

Concreto impregnado com polímero (CIP): uso e aplicação do EPS reciclado para redução da permeabilidade de superfícies de concreto

Amianti, M.^I; Botaro V.R.^{II}

^I Escola de Design - UEMG - Av. Antônio Carlos, 7545, 31270-010 – São Luís, Belo Horizonte - MG.
e-mail: marceloamianti@uai.com.br

^{II} Edifício Gestão Acadêmica - UFSCar - Rodovia João Leme dos Santos, km 110, 18052-780, C.P. 3031 - Itinga, Sorocaba/SP.
e-mail: vagner@ufscar.br

RESUMO

A redução da porosidade, e conseqüente redução da permeabilidade, pode ser uma solução para aumentar a durabilidade do concreto e preservar suas características superficiais. Dentro desse contexto, esta pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de identificar um novo material a ser aplicado no sistema CIP (Concreto Impregnado com Polímero) de forma econômica, eficiente e com simplicidade, a fim de reduzir a permeabilidade das superfícies de concreto pré-fabricado. Adicionalmente: a) empregar um tratamento que não modifique o aspecto visual do concreto, abrindo perspectivas para o emprego em monumentos e obras expostas à ação das intempéries; b) desenvolver uma nova tecnologia utilizando polímeros reciclados, a fim de contribuir com a sociedade e a natureza de uma forma geral. O poliestireno (PS) reciclado a partir do EPS (poliestireno expandido) foi escolhido por apresentar características importantes como baixas absorções de água, resistência ao envelhecimento e por ser inócuo, ou seja, não constitui substrato para a proliferação de microorganismos. Foram realizados ensaios de absorção de água, verificação de profundidade de tratamento pela análise de ultravioleta e microscopia eletrônica de varredura. O presente trabalho mostra a oportunidade e a importância da modificação superficial de concretos com materiais recicláveis e que, normalmente, são descartados no meio ambiente. O concreto impregnado com EPS reciclado, a partir de agora denominado CIP-EPS-r, apresentou resultados promissores mostrando uma redução significativa da permeabilidade à água, redução da porosidade e pode acarretar uma diminuição da proliferação de fungos na superfície do concreto tratado.

Palavras-chaves: concreto modificado, EPS, tratamento superficial.

Polymer impregnated concrete (PIC): use and application of the recycled EPS for waterproofing of concret surfaces

ABSTRACT

A reduction in porosity, with a consequent reduction in permeability, could be an option for increasing the durability of the concrete and preserving its surface characteristics. This research was developed in order to identify a new material to be economically, efficiently and easily applied, as part of the PIC (Polymer Impregnated Concrete) system, so as to reduce the permeability of pre-cast concrete surfaces, thereby, reducing the rate of degradation and increasing overall durability. Addition aims are: a) using materials which do not affect the visual aspect of the concrete, so that the system can be used on monuments and other elements that are exposed to inclement weather; b) developing a new technology that makes use of recycled polymers, thereby contributing both socially and environmentally. Polystyrene is widely used in industry, principally in the packaging sector. This material presents a number of significant features, including: a low water absorption coefficient; a slow aging process; pathogenic innocuousness (i.e. it does not possess substrata for the proliferation of animals and/or microorganisms; among others. On the other hand, in most cases, final disposal of the material is extremely detrimental to the environment: recycling is limited, and there is a real need for alternative applications of waste EPS. The treated test cylinders were subjected to the following tests: water absorption; verification of the treatment depth by ultraviolet and electronic microscope sweeps (MEV); The results were promising and showed a significant reduction in water permeability, reduction in porosity and, consequently, a future reduction in the proliferation of fungus on the surface of the concrete treated with EPS should be demonstrated.

Keywords: modified concrete, EPS, superficial treatment.

1 INTRODUÇÃO

Para que o processo de degradação do concreto possa se iniciar ou se desenvolver, tem que existir uma interação entre o meio e o concreto. Essa interação depende da permeabilidade, tipo e forma geométrica da construção de concreto, além é claro, do tipo e agressividade do meio. Portanto, deve ser bem conhecido o meio que circunda a edificação (distante em metros), bem como o micro-clima (distante em mm ou cm). Em alguns casos, efeitos locais, isto é, micro-climas, podem ser decisivos para a durabilidade de um elemento estrutural [1]. A maior parte do conhecimento sobre os processos físico-químicos responsáveis pela deterioração do concreto vem de estudos de casos de estruturas no campo, porque é difícil simular em laboratório a combinação das condições de longa duração, normalmente presentes na vida real.

