

SYSNO 0892296

PROD 00 2939



IBRACON

37º REIBRAC - IBRACON

03 a 07 DE JULHO DE 1995 - GOIÂNIA - GO

SAP
151295

**DURABILIDADE DO
CONCRETO**

**CONCRETO DE ALTO
DESEMPENHO**

**INFORMÁTICA APLICADA
AO CONCRETO**

**USO DE ADITIVO E
ADICÕES NO CONCRETO**

Patrocinadores:

SILICA FUME
SILMIX
PARA CONCRETOS DE ALTO DESEMPENHO

**CAMARGO
CORREA**

 **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA
DE CIMENTO PORTLAND**

 **CIMENTO
ITAÚ**  **CIMENTO
TOCANTINS**

 **FURNAS**



08922 76
16 0196

 **CNO**
CONSTRUTORA NORBERTO ODEBRECHT S.A.
Organização Odebrecht

 **CIMINAS**

H^c
HOLDERCHEM

COMISSÃO TÉCNICA: Augusto Carlos de Vasconcelos
Carlos Eduardo de Siqueira Tango
José Zamarion Ferreira Diniz

CONSELHEIROS

INDIVIDUAIS: Augusto Carlos de Vasconcelos
Epaminondas Melo do Amaral Filho
Fernando Jardim Mentone
Hernani Sávio Sobral
João Gaspar Djanikian
José Zamarion Ferreira Diniz
Mário William Esper
Ronaldo Tartuce
Selmo Chapira Kupermam
Simão Prizskulnik
Walmor José Prudêncio
Yazuko Tesuka

COLETIVOS E MANTENEDORES

ABCP - Associação Brasileira de Cimento
Portland
ABESC - Associação Brasileira de
Empresas de Serviços de
Concretagem
CESP - Companhia Energética de São Paulo
CSBM - Companhia Siderúrgica Belgo
Mineira
EPUSP - Escola Politécnica da USP
IPT - Instituto de Pesquisa Tecnológicas
do Estado de São Paulo
L. A. FALCAO BAUER - Centro Tecnológico
do Controle da Qualidade
SABESP - Cia. de Saneamento Básico do
Estado de São Paulo

DIRETORES REGIONAIS

| | |
|-------------------|---|
| BELEM/PA | José Zacarias Rodrigues da Silva Junior |
| BELO HORIZONTE/MG | Esdrás Poty França |
| BRASÍLIA/DF | Laércio Trentini |
| CURITIBA/PR | César Augusto Romano |
| FLORIANOPOLIS/SC | Ivo José Padaratz |
| FORTALEZA/CE | Afrodizio Durval Gondim Pamplona |
| GOIANIA/GO | Nilson Paulo de Siqueira |
| PORTO ALEGRE/RS | Fernando Antonio Piazza Recena |
| RIO DE JANEIRO/RJ | Walmor José Prudêncio |
| SALVADOR/BA | Minos Trocoli de Azevedo |
| SÃO PAULO/SP | Giovanni Palermo |

ÍNDICE

VOLUME I

DURABILIDADE DO CONCRETO

| | pg |
|---|-----|
| - Durabilidade do Concreto - Enfoque no Projeto - Exemplo do Reservatório Pacaembú ("Piscinão"). Luiz Prado Vieira Jr, Alhyrio Omodei, Paulo Celso Gonçalves Serra | 001 |
| - Efeitos da Lixiviação sobre a Durabilidade do Concreto. Marcelo Cardoso Gontijo, Nelson Takashi Onuma, Luiz Prado Vieira Júnior, Selmo Chapira Kuperman | 015 |
| - Avaliação da Lixiviação no Concreto da Fundação da Casa de Força de Itaipu. Miguel Angel Torales, Oscar A. Villalon, Ideval Betioli, José Antonio Rosso, Sérgio Cifú, Selmo Chapira Kuperman, Marcelo Cardoso Gontijo..... | 027 |
| - Mecanismo de Transporte de Água em Concreto e Argamassas. Neide Matiko Nakata Sato, Vanderley Moacyr John, Vahan Agopyan | 047 |
| - Redução da Carbonatação de Estruturas de Concreto Armado Através de Películas Protetoras. Uemoto, K.L.; Agopyan, V.; John, V.M. | 063 |
| - Resistência à Penetração de Íons Cloreto em Concretos Tratados com Sistemas de Proteção. Uemoto, K.L.; Agopyan, V.; Guaricioni, V.A | 077 |
| - Durabilidade de Postes de Concreto Armado Instalados em Orla Marítima. Antonio Sérgio Ramos da Silva, Minos Trócoli de Azevedo, Luciene Vilalva Garcia, Alexandre Cordeiro Caldas | 091 |
| - Durabilidade de Estruturas de Concreto Armado Sujeitas a Ação de Ácido Nítrico. Germana Moreira Meireles, Roberto Magalhães de Souza, Antonio Freitas da Silva Filho, Antonio Sérgio Ramos da Silva | 101 |
| - Argamassas Estruturais - Algumas Características da Argamassa para a Produção de Elementos Pré-moldados de Pequena Espessura. Jefferson B.L. Libório, Aluisio Bráz de Melo, Marcos V.C. Agnesini | 111 |
| - Tempo Ideal de Cura para Baixa Permeabilidade de Concreto. - Uma Medida de Durabilidade. Victor Guimarães Vieira, Anibal do C. Oliveira | 127 |
| - Tecnologia de Instrumentação no Controle dos Parâmetros de Durabilidade das Estruturas de Concreto das Usinas Hidrelétricas Canoas I e II. Júlio César Astolphi, Waldomiro Almeida Junior, Ivo Assad Ibri | 139 |
| - Contribuição ao Estudo da Absorção de Água por Imersão e por Capilaridade e Penetração de Água sob Pressão do Concreto. Carlos Eduardo X. Regattieri, Maristela Gomes da Silva, Paulo Fernando Araújo da Silva, Paulo Helene | 155 |
| - Influência do Tipo de Cimento e da Relação A/C na Carbonatação do Concreto. Cláudio Vicente Mitidieri Filho, Ércio Thomaz, Paulo Roberto do Lago Helene | 169 |
| - O Arranjo Estrutural, a Tecnologia dos Concretos e a Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado e Protendido. Marcelo da Cunha Moraes | 183 |
| - Durabilidade e Absorção de Água do Concreto Centrifugado. Nelson Aoki, Giancarlo Dehó, Heber G. Notini, Paulo C. Aoki | 193 |
| - Procedimentos Inadequados Estabelecidos nas Diversas Etapas do Processo Construtivo que Contribuem para Redução do Tempo de Vida Útil das Estruturas de Concreto. Paulo Aranha, Denise Dal Molin | 205 |
| - A Ação Deletéria de Cloretos em Estruturas de Concreto Armado de Edifícios Residenciais: Um Caso Real Cascardo, Oswaldo M.; Repette, W.L. | 219 |

