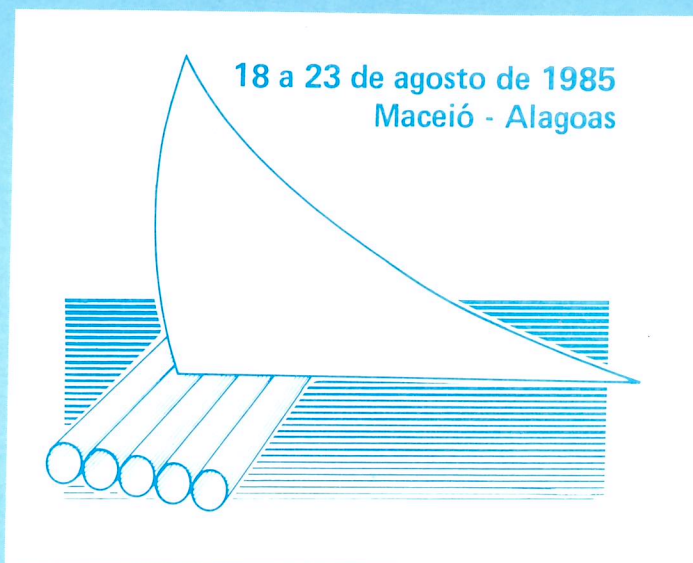




ABES – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

13^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

107

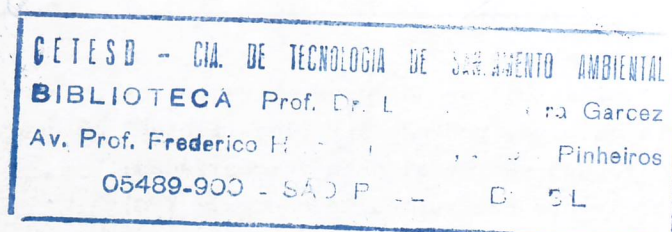
**UTILIZAÇÃO DO PITOT "S"
NA AMOSTRAGEM ISOCINÉTICA
EM FONTES ESTACIONÁRIAS**



UTILIZAÇÃO DE MEMBRANAS SINTÉTICAS EM ATERROS INDUSTRIAIS

Luzia Mitiko Saito
Eng.^a Química
Maria Laís Guzzo Leão
Eng.^a Civil
Pedro Penteado de C. Neto
Eng.^o Civil e Sanitarista
DIVISÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

6701
Sa28u
031207
Ex.2



INTRODUÇÃO

A disposição de resíduos industriais perigosos sobre o solo geralmente se dá em aterros industriais, os quais têm por finalidade impedir que os poluentes ou os produtos de sua de composição sejam liberados no meio ambiente por dissolução e arraste nos fluxos líquidos descendentes (percolado) a que os aterros estão sujeitos.

Desse modo, os aterros devem ser localizados de forma a tirar o máximo proveito dos fatores geológicos responsáveis por uma atenuação dos poluentes ou, então, ser projetados para superar as desvantagens de locais menos favoráveis.

Os revestimentos ou impermeabilizações de locais de disposição de resíduos têm, então, por finalidade evitar que os constituintes poluentes dos resíduos atinjam e contaminem o lençol freático ou as águas superficiais.

Dentre os diversos tipos de revestimento atualmente existentes, podemos incluir os solos (Ex.: bentonita e solos compactados), revestimentos compostos (Ex.: concreto asfáltico hidráulico, solo asfáltico, selantes betuminosos, membranas asfálticas e solo cimento), revestimentos aspergidos "in loco" (Ex.: asfalto soprado a ar, asfalto emulsificado, asfalto modificado por uretano e latex de borracha e de resina), selantes de solo, revestimentos de absorventes químicos e membranas sintéticas.

O presente trabalho reúne dados sobre os diversos tipos de membranas sintéticas existentes, apresentando suas características, vantagens e desvantagens, formas de emenda, fatores que contribuem para a ocorrência de falhas nas mesmas, compatibilidade com resíduos, bem como informações sobre a instalação de membranas nos locais de disposição.

MEMBRANAS SINTÉTICAS

As membranas sintéticas são feitas a partir da combinação de um polímero bruto com diversos ingredientes, tais como negro-de-fumo, pigmentos, cargas, plastificantes, agentes de formação de ligações cruzadas, antidegradantes, biocidas e outros.

