utilizado um traço de CPR, com variáveis percentuais de utilização de dois tipos de fibras: de aço e de polipropileno, objetivando uma mistura híbrida de fibras para que estas atuem de modo complementar. Os resultados alcançados neste estudo apresentaram diferentes respostas em relação ao ataque químico, principalmente na variação de redução por volume. A variação de volume chegou a apresentar diminuições próximas a 70% e acréscimos de próximos de 30% do traço denominado 75/25 em relação ao referência. A maior perda de massa detectada alcançou valores superiores a 70%. Trabalhou-se ainda com a moldagem de concreto convencional para avaliar comparativamente os resultados.

Palavras chave: Compósito cimentício de alto desempenho; Concretos de pós reativos; durabilidade.

ABSTRACT

The civil construction sector which the development is high in our country, due to the construction of many buildings in the areas of infrastructure and housing, searches through researches and analysis the discovery of materials that provide durability and performance. Thus, the commonly used materials are replaced by innovations that improve these characteristics. One result of this goal of improving the materials used is the reactive powder concrete (RPC), which consists of a high-performance concrete, in which there is total replacement of coarse aggregate for fine aggregates with optimum compaction, reducing the material voids, providing mechanical locking of the components, and by the addition of fibers, giving results of tensile and compression strength significantly superior compared to conventional concrete. Furthermore, the durability of the material is increased due to its characteristics of low water/cement ratio and voids. The present study consists of analysis of the chemical strength, performing tests of chemical attack, with hydrochloric, nitric and sulfuric acids. For this experimental analysis will be used one CPR composition with, different percentages of steel and polypropylene microfibers, aiming a hybrid blend of fibers so that they act in a complementary manner. The results that were achieved in this study were satisfactory and showed great variability. The samples, as well as the compositions showed different responses to chemical attack, especially in volume change. The volume change presented decreases close to 70% and increases, close to 30%. The higher mass loss detected reached values higher than 70%. Some samples of conventional concrete was made to compare the results.

Keywords: High performance cementitious composite; Concrete reactive powder; durability

1. INTRODUÇÃO

Considerando-se o uso crescente de concreto, do mesmo modo como o crescimento das cidades, motivado pelo fluxo populacional interior- cidade, é inevitável que se projete um uso ainda maior de concreto em edificações de variados interesses construtivos, valores econômicos, e que envolverão uso industrial, residencial e de infraestrutura.

Visando-se melhorias nas características do concreto convencional, inúmeros materiais têm sido caracterizados e estudados para análise de seu uso como um agregado ou substituição. Busca-se, por exemplo, redução de geração de resíduos, facilidade de produção, elevada capacidade de carga, impermeabilidade, entre outros.

Uma das finalidades do estudo de novos materiais e tecnologias é, atualmente, a capacidade de uso do material em estruturas esbeltas, ao comparar-se com as usuais, e arrojadas, sem que sejam perdidas características de segurança e confiabilidade. Segundo Tutikian *et al.* (2011), o concreto convencional pode não ter comportamento satisfatório nestas aplicações, o que motiva o estudo de composições especiais, como os concretos de alta resistência e os de alto e ultra alto desempenho.

Como exemplo de uma destas composições especiais, encontra-se o objetivo de estudo deste trabalho, o concreto de pós reativos (CPR). Conforme Vanderlei e Giongo (2006), trata-se de material que está sendo analisado para uso em estruturas, com o diferencial de conter na sua composição partículas cuja dimensão máxima é inferior a 2mm.

Richard e Cheyrezy (1995) afirmam que a retirada dos agregados graúdos da mistura, a melhoria de densidade, através de mistura granular otimizada com aplicação de pressão no estado fresco, aliadas à cura térmica acarretam na produção de uma matriz com elevadíssimos resultados de resistência mecânica à compressão, mas com ductilidade comparável a uma argamassa convencional, sendo necessária a inclusão de fibras visando maiores resistência às tensões e durabilidade. Segundo Banthia e Gupta (2004) deve-se a incorporação de fibras no material sua característica de ductilidade, visto que este material faz com que as fissuras não sejam prolongadas.

A incorporação de mais de um tipo de fibra no composto, e com variadas dimensões, proporciona uma melhor eficácia quanto à prevenção da formação e propagação das fissuras geradas na zona tracionada. As fibras com menores dimensões fazem com que as micro fissuras não sejam iniciadas, enquanto as fibras com dimensões maiores inibem a propagação das fissuras (CHEN; LIU, 2005). Deste modo compreende-se uma das vantagens da hibridização: cada material apresentará uma faixa de trabalho (iniciação ou propagação das fissuras), atuando de modo complementar e satisfatório.

O benefício da introdução de mais de um tipo de fibra não está apenas ligado a resistência à flexão, pois a durabilidade da estrutura também é beneficiada, uma vez que a minimização da formação de fissuras, tanto micro como as macro, ajuda a minimizar o processo de deterioração da estrutura (OSTERTAG; BLUNT, 2007).