| | |
|---|-----|
| - Desempenho do Cimento em Água do Mar. <i>José Dafico Alves</i> | 233 |
| - Tratamentos Superficiais em Peças de Argamassa Armada - Acabamento, Recuperação, Impermeabilização. <i>Vladimir Antonio Paulon</i> | 243 |
| - Desempenho das Obras de Argamassa Armada no Distrito Federal <i>Samuel Dias Junior, Antônio Alberto Nepomuceno</i> | 255 |
| - Propriedades do Concreto Impregnado com Resina Poliuretana Derivada do Óleo de Mamona. <i>Osny Pellegrino Ferreira, Isac José da Silva</i> | 267 |
| - Resistência a Sulfatos de Concretos e Argamassas com Adição de Cinza de Casca de Arroz. <i>Silveiras, Adriane A.; Dal Molin; Denise C.C</i> | 279 |
| - Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado. <i>Castro, Eliane Kraus de; Climaco, João Carlos Teatini de S.; Nepomuceno, Antonio Alberto</i> | 293 |
| - Medida da Resistência Química de Concreto de Elevado Desempenho Através de Ensaio Acelerado de Corrosão. <i>Vitor Antonie Ducatti, Vahan Agopyan</i> | 309 |
| - Permeabilidade do Concreto a Gases. <i>Eloisa Tamie Miyake, João Gaspar Djanikian</i> | 323 |
| - A Durabilidade do Concreto na Europa Ocidental - Proposta para a Futura Norma Europeia - EN 206. <i>Arlindo Gonçalves, LNEC. Portugal</i> | 337 |

CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

| | |
|---|-----|
| - Avaliação Técnica do Uso de Escória Britada como Agregado Graúdo para Concreto de Elevado Desempenho. <i>João Guilherme Cerqueira Valois, Antonio José Leão Teixeira</i> | 351 |
| - Elaboração de Concreto de Alta Resistência com a utilização de Seixo Rolado. <i>Jairo José de Oliveira Andrade, Márcio Santana de Carvalho, Rosele Correia de Lima</i> | 365 |
| - Propriedades Mecânicas de Concreto de Alto Desempenho - Influências do Tipo de Corpo de Prova. <i>Marcel O.F. Oliveira, Ana Emilia Brasiliano, Antonio Aguado de Cea</i> | 373 |
| - Algumas Características de Módulo de Elasticidade de Concretos de Alta Resistência. <i>Paulo Martins Pereira Neto, João Gaspar Djanikian</i> | 387 |
| - Estudo Comparativo de Materiais para Produção de Concretos de Alta Resistência. <i>Lidia C.D. Shehata, Ivan R. Almeida</i> | 401 |
| - Utilização de Concreto de Alto Desempenho nas Vigas Pré-moldadas da Ponte Ferroviária da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera. <i>Waldomiro Almeida Jr., Antonio Celso de Abreu Jr., Rubens Eid da Silva, Nelson Takashi Onume, Edison Hirofumi Kataoka</i> | 415 |

