



## **POLÍMEROS TERMOFIXOS PARA IMPERMEABILIZAÇÃO MOLDADA IN LOCO**

**Josué Garcia Quini**

Masterpol, josue@masterpol.com.br

**Palavras-chave:** termofixos, poliuretano, epóxi, injeção química

### **RESUMO**

Os polímeros termofixos tem sido usados na impermeabilização devido as suas excelentes propriedades de resistência mecânica, química e durabilidade as intempéries. Dentre os diversos termofixos disponíveis no mercado se destacam o poliuretano e o epóxi, que poder serem moldados in loco facilitam a aplicação em áreas com grande número de interferências. Outro campo de uso destes materiais é a injeção química, que é uma técnica complementar a impermeabilização.

O presente trabalho servirá para expor as tecnologias disponíveis para impermeabilização e injeção química destas duas famílias de produtos, comparando as características de cada uma delas e ilustrando onde cada uma é mais adequada.

### **INTRODUÇÃO**

Atualmente existem no mercado brasileiro diversos produtos e técnicas de impermeabilização. Desde os mais tradicionais oriundos do asfalto, passando pelos acrílicos, cimentícios e hidrofugantes, até os mais modernos como os poliuretanos e epóxi. Esta variedade tem permitido aos projetistas propor uma enorme gama de soluções capazes de atender aos desafios da construção civil.

A construção civil, bem como outras atividades industriais, encontra desafios como a busca pela qualidade, redução dos prazos de entrega e redução de emissão de compostos orgânicos voláteis que somente poderão ser alcançados pela quebra de paradigmas antigos presentes na impermeabilização.

Diante deste cenário, os sistemas tradicionais não são mais adequados a todas as situações onde se necessita de impermeabilização, abrindo possibilidade para novas tecnologias como o uso de polímeros termofixos, especialmente desenvolvidos pela engenharia de materiais. Dentre os termofixos disponíveis, o emprego dos poliuretanos e epóxios tem obtido uma rápida evolução na impermeabilização, devido as suas excelentes propriedades mecânicas, químicas e facilidade de aplicação. O presente trabalho irá apresentar uma abordagem teórica e de aplicação do poliuretano e epóxi, por meio das técnicas de impermeabilização moldada in loco e injeção química.

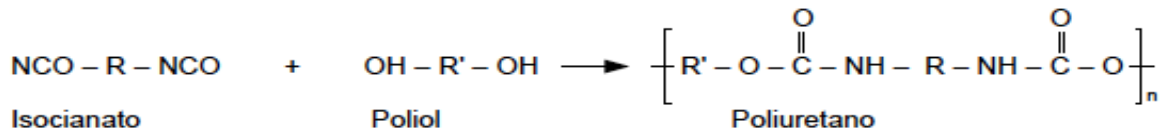
### **Impermeabilizante de poliuretano**

A química do poliuretano é bastante vasta, os produtos formulados são usados para inúmeras aplicações em diversos segmentos como espumas rígidas, espumas flexíveis, elastômeros, tintas, adesivos, selantes e impermeabilizantes [QUINI, 2011].

Em geral são produtos bicomponentes formados pela reação de um componente



composto contendo hidroxilas (polióis) e outro componente formado por isocianatos, conforme equação abaixo, ambos líquidos com baixa viscosidade. Após a mistura dos dois componentes tem-se o tempo de manuseio para espalhamento do produto no substrato, também chamado de pot life ou gel time. Decorrido este tempo, ocorre um aumento da viscosidade e solidificação do produto, na qual são formadas as ligações uretânicas e então uma membrana é formada.



#### Reação de formação do poliuretanos

A obtenção de isocianatos foi primeiramente feita por Wurtz pela reação de dietilsulfato e cianeto de potássio, em 1848. Também é conhecida a sua síntese por fosgenação de amina, obtida por Hentschel em 1884. Embora existam muitos métodos para sua síntese a fosgenação de aminas tornou-se o único método de importância industrial. A estrutura do isocianato tem importância na reatividade do grupo NCO, ela é aumentada por substituintes que elevem a carga positiva do carbono do grupo NCO, assim isocianatos alifáticos são menos reativos que os aromáticos. Além disso, fatores estéricos como substituintes volumosos próximos ao sítio de reação diminuem a velocidade da reação [Vilar, 2002].