Sobre os aspectos positivos do uso do CPR, acrescenta-se ainda às características de elevadas resistências mecânicas à compressão e tração, as vantagens de impermeabilidade, maior

densidade em relação ao concreto convencional e a eliminação do vazio através do uso de partículas muito reduzidas.

Entretanto, mesmo existindo inúmeras possibilidades de aplicação desse material por suas características satisfatórias, a falta de conhecimento de seu dimensionamento combinada a ausência de norma brasileira ou internacional sobre o assunto faz com que seu estudo seja pouco difundido, e que exista um grande potencial de descobertas e análises viabilizando seu uso, uma vez que suas características e comportamento são até então pouco exploradas.

Até os dias atuais, as obras em que houve uso de CPR são geralmente de infraestrutura. O uso do material nestas obras é atrativo devido sua durabilidade, sua elevada capacidade portante, viabilidade de ser utilizado diante de grandes vãos, e ainda por permitir o projeto com peças reduzidas.

Em relação à resistência do material aos agentes externos de deterioração, espera-se que por possuir características de reduzida relação água/cimento, baixa porosidade e alta densidade, o material apresente resultados satisfatórios em relação a sua durabilidade e vida útil. Desta forma, o objetivo deste estudo será a comprovação da expectativa de durabilidade deste material, através da análise dos resultados obtidos nos ensaios de ataque químico pelos ácidos clorídrico, nítrico e sulfúrico, comparando-se quais os danos superficiais que podem ocorrer com aqueles passíveis de existência no concreto referência, contendo os constituintes do concreto convencional.

Assim sendo, pretende-se colaborar com o estudo do CPR através do prognóstico de quais problemas podem ser encontrados no material ou em algum dos seus componentes em específico, avaliando a diferença existente nos diferentes ácidos, e buscando-se relação entre as falhas e os percentuais empregados de fibras.

2. CONCRETO DE PÓS REATIVOS

O CPR consiste em classe de concreto com composição contendo elevado percentual de sílica ativa (25% total do material) e redução da água/cimento (cerca de 0,20). Além disso, existem princípios básicos para obtenção do material, conforme cita Vanderlei (2004):

*eliminar os agregados graúdos para obter maior homogeneidade na mistura;

*realizar cura térmica para melhorar a microestrutura do concreto;

*utilizar fibras de aço como via de ampliar a ductilidade do material;

*aprimorar a característica de densidade do material pela distribuição granulométrica e empacotamento das partículas;

*utilizar menor tempo possível para mistura e moldagem das amostras;

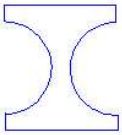
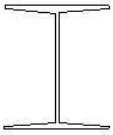
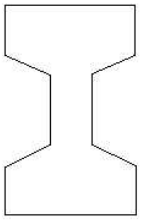
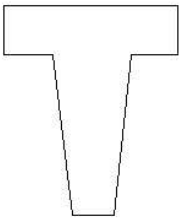
Há no concreto convencional um esqueleto rígido formado pelos elementos granulares, ou seja, os agregados graúdos e miúdos, sendo normalmente utilizados brita e areia, respectivamente, que são em proporção volumétrica a majoritária parte de sua confecção. Este esqueleto bloqueia a pasta de cimento quando do espalhamento do material, não permitindo

seu alcance em todos os pontos, e ocasionando, consequentemente, uma maior porosidade. (RICHARD e CHEYREZY, 1995)

Segundo os autores, a diferença entre o concreto convencional e o CPR neste aspecto é que com maior volume de pasta e sem os agregados graúdos, ao invés de ser composto um esqueleto, o CPR forma uma matriz continua sem vãos, ou zonas de transição entre pasta e agregados.

A figura 01, de Blais e Couture (1999), apresenta um quadro comparativo da dimensão das seções e massa da estrutura com uma mesma capacidade portante de carga.

Figura 1:Comparativo de CPR com outras seções transversais esquemáticas

Seção Transversal Esquemática (ocultas armaduras ou cabos de tensão)				
Tipo de Viga	CPR (Formato X)	Estrutura Metálica	Concreto Protendido	Concreto Armado
Profundidade da seção	360mm	360mm	700mm	700mm
Peso	130kg/m	110kg/m	470kg/m	530kg/m

Fonte: Blais e Couture (1999). Traduzida e adaptada pelos autores

De acordo com a figura 01, a estrutura de CPR pode ser comparada com estrutura metálica pelo reduzido peso próprio das peças, e quando equiparado com o concreto convencional. Percebe-se que, mesmo com o maior consumo de cimento por metro cúbico, a quantidade de material utilizado na peça pode ser reduzida pela diminuição da seção.

3. ATAQUE QUÍMICO

Cotera (1991) apresenta a tabela 01, estudada pela comissão do RILEM responsável pelo estudo da resistência do material ao ataque químico. Esta tabela aponta as substâncias prejudiciais ao concreto, através das quais se podem reproduzir testes de resistência a estes ataques. Optou-se neste trabalho pela utilização de ataque por ácidos minerais, de acordo com a tabela citada, sendo estes: ácidos sulfúrico (H_2SO_4), nítrico (HNO_3) e clorídrico (HCl).