VOLUME II

CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO - CONTINUAÇÃO

| | |
|--|-----|
| - Pilares de Concreto de Alta Resistência Submetidos à Compressão Simples. <i>Libânio M. Pinheiro; Silva, I.S</i> | 421 |
| - Exemplos de Obra em Concreto de Alta Resistência Realizados no Brasil. <i>Ivan Ramalho de Almeida, José Roberto A. Gonçalves, Lidia C.D. Shehata</i> | 435 |
| - Aderência das Barras de Aço em Concretos de Alta Resistência com Adição de Microsilica. <i>Fernanda Vieira, Denise Dal Molin</i> | 451 |
| - Aplicação da Cura Térmica em Cimentos com Adições de Cinza Volante. <i>Gladis Camarini, Maria Alba Cincotto, Lafael Petroni</i> | 465 |
| - Análise de um Método de Cura Adequado para Concretos de Alta Resistência. <i>Luís Roberto Sobreira de Agostini, Nelson Lucio Nunes</i> | 479 |
| - O Efeito de Adições na Obtenção de Concretos de Alta Resistência. <i>Wladimir Antonio Paulon, Flávio Luiz Ibraim</i> | 493 |
| - Estudo e Avaliação de Dosagem de Concreto Estrutural com Resistência até 35 MPa e até 50 MPa Utilizando Somente Agregados "Artificiais" (britados) Oriundos da Mesma jazida de Calcário de uma Fábrica de Cimento. <i>José Antonio de Souza</i> | 507 |
| - Contribuição do Concreto na Resistência ao Cisalhamento nas Vigas de Concreto de Alta Resistência. <i>Gilson Battiston Fernandes</i> | 515 |

USO DE ADITIVOS E ADIÇÕES

| | |
|---|-----|
| - A Contribuição dos Aditivos nas Características do Concreto. <i>Edvaldo Fábio Carneiro, João Tarallo Junior</i> | 529 |
| - Considerações sobre a Adição de Cinzas Volantes no Concreto. <i>Geraldo Moritz Piccoli</i> | 539 |
| - Concreto de Alto Desempenho Modificado com Polímero para Pisos Industriais. <i>José E. Kattar, José Vanderlei de Abreu, Luiz Otavio Maia Cruz</i> | 557 |
| - Concretos com Cimentos Especiais e Pré-Aditivados. <i>José Eduardo Kattar, Luiz Otavio Maia Cruz, José Vanderlei de Abreu, Francisco de Assis Mezzalana, Silvio Pereira Diniz Filho, Nilton Jorge de Almeida</i> | 573 |
| - Reparos com Argamassa de Cimento e Microsilica. <i>Afonso Andrade Goulart Neto, João Paulo Gonçalves, José Francisco Farage do Nascimento, Maurice Antoine Traboulsi, Rogério Sales Góz</i> | 585 |
| - Uso de Microsilica em Concretos de Usinas Hidrelétricas. <i>Dionésio Werner Junior, João Carlos Faig de Oliveira, José Reginaldo de Castro Domingos, Moacir Alexandre Souza de Andrade, Newton Goulart Graça</i> | 601 |
| - Eficiência do Uso de Microsilica na Redução da Expansão Alkali - Agregado. <i>Eduardo Ferreira da Rocha Alves, Elcio Antônio Guerra, Fernando Nogueira Veiga, Márcia Campos dos Santos</i> | 617 |
| - Estudos Térmicos para a Viga Munhão UHE Corumbá I. <i>Carlos Alencar Dias Sobrinho, Celso Augusto Pires de Almeida, João Bosco Moreira do Carmo, Moacir Alexandre Souza de Andrade, Renato Lemos Silveira</i> | 631 |
| - Análise Térmica do Concreto Massa com Emprego de Microsilica. <i>Eduardo de Aquino Gambale, José Tomáz França Fontoura, Marcos de Ávila Pimenta, Rubens Machado Bittencourt, Walton Pacelli de Andrade</i> | 647 |
| - Utilização de Material Pozolânico na UHE Xingó. <i>Francisco Gladston Holanda, José Edson F. de Mendonça</i> | 661 |

- **Módulo de Deformação de Concretos com e sem Microsilica, Utilizando Materiais do Distrito Federal.**
Nepomuceno, A.A.; Melo, G.S.S.A.; Maldonado, T.C.; e Oliveira, F.F.P. 677
- **Efeito de um Aditivo Superplastificante na Evolução da Resistência do Concreto com o Tempo.**
Cláudio Matias da Silva, Normando Perazzo Barbosa 689
- **Influência de Aditivos Superfluidificantes na Resistência ao Fogo de Concretos de Elevado Desempenho.**
R.J. Falcão Bauer; R.R. Alves; S. Takashima; J. Levy 701
- **Estudos de Métodos para Avaliação do Efeito de Aditivos Superfluidificantes na Trabalhabilidade do Concreto Fluido.**
Roberta Rodrigues Alves, Paulo R.L. Helene 713
- **Aditivos para Concreto Projetado.**
Paulo Fernando A. Silva, Fernando Jardim Mentone, Osvaldo Enrich Guaracy, Antonio Carlos Pitta 725