Segundo Ohama [2], nos recentes anos, as inovações tecnológicas na indústria da construção civil têm progredido consideravelmente, e a pesquisa e desenvolvimento de materiais multifuncionais e de alto desempenho é atual. Em particular, essa tendência é marcada pelas novas fronteiras da construção civil, onde aplicações de estruturas de concreto em situações críticas se tornam necessárias, como construções oceânicas e projeto de plataformas lunares, pesquisado por países desenvolvidos. Atualmente o desenvolvimento desses materiais deve ser ecológico, atendendo não somente às exigências de preservação do meio ambiente, como serem economicamente viáveis. Em nossos estudos, o agente de modificação polimérico é o poliestireno (PS) que foi isolado a partir do EPS (poliestireno expandido). As aplicações do EPS na construção civil são extraordinariamente variadas, salientando que o mesmo, além de ser um excelente material de isolamento térmico, pode também ser um sistema construtivo. São os mais diversos os exemplos do emprego de EPS: sistemas isolantes de coberturas, paredes e pavimentos, tal como em todo o tipo de obras, desde os grandes viadutos, estradas, grandes edifícios até às pequenas moradias. Alguns aspectos foram fundamentais para a escolha do EPS, entre elas a baixa absorção de água, resistência ao envelhecimento e por ser inócuo, ou seja, não constitui substrato para a proliferação de microorganismos. Além disso, os aspectos ecológicos são importantes, visto que o EPS é normalmente descartado na natureza.

O interesse mundial nos compósitos concreto-polímero foi intensificado desde 1990, quando vários congressos e simpósios sobre o assunto foram realizados. Dentro desse contexto, compósitos de concreto-polímero são materiais que são feitos usando substituições de parte ou do total do cimento hidratado, do concreto convencional [2].

Segundo Fowler [3], o Concreto Impregnado com Polímero (CIP) foi o primeiro compósito concreto-polímero a receber intensa divulgação publicitária. Apesar das excelentes propriedades, como resistência mecânica e durabilidade proporcionada ao concreto, têm poucas aplicações comerciais. Destacam-se outras propriedades, como resistência ao congelamento e descongelamento e a ataques químicos ácidos.

Com o objetivo de comprovar a eficiência dos compósitos concreto-polímero, no que diz respeito à resistência [4, 5] e aumento da durabilidade do concreto, várias técnicas são utilizadas [6, 7, 8]. Almusallam e colaboradores [9], utilizaram a análise de absorção de água e análise de permeabilidade e difusão de cloreto, em concretos revestidos com polímero. Os resultados mostraram-se eficazes em reduzir a resistividade elétrica do concreto.

Este trabalho tem como finalidade desenvolver novas técnicas para o tratamento de superfícies de concreto pré-fabricado, utilizando-se como impermeabilizante o EPS reciclado, solubilizado em uma mistura de solventes. Objetiva-se a preservação das superfícies contra ataques químicos e biológicos além de viabilizar a limpeza, minimizar custos de manutenção e reparos, temas importantes e de grande relevância no que se refere ao aspecto econômico das construções em concreto.

2 MATERIAIS

2.1 Poliestireno Expandido (EPS)

É uma espuma rígida obtida por meio da expansão da resina PS durante a sua polimerização. Essa expansão é realizada injetando-se um agente químico na fase de reação da polimerização. Os agentes de expansão mais utilizados são os hidrocarbonetos criogênicos (Ex.: gás carbônico). O EPS mais conhecido no Brasil é o da marca comercial da Basf-Isopor®. As principais aplicações são na proteção de embalagens e no isolamento térmico. O EPS é um polímero celular rígido, que pode apresentar numa variedade de formas e aplicações. Apresenta-se como uma espuma moldada, constituída por um aglomerado de grânulos. Para a sua obtenção, o PS é submetido a um processo de transformação física, não alterando as suas propriedades químicas.

2.2 Agregado Miúdo (areia)

A análise granulométrica e outras especificações estão indicadas na Tabela 1.

Tabela 1: Composição granulométrica do agregado miúdo.

Determinação da Composição Granulométrica: NBR-7217 e NBR-7211 (EB-4)	
Origem	Ponte-Nova, MG - Brasil
Tipo	Areia Lavada
Massa da Amostra Ensaída (g)	700
Módulo de Finura (MF)	2,69
Dimensão Máxima Característica (DMC) (mm)	4,8
Classificação	Zona 3 (Areia Média)

2.3 Agregado Graúdo (brita)

A análise granulométrica e outras especificações estão indicadas na Tabela 2.

Tabela 2: Composição granulométrica do agregado graúdo.

Determinação da Composição Granulométrica: NBR-7216 e NBR-7211 (EB-4)	
Origem	Indeterminado
Tipo	Calcário
Massa da Amostra Ensaída (g)	10.000
Módulo de Finura (MF)	6,88
Dimensão Máxima Característica (DMC) (mm)	25
Classificação	Nº 1

2.4 Cimento

As especificações estão indicadas na Tabela 3.