Tabela 1:ácidos para a realização de ataque químico no concreto

Ácidos Minerais	Ácidos Orgânicos
Ácido Brômico	Ácido Acético
Ácido Carbônico	Ácido Fórmico
Ácido Clorídrico	Ácido lático fenol
Ácido Fluorídrico	Ácido Tânico
Ácido Sulfurado	Ácido Butírico
Ácido Nítrico	Ácido Úrico
Ácido Fosfórico	Micro organismos
Ácido Sulfúrico	
Ácido Sulfuroso	

Fonte: Cotera (1991)

O ácido sulfúrico trata-se de material altamente corrosivo, de consumo comum nas indústrias petroquímicas, papeleiras e de baterias de automóveis. O ácido nítrico, por sua vez, é utilizado para o setor de explosivos, sendo um dos ácidos mais fabricados e consumidos pela indústria. O ácido clorídrico é de comum conhecimento para utilização em limpezas no setor de construção sendo agente limpante de alta potencialidade, tendo uso bastante difundido em indústria e laboratórios. (ALVES 2013) Desta forma, considerando o vasto uso destes produtos foi conduzida a escolha por estes ácidos.

Para realização dos ensaios foram moldados 12 corpos-de-prova de cada concreto, sendo que para cada ácido serão utilizadas 3 amostras, restando 3 amostras que não serão submetidas a ataques químicos para servir como referência para resistência mecânica à tração e compressão das amostras.

As normas seguidas para a realização deste ensaio foram as vigentes para a avaliação, *ASTM-1012: Método de teste padronizado para a mudança nas medidas de argamassas de cimentos expostos a soluções de sulfatos* e *ASTM C452: Método de teste padronizado para a expansão potencial de argamassas de cimentos*, sendo estas as normas vigentes para análise do comportamento destes materiais em ambientes ricos em sulfato.

Porém, de acordo com Monteiro *et al* (2000) essas normas têm sido objeto de diversas críticas. Os autores citam pesquisadores que já apontaram diversos motivos pelos quais os testes são considerados inadequados, como, por exemplo, as considerações feitas pro Mehta (1975), que o teste não apresenta diferenciação para o tipo de ácido utilizado de acordo com os mais comuns de encontrar na região na qual o material é oriundo.

Os autores citados afirmam ainda, que o teste por eles conduzido, seguiu a proposta de Mehta e Gjorv (1974) onde é realizada a verificação dos valores de resistências mecânicas à flexão e a compressão apresentadas pelo material anterior e posteriormente a realização do ataque químico, complementando a análise das variações dimensionais e apresentando uma estimativa dos danos estruturais das amostras.

Neste trabalho experimental, optou-se pela realização da medição dos valores de comprimento e largura dos corpos de prova (para verificação das alterações) , assim como seu peso (para análise da perda de massa), complementando-se o abordado pelas normativas com os ensaios mecânicos, analisando ainda, quão prejudicial às propriedades mecânicas do material foi o ataque químico.

As amostras utilizadas foram prismáticas de dimensões 4x4x16cm, como o realizado por Camps *et al*.(2003), e os ciclos de ataque ocorreram de modo semelhante ao realizado pelos autores, com a diferenciação de que se optou por ciclos de 14 dias, sendo o dos autores de 11 dias.

As amostras foram curadas por uma semana, visto que o ganho de resistência do CPR se dá de forma intensificada nos primeiros dias. Aos sete dias realizaram-se as medições de comprimento, largura e peso dos materiais e iniciou-se o ataque químico. Os corpos de prova foram mantidos imersos nas soluções contendo pelo menos 3x o volume das amostras e com uma concentração de 5% dos ácidos, conforme aponta a figura 2. Após sete dias, estes foram lavados, levemente escovados para remoção de possíveis materiais da corrosão aderidos a superfície, foram mantidos por sete dias em ambiente de laboratório e então foram realizadas as mesmas medições efetuadas anteriormente e procedeu-se novamente com a imersão das amostras dando início a novo ciclo. Contou-se neste programa experimental com a realização de cinco ciclos de imersão e secagem, em um período de 7 semanas.

Figura 2: Corpos de prova imersos nos ácidos



Fonte: autores

Os resultados obtidos foram para as amostras com diferentes percentuais de fibras metálicas e de polipropileno submetidas ao ataque químico dos ácidos: clorídrico, nítrico e sulfúrico, as variações de volume, massa e resistência mecânica à flexão e compressão. A verificação da resistência ocorreu de acordo com as normas NBR 5739: 2007- Concreto: Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos e NBR 12142: 2010: Concreto- Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos, apenas ao findar-se o ataque, sendo que as outras medidas ocorreram em cada um dos ciclos.