CLASS	
A FOR	
NBO	31207 ex. 2.

Entre os polímeros que atualmente vêm sendo empregados para a confecção de membranas flexíveis para uso em instalações de disposição de resíduos, incluem-se os seguintes tipos:

- . borracha butílica
- . borracha de epicloridrina (ECO)
- . borracha de nitrila
- . borracha de etileno-propileno (EPDM)
- . cloreto de polivinila (PVC)
- . elastômeros termoplásticos
- . neopreno (borracha de cloropreno)
- . polietileno
- . polietileno clorado (CPE)
- . polietileno clorossulfonado (CSPE)
- . poliolefinas elastificadas (ELPO)
- . terpolímero de etileno-propileno (EPT)

Tratam-se de borrachas e plásticos que diferem entre outros fatores, em polaridade, com posição básica e resistência química, podendo ser classificados em quatro tipos:

- . borrachas (elastômeros), que são geralmente vulcanizadas;
- . plásticos, que são geralmente não vulcanizados (ex.: PVC);
- . plásticos que apresentam uma cristalinidade relativamente alta (ex.: poliolefinas) e
- . elastômeros termoplásticos que não necessitam de vulcanização.

A maior parte das membranas atualmente fabricadas é baseada em compostos poliméricos não vulcanizados e de ligações não cruzadas que são, portanto, termoplásticos. Mesmo que um determinado polímero seja quimicamente mais resistente na forma vulcanizada, como o polietileno clorado (CPE) e o polietileno clorossulfonado (CSPE), ele é geralmente fornecido sem vulcanização, pois, nesta forma, é mais fácil a execução de emendas e reparos seguros das membranas em campo. Membranas de polímeros termoplásticos podem ser emendadas a quente ou por solventes, particularmente por um solvente que contenha o próprio polímero dissolvido para aumentar a viscosidade e reduzir a taxa de evaporação (adesivos em solução).

As membranas flexíveis podem também ser fabricadas com reforço de textura, através da laminação de um tecido entre camadas do material base. Os tecidos de reforço disponíveis variam quanto ao tipo de material e resistência. Entre os mais comumente usados estão o náilon, o poliéster, o polipropileno e a fibra de vidro. A seleção do tipo de tecido a ser empregado depende da composição química do resíduo a ser contido, da declividade do local de disposição e dos esforços aos quais a membrana estará sujeita.

Entre as vantagens decorrentes da confecção de uma membrana com reforço de estrutura, incluem-se uma redução potencial da sua espessura total, um aumento de resistência à tração, à punção, à deformação, à deterioração por ozona e à percolação, além de um acréscimo de estabilidade dimensional e de capacidade de carga eletrostática.

As principais desvantagens das mantas reforçadas são: baixa resistência à ruptura, menor capacidade de ajuste às irregularidades do solo, menor flexibilidade e um aumento de custo em relação às membranas não reforçadas da ordem de 30 a 60%.

Os dois métodos básicos usados na manufatura de membranas poliméricas são: calandragem e extrusão. A calandragem, processo mais comumente empregado, é usada na formação tanto de membranas com reforço de textura como sem reforço, enquanto que a extrusão é utilizada apenas para fazer membranas sem reforço de tecido.

A espessura das membranas varia de 0,5 a 3,0 mm, com a maior parte situando-se entre 0,5 e 1,5 mm.

Após a calandragem ou extrusão, as membranas formadas podem ser emendadas na própria fábrica formando painéis, cujos tamanhos são limitados pelo peso e conseqüente capacidade de manuseio em campo. Estas emendas são usualmente mais confiáveis que as efetuadas em campo, uma vez que se processam sob condições cuidadosamente controladas.

As membranas flexíveis podem, também, ser classificadas em passíveis e não passíveis de exposição ao tempo. As passíveis de permanecer expostas, sem qualquer cobertura, são formuladas com materiais que resistem à exposição a radiação ultra-violeta e ozona por longos períodos de tempo. Nesta categoria estão as borrachas sintéticas, butílica e EPDM. Entre as que necessitam de proteção adequada, incluem-se as de PVC, polietileno e polipropileno e, embora estas membranas não resistam ao ataque de ultra-violeta e ozona tão bem quanto as outras, se cobertas com uma camada protetora de solo ou se sofrerem alterações em suas formulações, podem proporcionar serviços bastante satisfatórios em inúmeras aplicações.