Tabela 3: Especificação do cimento.

Norma de Fabricação: NBR-5733	
Origem/Fabricante	Lafarge / Brasil
Marca	Campeão
Tipo	Alta Portland de Alta Resistência Inicial
Classe	CP V - ARI
Composição	Silicatos de Cálcio, de Alumínio e de Ferro, Sulfato de Cálcio e Filer Carbonático

2.5 Corpos-de-prova

Os corpos de prova utilizados para ensaio de impregnação foram moldados em concreto, para verificar de uma forma real, a impregnação com polímero. As especificações estão indicadas na Tabela 4.

Tabela 4: Moldagem de corpos de prova cilíndricos.

Moldagem e Cura de Corpos de Prova de Concreto Cilíndricos e Prismáticos: NBR-5738		
Dimensões (cm)	composição	Relação A/C (kg/Kg)
Ø5x10	1: 3,12: 2,88 (cimento:area:brita)	0,60

Todos os corpos de prova ($\varnothing 5 \times 10 \text{cm}$) moldados ficaram em repouso durante 24 horas. Após a desmoldagem, foram mantidos em câmara úmida para a cura, durante um período de 7 dias. A fim de se facilitar a moldagem e diminuir as imperfeições na superfície dos corpos de prova (conhecidos popularmente como “brocas”), foi utilizado somente a brita nº 1 passante na peneira nº 12,0 e retida na peneira nº 9,5.

2.6 Preparo da Solução Polimérica para Impregnação

Para a solubilização do EPS foram utilizadas misturas de acetona e cicloexano em várias proporções. Quatro testes de solubilidade foram realizados, conforme Tabela 5.

Tabela 5: Testes de solubilidade do EPS

Teste	EPS (%) (m/v)	Solventes		Análise do Resultado
		Acetona (% volume)	Cicloexano (% volume)	
1º	10	90	10	Solução com precipitado de EPS
2º	10	80	20	Solução turva
3º	10	70	30	Solução transparente
4º	10	60	40	Solução transparente

Foi adotada a solução contendo 70% de acetona e 30% de cicloexano. A escolha se deu por dois fatores: a. Apresentar boa solubilidade do EPS, boa transparência e nenhuma formação de precipitado; b. Conter menor volume de cicloexano (uma vez que a acetona é um solvente de uso comercial e tem preço inferior ao cicloexano). Foram preparadas duas soluções com concentrações distintas de EPS: 5 e 10 % em massa de polímero em relação massa final da mistura de solventes (nomenclaturas CP5 e CP10, respectivamente). Os tempos de imersão na solução polimérica impregnante foram variáveis: 30, 60 e 120 minutos (nomenclaturas CP30, CP60 e CP120 respectivamente).

2.7 Absorção de Água

A cinética de absorção de água foi realizada em todos os corpos de prova tratados (CT's) e não tratados (CNT's), originando curvas individuais de absorção de água. Os corpos de prova foram nomeados de acordo com a concentração da solução de imersão (5ps ou 10ps para 5% ou 10% em massa do polímero respectivamente) e também em relação ao tempo de impregnação (30, 60 ou 120 minutos). Os cálculos foram obtidos por diferenças de massas. As curvas obtidas em todos os CT's e seus respectivos tratamentos individuais (total de 4 para 5ps30, 5ps60, 5ps120, 10ps30, 10ps60 e 10ps120) e CNT's (total de 28) foram tratadas estatisticamente e transformadas em curvas denominadas curvas médias de absorção de água.

2.8 Análise da Profundidade de Penetração do Polímero por Espectroscopia UV-visível

A fim de se verificar a profundidade de penetração da solução de EPS nos CT's, foram realizadas análises de espectroscopia na região do UV-Visível em um espectrômetro marca HP 8453. A determinação da profundidade de penetração da solução de EPS nos CT's foi realizada nos seguintes CP's: CT 5ps120 e CT 10ps120. Os CT's foram seccionados transversalmente, obtendo-se quatro discos distintos. Os discos nº. 1 (topo) e nº. 4 (base) foram rejeitados. Nos discos nº. 2 e nº. 3 foram delimitadas 3 zonas radiais (zona 1-externa, zona 2-mediana e zona 3-interna), conforme apresentado na Figura 1:

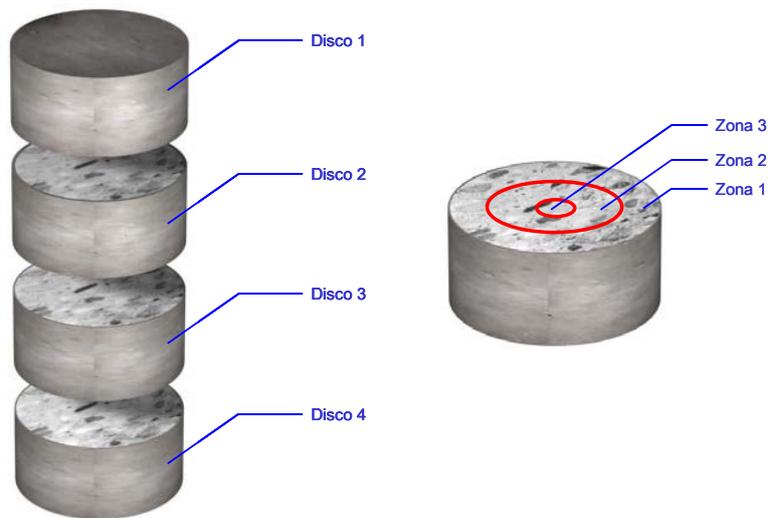


Figura 1: Numeração das seções transversais dos CT's e as zonas de análise.

De cada zona radial foram removidos fragmentos de concreto. Os fragmentos do agregado graúdo foram retirados, a fim de se avaliar somente a penetração da solução de EPS na argamassa. Os fragmentos de argamassa foram secos em estufa a uma temperatura média de 130°C, durante 24 horas. Após resfriamento em dessecador, à temperatura média de 30°C, a argamassa de cada zona foi triturada e pulverizada. O pó foi classificado em peneira n.º 70 (ABNT/ASTM) com abertura de 212µm, e coletados aproximadamente 3,0g do mesmo. As amostras foram dissolvidas em 10ml de THF, agitadas em um banho metabólico por 48 horas e deixadas em repouso por 24 horas. Os sobrenadantes foram retirados e analisados no espectrômetro. A quantificação foi realizada empregando-se uma curva de calibração preparada a partir de soluções de EPS. O gráfico foi construído a partir dos valores de absorvância máximos obtidos em 260nm para cada solução padrão analisada.

2.9 Microscopia Eletrônica de Varredura

O equipamento utilizado foi o Microscópio Eletrônico de Varredura marca Jeol, modelo JSM 5510-EDS Thermo (com espectrômetro de energia dispersiva). Foram realizadas micrografias utilizando elétrons retroespalhados (BEC) e elétrons secundários (SEI). Os fragmentos de argamassa (Figura 2) foram revestidos com carbono e o ensaio foi realizado segundo especificações do aparelho.



Figura 2: Fragmentos da camada superficial dos CP's e a superfície analisada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A eficiência do tratamento polimérico foi avaliada verificando-se a redução da absorção de água pelos CT's, quando imersos em água.

A análise das curvas médias de absorção de água, no gráfico da Figura 3 indica que a cinética de absorção da água é grande nos primeiros minutos de imersão, estabilizando-se ao longo do tempo, com tendência à saturação total dos CP's. Verificou-se também que a velocidade inicial de absorção da água pelos CT's é menor do que a apresentada pelos CNT's e, de uma forma geral, fica evidente que os CT's apresentam absorção total de água menor daquelas apresentadas pelos CNT's, em tempos prolongados de imersão.

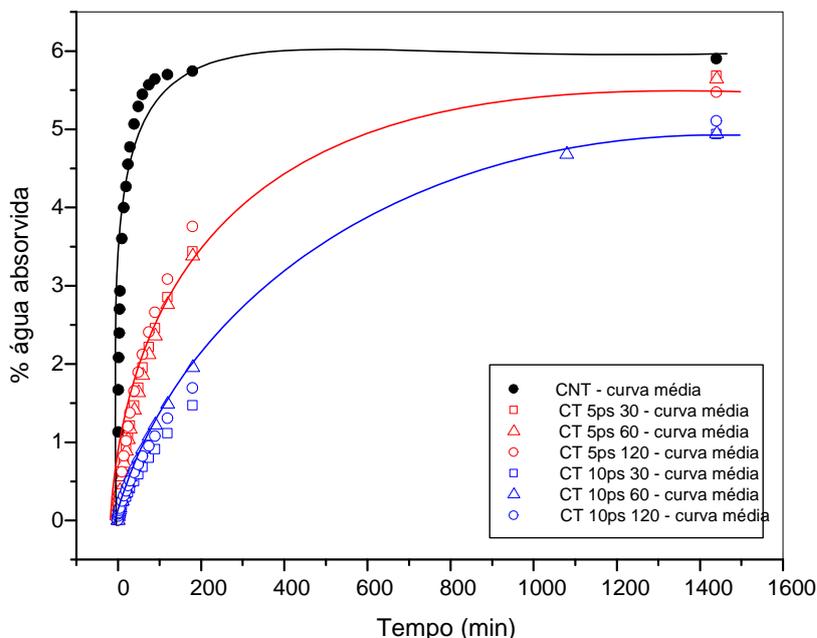


Figura 3: Curvas médias de absorção de água potável, por tipo de tratamento.