INFORMÁTICA APLICADA AO CONCRETO

- **O Edifício Maria Clarisse (Contribuição para a Revisão de 1994 da NB-1).**
Augusto Carlos de Vasconcelos, Nelson Covas, Luiz Aurélio Fortes da Silva 733
- **A Utilização da Informática no Controle Estatístico do Concreto.**
João Tarallo Junior, Edvaldo Fábio Carneiro 751
- **Dosagem de Concreto pelo Método ABCP.**
Dalier Pacheco Godinho 765
- **Planilha Eletrônica para Previsão da Resistência do Concreto.**
Carlos E. Siqueira Tango, Paulo F.A. da Silva, Luiz T. Hamassaki 785
- **Utilização da Informática para Definição de Condições de Concretagem.**
Selmo C. Kuperman, Júlio Cesar Astolphi, Waldomiro Almeida Junior, Nelson Takashi Omura 799
- **SPANN - Software para Dimensionamento de Estruturas Protendidas.**
Aloisio Leoni Schmid, Manfred Theodor Schmid, Maria Regina Leoni Schmid 811
- **Modelos Matemáticos para Análise de Estruturas de Concreto Armado.**
Gilson Natal Guimarães 823

CONFERÊNCIA INAUGURAL

PROPRIEDADES DO CONCRETO IMPREGNADO COM RESINA POLIURETANA
DERIVADA DO ÓLEO DE MAMONA

ENG. OSNY PELLEGRINO FERREIRA

ENG. ISAC JOSÉ DA SILVA

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
LABORATÓRIO DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Resumo

O comportamento do concreto convencional frente a solicitações de compressão e tração, e as propriedades como permeabilidade, resistência aos agentes agressivos, entre outras, são afetadas pela existência de descontinuidades, na forma de poros, fissuras e vazios.

O preenchimento dessas falhas, com polímero, vem possibilitar ao concreto a diminuição da sua porosidade, elevação da resistência mecânica e maior durabilidade.

Neste estudo, a impregnação da matriz com um pequeno volume de resina poliuretana introduzida em sua estrutura porosa, acarretou a redução da absorção de líquidos em cerca de 100 vezes, incrementou drasticamente a resistência à ação de agentes agressivos, como ácidos, álcalis e sais, conseguindo-se ainda um aumento de resistência mecânica em até 110% para traços com menor conteúdo de cimento e, também, contribuiu para o incremento da resistência à abrasão.

1. Introdução

Concreto impregnado de polímero é um concreto de cimento portland que é impregnado com um monômero e posteriormente polimerizado.

De modo geral, quase todos os elementos construídos, com forma, tamanho, configuração e tipo de concreto, podem ser impregnados com monômero em um certo grau, sempre que o monômero tenha acesso aos espaços vazios presentes no interior do concreto. Uma quantidade substancial desse espaço pode ser preenchido pelo monômero após a remoção da água livre existente nos poros capilares, pela secagem do concreto por qualquer meio desconvel (1).

No concreto comum a porosidade afeta não apenas propriedades mecânicas, tais como resistência e módulo de deformação, mas também a permeabilidade e durabilidade.

No seu estado endurecido o concreto apresenta vazios, devidos ao ar aprisionado durante a fase de mistura, ou em decorrência de deficiências no adensamento, constituindo assim a porosidade macroscópica e, principalmente, em função da presença de água livre, responsável pela porosidade capilar (2).

Depreende-se que resistência e durabilidade estão intimamente associadas à porosidade do concreto. Porém, se esses poros forem preenchidos, parcial ou totalmente, com

SYSNO 578762
PROD 002939

3.21 402-0

polímero, a área de apoio da carga efetiva, à qual o concreto é submetido, é ampliada, o que vem favorecer o incremento de sua resistência mecânica, bem como dificultar a penetração de agentes agressivos, colaborando desse modo para o aumento de sua durabilidade (3).

Diferentes resinas podem ser empregadas atualmente nos concretos polímeros. No Quadro 1⁽⁴⁾ apresenta-se os tipos mais comuns, e são discriminadas as vantagens e desvantagens de cada uma delas, levando-se também em conta aspectos importantes dentro da tecnologia do concreto, como as questões relacionadas ao custo, as facilidades de aplicação, toxidade, condições de cura, etc.

Quadro 1: Vantagens e desvantagens dos sistemas de resinas

| Propriedade da resina | Tipo de resina | | | |
|---------------------------|----------------|-------|-------------|-------------|
| | poliéster | epóxi | metacrilato | poliuretana |
| custo | V | D | D | D |
| toxidade | V | D | D | D |
| aplicação | N | N | V | D |
| odor | D | D | D | V |
| cura em baixa temperatura | N | D | V | N |
| utilização | V | N | D | V |
| desgaste | - | - | - | - |
| retração | D | V | D | V |

V= vantagem

D= desvantagem

N= neutro

Conforme se verifica nesse Quadro, a poliuretana convencional, processada pela indústria petroquímica, constitui-se num polímero cuja desvantagem recai nos itens custo, toxidade e facilidades de aplicação.

Essas propriedades diferem para o caso da poliuretana derivada do óleo de mamona, pois esta, além de apresentar comportamento semelhante à resina poliuretana comum nos aspectos "vantajosos", permite melhor desempenho em termos de "desvantagens" desta última; do ponto de vista de toxidade não oferece riscos ou qualquer efeito prejudicial à saúde; quanto ao custo, sua produção em escala laboratorial tem já demonstrado existir certa equivalência com os preços de mercado dos demais polímeros, significando que em uma produção industrial, fatalmente irá se obter redução de custos, função da maior escala de produção.