A vida útil da maior parte das membranas passíveis de exposição ao tempo pode ser estimada de 20 a 25 anos ou mais, sob exposição atmosférica normal, enquanto que as outras podem apresentar um desempenho satisfatório por 10 a 15 anos, sob condições similares.

Esta designação não indica necessariamente que um grupo ou o outro tenha propriedades físicas superiores para todas as aplicações. Uma membrana que necessita de cobertura de proteção pode ter resistência química, por exemplo, que se adapta a uma aplicação específica tão bem ou até melhor que uma manta que não necessita de proteção.

A seguir é apresentado um perfil de alguns dos materiais poliméricos mais comumente usados na fabricação de membranas flexíveis. Variações nas formulações dos mesmos podem resultar em mantas que serão mais adequadas a uma determinada aplicação que outras feitas do mesmo material polimérico. A incorporação de plastificantes, tecidos e resinas, por exemplo, alteram as propriedades físicas e químicas do material laminado resultante, que podem, por esta razão, diferir notadamente daquelas do polímero de base original.

Borracha butílica

A borracha butílica é um copolímero de isobutileno (97%) com pequenas quantidades de isopreno, introduzido para propiciar uma vulcanização.

É extremamente impermeável à água e mantém sua flexibilidade durante toda a sua vida útil, com alta tolerância aos extremos de temperatura. Tem boa resistência ao envelhecimento, à radiação ultra-violeta e à ozona. Alguns compostos recentes contêm pequenas quantidades de borracha de etileno-propileno (EPDM) para melhorar a resistência à ozona. Apresenta, ainda, resistência à tração, à ruptura e à punção e, alongamento satisfatório.

Uma de suas desvantagens é a baixa resistência a hidrocarbonetos e solventes halogenados e aromáticos mas, no entanto, é resistente a óleos e gorduras animais ou vegetais.

As mantas de borracha butílica têm também uma maleabilidade insatisfatória e a obtenção de emendas perfeitas, principalmente em campo, continua a ser um problema, pois são necessários adesivos vulcanizantes de cura a temperatura ambiente. É um material altamente confiável que vem sendo utilizado há mais de vinte anos na armazenagem de água potável.

Borracha de epícloridrina

Incluídos nessa classificação estão dois elastômeros baseados em epícloridrina, que são poliésteres alifáticos saturados, com alto peso molecular e com cloro metila ao lado da cadeia. Os dois tipos incluem um homopolímero e um copolímero de epícloridrina e óxido de etileno. Esses materiais são vulcanizados com uma variedade de substâncias que reagem difuncionalmente, com o grupo clorometila, incluindo diaminas, uréia, tiouréia, 2-mercaptoimidazolina e sais de amônio.

O elastômero de epícloridrina vulcaniza-se apresentando as seguintes características: resistência a solventes orgânicos, combustíveis e óleos, a tensões e tração, à ozona e ao tempo, e baixa permeabilidade a gás e vapor de água.

A borracha de epícloridrina tem grande tolerância a temperaturas extremas, mantendo sua flexibilidade mesmo nestas condições, ao longo de sua vida útil. O homopolímero tem uma a

plicação em temperaturas entre 18 e 163°C. O copolímero propicia um aumento de flexibilidade a baixas temperaturas e a sua utilização é recomendada para temperaturas entre 5°C e 149°C.

Os elastômeros de epícloridrina podem ser emendados ou colados a temperatura ambiente com adesivos vulcanizantes.

Borracha de etileno-propileno (EPDM)

Esta borracha sintética é um terpolímero de etileno, propileno e pequena quantidade de um monômero de dieno que apresenta duplas ligações na cadeia do polímero. Essas duplas ligações são posições para vulcanização da borracha e, como a insaturação está do lado da cadeia da molécula do polímero e não da cadeia principal, são excelentes as resistências à oxidação, a produtos químicos e ao envelhecimento.

É um composto altamente flexível que resiste aos raios ultra-violeta, à abrasão e à ruptura e tem boa tolerância aos extremos de temperatura.

Como o EPDM é uma borracha a base de hidrocarbonetos, como a butila, apresenta uma excelente resistência à absorção e penetração de água. Entretanto, não é recomendado para solventes de petróleo (hidrocarbonetos) ou para solventes halogenados ou aromáticos.