Os compostos contendo hidroxilas podem variar quanto à massa molar, natureza química e funcionalidade, podendo ser poliéteres, poliésteres ou possuir estrutura hidrocarbônica. Os isocianatos podem ser aromáticos, alifáticos, cicloalifáticos ou policíclicos. Esta flexibilidade de escolha de reagentes permite obter uma grande variedade de compostos com diferentes propriedades físicas e químicas, conferindo aos poliuretanos uma posição importante no mercado mundial de polímeros sintéticos de alto desempenho.

O impermeabilizante de poliuretano pode ser composto por um sistema bicomponente formado pelo componente A a base de polioli e B a base de isocianatos. Formulações monocomponentes podem ser feitas a base de um pré-polímero que cura com a umidade do ar. Algumas formulações permitem a adição de catalisadores para controle de tempo de reação e o uso de solventes para redução de viscosidade de aplicação.

Estes sistemas são apresentados na obra em embalagens fracionadas na proporção de mistura em cores distintas conforme a necessidade e indicação de uso. Por exemplo, para usos onde a membrana ficará exposta deve-se avaliar a necessidade estética de manutenção de cor, neste caso deverá ser usado um poliuretano alifático sobre a última demão.

Dependendo da formulação o tráfego de veículos pode ser permitido de acordo com as especificações do fabricante.

A aplicação requer cuidados quanto a mistura homogênea e na proporção adequada, para o caso dos bicomponentes. São sistemas indicados para impermeabilização de lajes, reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto etc. A segurança para o aplicador deve ser considerada em função das características específicas de cada produto, conforme recomendações do fabricante. Em geral são sistemas que oferecem poucos riscos na sua aplicação, os equipamentos de segurança individual recomendados são luvas e roupas de proteção para evitar o contato com a pele.

As principais propriedades são elevada elasticidade, aderência ao substrato, boa resistência química, cura rápida, termofixo e pode ser utilizado também em reservatórios destinados ao armazenamento de água potável.



Algumas formulações de membranas de poliuretano são sistemas chamados 100% sólidos pois não contém solventes ou compostos voláteis, assim sendo, após a polimerização não ocorrem alterações significativas de massa. Em geral são os que apresentam as melhores propriedades de desempenho. Apesar disso algumas formulações podem conter componentes voláteis para redução de viscosidade e também asfalto. Existem também algumas formas monocomponentes e outras formas híbridas de poliuretano e poliuréia. Desta forma, os diversos impermeabilizantes de poliuretano podem ser formulados sob encomenda mediante a necessidade do projetista.

A utilização do poliuretano em situações em que haja presença de pressão negativa não é indicada como por exemplo em reservatórios subterrâneos, pois a pressão negativa do lençol freático pode provocar o deslocamento da membrana.

As propriedades típicas do impermeabilizante serão obtidas se este for aplicado diretamente sobre a superfície já regularizada, a qual deve estar perfeitamente seca e limpa, isenta de óleos ou graxas; a não observância destes fatores irá prejudicar a formação do filme e comprometer o resultado esperado. Ninhos e falhas deverão ser escareados e recompostos com areia média peneirada e cimento traço 3:1; trincas deverão ser escareadas e preenchidas com mástique e utilização de camada separadora inferior e superior.

A aplicação deve ser feita sobre superfície curada e seca pois a umidade interfere na cura do produto e prejudica a formação da membrana. Deve-se verificar a natureza da argamassa empregada na regularização, que idealmente deve ter sido preparada sem a aditivação, pois a presença de alguns aditivos pode prejudicar a penetração e aderência do produto na superfície a ser tratada.

Durante a aplicação a mistura deve ser homogênea e apresentar cor uniforme, a agitação mecânica facilita e agiliza o processo de mistura. O impermeabilizante deve ser aplicado de forma uniforme em toda a superfície. Espalhar inicialmente com um rodo ou desempenadeira e em seguida estender o filme com um rolo de pintura de modo a eliminar eventuais bolhas de ar provenientes do processo de mistura, formando uma película uniforme sobre toda a área; utilizar pincel para aplicação em locais em que o manuseio do rolo não seja indicado. Equipamentos pneumáticos airless também podem ser utilizados para aumentar a produtividade da aplicação. Aguardar até que não exista mais pegajosidade superficial.