Outra questão digna de nota refere-se ao fato de que a poliuretana originária do óleo de mamona constitui-se em um material obtido a partir de um recurso natural renovável. Além disso, a produção dessa resina pode envolver aspectos sociais favoráveis ao desenvolvimento agrícola e consequentemente a promoção de maiores incentivos ao desenvolvimento sustentado.

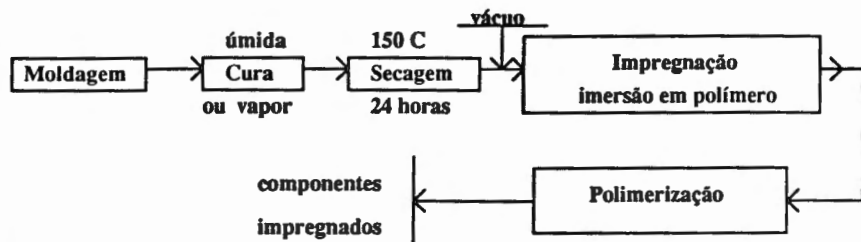
A resina poliuretana foi desenvolvida no Instituto de Química de São Carlos - USP, e foi aplicada neste trabalho para a impregnação parcial de matrizes constituídas de cimento e agregado natural.

2. Produção do Concreto Impregnado de Polímero (CIP)

O processo básico para a produção do CIP, envolve a secagem do elemento de concreto, para a remoção da água livre, aplicação de vácuo para a retirada do ar de dentro dos vazios do concreto, imersão do elemento em um sistema de monômeros de baixa viscosidade para a saturação do mesmo, com ou sem pressão e, polimerização do monômero por ação de calor, agentes químicos ou radiação por raio γ (gama) (5). O CIP pode ser obtido através da impregnação total de um elemento de concreto comum, onde o polímero preencherá plenamente os vazios internos do mesmo. Este processo é complicado e dispendioso, pois para conseguir-se uma impregnação total é requerido grande consumo de energia para fazer com que o monômero penetre em todos os vazios da estrutura porosa do concreto. Por outro lado, pode-se obter o concreto impregnado de polímero (CIP) com uma impregnação parcial do elemento de concreto, que segundo KAWAKAMI, M. et al. (6), oferece algumas vantagens específicas se comparado ao concreto tradicional, bem como em relação ao concreto totalmente impregnado de polímero. Assim sendo, o concreto parcialmente impregnado com polímero é muito mais fácil de ser obtido, requerendo menor consumo de energia e, apesar de apresentar menor desempenho que o concreto totalmente impregnado, sua resistência mecânica e durabilidade são sensivelmente incrementadas, comparativamente ao concreto convencional.

De um modo geral, o concreto constituído com quaisquer tipo de agregados, cimentos e aditivos, pode ser impregnado por polímeros, transformando-se assim no concreto impregnado de polímero, CIP. O grau em que o concreto comum é preenchido com monômero durante a saturação, determina se o concreto é parcial ou totalmente impregnado. A impregnação total leva a um preenchimento de cerca de 85%, ou mais, dos espaços vazios, obtível após a secagem e a aplicação de vácuo, enquanto a impregnação parcial implica em percentagens um tanto menores que a impregnação total. Evidentemente que os diversos métodos de produção usados para a impregnação total ou parcial produzem concretos impregnados de diferentes características físicas, como também as propriedades do CIP variam com a natureza dos materiais constituintes do concreto comum, e em decorrência das condições de cura utilizadas (3).

A obtenção do CIP, como descrito anteriormente, pode ser esquematizada na figura abaixo, onde são apresentados os passos do processo de produção (7):



Esquema geral de produção do CIP.

2.1. Considerações sobre o concreto parcialmente impregnado de polímero

De um modo geral, a impregnação de concretos com polímeros, tem mostrado significativas melhorias em suas propriedades mecânicas: resistência à compressão, tração, módulo de deformação, e também com relação a durabilidade: resistência à abrasão, absorção de água, resistência ao ataque de ácidos, alcalis e sais, resistência ao gelo e degelo, bem como melhor desempenho a danos causados em meios agressivos.

Um maior desempenho do ponto de vista da durabilidade pode ser conseguido com o uso de um sistema de monômero adequado e, pela maior profundidade de penetração deste no elemento de concreto a ser impregnado.

Pode-se considerar que a impregnação parcial não tem como objetivo principal o aumento da resistência mecânica do concreto. Caso se deseje o incremento de resistência, o processo de impregnação deve ser controlado através de ensaios a fim de se verificar a carga adequada de polímero absorvido pelo elemento considerado.

Embora o aumento da resistência mecânica seja resultado da impregnação parcial, este não se compara àquele obtido com a impregnação total.

Em alguns casos, o concreto parcialmente impregnado, pode ser recomendado como uma forma de tratamento superficial, proporcionando uma proteção adicional ao elemento impregnado. Este tipo de aplicação superficial poderá ser realizada com o propósito de assegurar que os poros abertos à superfície, as microfissuras ou defeitos nas faces do elemento, sejam suficientemente preenchidos (1).

O controle da profundidade da impregnação superficial é um processo tecnicamente possível para o tratamento de superfícies, com a finalidade de reduzir a permeabilidade e aumentar a resistência ao ataque de agentes agressivos. A principal razão para o uso desta técnica nos concretos convencionais seria a de prevenir a penetração de íons como Cl^- , SO_4^{--} , causadores da corrosão das armaduras.