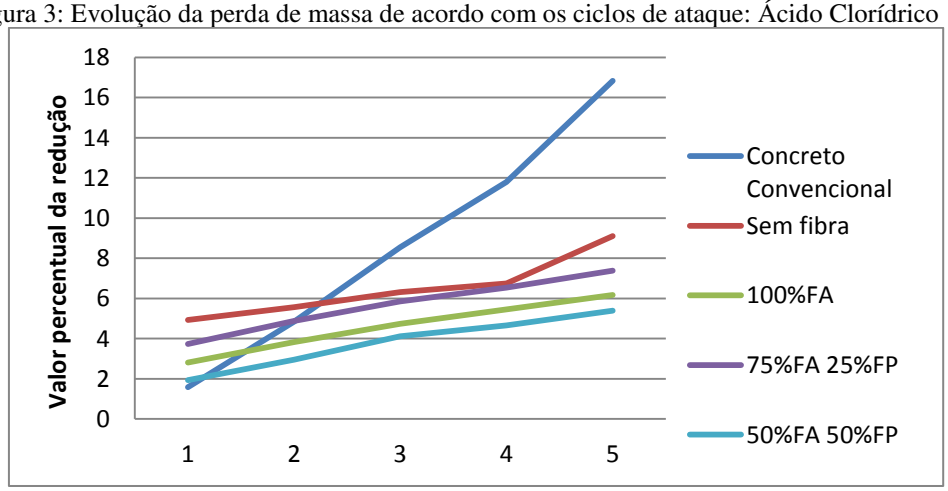
4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados serão agrupados pelo ácido de imersão.

4.1 Ácido Clorídrico

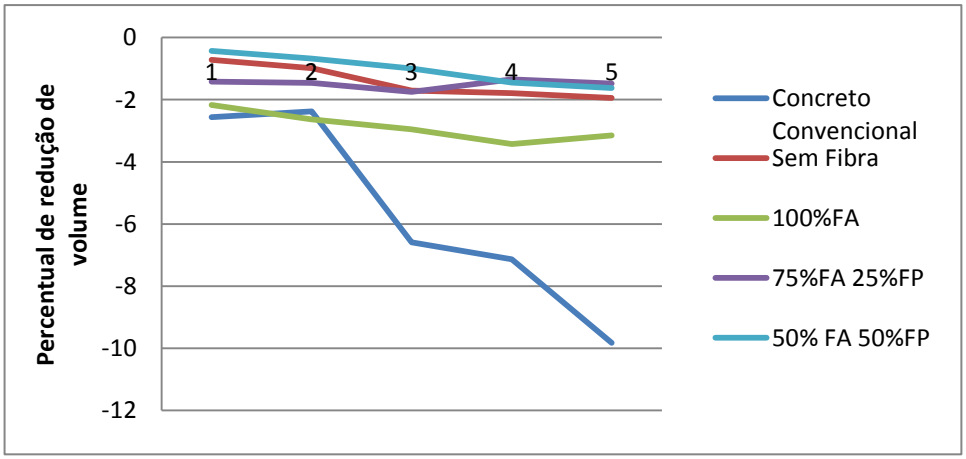
As figuras 3 e 4 apontam os resultados obtidos de perda de massa e variação de volume dos ácidos. Considera-se na legenda destas figuras que FA indica o percentual de uso de fibras de aço e FP o percentual do uso de fibras de polipropileno.

Figura 3: Evolução da perda de massa de acordo com os ciclos de ataque: Ácido Clorídrico



Fonte: autores

Figura 4: Variação do volume de acordo com ciclos de ataque: Ácido Clorídrico



Fonte: autores

Ao analisar-se a figura 03 é possível a percepção de que todos os corpos de prova apresentaram redução de massa diante do ataque do ácido clorídrico. Da mesma maneira verificou-se redução no volume de todas as amostras, ainda que reduzidas e imperceptíveis visualmente, conforme mostra a figura 5. Percebeu-se ao comparar as amostras entre si que as de CPR apresentaram melhor desempenho em frente ao ataque químico em relação as amostras de concreto referência, devido as suas características de reduzidos vazios e absorção do material.

Dentre as amostras, as que apresentaram menores valores de redução de volume foram as com 75% de microfibras de aço e 25% de microfibras de polipropileno, e as amostras com a utilização de 50% de cada tipo de fibra foram as que apresentaram a menor redução de massa, apontando para resultado satisfatório do uso em conjunto dos dois tipos de fibras. Não foi identificada nenhuma relação entre o percentual de fibras metálicas e as resistências dos materiais aos ataques. Verificou-se que para este ensaio os valores encontrados para amostras de mesmo traço e percentual de utilização de fibras foram semelhantes para redução de massa, com desvio máximo calculado de 1,6. A variação de volume, no entanto, apresentou valores distintos para os concretos convencionais, com desvio padrão de 9,82.

Figura 5: Aspecto visual dos corpos de prova após a realização do ataque químico.