O número de camadas a aplicar dependerá das condições do local e do acabamento da superfície; na maioria dos casos, a aplicação de duas camadas é suficiente para garantir uma perfeita impermeabilização, sendo o consumo total estimado (duas camadas) em 1,7 – 2,0 kg por m<sup>2</sup>, formando filmes de 1,2 a 1,5 mm de espessura.

Em caso de dúvida quanto a natureza da argamassa, recomenda-se avaliar em diferentes pontos, a adequação do impermeabilizante em relação à superfície mediante teste prático: fazer a aplicação do produto em uma pequena área e logo após (ainda durante o pot life) sobrepor duas ou três pequenas peças de madeira (aproximadamente 5cm x 10cm x 1cm), de modo a colar a madeira sobre a superfície, utilizando o impermeabilizante como adesivo. Após 24 horas, forçar o arrancamento, se as peças forem removidas com facilidade, sem que haja ruptura da madeira ou da argamassa, a aplicação do poliuretano nestas condições não deve ser executada, uma vez que a aderência do filme sobre a superfície estará prejudicada. Eventualmente, caso seja interessante ou desejável prosseguir com a utilização do produto, será necessário sobrepor e ancorar, sobre a superfície existente, uma nova camada de argamassa preparada com areia média peneirada e cimento na proporção de 3:1 e aguardar também a secagem completa.

Recomenda-se que o substrato apresente caimento de 1% em direção aos ralos ou condutores de água. Cantos vivos e arestas deverão ser arredondados com raio de



aproximadamente 8 cm. Tubulações emergentes e ralos deverão estar fixados, a fim de que permitam a perfeita execução dos arremates. Junto aos ralos deverá ser previsto um rebaixamento de 1,0 cm de profundidade em uma área de aproximadamente 40 x 40 cm para reforço da impermeabilização. Nos rodapés recomenda-se subir a impermeabilização em torno de 30 cm. Onde houver portas recomenda-se avançar a impermeabilização aproximadamente 50 cm por baixo dos batentes e contramarcos. Nos locais sujeitos a interferências (ralos, tubulações, etc) é recomendável a utilização de estruturante como tela de poliéster, o que aumenta consideravelmente a resistência mecânica do filme; o mesmo procedimento pode ser adotado em cantos e arestas.

Caso a aplicação venha a ser feita em área ou local onde tenha ocorrido presença de umidade, será necessário aguardar até que a superfície esteja seca, o que pode ser verificado de forma bastante simples segundo a norma ASTM E1907 (Standard Practices for Determining Moisture-Related Acceptability of Concrete Floors to Receive Moisture-Sensitive Finishes), estender sobre a superfície, em diversos pontos, amostras de filme plástico de aproximadamente 1m<sup>2</sup>, selar com fita adesiva e aguardar 24 horas. Se não houver acúmulo de gotículas no plástico ou mancha de umidade na superfície, esta estará seca e adequada para ser impermeabilizada com poliuretano.

A utilização de estruturante pode ser feita com a finalidade de aumentar a resistência a tração, quando o projetista julgar necessário, ou ainda para garantir que seja respeitado o consumo mínimo especificado. Telas de poliéster ou manta de poliéster não tecido são muito empregadas como estruturantes. Seu uso é feito aplicando-se a primeira demão do impermeabilizante, estendendo o estruturante sobre o mesmo durante o período em que o produto apresenta-se viscoso e com boa pegajosidade. Aplicar a próxima demão após não haver mais pegajosidade, observar que o estruturante deve ser totalmente recoberto pelo produto sem áreas com enrugamento.

Para a aplicação de pisos ou revestimentos cerâmicos sobre a superfície impermeabilizada, recomenda-se adotar o procedimento explicado a seguir, o qual tem a finalidade de reforçar a ancoragem da argamassa colante: espargir areia média seca ou pó de quartzo – malha 8 a 14 - sobre a última demão enquanto ainda houver pegajosidade superficial - o que normalmente ocorre até uma hora após sua execução - a depender da temperatura no local de trabalho. Após a cura, o excesso deverá ser removido e pode ser reaproveitado.

Os componentes básicos do impermeabilizante de poliuretano são o polioli e o isocianato, disponíveis em formulações mono ou bicomponentes. Podem ser pigmentados em diferentes cores ou pintados para melhor efeito estético. A aplicação pode ser manual ou mecanizada com equipamentos airless.