3. Programa experimental

Os corpos-de-prova ensaiados foram constituídos a partir de areia natural quartzosa, proveniente do Rio Mogi Guaçu - município de São Carlos - SP, apresentando massa específica de $2,62 \text{ kg/dm}^3$, módulo de finura = 2,16, diâmetro máximo de 2,4 mm. O cimento empregado foi o Portland comum, tipo CP II - E 32.

As argamassas ensaiadas tiveram seus consumos de cimento variando de 690 kg/m^3 , 520 kg/m^3 , e 400 kg/m^3 , consideradas respectivamente como traços A, B, e C. A consistência das argamassas foi fixada na mesa de abatimento em 180 mm. Foram confeccionados corpos-de-prova com dimensões de 5 cm de diâmetro por 10 cm de altura, conforme a NBR 7215 (8), curados em câmara úmida por 28 dias. Após o período de cura, os corpos-de-prova, foram submetidos à impregnação com resina poliuretana cujo processo de produção consistiu das seguintes etapas:

- secagem dos corpos de prova em estufa à 150°C , por um período de 12 horas;
- introdução dos corpos-de-prova, após retornarem à temperatura ambiente, no equipamento de impregnação e aplicação de vácuo por 30 minutos, para a remoção do ar presente nos vazios dos espécimes;
- introdução do polímero no recipiente, sob vácuo;
- saturação dos corpos de prova por um período de 1 hora, à pressão atmosférica;
- retirada dos corpos de prova do recipiente, removendo o excesso de polímero e fazendo a proteção da superfície para evitar a perda de polímero por drenagem ou evaporação;
- por último, polimerização em temperatura ambiente.

À resina poliuretana foi adicionado o acetato de etila para possibilitar uma viscosidade adequada à penetração do monômero nos corpos-de-prova. Essa poliuretana é um polímero catalizável, bi-componente, sendo o componente (A) o poliól (a base de óleo de mamona), e o componente (B) o prepolímero (isocianato).

4. Resultados obtidos

4.1. Resistência à compressão, à tração e módulo de deformação

Os resultados referentes à resistência à compressão, tração e módulo de deformação são apresentados na Tabela 1.

A carga de polímero foi estimada em relação a diferença de massa entre os corpos-de-prova impregnados e os não impregnados, cuja fórmula é:

Carga de polímero (%) = $\frac{(b-a)}{a} \times 100$, onde: a = massa inicial; b = massa final.

O acréscimo na resistência dos corpos-de-prova impregnado foi mais significativo nas matrizes onde houve maior ganho de polímero, que são as matrizes com menor conteúdo de cimento, acarretando um acréscimo de cerca de 110% na resistência à compressão dessa matriz (C). Observa-se também que a resistência aumenta com o ganho de polímero.

Comparando ainda os corpos-de-prova impregnados com os não impregnados, a matriz polimerizada apresenta uma resistência à tração mais elevada que o convencional, e o módulo de deformação relativamente superior, porém não mantendo uma linearidade com a resistência à compressão.

4.2. Durabilidade do concreto impregnado com resina poliuretana

A impregnação por polímeros reduz a permeabilidade do concreto e desse modo aumenta a sua durabilidade sob exposição aos agentes agressivos. Cabe lembrar que a impregnação parcial não acarreta ao concreto total impermeabilidade, porquanto sob exposição à agentes altamente agressivos, como é o caso do ácido sulfúrico, o concreto poderá sofrer rápida degradação.

As propriedades que caracterizam a durabilidade das matrizes de cimento impregnado com resina poliuretana, como resistência à abrasão, absorção, e resistência à agentes químicos, estão apresentadas nas Tabelas 2, 3 e 4, respectivamente.

4.2.1. Resistência à abrasão

Este ensaio consiste na avaliação da resistência ao desgaste, da superfície do corpo-de-prova sujeito à abrasão, conforme procedimento preconizado na norma BS 812 - *Sampling and testing of mineral aggregates, sands and fillers* (9).

Os corpos-de-prova ensaiados foram submetidos ao desgaste superficial a uma variação de 100, 200 e 500 rotações do disco da máquina de ensaio à abrasão, girando a uma velocidade de 28 a 30 revoluções por minuto.

Considera-se que a resistência à abrasão de argamassas e concretos de cimentos impregnados com polímero depende do tipo de polímero empregado e da quantidade de carga absorvida pela matriz, e de uma maneira geral apresentam um bom desempenho frente ao concretos ou argamassas não impregnados com polímeros.

Os corpos-de-prova impregnados com resina poliuretana apresentam melhor desempenho com relação a resistência à abrasão, que os corpos-de-prova não impregnados. O aumento na resistência à abrasão é devido à presença do polímero junto aos poros existentes na interface pasta-agregado, melhorando a aderência entre esses dois constituintes e a ancoragem das partículas dos agregados, não permitindo que estes sejam arrancados com facilidade. O desempenho dos corpos-de-prova impregnados foi cerca de 70% superior aos não impregnados, quando submetidos a 100 e 200 rotações. O desgaste verificado após 500 rotações forneceu menores ganhos por parte dos corpos-de-prova impregnados

4.2.2. Absorção da água por imersão

Esse ensaios foram executados em conformidade com a norma NBR 9778 (10) e os resultados são apresentados na Tabela 3.