Com o objetivo de comprovar a eficiência dos compósitos concreto-polímero, no que diz respeito à resistência e aumento da durabilidade do concreto, várias técnicas são utilizadas. Almusallam *et al.* (2003), utilizaram a análise de absorção de água e análise de permeabilidade e difusão de cloreto, em concretos revestidos com polímero [9]. Os resultados mostraram-se eficazes em reduzir a resistividade elétrica do concreto. Al-Zahrani *et al.* (2002), também utilizaram a análise de absorção de água e a análise de permeabilidade de cloreto, a fim de comprovar a eficiência do concreto modificado, no qual foram utilizadas resinas epoxídicas e resinas poliuretânicas. Os resultados demonstraram redução na absorção de água [7]. Em teste de aceleração de corrosão o concreto modificado demonstrou eficiência na redução da oxidação do aço no concreto armado.

Verificou-se que os tratamentos não provocam uma impermeabilização completa do concreto. Este fator torna-se importante, pois permite que a água evaporável (água capilar e parte da água adsorvida) possa ser extraída do concreto (em forma de vapor), em casos de elevação da temperatura. Pelo gráfico, pode-se dizer que o tempo de imersão na solução (30, 60 ou 120 minutos) não influencia a eficiência do tratamento para mesmas concentrações de EPS (5 ou 10%). Finalmente, conclui-se que a impregnação realizada com 10% de EPS é mais eficiente do que a realizada com 5% de EPS.

Wu e Brooman (1993), utilizaram ondas de ultrassom de baixa intensidade para polimerizar o metacrilato de metila na preparação do concreto impregnado com polímero, com o objetivo de melhorar a eficiência de impregnação em concretos úmidos. Obtiveram profundidade de penetração de apenas 80% daquela obtida em concretos secos [5].

Os ensaios na região do ultravioleta mostram a presença de diferentes concentrações de polímero nas diferentes zonas dos corpos-de-prova analisados. A Figura 4 mostra a curva linear de calibração obtida a partir das soluções padrão de EPS, e que foi empregada nos cálculos das concentrações de polímero no interior do material.

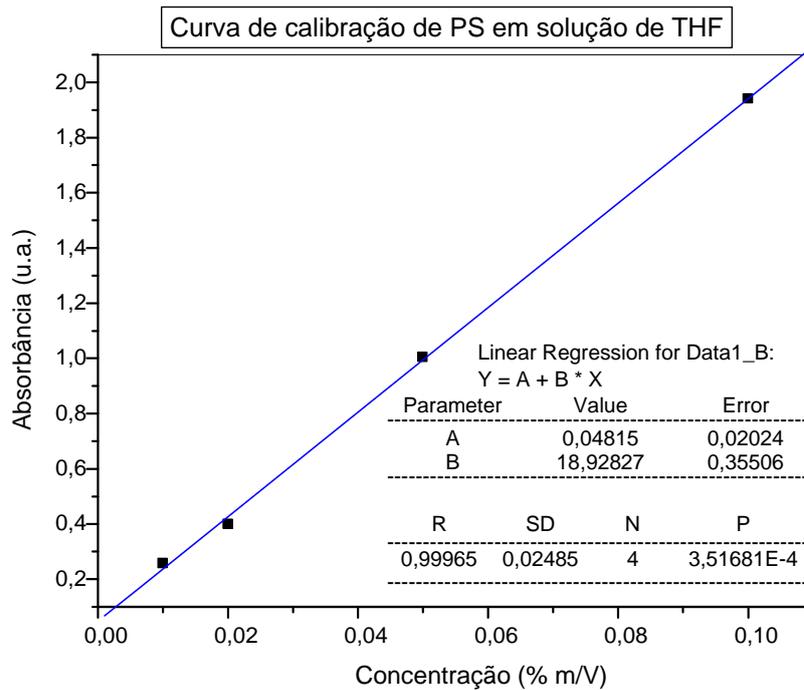


Figura 4: Curva linear de calibração.

A partir da curva de calibração, foram calculadas as concentrações de EPS nas amostras. A Tabela 6 mostra os valores do percentual de EPS em cada zona radial.

Tabela 6: Valores do percentual de EPS em cada zona radial dos CT's.

