

SAP
27.11.95



18 al 22 de Septiembre de 1995
Tucumán - Argentina

MEMORIAS

5

VOLUMEN

0889573
291195

SYSNO	0889573
PROD	002893
ACERVO EESC	

**Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, 27.
Tucumán, 18-22 sep. 1995. Memorias. Tucumán:
Laboratorio de Estructuras, Fac. de Ciencias Exactas
y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán, 1995.**

5 v.

1. Estructuras - Congresos

CDU 624.04(063)

XXVII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural

Declaradas de Interés Nacional por la Presidencia de la Nación Argentina

Organizan:

**ASOCIACION SUDAMERICANA DE INGENIEROS ESTRUCTURALES
(A.S.A.I.E)**

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología

Universidad Nacional de Tucumán

Av. Roca 1800

4000 - San Miguel de Tucumán, Argentina

Tel. /Fax. (54 - 81) 24 1338

Auspician:

**Secretaría de Obras Públicas y Comunicaciones del Ministerio de
Economía y Obras y Servicios Públicos de la Nación**

Cámara Argentina de la Construcción

Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano

Secretaría de Obras Públicas de la Provincia de Tucumán

Dirección Provincial de Vialidad

Secretaría de Obras Públicas de la Municipalidad de San Miguel de Tucumán

Colegio de Ingenieros Civiles de Tucumán



APLICAÇÃO DA RESINA POLIURETANA NAS CONSTRUÇÕES DE CONCRETO

F 383 m

Autores:

578762

ENG°. OSNY PELLEGRINO FERREIRA (*)

ENG°. ISAC JOSÉ DA SILVA (**)

* Eng. Civil, Doutor em Engenharia e Professor da EESC - USP, São Carlos - SP. Av. Dr. Carlos Botelho, 1465, CEP 13560-250.

** Eng. Civil, Mestrando da EESC - USP, São Carlos -SP. Av. Dr. Carlos Botelho, 1465, CEP 13560-250.

Resumo

O concreto convencional, composto de uma matriz contendo agregados e cimento Portland, constitui-se em um material largamente empregado na Construção Civil e, embora venha apresentando nos últimos tempos significativas melhorias em algumas de suas propriedades, seu desempenho frente à ação de agentes agressivos presentes no meio onde se insere pode ainda ser considerado pouco satisfatório.

As deficiências do concreto convencional podem ser atribuídas à sua porosidade elevada, e a diminuição desta, mediante utilização de novos materiais caracterizáveis como polímeros, vem possibilitar a melhoria geral das propriedades do concreto tradicional, como resistência química, resistência ao desgaste, diminuição da permeabilidade, etc., acabando também por aumentar a resistência mecânica da matriz.

A utilização da resina poliuretana proveniente do óleo de mamona(*ricinus*), em matrizes de concreto, abre um novo campo de aplicação na Construção Civil. Seu emprego pode ocorrer: através da impregnação de elementos de concreto endurecido, ou tratamento superficial; como concreto polímero onde a resina assume a função de aglomerante junto aos agregados; como adesivo para colagem de elementos de concreto endurecido.

O presente trabalho apresenta os resultados experimentais obtidos com as aplicações citadas acima.

3.24.01.60-0

3.24.03.00-9

3.24.03.05-2

1. Introdução

Ultimamente a resistência mecânica e a durabilidade dos materiais utilizados na Construção Civil têm feito parte das exigências contidas no critério de seleção dos mesmos. Além disso, as estruturas são cada vez mais altas e arrojadas, exigindo portanto elementos estruturais de maiores vãos, e consequente diminuição de peso e seção, o que tem levado muitos pesquisadores a investirem em novos materiais.

O desenvolvimento contínuo da Ciência dos Materiais há muito se faz sentir nos materiais metálicos e plásticos. Nos materiais cerâmicos, observou-se que a redução da porosidade diminuía a sua fragilidade e aumentava a resistência. Acreditou-se então que a aplicação deste princípio ao concreto convencional poderia gerar idênticos benefícios, pois este era um material ainda susceptível de muito aperfeiçoamento.

Para combater a porosidade intrínseca do concreto seriam desejáveis duas ações não necessariamente estanques: a redução da dosagem de água e o preenchimento dos vazios.