A tabela a seguir apresenta os requisitos da norma ABNT NBR 15487 de membranas de poliuretano para impermeabilização:

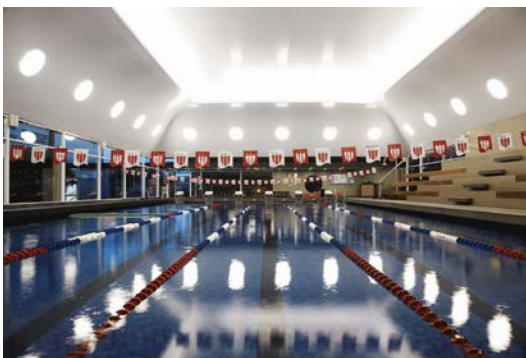
Item	Requisitos	Unidade	Parâmetros	Método de ensaio
1	Resistência à tração – mínima	MPa	2,0	ABNT NBR 7462
2	Alongamento na ruptura - mínimo	%	50	ABNT NBR 7462
3	Deformação permanente - máxima	%	30	ABNT NBR 10025
4	Resistência ao rasgo - mínimo	kN/m	2,0	ASTM 624-C
5	Flexibilidade à baixa temperatura (- 5°C)	-	Atende	ABNT NBR 9952

6	Dureza Shore A	-	60 – 90	ABNT NBR 7456
7	Escorrimento (120°C)	-	Atende	ABNT NBR 9952
8	Tração e alongamento após intemperismo - 500 h <sup>(1)</sup> - Perda máxima	%	25%	ASTM G154
9	Flexibilidade (5°C) após envelhecimento acelerado (4 semanas a 80°C)	-	Atende	ABNT NBR 9952
10	Determinação de resistência de aderência à tração - mínima	MPa	0,30	ABNT NBR 13528
<sup>(1)</sup> Ensaio aplicável somente para membranas sujeitas à exposição às intempéries.				

A norma ABNT NBR 15487 – Membrana de Poliuretano para Impermeabilização define parâmetros de Resistência à tração, Alongamento na ruptura, Deformação permanente, Resistência ao rasgo, Flexibilidade à baixa temperatura (- 5°C), Dureza Shore A, Escorrimento (120°C), Tração e alongamento após intemperismo de 500 h, Flexibilidade (5°C) após envelhecimento acelerado (4 semanas a 80°C) e Determinação de resistência de aderência à tração. Estes parâmetros são fundamentais para diferenciação dos produtos formulados em poliuretano que são adequados para a impermeabilização. Para uso em reservatórios de água potável o produto deve atender a norma ABNT NBR 12.170.

As formulações de poliuretano 100% sólido apresentam níveis de orgânicos voláteis abaixo de 10g/L, enquanto que formulações com solventes orgânicos podem superar em muito este índice.

As fotos abaixo ilustram algumas das suas aplicações, algumas delas contendo muitas interferências, onde o poliuretano moldado in loco é uma excelente alternativa.



Impermeabilização de piscina com poliuretano



Impermeabilização de Estações de tratamento de esgoto com poliuretano



Impermeabilização de Estações de tratamento de esgoto com poliuretano



Impermeabilização de Estações de tratamento de água e esgoto com poliuretano

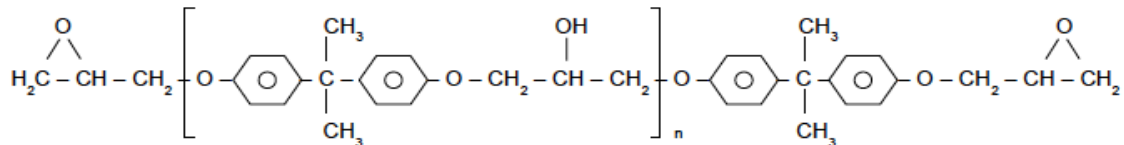
### **Impermeabilizante epóxi**

Na impermeabilização o epóxi ocupa um lugar específico devido às suas características únicas. Em geral, por ser mais rígido do que outros sistemas de impermeabilização, não é recomendado para áreas de muita movimentação. No entanto, sua elevada resistência química e à abrasão, têm sido seu diferencial para uso em ambientes industriais sujeitos à presença de agentes químicos agressivos como ácidos, álcalis e solventes orgânicos, como por exemplo em indústrias galvânicas e petroquímicas. Desta forma, ainda



que seu uso seja restrito a algumas situações, representa uma solução para áreas em que outros sistemas de impermeabilização não atenderiam.