É também resistente a concentrações diluídas (10% em peso) de ácidos, álcalis, silicatos, fosfatos e salmoura.

As membranas de EPDM são geralmente baseadas em compostos vulcanizados, mas também são disponíveis como termoplásticos, ambas as formas manufaturadas com ou sem reforço de textura.

Uma atenção especial deve ser destinada às emendas e colagens; as membranas vulcanizadas requerem o uso de adesivos especiais e as termoplásticas são emendadas por métodos térmicos.

Cloreto de Polivinila (PVC)

O cloreto de polivinila é um polímero termolástico, produzido por qualquer um dos vários processos de polimerização do monômero de cloreto de vinila.

As membranas poliméricas baseadas em PVC são os materiais impermeabilizantes mais largamente utilizados. A maior parte delas é manufaturada sem reforço de estrutura, mas pode, também, ser fabricada com incorporação do mesmo.

Os compostos de PVC contêm de 30 a 50% de um ou mais plastificantes para tornar a membrana flexível como borracha e, contêm, de 1 a 5% de estabilizantes químicos e quantidades variadas de outros aditivos. Há uma grande variedade de plastificantes que podem ser empregados em PVC, dependendo da aplicação e das condições de trabalho às quais a membrana será submetida.

O polímero de PVC geralmente se comporta bem no campo; entretanto, os compostos plastificantes das membranas de PVC têm se deteriorado, presumivelmente devido à biodegradabilidade dos mesmos. Além disso, alguns plastificantes são, em parte, solúveis em água.

Nas exposições aos ventos, luz solar e calor, as membranas de PVC podem se deteriorar consideravelmente devido à perda dos plastificantes e à degradação do polímero. Entretanto, se forem adequadamente cobertas podem proporcionar um serviço bastante satisfatório e longo. Apresentam boa resistência a muitos produtos químicos inorgânicos, mas são atacadas por vários produtos químicos orgânicos, particularmente hidrocarbonetos, solventes e óleos. Têm, também, propriedades de resistência à tração, punção, abrasão e alongamento. Tornam-se mais rijas a baixas temperaturas, o que faz a instalação e manutenção das mesmas mais difíceis nestas condições. São relativamente fáceis de emendar com colas a base de solventes, a

desivos, aquecimento e métodos dielétricos.

Elastômeros termoplásticos (TPE)

Os elastômeros termoplásticos constituem uma classe relativamente nova de materiais flexíveis, englobando uma grande variedade de composições poliméricas, desde materiais altamente polares, como os elastômeros de poliéster, até os não polares, tais como os polímeros de etileno-propileno.

Esses polímeros não são vulcanizados e são processados a temperaturas relativamente altas, nas quais são plásticos; quando são resfriados a temperatura ambiente, comportam-se como borrachas vulcanizadas.

Produtos feitos com esses polímeros apresentam uma limitação de uso quanto à temperatura, a qual, entretanto, é substancialmente superior às temperaturas encontradas nos locais de disposição de resíduos.

As misturas de elastômeros termoplásticos de borracha de nitrila com PVC têm resistência à tração, ao tempo e à ozona, porém o seu manuseio se torna difícil em baixas temperaturas, o que não impede a sua utilização.

Da mesma forma que as mantas de outros polímeros termoplásticos, as de elastômeros termoplásticos podem ser coladas a quente e facilmente reparadas, entretanto, sua durabilidade em contato com vários produtos químicos está ainda por ser testada.

Neopreno ou policloropreno

O neopreno é uma borracha sintética contendo cloro e muito semelhante à borracha natural em flexibilidade e resistência. No entanto, é superior quanto à resistência a óleos, intempéries, ozona e radiação ultra-violeta. É extremamente resistente à punção, abrasão e danos mecânicos.

Este composto é usado principalmente para a contenção de resíduos com traços de hidrocarbonetos e mostra-se satisfatório com certas combinações de óleos e ácidos para as quais outros materiais não apresentam um bom desempenho ao longo do tempo.

As membranas de neopreno são vulcanizadas e, conseqüentemente, requerem adesivos comuns ou vulcanizantes para as emendas.

Polietileno

O polietileno é um polímero termoplástico baseado em etileno, que é fabricado em dois tipos principais: polietileno de baixa densidade (LDPE) e polietileno de alta densidade (HDPE).