Iniciou-se então a busca de mecanismos capazes de aprimorar a qualidade do concreto convencional, tornando-o "impermeável", resistente à ação mecânica e à atuação de agentes agressivos. Assim, surgiu o Concreto Polímero ou Polimerizado que alia a tecnologia do concreto convencional à tecnologia dos materiais novos, os Polímeros.

Existem vários métodos para introduzir o polímero no concreto e, em função da forma utilizada nessa introdução, o concreto recebe diferentes classificações, tais como: - Concreto Impregnado com Polímero (CIP), onde o polímero é introduzido nos vazios do concreto endurecido, com posterior polimerização; - Concreto Resina (CR), onde o polímero atua como aglomerante junto aos agregados; - Concreto Modificado com Látex (CML), onde o polímero (látex) é introduzido na fase de amassamento do concreto atuando como aglomerante juntamente com o cimento Portland.

O material concreto-polímero foi primeiramente desenvolvido cerca de 40 anos atrás, nos Estados Unidos, quando o concreto de resina (PC) e o concreto de cimento Portland e polímero (PPCC) foram utilizados comercialmente. Entretanto, estes materiais só foram identificados como exemplos de materiais de construção no início dos anos 60, quando o concreto impregnado de polímero foi melhor desenvolvido⁽¹⁾.

As resinas mais utilizadas em concretos polímeros são: o *epoxi*, o *poliéster* e a *resina furânica* (não derivada do petróleo), dentre outras menos empregadas⁽²⁾.

Como opção de um novo material apresenta-se neste trabalho a resina poliuretana derivada do óleo de mamona (*ricinus*) como um polímero com alta potencialidade de aplicação no concreto. A sua aplicação pode se dar sob a forma de impregnação do concreto endurecido, como um tratamento superficial das estruturas e elementos de concreto, como adesivo para a colagem de peças de concreto ou, ainda, como concreto resina para a fabricação de pré-moldados ou para revestimento de pré-fabricados de concreto, como os tubos de concreto armado, conferindo-lhes maior desempenho frente a ação de agentes agressivos.

2. Resina Poliuretana

A poliuretana, de um modo geral, tem sido usada ao longo dos últimos trinta e cinco anos como pintura industrial. Ela tem tido uma alta receptividade no mercado e adquirido uma boa reputação no tocante quanto as suas propriedades e alta qualidade como produto final.

As poliuretanas são materiais que tem lugar de destaque entre outros polímeros industriais, pois tratam-se de materiais preparados por espécies quimicamente ativas contendo o grupo -NCO, com polióis funcionalmente ativos, resultando em polímeros com diferentes características e com propriedades especiais⁽³⁾.

O desenvolvimento de resinas sintéticas PU (poliuretana), tem importância pela aplicabilidade como "Plásticos de Engenharia" representando um fértil campo de pesquisa de novos materiais. De um modo geral, as resinas PU têm aplicação ampla, sendo materiais favoráveis sob vários pontos de vista, tais como⁽³⁾:

- propriedades reológicas (viscosidade, fluidez, tixotropia, comportamento sob variação de temperatura);
- tensões superficiais, umedecimento (poder umectante) e penetração capilar;
- tempo máximo e mínimo de processamento;
- endurecimento e cura, e, principalmente;
- economia.

A viabilidade do sistema PU resulta da abundância de espécies polihidroxiladas (polióis) e da disponibilidade no mercado nacional de diisocianatos com preço razoável. Assim como para outros polímeros, as propriedades dos vários tipos de poliuretana dependem primariamente de seu peso molecular, grau de entrecruzamento, forças intermoleculares, rigidez dos segmentos da cadeia e cristalinidade. Uma propriedade importante das poliuretanas, é a versatilidade quanto a variação de suas estruturas⁽⁴⁾.

Esta 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). Para as reações uretanas, o óleo de mamona deve satisfazer um certo padrão de pureza, baixa acidez e técnicas de controle de qualidade específicas.

A reação de polimerização ocorre pela mistura a frio, do poliól (a base de mamona) com o prepolímero (isocianato). Esta reação é que conduz a policondensação URETANA. Pode-se não só aumentar ou diminuir a percentagem de poliól, que irá definir maior ou menor dureza e a velocidade da reação, bem como se necessário empregar um tipo de catalizador adequado para aumentar a velocidade de polimerização. De um modo geral a polimerização completa das resinas poliuretanas, verifica-se, aproximadamente, num intervalo médio de 90 a 120 minutos, para cada tipo de resina poliuretana, com catalizador e sem catalizador e com a reação ocorrendo a quente.