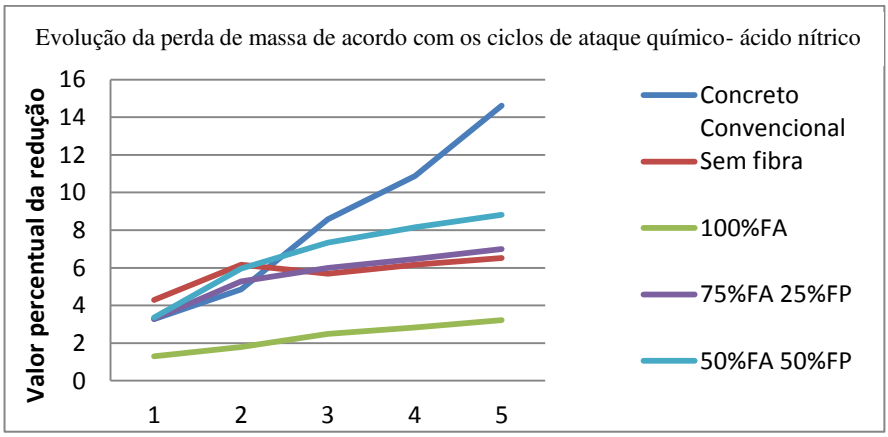


Fonte: autores

4.2 Ácido Nítrico

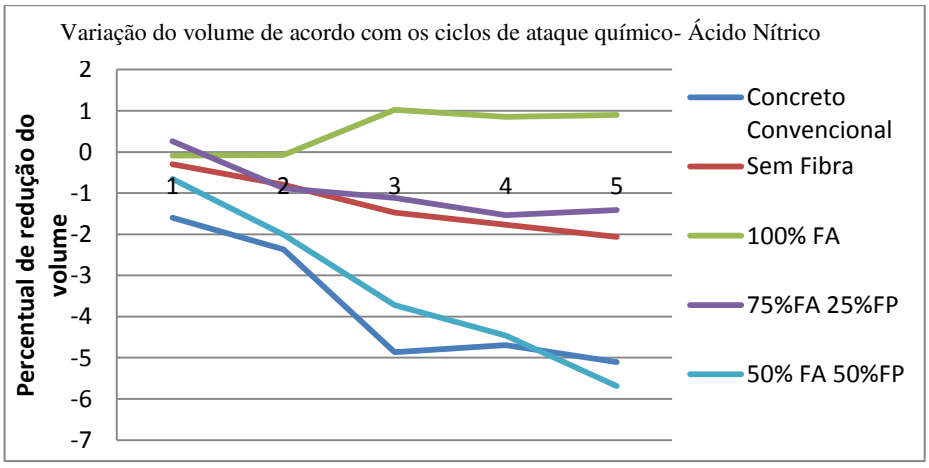
As figuras 06, 07 e 08 são alusivas aos ensaios realizados em ácido nítrico.

Figura 6: Evolução da perda de massa de acordo com os ciclos de ataque químico- Ácido Nítrico



Fonte: autores

Figura 7: Variação do volume de acordo com ciclos de ataque: Ácido Nítrico



Fonte: autores

Figura 8: Aspecto visual dos corpos de prova após a realização do ataque químico.



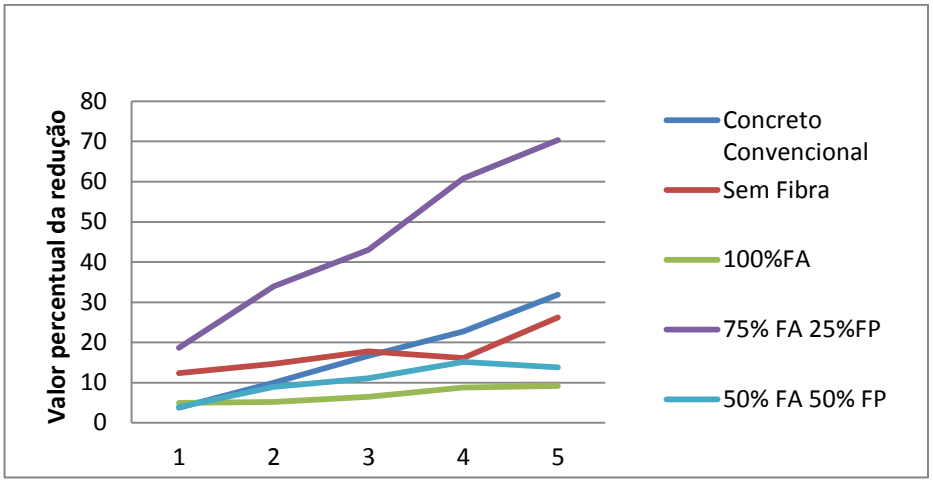
Fonte: autores

As amostras que apresentaram maior resistência em relação à perda de massa, de acordo com a figura 6 foram as amostras com a utilização de 100% de microfibras de aço. Novamente os valores obtidos de redução de massa foram semelhantes, de desvio padrão máximo de 3,00. Na redução de volume, as amostras com menores danos foram as que continham 50% de fibras de aço e 50% de fibras de polipropileno, de acordo com a figura 7. O desvio máximo obtido foi de 4,88 devido uma amostra do grupo que apresentou expansão no volume. Na figura 08 são apresentadas as amostras após a realização do ataque químico, onde é visível a superioridade do CPR em relação ao concreto referência aos ataques.