As propriedades de um polietileno dependem consideravelmente de sua densidade e cristalinidade. Polímeros de polietileno de alta densidade apresentam boa resistência a óleos e solventes e baixa permeabilidade a vapores de água e gás. Os polietilenos claros se degradam rapidamente quando expostos ao tempo, mas a adição de 2 a 3% de negro-de-fumo pode aumentar a resistência à radiação ultra-violeta. Esta deficiência pode ser superada através de uma cobertura protetora de solo.

Os polietilenos, em sua maior parte, não necessitam de aditivos, tais como plastificantes e cargas.

Ambos os tipos de polietileno têm sido usados como revestimentos. As membranas de polietileno de baixa densidade, não reforçadas, vêm sendo empregadas há cerca de 20 anos na impermeabilização de canais e lagoas. Têm se mostrado de difícil manuseio e colagem em campo. São também puncionadas facilmente por impacto, mas apresentam boa resistência ao punçionamento quando adequadamente cobertas. Apenas recentemente os polietilenos de alta den

sidade têm sido apresentados na forma de membranas.

Equipamentos especiais de colagem vem sendo desenvolvidos para produzir emendas seguras tanto na fábrica como em campo.

Poliétileno clorado (CPE)

Este polímero, de desenvolvimento relativamente recente, é um termoplástico essencialmente flexível, produzido por uma reação química entre cloro e polietileno de alta densidade. Uma vez que é um polímero completamente saturado (sem ligações duplas), não é suscetível ao ataque de ozona e resiste bem às intempéries.

Os compostos de CPE apresentam boa resistência à tração, alongamento e à radiação ultravioleta, assim como a diversos produtos químicos tóxicos e corrosivos e a hidrocarbonetos. Como contêm pouco ou nenhum plastificante, apresentam boa resistência ao crescimento de fungos, bolor e bactérias. São utilizáveis a baixas temperaturas e não são voláteis. Entretanto, as membranas de CPE dilatam-se em presença de altas concentrações de hidrocarbonetos aromáticos e óleos.

O polietileno clorado pode ser combinado com outros plásticos e borrachas conservando, ainda, a maioria das suas características desejáveis, tornando-se um material de base para uma grande variedade de membranas destinadas a aplicações específicas. Tem sido combinado de forma bastante satisfatória, com polietileno, PVC, resinas de acrilonitrila, butadieno e estireno, e diversas borrachas sintéticas.

As membranas de CPE não são geralmente vulcanizadas e, por isso, podem ser emendadas por adesivos em solução, adesivos a base de solventes ou aplicadas a quente.

Poliétileno clorossulfonado (CSPE)

É uma borracha sintética feita pela clorossulfonação de polietileno que pode ser usada vulcanizada ou não. Entretanto, as membranas dessa borracha são geralmente baseadas em compostos não vulcanizados, contendo pelo menos 45% de borracha, sendo que a maior parte delas é manufaturada com reforço de tela de náilon ou poliéster.

Depois das membranas de PVC, são as mais usadas para impermeabilização, apresentando excelente resistência ao sol, à ozona e às intempéries, bem como aos extremos de temperatura.

São altamente resistentes a uma grande variedade de produtos químicos, por exemplo ácidos e álcalis, mostrando uma resistência moderada a óleos.

Apresentam boa resistência ao desenvolvimento de bolor, fungos e bactérias e ao punção, mas, entretanto, têm uma resistência à tração relativamente baixa.

A emenda poderá ser facilmente efetuada tanto na indústria como em campo. Nesta operação são utilizados adesivos em solução, adesivos a base de solventes, adesivos aplicados a quente e sistemas que envolvem o aquecimento dielétrico.

Polioléfinas elastificadas (ELPO)

As poliolefinas elastificadas são uma mistura de poliolefinas cristalinas e elásticas. Trata-se de um revestimento termoplástico, preto, não vulcanizado, que pode ser facilmente emendado no campo ou na indústria com um adesivo aplicado a quente, especialmente desenvolvido para este fim. Apresenta baixa densidade e é altamente resistente às intempéries, álcalis e ácidos. As membranas não são estruturadas e são fabricadas por extrusão.

Algumas dificuldades têm sido encontradas com as membranas de poliolefinas elastificadas em ambientes com baixa temperatura e ventos, na presença de óleos, e na adesão a estruturas existentes.