3. Concreto Impregnado de Polímeros (CIP)

Para a produção do concreto impregnado com polímero, o elemento de concreto endurecido é seco para a remoção da água livre, para que o polímero possa ocupar o seu lugar, aplicação ou não de vácuo para a retirada do ar presente nos vazios do concreto e saturação do elemento com monômeros, com posterior polimerização. A impregnação pode ser total ou parcial. A impregnação total é quando cerca de 85% ou mais dos vazios do concreto são preenchidos com o polímero. A impregnação parcial ocorre em percentagens menores. Desta forma, pode-se considerar que a impregnação parcial não tem como objetivo principal o aumento da resistência mecânica do concreto, mas sim proporcionar um maior desempenho do ponto de vista da durabilidade, que pode ser conseguido com o uso de um sistema de monômero adequado, e pelo controle da profundidade de penetração deste no elemento de concreto a ser impregnado^(5,6,7).

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⁽⁶⁾.

O processo de produção da argamassa impregnada com poliuretana consistiu nas seguintes etapas:

- moldagem e cura dos corpos-de-prova;
- secagem dos corpos-de-prova em estufa à 150 °C, por um período de 24 horas;
- introdução dos corpos-de-prova no equipamento de impregnação e aplicação de vácuo por 30 minutos;
- introdução da resina poliuretana no recipiente sob vácuo;
- saturação dos corpos de prova por um tempo de 1 hora;
- retirada dos corpos de prova do recipiente, removendo o excesso de polímero e fazendo proteção para evitar a perda de polímero por drenagem ou evaporação;
- polimerização em temperatura ambiente.

Os corpos-de-prova ensaiados foram constituídos a partir de areia natural quartzosa, com massa específica de 2,62 kg/dm³, módulo de finura = 2,16, diâmetro máximo de 2,4 mm, proveniente do Rio Mogi Guaçu - município de São Carlos - SP. O cimento empregado foi o Portland comum, tipo CP II - E 32.

As argamassas ensaiadas tiveram seus consumos de cimento variando de 690 kg/m³, 520 kg/m³, e 400 kg/m³, considerados respectivamente como traços (em massa) de 1:2, 1:3, e 1:4. A consistência das argamassas foi fixada na mesa de abatimento em 180 mm, mais ou menos 10 mm. Foram confeccionados corpos-de-prova com dimensões de 5 cm de diâmetro por 10 cm de altura, conforme a norma brasileira NBR 7215, curados em câmara úmida por 28 dias. Após o período de cura, todas as amostras foram secas em estufa antes de serem submetidas à impregnação por resina poliuretana.

Algumas das melhorias proporcionadas pela impregnação nas argamassas estudadas, tais como resistência à compressão, resistência química e absorção, pode ser visualizada na TABELA I.

A impregnação com resina poliuretana, de corpos-de-prova rompidos, simulando o concreto convencional totalmente danificado, também pôde ser realizada e apresentou excelente resultado, mostrando boa eficiência quanto ao restabelecimento da sua monolitidade, e restituição da sua capacidade de suportar carga. Na TABELA II apresenta-se os resultados obtidos com a recuperação de corpos-de-prova do traço 1:3 com a resina poliuretana.

4. Concreto de Resina

O concreto de resina é constituído de resina ou sistema de monômeros com filer e agregados relativamente finos, polimerizado à temperatura ambiente ou utilizando agentes de cura, como calor ou iniciadores químicos. No concreto resina não se utiliza o cimento Portland como aglomerante, no entanto pôde ser adicionado a mistura como material fino (2, 8).

A granulometria dos materiais inertes do concreto resina é de fundamental importância, não só do aspecto da resistência, mas principalmente do ponto de vista do consumo de aglomerantes. Para adequar um consumo favorável do ponto de vista técnico-econômico do concreto resina, são utilizados os filers, que ajudam a melhorar drasticamente a sua trabalhabilidade, além de impedir a segregação dos materiais constituintes, ocasionada pela diferença de massas específicas dos inertes e da resina (2, 8).

As características físicas e mecânicas dos concretos de resina são funções das propriedades da resina utilizada como aglomerante. O concreto de resina com poliuretana tem apresentado um ótimo desempenho, mostrando-se adequado para a aplicação em pré-fabricados, como tubos moldados em concreto de resina obtidos por centrifugação, na constituição de camada de revestimento interior em tubos de concreto convencional, canais de drenagem, pisos de elevada resistência, como material de reparo para o concreto comum, etc.. O concreto de resina poliuretana apresenta uma excelente resistência química, sob a ação de ácidos, álcalis e sais; boa resistência à abrasão e reduzida absorção.