4.3 Ácido Sulfúrico

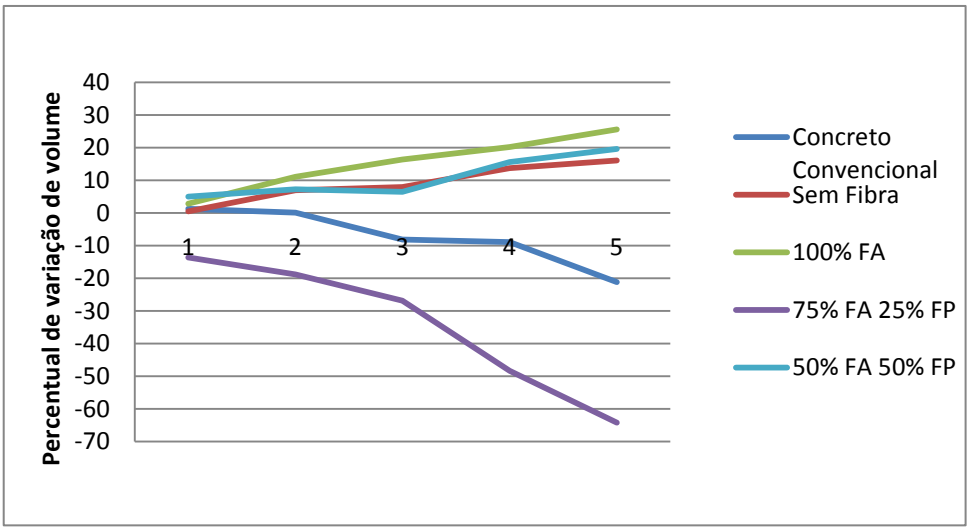
Nestes corpos de prova ocorreu algo diferente do que nos demais ácidos: os corpos de prova com utilização de 75% de microfibras de aço e 25% de microfibras de polipropileno apresentaram redução de massa e de volume superiores aos concretos convencionais, como pode ser visto de modo gráfico nas figuras 09 e 10 e através do aspecto visual das amostras na figura 11.

Figura 9: Evolução da perda de massa de acordo com os ciclos de ataque químico- Ácido Sulfúrico



Fonte: autores

Figura 10: Variação do volume de acordo com ciclos de ataque: Ácido Sulfúrico



Fonte: autores

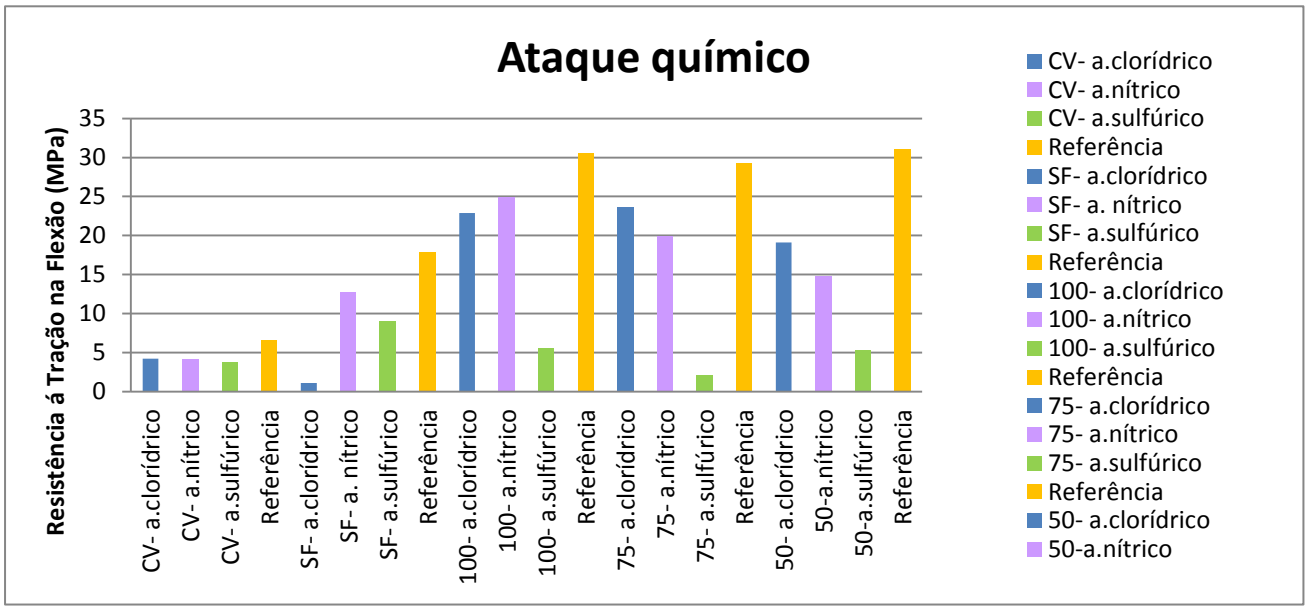
Figura 11: Aspecto visual das amostras após finalizados os ciclos



Fonte: autores

Após a realização dos ciclos, conforme dito, foram realizados os ensaios de resistência mecânica à tração e a compressão, de acordo com as normas nacionais vigentes, obtendo como resultado o gráfico exposto na figura 12. Nesta figura, serão utilizadas na legenda as seguintes abreviações: CV- concreto convencional; SF – concreto sem o uso de fibras; 100- concreto com a utilização de 100% de fibras metálicas; 75- concreto com a utilização de 75% de fibras metálicas e 25% de fibras de polipropileno, e 50- concreto com a utilização de 50% de fibras metálicas e 50% de fibras de polipropileno.