A tabela nº 1, apresentada a seguir, sumaria as características, vantagens e desvantagens

gens de algumas membranas sintéticas.

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS, VANTAGENS E DESVANTAGENS DE DETERMINADAS MEMBRANAS SINTÉTICAS

MATERIAL	CARACTERÍSTICAS	VANTAGENS	DESVANTAGENS
BORRACHA BUTÍLICA	Copolímero de iso butileno com pequenas quantidades de isopreno	Baixa permeabilidade a vapor d'água e gás; estabilidade térmica; resistência a intempéries e à ozona; resistência à tração, ruptura e punção.	Baixa resistência a solventes de hidrocarbonetos e óleos de petróleo. Difícil para emendar ou reparar
BORRACHA DE EPICLORIDRINA	Poliéster alifático saturado de alto peso molecular com clorometila nas cadeias laterais	Resistência à tração, ruptura e ao desgaste por intempéries; estabilidade térmica; baixa permeabilidade a gás e vapor d'água; resistência a hidrocarbonetos, solventes, combustíveis e óleos.	Difícil para emendar ou reparar em campo
BORRACHA DE ETILENO-PROPILENO (EPDM)	Família de terpolímeros de etileno, propileno e hidrocarboneto não conjugado	Resistência à ozona, radiação ultra-violeta ao envelhecimento, à abrasão, à ruptura e à absorção e penetração de água; tolerância aos extremos de temperatura; alta flexibilidade; resistência a concentrações diluídas de ácidos, álcalis, silicatos, fosfatos e salmoura.	Não é recomendada para solventes de petróleo e solventes halogenados. Difícil para emendar ou reparar.
CLORETO DE POLIVINILA (PVC)	Polímero do monômero de cloreto de vinila	Resistência à tração, punção, abrasão e alongamento; boa resistência a inorgânicos; facilidade para emendar.	É atacada por muitos orgânicos incluindo hidrocarbonetos, solventes e óleos; não é recomendada para exposição às intempéries e à radiação ultra-violeta.
ELASTÔMEROS TERMOPLÁSTICOS	Classe de materiais poliméricos relativamente novos, variando de altamente polar a não polar	Resistência à tração, às intempéries e à ozona; excelente resistência a óleos, combustíveis e água	Não há informações disponíveis
NEOPRENO	Borracha sintética baseada em cloropreno	Resistência a óleos, intempéries, ozona e radiação ultra-violeta; resistência à punção abrasão e danos mecânicos	Difícil para emendar ou reparar
POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE	Polímero termoplástico baseado em etileno	Resistência a óleos e solventes; baixa permeabilidade a vapores d'água e gás; resistência às intempéries e altas temperaturas	Sujeita a rachaduras e à punção. Difícil para emendar e manusear em campo
POLIETILENO CLORADO (CPE)	Polímero obtido pela reação entre cloro e polietileno de alta densidade.	Resistência à tração, alongamento, à ozona, às intempéries e à radiação ultra-violeta. Resistência a muitos produtos químicos inorgânicos.	Não é recomendada para hidrocarbonetos aromáticos e óleos.
POLIETILENO CLOROSULFONADO (CSPE)	Família de polímeros resultantes da reação de polietileno com cloro e dióxido de enxofre	Resistência à ozona, radiação ultra-violeta, intempéries e aos extremos de temperatura; resistência a ácidos e álcalis; resistência à punção. Facilidade para emendar.	Baixa resistência à tração. Baixa resistência a óleos.

FATORES QUE CONTRIBUEM PARA A OCORRÊNCIA DE FALHAS EM MEMBRANAS

As falhas em membranas podem ser causadas por circunstâncias físicas e/ou químicas, ou ainda biológicas. As falhas físicas são mais frequentemente relacionadas com a sub-base, com problemas relativos à compactação, recalque diferencial, deslizamentos, pressões hidrostática e de gás; as falhas químicas são função da compatibilidade da membrana com o resíduo e as biológicas referem-se ao ataque microbiano a que determinadas membranas podem estar sujeitas.

Falhas físicas

Há várias formas de uma membrana avariar-se devido a processos físicos e fadiga, podendo cada tipo específico aplicar-se ou não a uma determinada membrana.