As propriedades dos concretos de resina poliuretana derivada do óleo de mamona, dependem da quantidade e dos tipos de formulação da poliuretana empregada, ou da utilização ou não de solventes. A proporção de resina deve variar entre 12 a 15% da massa dos agregados empregados.

Além do concreto de densidade normal produzido com a resina poliuretana derivada do óleo de mamona, a utilização de materiais leves como a vermiculita e a argila expandida, ou ainda, com a adição de pó de calcáreo finamente moído, é possível a obtenção de elementos de baixa densidade, com grande potencial de utilização em casos de tratamento térmico e acústico, ou como material de enchimento de elementos estruturais. Com a adição de pó de calcáreo consegue-se um material de densidade de aproximadamente 500 kg/m^3 . O calcáreo

finamente moido (pó de calcáreo) apresenta-se como um bom material para a produção de elementos leves devido a reação de um de seus elementos, o Ca (calcio) com as hidroxilas livres da resina. Para a produção de elementos leves é utilizada a resina apropriada para obter a expansão e a formação de bolhas contínuas em todo o elemento pré-fabricado. Para a obtenção de concreto resina com agregados normalmente utilizados em concreto convencional a formulação difere da aplicada como material leve. Na TABELA III são apresentados algumas características de corpos-de-prova com baixa massa específica.

5. Outras aplicações

A resina poliuretana mostrou ter um comportamento adesivo bastante satisfatório, não só por obturar as fissuras apresentadas pelo concreto, agindo como material aderente, preenchendo-as e vedando-as externamente mas, também, servindo como adesivo para união de elementos de concreto endurecido.

Outra aplicação da resina poliuretana é como barreira para proteção do concreto, aplicada na forma de um tratamento superficial do elemento, tendo um papel significativo no tocante a preservação de estruturas novas ou já existentes e, em particular, aquelas que estão danificadas ou deterioradas por ação de agentes agressivos ao concreto tais como sulfatos, ácidos, cloretos ou água desmineralizada.

Além do tratamento superficial a poliuretana pode ser aplicada como sistema de impermeabilização, formando uma manta flexível com espessuras variáveis de 1 a 3 mm. A resistência do filme de poliurata na ação da radiação ultra violeta foi verificada por um período de 1200 horas de exposição em uma câmara de U.V. composta de lampadas tipo G15T8 U.V. longa vida 15W PHILIPS, não apresentando neste teste preliminar nenhuma alteração de suas propriedades iniciais.

6. Conclusão

Quanto ao uso da poliuretana derivada do óleo de mamona(*ricinus*), os ensaios realizados permitem concluir que essa resina poliuretana apresenta excelente desempenho quando aplicada ao concreto, sob a forma de impregnação parcial, tratamento superficial, como adesivo para elementos de concreto ou argamassa, como membrana para impermeabilização; apresenta também um bom comportamento como aglomerante, na produção de concreto resina, podendo ser utilizada em reparos e na proteção do concreto convencional; e, quando adicionada à materiais leves mostrou ser também bastante eficaz.

A impregnação de concretos com a poliuretana possibilitou:

- ganho de resistência à compressão, com maior acréscimo para os traços de menor conteúdo de cimento, incremento na resistência à tração e no módulo de elasticidade;
- melhorias significativas na resistência ao desgaste por abrasão e na diminuição da absorção de água;

- restabelecimento total do monolitismo dos corpos-de-prova previamente rompidos e submetidos posteriormente a impregnação.

Como aglomerante, possibilitou a confecção e moldagem de elementos pré-fabricados como tubos de concreto de resina com grande resistência à agentes químicos e satisfatória resistência mecânica; produção de elementos leves visando a utilização em painéis de vedação, e painéis para tratamento térmico e acústico.

A resina poliuretana derivada do óleo de mamona, em vista dos resultados obtidos, pode ser considerada como adequada para a impregnação de elementos de concreto ou argamassa submetidos à ação de agentes agressivos; a grande desgaste, como no caso de pisos industriais, estacionamento de veículos; e, também, para a recuperação de superfícies em geral, face a melhoria de desempenho do material impregnado.