As resinas epóxi são obtidas da reação da epícloridrina com bisfenol e apresentam em sua estrutura grupos terminais formados por um átomo de oxigênio ligado a dois átomos de carbono, chamados etoxilínicos (grupo epóxi). Quando utilizado o bisfenol A, o produto obtido é denominado éter diglicidil de bisfenol A, conhecido por DGEBA, conforme figura abaixo. Também são utilizadas industrialmente outras resinas como a éter diglicidil de bisfenol F, alifáticas, cicloalifáticas, bromadas e novo lacas [MARINUCCI, 2011].

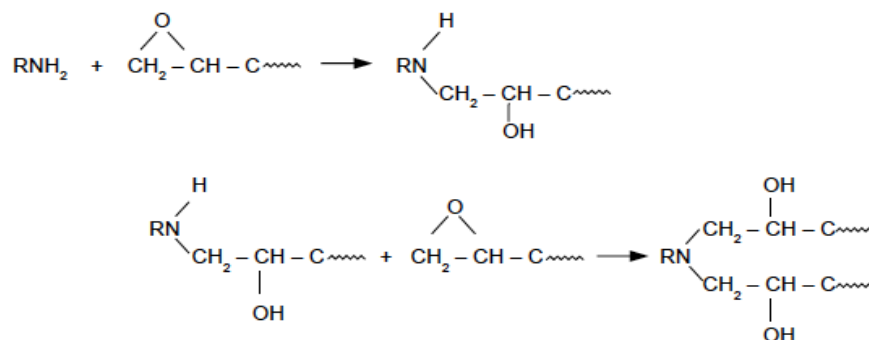


Representação de uma molécula epóxi DGEBA.

As resinas epóxi são capazes de reagir com vários agentes de cura ou consigo mesma (via catalisador) para formar um material sólido com ligações cruzadas. Esta transformação é chamada de cura ou endurecimento que é iniciada pela adição de um componente quimicamente ativo. Dependendo da formulação, esta cura pode se dar em temperatura ambiente, com uso de fonte externa de calor, ou outra fonte externa de energia como ultravioleta ou feixe de elétrons. Os dois mecanismos de cura da resina epóxi são a poliadição e homopolimerização [PETRIE, 2006].

Quando a cura é feita pela reação da molécula de epóxi e outro tipo de reagente químico, com ou sem uso de catalisador, temos uma reação de poliadição. A estrutura então formada é um heteropolímero, composto essencialmente por moléculas de resina epóxi e do agente de cura. Estes agentes de cura, também chamados de endurecedores, são em geral polifuncionais e precisam ser dosados em quantidades estequiométricas.

A poliadição é o método mais comum de polimerização das resinas epóxi. Os agentes de cura usados nesta reação contém um hidrogênio ativo que incluem aminas, amidas e mercaptanas, etc conforme mostrado na figura a seguir.



Mecanismo de cura de uma resina epóxi por poliadição.

Muitas são as possibilidades de formulações com as resinas epóxi os diversos endurecedores disponíveis, que permitem atender aplicações de requisitos técnicos específicos como na fabricação de compósitos, adesivos estruturais, encapsulamentos eletrônicos, tintas e



impermeabilizantes. As razões pelas quais as resinas epóxi estão presentes em diversas aplicações são: excelente resistência química, excelente resistência a abrasão, aderência a uma grande variedade de substratos, formação de filmes resistentes e possibilidade de formular produtos específicos para solucionar problemas técnicos. O sistema resina epóxi e endurecedor pode ser formulado para ser rígido ou flexível; alto ou baixo módulo; homogêneo, com cargas ou expandido; condutor ou isolante; retardante a chama; resistente ao calor e a corrosão.

O uso na construção civil é feito em formulações bicomponentes onde as embalagens são fracionadas na proporção de mistura. Para usos onde a membrana ficará exposta as intempéries deve-se avaliar a necessidade estética de manutenção de cor, neste caso o mais recomendado é uma pintura para acabamento [Masterpol/Masterpox VD, 2012]. Este é um sistema também adequado para impermeabilização com resistência ao tráfego de veículos.

Os principais cuidados na aplicação são a mistura homogênea, na proporção adequada e durante o tempo de pot life. A segurança para o aplicador deve ser considerada em função das características específicas de cada produto. Em geral são sistemas que oferecem poucos riscos na sua aplicação, os equipamentos de segurança individual recomendados são luvas e roupas de proteção para evitar o contato com a pele.