Os capilares ou microfissuras, presentes nas matrizes de cimento não impregnadas, e passíveis de penetração por água ou outros líquidos, são praticamente inexistentes no caso das matrizes impregnadas, devido ao preenchimento dos seus poros ou microfissuras com a resina poliuretana. Desse modo, são coerentes os valores encontrados, pois a absorção das matrizes impregnadas sofreu redução em cerca de 98% comparativamente as não impregnadas.

4.2.3. Resistência química

Este ensaio foi realizado em conformidade com a norma ASTM C 267/82 *Chemical Resistance of Mortars Grouts and Monolithic Surfacing* (11).

O fechamento dos poros proporcionado pela impregnação do monômero e sua posterior polimerização, proporciona a matriz impregnada com a resina poliuretana uma melhoria no que diz respeito às propriedades de absorção e permeabilidade. Isso acarreta ao concreto ou argamassa impregnados de polímero uma boa durabilidade frente aos agentes agressivos.

Ao penetrar no concreto, os agentes agressivos reagem com alguns componentes do cimento produzindo compostos expansivos, capazes de comprometer o elemento. A penetração de diluentes também podem ocasionar danos ao concreto ao longo do tempo, mesmo sem que ocorram reações químicas.

O desempenho do CIP com relação à durabilidade sofre interferência em função da concentração do agente agressivo, a sua superfície de contato com o concreto e a temperatura do meio. Observa-se também que o desempenho do CIP frente aos agentes agressivos é mais eficiente em função da profundidade de impregnação e do ganho de polímero.

De uma forma geral o comportamento da matriz impregnada com a poliuretana, sob a ação dos agentes agressivos foi superior ao encontrado para a matriz não impregnada.

A resistência ao ácido sulfúrico (15%) dos corpos-de-prova não impregnados mostrou-se incipiente já aos 7 dias, quando apresentaram uma perda de massa de aproximadamente 30% nos traços com menor conteúdo de cimento. Nas matrizes impregnadas, o ataque pelo ácido sulfúrico foi menor, permitindo assim a determinação da resistência à compressão aos 28 dias, cujo valor sofreu diminuição de cerca de 36%.

Nas demais soluções a variação de resistência à compressão não foi tão significativa, exceto na solução de hidróxido de sódio (20%), em que houve um ataque moderado nos corpos-de-prova não impregnados. Com relação ao ataque por água salina e hipoclorito de sódio o desempenho dos corpos-de-prova impregnados foi bastante satisfatório conforme é verificado pelo pouco decréscimo da resistência à compressão.

5. Conclusão

Este trabalho permite concluir que a aplicação da resina poliuretana derivada do óleo de mamona em concretos convencionais, é satisfatória no tocante às propriedades mecânicas e à durabilidade.

Em todos os ensaios efetuados neste estudo, a impregnação do polímero possibilitou ganho de resistência à compressão, principalmente nos traços com menor conteúdo de cimento. Igual melhoria foi observada com relação a resistência à tração e módulo de deformação.

Através dos ensaios efetuados, depreende-se que com a impregnação ocorreram melhorias significativas na resistência à abrasão, absorção de água, resistência à ação de agentes agressivos, comparativamente aos corpos-de-prova não impregnados.

Em vista destes resultados, a resina poliuretana derivada do óleo de mamona pode ser considerada como adequada para a impregnação de elementos de concreto ou argamassa submetidos à ação de agentes agressivos, face a melhoria de qualidade e desempenho do material impregnado.

6. Observações Finais

A resina poliuretana derivada do óleo de mamona pode vir a ser empregada na construção civil com o intuito de:

- execução de reparos, recuperação e tratamento de superfícies submetidas a desgaste por abrasão;
- correção de defeitos em concreto de resina;
- maiores facilidades para o encapsulamento de rejeitos tóxicos ou nocivos ao meio ambiente;
- impermeabilização de elementos de concreto armado, como lajes de cobertura, reservatórios, etc;
- recuperação de peças de arte ou monumentos históricos.

6.1. Estudos complementares

O estudo do comportamento de concretos e argamassas impregnados com esta resina poliuretana deve ter continuidade, visando avaliar-se seus respectivos desempenhos em microclimas específicos, como sob a incidência de radiação U.V. associada a presença de água e calor, e outras questões importantes, ligadas as técnicas de aplicação desta resina no reparo e na recuperação de elementos deteriorados.

O grau de proteção após a promoção da impregnação, conferido a elementos de concreto ou argamassa dotados de armadura de reforço, deve ser investigado, através da implementação de ensaios para medida do potencial eletroquímico e da corrente de corrosão. Estas análises estão em andamento dentro da pesquisa que ora se desenvolve no Laboratório de Construção Civil da EESC- USP.