Figura 12: Resistência à tração na flexão após ciclos de ataque químico



Fonte: autores

A figura 12 apresenta de modo gráfico os valores de resistência à tração na flexão obtidos após os ciclos de ataque químico, agrupados de acordo com seu traço. De acordo com esta são possíveis as seguintes conclusões:

*O concreto convencional apresentou valores muito semelhantes para as amostras dos três ácidos, sendo que em comparação com o concreto convencional de referência estes valores foram em média 40% menores;

* As amostras do concreto sem fibras foram danificadas de modo mais intenso pelo ácido clorídrico, sendo que ao comparar-se com a amostra que não foi exposta ao ataque químico o valor médio é 57% menor;

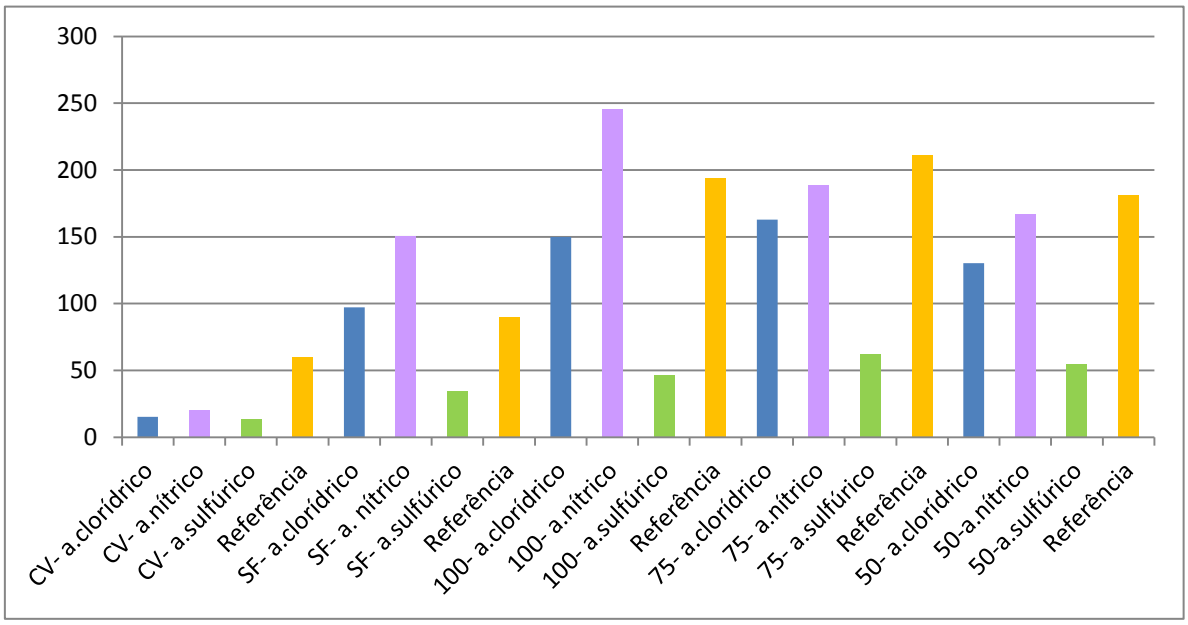
* As amostras contendo 100% de fibras de aço foram danificadas de modo mais intenso pelo ácido sulfúrico. Estas amostras sofreram expansão de volume e escamação da superfície, criando vazios e diminuindo sua resistência. Neste traço, observa-se ainda que os danos

causados pelos ácidos clorídrico e nítrico não impactaram de maneira significativa os valores de resistência das amostras.

* Do mesmo modo como que nas amostras anteriores, as amostras de 75% de fibras de aço e 25% de fibras de polipropileno e o traço de 50% de cada um dos tipos de fibras, foram danificadas de modo mais intenso pelo ácido sulfúrico e danificadas de modo mais ameno pelo ácido clorídrico;

A figura 13 apresenta os valores obtidos pelas amostras no ensaio de resistência a compressão, e segue a mesma legenda apresentada anteriormente na figura 12.

Figura 13: Resultados de resistência mecânica a compressão das amostras



Fonte: autores

Na figura 13 é possível perceber que as amostras sofreram maiores danos diante da exposição a ácido sulfúrico, sendo que as amostras de ácido nítrico sem fibras e com 100% de fibras metálicas chegaram a apresentar acréscimos no valor de resistência ao comparar-se com as amostras referência. Assim como para os valores de resistência à tração na flexão o dano causado no concreto convencional foi muito semelhante para os três ácidos.