As propriedades principais são elevada resistência mecânica, elevada aderência ao substrato, excelente resistência química, cura rápida, termofixo e resistente ao tráfego veicular. Os sistemas epóxis apresentam excelente durabilidade para uso na construção civil, devido a excelente resistência química que apresentam. Contudo a exposição a temperaturas acima da transição vítrea do material podem comprometer o desempenho e durabilidade. Sistemas de cura ambiente usados na impermeabilização apresentam em geral transição vítrea em torno de 50 a 70°C dependendo da formulação de cada fabricante.

As formulações de membranas epóxi 100% sólido apresentam níveis de orgânicos voláteis abaixo de 0,5g/L, enquanto que formulações com solventes orgânicos usados para redução de viscosidade podem superar em muito este índice.

Dependendo da resina epóxi e do endurecedor utilizado, pode-se atingir uma resistência química muito elevada, especialmente indicada para áreas sujeitas ao contato com substâncias químicas agressivas. Também se diferenciam de outros sistemas por apresentarem resistência a abrasão adequadas ao tráfego veicular e porque podem ser usadas em situações em que haja presença de pressão positiva ou negativa.

As propriedades típicas do impermeabilizante serão obtidas se este for aplicado diretamente sobre a superfície já regularizada, a qual deve estar perfeitamente seca e limpa, isenta de óleos ou graxas; a não observância destes fatores irá prejudicar a formação da membrana e comprometer o resultado esperado. Ninhos e falhas deverão ser escareados e recompostos com areia média peneirada e cimento traço 3:1; trincas deverão ser escareadas e preenchidas com mástique e utilização de camada separadora inferior e superior.

A aplicação deve ser feita sobre superfície curada e seca pois a umidade interfere na aderência do produto. Deve-se verificar a natureza da argamassa empregada na regularização, que idealmente deve ter sido preparada sem a aditivação, pois a presença de alguns aditivos pode prejudicar a penetração e aderência do produto na superfície a ser tratada.

A mistura deve ser homogênea e apresentar cor uniforme, a agitação mecânica facilita e agiliza o processo de mistura. O impermeabilizante deve ser aplicado de forma uniforme em toda a superfície. Espalhar inicialmente com um rodo ou desempenadeira e em seguida estender o filme com um rolo de pintura de modo a eliminar eventuais bolhas de ar provenientes do processo de mistura, formando uma película uniforme sobre toda a área; utilizar pincel para aplicação em locais em que o manuseio do rolo não seja indicado.



Equipamentos pneumáticos airless também podem ser utilizados para aumentar a produtividade da aplicação. Aguardar até que não exista mais pegajosidade superficial.

O número de camadas a aplicar dependerá das condições do local e do acabamento da superfície; na maioria dos casos, a aplicação de duas camadas é suficiente para garantir uma perfeita impermeabilização, sendo o consumo total estimado (duas camadas) em 1,0 – 1,5 kg por m<sup>2</sup>, formando filmes de 1 a 1,5 mm de espessura.

Devido a elevada resistência a tração do epóxi, o uso de estruturantes não melhora seu desempenho. Contudo pode ser usado apenas para garantir que seja respeitado o consumo mínimo especificado. Recomenda-se que o substrato apresente caimento de 1% em direção aos ralos ou condutores de água. Cantos vivos e arestas deverão ser arredondados com raio de aproximadamente 8 cm. Tubulações emergentes e ralos deverão estar fixados, a fim de que permitam a perfeita execução dos arremates. Junto aos ralos deverá ser previsto um rebaixamento de 1,0 cm de profundidade em uma área de aproximadamente 40 x 40 cm para reforço da impermeabilização. Nos rodapés recomenda-se subir a impermeabilização em torno de 30 cm. Onde houver portas recomenda-se avançar a impermeabilização aproximadamente 50 cm por baixo dos batentes e contramarcos. Nos locais sujeitos a interferências (ralos, tubulações, etc) é recomendável a utilização de estruturante como tela de poliéster, o que aumenta consideravelmente a resistência mecânica do filme; o mesmo procedimento pode ser adotado em cantos e arestas.