Amostra	Absorbância (u.a.)	Concentração de EPS na amostra (% m/m)
CT 5ps 120 zona 1	4,15	0,216
CT 5ps 120 zona 2	1,93	0,099
CT 5ps 120 zona 3	1,46	0,075
CT 10ps 120 zona 1	3,13	0,162
CT 10ps 120 zona 2	0,66	0,032
CT 10ps 120 zona 3	0,51	0,024

Considerando-se que o corpo de prova (CP) tem 25mm de raio (Ø50mm), cada zona radial tem, aproximadamente, 8,3mm de extensão radial. Os cálculos de profundidade de penetração, da Tabela 6, indicam uma maior penetração na zona 1, ou seja, a camada superficial. Porém, é verificada concentrações de EPS também nas zonas 2 e 3, o que indica que a impregnação atingiu toda a extensão dos CT's. A penetração foi mais eficiente na impregnação realizada com 5% de EPS.

Gündüz (1987) analisou os efeitos da porosidade na falha interfacial entre o reforço de fibras de aço, aplicadas ao concreto impregnado com polímero (CIP). Foi concluído que a ligação interfacial entre as fibras de aço aumenta proporcionalmente com o aumento da concentração de polímero, na argamassa de concreto. Foi utilizada técnica de impregnação à pressão e a vácuo [8]. Assim como o aumento da concentração de polímero, a impregnação à vácuo aumenta a força de coesão interfacial.

A microscopia eletrônica de varredura tem se mostrado uma excelente técnica visando o estudo de processos de tratamento de concretos por soluções via imersão. Beeldens *et al.* (2001) utilizaram essa técnica a fim de investigar o comportamento do polímero no CP, atacado por ácido sulfúrico [10]. Afridi *et al.* (2003) também utilizaram a MEV para o desenvolvimento de filmes poliméricos, aplicáveis ao CP [11].

A Figura 5 mostra as micrografias típicas obtidas para um corpo-de-prova não tratado, enquanto as micrografias apresentadas na Figura 6 foram obtidas para um material tratado com solução contendo 10 % de polímero por 60 minutos.

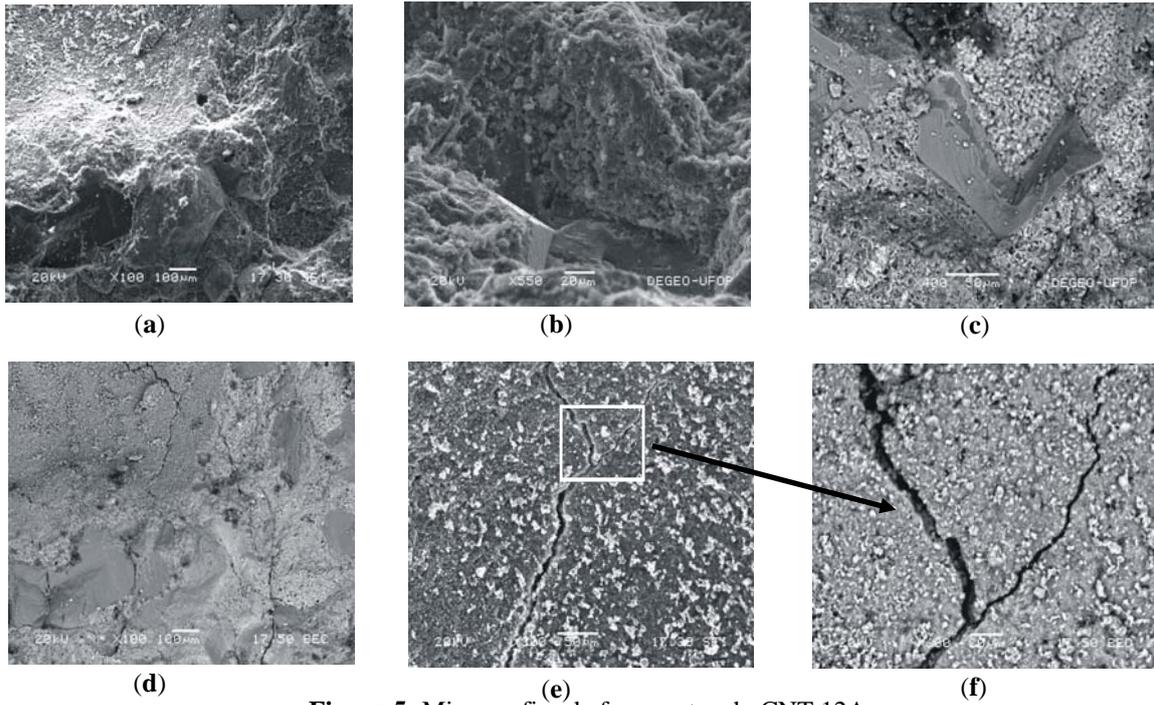


Figura 5: Micrografias de fragmentos do CNT 12A.