5. CONCLUSÕES

Após o desenvolvimento do programa experimental, foi possível chegar-se as seguintes conclusões:

- De modo geral, a análise dos danos causados pelas imersões em ácidos aponta o traço com utilização de 100% de fibras de aço como o mais vantajoso, sendo que não é identificada relação direta entre este percentual e os danos.

- O desempenho do CPR no ataque químico foi superior ao concreto convencional, conforme o esperado, devido ao reduzido teor de vazios e a compactação ótima do material. No entanto, em determinadas análises, como por exemplo, na imersão em ácido sulfúrico o concreto convencional obteve resultado superior a uma das composições de CPR. Atribui-se este fato ao concreto convencional não possuir nenhum reforço ou agregados metálicos, o que agrega potencial corrosivo na mistura. Todavia, não foi possível estabelecer-se relação linear entre o percentual de microfibras metálicas e os danos gerados nas amostras de concreto;

- Observou-se que para a maioria das amostras apresentou maiores danos quando da imersão em ácido sulfúrico, em relação aos demais ácidos, e acredita-se que este comportamento é influenciado pela composição química do ácido, sendo necessário estudo aprofundado para análise destas características;

- Observa-se que ainda que diante de ataque por imersão em ácidos as amostras de CPR continuam apresentando valores elevados de resistência mecânica à compressão, sendo em sua grande maioria superiores a 50MPa (tendo o concreto referência atingido valores até mesmo superiores a 200MPa);

- Os ensaios de resistência à tração e à compressão realizados nas amostras apresentam, por vezes, os mesmos resultados obtidos na análise de perda de massa e variação de volume e destoando em outras. Desta maneira, indica-se, conforme citado anteriormente por Monteiro *et al.* (2000), que estes ensaios sejam realizados de modo complementar, para avaliar-se os danos mecânicos causados pelo ataque, não podendo ser adotados para todas as amostras o mesmo resultado obtido na análise dimensional das peças.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 12142: **Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos.** Rio de Janeiro, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **Standard test method for length change of hydraulic-cement mortars exposed to a sulfate solution**. ASTM C1012-13. West Conshohocken, PA, United States. 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **Standard Test Method for Potential Expansion of Portland-Cement Mortars Exposed to Sulfate.** ASTM C452-10. West Conshohocken, PA, United States. 2010.

BANTHIA, N.; GUPTA, R. **Hybrid fiber reinforced concrete (HyFRC): fiber synergy in high strength matrices.** Materials and Structures, dez. 2004. v. 37, n. 10, p. 707–716. . Acesso em: 30 maio. 2013.

BLAIS, P.Y, COUTURE, M. (1999). **Precast, prestressed pedestrian bridge- World´s first Reactive Powder Concrete Structure.** PCI Journal.

CHEN, B.; LIU, J. **Contribution of hybrid fibers on the properties of the high-strength lightweight concrete having good workability.** Cement and Concrete Research, maio. 2005. v. 35, n. 5, p. 913–917. . Acesso em: 30 maio. 2013.

COTERA, M.G (1991) **Exposición en el ciclo organizado por el ACI, Capítulo Peruano sobre Corrosión en Estructuras de Concreto.**

DHIR, R. GREEN, J. **Protection of Concrete: Proceedings of the International Conference**, University of Dundee, September 1990. CAMPS, J.P. LAPLANCHE, A. RIM, K, A. **Corrosion of concrete by sequestrating agents of detergents**.

MEHTA, P.K e GJORV, O.E (1974). **A new test for sulfate resistence of cements.** Journal of testing and evaluation, 2, no 6,510-15.

MEHTA, P.K. **Advances in concrete technology. Point of view: Reflections about technology choices.** Concrete International, Farmington Hills, Michigan. Estados Unidos, 1999.

MONTEIRO, P.J.M, ROESLER, J. KURTID, K.E, HARVEY, J. (2000) **Accelerated Test for Measuring Sulfate Resistance of Hydraulic Cements for Caltrans LLPRS Program- California department of transportation.** Pavement research center- Institute of Transportation Studies- University of California, Berkeley.

OSTERTAG, C. .; BLUNT, J. **Hybrid fiber reinforced concrete for use in bridge approach slabs motivation for using hyfrc in bridge approach slabs.** 2007. p. 415–422.

RICHARD, P. CHEYREZY, M. (1995) **Compostion of Reactive Powder Concrete.** Scientific division BOUYGYES, St Quentin- Yvelines, França.

TUTIKIAN, B,F. ISAIA, G.C., HELENE, P. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** G.C.Isaia. 1.ed. São Paulo, IBRACON, 2011. 2v. Capítulo 36: Concreto de alto e ultra-alto desempenho.

VANDERLEI, R. D. **Análise experimental do concreto de pós reativos: dosagem e propriedades mecânicas**. Tese (Doutorado). São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos –Universidade de São Paulo, 2004.

VANDERLEI, R.D. GIONGO, J.S. **Análise Experimental do Concreto de pós reativos: dosagem e propriedades mecânicas.** Cadernos de Engenharia de estruturas, São Carlos, v.8, n.33, p.115-148, 2006.