. Punção: é normalmente devida a objetos cortantes, tais como pedras, aparas metálicas, raízes de árvores e outros. Pode também ser decorrente de operações, mas, neste caso, pode ser consideravelmente reduzida mediante procedimento de operação adequado. Tocas de animais, ou animais à procura de água ou alimento, podem também, eventualmente, causar punção.

. Ruptura: é similar à anterior, quanto à sua ocorrência. Devido à espessura relativamente pequena das membranas poliméricas, se comparadas a de solos e de outros revestimentos, sua resistência a avarias nesta dimensão é bastante reduzida. As rupturas localizadas podem ser resultantes de muitos ciclos de tensão - relaxamento - tensão, nos quais a membrana foi, gradativamente, perdendo resistência.

. Deformação: é o termo usado para descrever uma extensão gradual de um material sob uma carga sustentada. Os principais fatores intervenientes na mesma são a microestrutura do material, nível de fadiga e temperatura. A significância deste tipo de falha é de difícil detecção e controle, podendo ocorrer não só nas membranas sintéticas como em qualquer tipo de revestimento.

. Rachaduras decorrentes de ciclos de congelamento-descongelamento: não se trata de uma falha localizada e sim geral. Durante o congelamento, ocorre um aumento de volume dos líquidos contidos nos poros, aumentando esses espaços o que propicia maior facilidade para passagem de líquidos quando do descongelamento.

. Rachaduras decorrentes de ciclos de umedecimento-secagem: as membranas poliméricas são também afetadas de forma adversa pelos ciclos de umedecimento-secagem, mas em extensão bem menor do que as argilas, onde este tipo de falha é mais comumente observado. O ciclo de umedecimento-secagem causa expansão e contração dos materiais, ocasionando uma diminuição de força e acréscimo de permeabilidade. No caso das argilas, a contração causada pela secagem é altamente destrutiva à sua estrutura coesiva.

. Recalque diferencial: é um fenômeno de fadiga localizada. Quanto maior for a espessura e elasticidade do revestimento, maior será a sua tolerância a este efeito. Este tipo de acomodação pode causar danos nas membranas sintéticas e em todos os tipos de revestimentos, e pode ser diminuído mediante análises geológicas prévias do solo do local de disposição e a elaboração de projeto adequado.

. Fadiga térmica: é resultante da diferença de temperaturas às quais o material de revestimento está sujeito e da alteração de temperatura, quando esta for suficiente para causar uma mudança de fase do material. Especialmente nas membranas poliméricas, esta variação de temperatura pode causar alteração de volume, devido à expansão ou à contração térmica, ou mudança de fase.

. Pressão hidrostática: é considerada quando o suporte estrutural de uma sub-base for afetado por tubulações, escoamento, recalques, etc. O efeito da pressão hidrostática exercida sobre membranas é devido à drenagem inadequada sob a mesma.

. Abrasão: a ação contínua da abrasão em um revestimento tem um efeito significativo ao longo do tempo. A abrasão produzida pelo vento é uma importante consideração a ser feita, particularmente em regiões áridas, pois as partículas de areia carregadas pelo vento têm um efeito destrutivo sobre membranas.

Falhas biológicas

O principal fator concorrente para falhas biológicas é o ataque microbiano, no qual os micróbios atacam o material e danificam ou destroem sua integridade estrutural e suas características de baixa permeabilidade. Os plastificantes usados em compostos poliméricos são particularmente suscetíveis ao ataque biológico.

Falhas químicas

Tendo em vista que substâncias químicas orgânicas e inorgânicas constituem a grande maioria dos resíduos perigosos a serem contidos nos locais impermeabilizados, as falhas químicas são de grande importância e significado.

. Dilatação: é o mais sério dos efeitos causados por resíduos em membranas sintéticas e pode ocasionar perda de resistência, alongamento e deformação, sendo mais aparente quando a membrana está em contato direto com os resíduos.

. Extração: membranas de materiais como o PVC, que contêm grandes quantidades de monômeros plastificantes, são muito suscetíveis à extração do plastificante e podem, portanto, tornar-se quebradiças e sofrer retração ou ruptura.

. Exposição ao ar livre: as mantas poliméricas que permanecem expostas sem receber qualquer camada de cobertura de proteção estão sujeitas a falhas por calor, radiações ultravioleta e infravermelha, oxigênio, ozona e umidade. Estes fatores geralmente atuam combinados na presença de oxigênio e umidade, que são os principais fatores contribuintes. Geralmente, as mantas tornam-se quebradiças, sofrem retração e ruptura.