Para a aplicação de pisos ou revestimentos cerâmicos sobre a superfície impermeabilizada, recomenda-se adotar o procedimento explicado a seguir, o qual tem a finalidade de reforçar a ancoragem da argamassa colante: espargir areia média seca ou pó de quartzo – malha 8 a 14 - sobre a última demão enquanto ainda houver pegajosidade superficial - o que normalmente ocorre até uma hora após sua execução - a depender da temperatura no local de trabalho. Após a cura, o excesso deverá ser removido e pode ser reaproveitado.

As resinas epóxi podem também ser apresentadas em dispersões aquosas. Elas têm sido desenvolvidas por meio de processos de emulsificação com surfactantes. Estas dispersões podem ser empregadas em áreas úmidas como revestimentos protetivos sobre concreto e metais para atender regulamentações ambientais de redução de uso de solventes orgânicos.

Quanto a normatização até o presente momento não foi elaborada uma norma nacional para esta classe de produtos.

A tabela a seguir apresenta algumas propriedades típicas de membranas epóxi para impermeabilização:

Requisitos	Unidade	Parâmetros	Método de ensaio
Resistência à tração	MPa	30 - 40	ABNT NBR 7462
Alongamento na ruptura	%	5 – 12	ABNT NBR 7462
Resistência ao rasgo	kN/m	30 - 35	ASTM 624-C
Dureza Shore D	-	75 - 80	ABNT NBR 7456
Determinação de resistência de aderência à tração	MPa	1,4 – 1,5	ABNT NBR 13528
Índice de VOC	g/L	0,1 – 0,5	SCAQMD 1168/Method 304-91
Aderência a tração	MPa	1,0 – 2,0	NBR 13.528/10



Penetração de água sob pressão	Estanque sob pressão positiva e negativa (48h a 0,1MPa e 24h a 0,25MPa)	NBR 10.787/94
--------------------------------	---	---------------

Dentre as membranas moldadas in loco para impermeabilização o epóxi tem sido empregado em situações e obras industriais onde possa ocorrer o contato com agentes químicos altamente agressivos, como por exemplo, ácidos, bases e solventes orgânicos.

### **Injeções Químicas**

Em muitos casos após feita a impermeabilização podem ocorrer fissuras no concreto que comprometem a impermeabilização, por exemplo em reservatórios de água, onde a operação de esvaziamento do reservatório para reparo da impermeabilização é dificultoso, pode-se optar por fazer uma injeção química para reparo pontual. Outras situações onde a impermeabilização não seja viável, como por exemplo túneis ou barragens, opta-se esta técnica corretiva sempre que necessário (QUINI, 2012).

A aplicação por meio de injeção pressurizada destes produtos visam recuperar a integridade do concreto, sendo esta uma técnica complementar a impermeabilização.

Diferentes materiais tem sido utilizados nesta técnica, os mais comuns são o poliuretano, epóxi, micro cimentos e acrílicos. Dentre eles o poliuretano ocupa lugar de destaque pelo número de produtos disponíveis podendo ser hidro expansivos, rígidos ou flexíveis.

Dentre os produtos em poliuretanos os mais utilizados são formulações hidroativas, flexíveis e rígidas. Os hidroativos destinam-se para injeção e tamponamento provisório de infiltrações, podendo ser aplicado contra o fluxo de água sob pressão preenchendo trincas e falhas do substrato, são recomendados para tratamento de infiltrações em reservatórios, tanques, estações de tratamento, túneis etc. [Masterpol/Masterpur Hidroativo, 2012]

Os poliuretanos hidroativos apresentam reação rápida de expansão em contato com superfícies molhadas, esta reação libera gás carbônico que é o agente responsável pela formação da espuma. A foto a seguir ilustra a formação da espuma formada após injeção de poliuretano hidroativo.

O tamponamento gerado por esta espuma é apenas provisório pois as espumas de poliuretano contém células fechadas e também abertas por onde a água pode percolar com o passar do tempo e causar um vazamento, por esta razão após o uso do poliuretano hidroativo injeta-se outro poliuretano não expansivo, flexível e capaz de selar os poros da espuma formada e do concreto, este poliuretano também é chamado muitas vezes de gel de poliuretano.



Injeção de Poliuretano Hidroativo

O gel de poliuretano é destinado a injeção e selamento permanente de trincas com movimentação em reservatórios, tanques, estações de tratamento, túneis, etc., com ou sem presença de água. Não forma espuma em contato com superfícies molhadas e o tempo de cura relativamente longo permite o preenchimento das fissuras e selamento dos vazamentos [Masterpol/Masterpur Gel, 2012]. A injeção do gel de poliuretano deve ser feita até o vazamento do excesso pelos furos, como ilustrado abaixo.