7. Bibliografia

- (1) **AMERICAN CONCRETE INSTITUTE.** ACI - Guide for use of polymers in concrete. Committee 548. Manual Concrete of Practice 1993. Detroit, 1993. Part 5.
- (2) **MONOSI, S. & COLLEPARDI, M.** - Low porosity and early durability of concrete. Pore structure and materials properties. From materials science to construction materials engineering. Proceedings of the first international RILEM congress. September, 1987, vol. one, pp. 9-16.
- (3) **TEZUKA, YASUKO.** - Concretos polímeros. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. IPT. São Paulo, 1979. Publicações Especiais nº 5.
- (4) **DALY, J. M. et al.** - Designing a better polymer concrete based on unsaturated polymer. ACI, SP 137, 1993, pp. 109-125.
- (5) **SLIWINSKI, W.** - L'imperméabilité du béton imprégné par le méthacrylate de méthyle. Combining materials: design, production and properties. From materials science to construction materials engineering. Proceedings of the first international RILEM congress. September, 1987, vol. two, pp. 513-520.
- (6) **KAWAKAMI, M., GAMSKI, K., et al.** - Strength and inherent stress of partially polymer-impregnated concrete. Pore structure and materials properties. From materials science to construction materials engineering. Proceedings of the first international RILEM congress. September, 1987, vol. one, pp. 309-316.
- (7) **TSURUTA, K., OZAWA, M. & NAITO, T.** - Bond behaviour of polymer-impregnated concrete permanent forms for prestressed concrete beams. Adhesion between polymers and concrete: Bonding, protection, repair. Proceedings of an international symposium organized by RILEM technical committee 52, Paris, september, 1986, pp. 326-334.
- (8) **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** - NBR 7215 - Ensaio de cimento Portland.
- (9) **BRITISH STANDART METHODS** - BS 812: Part 1 for - Sampling and testing of mineral aggregates, sands and fillers, Londres, 1975.
- (10) **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** - NBR 9778 - Absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica.
- (11) **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS** - ASTM C 267/82 Chemical resistance of mortars grouts and monolithic surfacings.

Tabela 1. - Resistências das matrizes de cimento não impregnados e das matrizes de cimento impregnado com resina.

| Categoria | Traços | Carga de Polímero (%) | Resist. à Compressão MPa | Resistencia à Tração MPa | Módulo de Deformação GPa |
|--------------------------|--------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Não Impregnados | A | 0,00 | 50,90 | 4,86 | 18,56 |
| | B | 0,00 | 30,00 | 2,29 | 12,45 |
| | C | 0,00 | 18,60 | 1,70 | 7,67 |
| Parcialmente Impregnados | A | 1,67 | 57,70 | 4,98 | 21,25 |
| | B | 3,07 | 38,00 | 3,64 | 14,13 |
| | C | 7,74 | 39,70 | 2,90 | 14,32 |

Tabela 2. - Resistencia à abrasão

| Nº da ciclos | Traços | Perda de massa (%) | |
|--------------|--------|--------------------|------------|
| | | Não impregnado | Impregnado |
| 100 | A | 1,12 | 0,25 |
| | B | 1,29 | 0,28 |
| | C | 2,26 | 0,50 |
| 200 | A | 2,05 | 0,49 |
| | B | 2,52 | 0,69 |
| | C | 3,61 | 0,72 |
| 500 | A | 4,29 | 2,53 |
| | B | 7,00 | 2,71 |
| | C | 7,29 | 3,20 |

Tabela 3. - Absorção de água por imersão

| Categoria | Traço | Absorção por imersão % |
|-----------------|-------|------------------------|
| Não impregnados | A | 7,33 |
| | B | 9,59 |
| | C | 9,65 |
| Impregnados | A | 0,06 |
| | B | 0,09 |
| | C | 0,11 |

Tabela 4 - Resistência química, variação de massa e resistência à compressão após imersão de corpos-de-prova em soluções agressivas.

| Solução agressiva | Tempo de exposição | traço | Variação de massa % | Variação de massa % | Resist. à compressão | Resist. à compressão |
|--------------------------|--------------------|-------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| | | | Não imp.. | Impregnado | (MPa) Não imp.. | (MPa) Impregnado |
| Não imerso | - | A | - | - | 50,90 | 57,70 |
| | | B | - | - | 30,00 | 38,00 |
| | | C | - | - | 18,60 | 39,70 |
| Ácido Sulfúrico 15% | 28 dias | A | -24,76 | -7,25 | Não resiste | 36,49 |
| | | B | -30,60 | -4,59 | Não resiste | 23,90 |
| | | C | -35,46 | -2,65 | Não resiste | 22,70 |
| Hidróxido de Sódio 20% | 63 dias | A | - 0,12 | 0,00 | 45,20 | Não varia |
| | | B | - 0,27 | 0,00 | 27,50 | Não varia |
| | | C | - 0,87 | 0,00 | 17,25 | Não varia |
| Hipoclorito de Sódio 10% | 63 dias | A | + 1,68 | + 0,05 | 49,91 | Não varia |
| | | B | + 1,62 | + 0,05 | 28,90 | Não varia |
| | | C | - | + 0,06 | - | Não varia |
| Água do Mar | 63 dias | A | + 1,05 | 0,00 | 48,89 | Não varia |
| | | B | + 1,06 | 0,00 | 29,50 | Não varia |
| | | C | + 1,12 | 0,00 | 17,58 | Não varia |