7. Bibliografia

- (1) **FOWLER, DAVID W.** - Status of polymer in concrete. - Society of Plastics Industry; Reinforced Plastics/Composites Institute, Annual Conference. Proceedings 43rd., publ. by SPI, Washington, D.C. U.S.A, p 16B.1-16B.5, 1988.
- (2) **TEZUKA, YAZUKO.** - Concretos polímeros. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. IPT. São Paulo 1979, publicações especiais nº 5.
- (3) **ARAUJO, LUÍS C. RIBEIRO,** - "Caracterização química, térmica e mecânica de poliuretanas elastoméricas baseadas em materiais oleoquímicos." Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto Física e Química de São Carlos, 1992.
- (4) **RIECK, J. N.** - Dispersão poliuretana produto para o futuro Mobay Chemical Corporation.
- (5) **AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI** - State-of-the-art report. Committee 548. ACI journal, 1987.
- (6) _____ - Guide for use of polymers in concrete. Committee 548. Manual concrete of practice 1993. Detroit, 1993. Part 5.
- (7) **PARK, S.B. & LEE, B.I.** - Mechanical properties of carbon-fiber-reinforced polymer impregnated cement composites. Cement & concrete composites, vol. 15, nº 3, 1993, pp. 153-164.
- (8) **NEVILLE, ADAM M.** - Concrete Technology, 1987.

TABELA I - Resumo das propriedades do concreto impregnado com resina poliuretana derivada do óleo de mamona(*ricinus*)

derivada do óleo de mamona (ricinus)

Propriedades	Ensaios	Resultados		
		Referência	Impregnados	
Resistência à compressão, Ø 5x10 cm				
1. Propriedades mecânicas	traços 1:2	50,9 MPa	57,7 MPa	
	1:3	30,0 MPa	38,0 MPa	
	1:4	18,6 MPa	39,7 MPa	
Meio agressivo/Tempo Imersão		Resistência à Compressão		
		Referência	Impregnado	
2. Resistência a ataque químico	(1) 25% Ác. sulfúrico 28 dias	(1:2)	Não resiste	36,49 MPa
		(1:3)	Não resiste	23,9 MPa
		(1:4)	Não resiste	22,7 MPa
	(2) 10% Ácido acético 63 dias	(1:2)	Não resiste	32,84 MPa
		(1:3)	Não resiste	22,15 MPa
		(1:4)	Não resiste	29,00 MPa
	(3) 20% Hid. de Sódio 63 dias	(1:2)	45,2 MPa	57,7 MPa
		(1:3)	27,5 MPa	38,0 MPa
		(1:4)	17, 25 MPa	39,7 MPa
	(4) Água do mar 63 dias	(1:2)	48,89 MPa	57,7 MPa
		(1:3)	29,50 MPa	38,0 MPa
		(1:4)	17,58 MPa	39,7 MPa
Traços		Referência	Impregnados	
3. Absorção de água por imersão	(1:2)	7,33%	0,06%	
	(1:3)	9,59%	0,09%	
	(1:4)	9,65%	0,11%	
Traços		Perda de massa (g)		
4. resistência à abrasão	(1:2)	Referência	Impregnados	
	(1:3)	11,28	6,50	
	(1:4)	13,76	6,80	
		14,74	6,62	

TABELA II - Restauração da capacidade resistente em corpos-de-prova previamente rompidos e submetidos à posterior impregnação.

Traco	Resist. à comp. inicial dos corpos-de-prova s/impregnação (MPa)	Resist. à comp. dos corpos-de-prova rompidos, após impregnação (MPa)
1:3	35,15	35,39

TABELA III - Massa específica, resistência à compressão de corpos-de-prova e tijolos confeccionados com pó de calcáreo e resina poliuretana.

Especificação	Massa Específica	resistência à Comp.
Cps I	400 - 450 kg/dm ³	1, 2 - 1,7 MPa
Cps II	450 - 550 kg/dm ³	1,5 - 2,2 MPa
Cps III	600- 850 kg/dm ³	2,2 - 3,2 MPa
Cps IV	900- 1200 kg/dm ³	3,1 - 3,9 MPa
Tijolo 1	400 kg/dm ³	0,9 - 1,1 MPa
Tijolo 2	500 kg/dm ³	1,0 - 1,3 MPa
Tijolo 3	600 kg/dm ³	1,2 - 1,8 MPa

Nota: consumo de resina variando de 12% a 18% em relação a massa do material inerte.