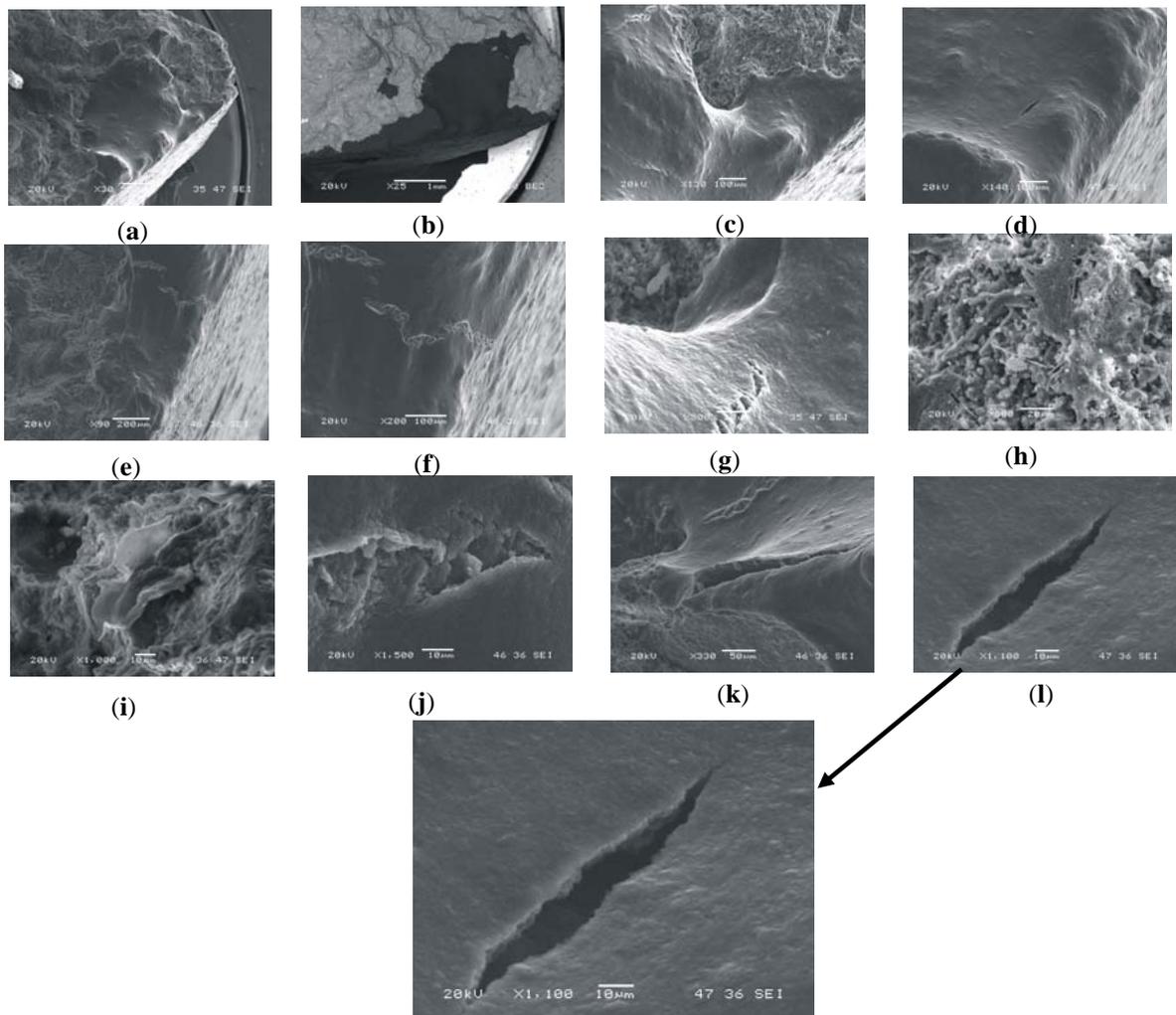


Figura 6: Micrografias de fragmentos CT 10ps 60.

A micrografia (a) da Figura 5 mostra a argamassa de cimento. As micrografias (b) e (c) mostram partícula de sílica (areia) envolvida pela argamassa de cimento. As micrografias (d), (e) e (f) mostram micro-trincas na argamassa de cimento.