Injeção de gel de Poliuretano

Entre os poliuretanos para injeção há ainda um sistema rígido para injeção estrutural em fissuras e cavidades com ou sem fluxo de água. São sistemas bicomponentes de cura rápida, em geral 30-60 segundos, injetados por equipamentos dosadores e misturadores diretamente no concreto. Este poliuretano também forma espuma em contato com superfícies molhadas porém com menor expansão do que os chamados de hidroativos, formando um polímero rígido com alta resistência mecânica e química [Masterpol/Masterpur IE30, 2012].

O sistema epóxi para injeção em concreto é um sistema formulado para injeção e em fissuras de concreto. Não reage com a umidade e pode ser aplicado em fissuras úmidas para tamponamento e também como reparo estrutural do concreto devido a sua elevada resistência

mecânica [Masterpol/Masterpox IE45, 2012].

A foto abaixo mostra a aplicação ocorrendo em pontos da estrutura onde ocorreram vazamentos.



Ilustração posicionamento dos bicos de injeção.

Antes da injeção no concreto deve-se efetuar a limpeza da fissura removendo partículas soltas, poeira e outros contaminantes com ar comprimido. Perfurar o concreto e instalar dos bicos de perfuração em duas linhas de bicos de cada lado da fissura alternadamente, com distância entre eles de 25cm. O furo deverá ter um ângulo de 45° com a face do concreto, indo em direção a fissura. Limpar os furos e instalar os bicos de perfuração.

Utilizar a bomba de injeção pressurizada para injeção dos produtos até transbordamento pelas fissuras. Dependendo da absorção do produto pelo concreto pode ser necessária uma nova aplicação de modo a preencher os espaços vazios. Remover o excesso de produto sobre o concreto. A foto abaixo ilustra uma bomba monocomponente de injeção de poliuretano.



Bomba monocomponente de injeção de poliuretano.

Os produtos em geral são bicomponentes dosados no momento da aplicação. Devem ser misturados na proporção adequada até que o material esteja homogêneo e apresente cor uniforme. Após a mistura o produto inicia o processo de cura, por isto deve ser colocado

imediatamente no reservatório da bomba de injeção e iniciar a aplicação. Após transcorridas 48h da aplicação deve-se remover os bicos e preencher os furos com groute.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MARINUCCI, G., Materiais Compósitos Poliméricos, 1<sup>a</sup> ed. São Paulo, 2011, cap. 2, Matrizes Poliméricas.

MASTERPOL ADESIVOS, Catálogo Masterpur VD Disponível em:  
<<http://www.masterpol.com.br/arearestrita>>. Acesso em 09 jan 2012.

MASTERPOL ADESIVOS, Catálogo Masterpox VD Disponível em:  
<<http://www.masterpol.com.br/arearestrita>>. Acesso em 09 jan 2012.

MASTERPOL ADESIVOS, Catálogo Masterpur Hidroativo 2CF10 Disponível em:  
<<http://www.masterpol.com.br/arearestrita>>. Acesso em 24 abril 2012.

MASTERPOL ADESIVOS, Catálogo Masterpur Gel 2CF32 Disponível em:  
<<http://www.masterpol.com.br/arearestrita>>. Acesso em 24 abril 2012.

MASTERPOL ADESIVOS, Catálogo Masterpur IE30 Disponível em:  
<<http://www.masterpol.com.br/arearestrita>>. Acesso em 24 abril 2012.

MASTERPOL ADESIVOS, Catálogo Masterpox IE45 Disponível em:  
<<http://www.masterpol.com.br/arearestrita>>. Acesso em 24 abril 2012.

PETRIE, E.M., Epoxy Adhesive Formulations, 1<sup>a</sup> ed. United States of America, 2006.

QUINI, J.G., Adesivos Estruturais Uretânicos Aplicados a Combinações de Compósitos, Plásticos e Metais. 2011. Tese de Doutorado – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.

QUINI J.G., Injeção de poliuretano em concreto, Poliuretano Tecnologia & Aplicações, ano X, N 49, 2012

VILAR, D.W., *Química e Tecnologia dos Poliuretanos*, 3<sup>a</sup> ed., Rio de Janeiro, 2002, cap. 1, Reagentes e Fundamentos.