As micrografias (a), (b), (c), (d), (e), (f) e (g) da Figura 6 mostram a deposição de um filme de PS sobre a argamassa de cimento. Nessas micrografias nota-se que o filme de PS recobre a superfície lateral, penetrando para o interior da argamassa. Na micrografia (b) nota-se que a solução de EPS penetrou na micro-trinca, e eflorou mais internamente, no sentido radial da amostra. Na micrografia (h) nota-se a deposição de PS, em partículas, na argamassa de cimento. Na micrografia (i) nota-se a deposição de PS, em forma de lamelas, na superfície da amostra. Nas micrografias (j), (k) e (l) nota-se que o filme de PS recobre a superfície superior da amostra e nota-se micro-trincas no filme de PS. Nas micrografias (k) e (l) é possível verificar a espessura do filme de PS, que tem aproximadamente 1,5µm.

4 CONCLUSÕES

O concreto impregnado com EPS reciclado, a partir de agora denominado CIP-EPS-r, comparado com o processo CIP convencional, é mais simples, envolve menos recursos tecnológicos e menores consumo de energia, seja elétrica ou térmica. Os resultados da eficiência do tratamento CIP-EPS-r, pela análise da cinética de absorção de água demonstraram-se positivos para os corpos de prova tratados, tanto com 5 como com 10% de EPS. O resultado foi mais eficiente utilizando-se a impregnação com solução a 10% de EPS. A profundidade de penetração da impregnação foi satisfatória para ambos os tratamentos (5 e 10% de EPS). Porém, a penetração foi mais eficiente utilizando-se a solução a 5% de EPS. O aumento da concentração de EPS na solução aumenta a viscosidade do meio impregnante e diminui a penetração do polímero nas camadas mais internas do concreto. Por outro lado, soluções mais viscosas aumentam a impregnação superficial diminuindo excessivamente a penetração de água ou mesmo dificultando a liberação de moléculas de água mais internas do concreto. Em situações de aquecimento extremo do material, a total impregnação superficial e obstrução dos poros podem levar ao lascamento explosivo do concreto. Portanto, o emprego de soluções de EPS mais ou menos concentradas no tratamento do concreto deve ser acompanhado de um estudo do caso particular, levando-se em consideração aspectos fundamentais como, por exemplo, em quais condições ambientais o concreto modificado será exposto.

5 AGRADECIMENTOS:

REDEMAT – UFOP e UEMG

6 BIBLIOGRAFIA

- [1] SILVA, P.F.A., *Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana*, v. 1, São Paulo, Editora PINI, 1995.
- [2] OHAMA, Y., “Recent progress in concrete-polymer composites”, *Advanced Cement Based Materials*, v. 5, pp. 31-40, March 1997.
- [3] FOWLER, D.W., “Polymers in concrete: a vision for the 21st century”, *Cement and Concrete Composites*, v. 21, n. 5, pp. 449-452, December 1999.
- [4] KIM, J.-H., ROBERTSON, R.E., NAAMAN, A.E., “Structure and properties of poly(vinyl alcohol)-modified mortar and concrete”, *Cement and Concrete Research*, v. 29, n. 3, pp. 407-415, March 1999.
- [5] WU, H., BROOMAN, E.W., “Study of use of ultrasound technology to prepare polymer-impregnated concrete”, *Cement and Concrete Research*, v. 23, n. 3, pp. 640-650, 1993.
- [6] REBEIZ, K.S., “Precast use of polymer concrete using unsaturated polyester resin based on recycled PET waste”, *Construction and Building Materials*, v. 10, n. 3, pp. 215-220, April 1996.
- [7] AL-ZAHRANI, M.M., AL-DULAIJAN, S.U., IBRAHIM, M., SARICIMEN, H., SHARIF, F.M., “Effect of waterproofing coatings on steel reinforcement corrosion and physical properties of concrete”, *Cement and Concrete Composites*, v. 24, n. 1, pp. 127-137, 2002.

- [8] GÜNDÜZ, G., “Effect of porosity on interfacial failure in steel-fibre-reinforced polymer-impregnated concrete”, *Composites Science and Technology*, v. 32, pp. 121-136, 1988.
- [9] ALMUSALLAM, A.A., KHAN, F.M., DULAIJAN, S.U., AL-AMOUDI, O.S.B., “Effectiveness of surface coatings in improving concrete durability”, *Cement and Concrete Composites*, v. 25, n. 4, pp. 473-481, May 2003.
- [10] BEELDENS, A., MONTENY, L., VINCKE, E., DE BELIE, N., GEMERT, D. VAN, TAERWE, L., VERSTRAETE, W., “Resistance to biogenic sulphuric acid corrosion of polymer-modified mortars”, *Cement and Concrete Composites*, v. 23, pp. 47-56, February 2001.
- [11] AFRIDI, M.U.K., OHAMA, Y., DEMURA, K., IQBAL, M.Z., “Development of polymer films by the coalescence of polymers particles in powdered and aqueous polymer-modified mortars”, *Cement and Concrete Composites*, v. 33, n. 11, pp. 1715-1721, November 2003.