O ozônio pode causar rachaduras em muitos polímeros, particularmente aqueles que contenham alguma ligação insaturada.

COMPATIBILIDADE DAS MEMBRANAS SINTÉTICAS COM RESÍDUOS

A resistência química de uma membrana refere-se à sua capacidade de suportar dois tipos principais de ataques químicos: a reação propriamente dita com os produtos químicos e a absorção dos produtos químicos. Uma membrana sintética com boa resistência a um determinado resíduo não reagirá com este nem o absorverá significativamente quando em contato com o mesmo. Se uma membrana tem pouca resistência a um determinado produto, ocorrerão reações e absorção com concomitante perda de propriedades físicas do material e, conseqüentemente, falha do mesmo.

Desta forma, a seleção de uma membrana para um local de contenção de resíduos deve começar por uma profunda caracterização dos resíduos industriais que por ela serão contidos, identificando-se os seus componentes químicos e suas respectivas concentrações.

Para a seleção final, devem ser processados ensaios de laboratório para se avaliar os efeitos de um resíduo específico sobre uma determinada membrana. Para tal, três tipos de testes podem ser considerados satisfatórios, a saber:

. Teste de imersão: tem como finalidade avaliar, sob condições aceleradas, a compatibilidade de membranas poliméricas com resíduos específicos. Para tal, amostras representativas de uma determinada membrana são imersas em resíduos com mais de 80% de água e os efeitos desta imersão sobre o peso, dimensões, composição e determinadas propriedades físicas das amostras são avaliadas em função do tempo de imersão.

. Teste da bolsa: tem como objetivo medir a permeabilidade de membranas poliméricas à água e a constituintes dissolvidos dos resíduos. Uma amostra do resíduo com mais de 80% de água é selada em uma pequena bolsa fabricada do material da manta a ser testada, a qual é, a seguir colocada em uma bolsa de plástico maior contendo água destilada ou deionizada. Um gradiente de concentração é então criado através da manta, o que resulta no movimento por osmose da água, íons e outros constituintes dissolvidos através da membrana. Periodicamente são tomadas medidas de peso e condutividade para se determinar respectivamente, a extensão do movimento de água pela membrana e do derrame do resíduo na água. As alterações sofridas pela manta são observadas e depois testam-se as suas propriedades físicas.

. Teste do tubo: destina-se a avaliar a flexibilidade de uma dada membrana sob condições que simulam as que ocorrem em situações reais. Os efeitos da exposição ao sol, as mudanças de temperatura, ao ozônio e a outros fatores climáticos podem ser avaliados assim como os efeitos de um determinado resíduo sobre uma membrana específica. A flutuação do nível do resíduo no tubo é particularmente significativa onde uma área da manta é sujeita tanto aos efeitos dos resíduos como aos climáticos. Estas condições alternantes são especialmente severas para o material da membrana e são comumente encontradas no campo.

EFEITOS DOS RESÍDUOS EM REVESTIMENTOS DE MEMBRANAS SINTÉTICAS

As informações disponíveis sobre os efeitos de resíduos em revestimentos de membranas sintéticas, obtidas em campo, são, ainda hoje, bastante limitadas. A maior parte das discussões existentes sobre o assunto baseia-se em experiências de laboratório e exposições simuladas.

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) iniciou em 1976 dois projetos de pesquisa para avaliar os efeitos de vários resíduos sólidos sobre diversos tipos de revestimentos. Um deles teve como intenção básica expor amostras de vários materiais comerciais de impermeabilização, incluindo membranas, a determinados resíduos perigosos, num período de alguns anos, sob condições que simulassem as situações reais, e se determinar a percolação através dos espécimes e as alterações nas propriedades físicas importantes de cada material de revestimento.

Quanto às membranas poliméricas, foram selecionados oito tipos:

- . borracha butílica reforçada;
- . polietileno clorado (CPE);
- . polietileno clorossulfonado, reforçado (CSPE);
- . poliolefinas elastificadas (ELPO);
- . borracha de etileno-propileno (EPDM);
- . neopreno, reforçado;
- . elastômero de poliéster, experimental e
- . cloreto de polivinila (PVC).

Seis tipos de resíduos perigosos foram escolhidos para este estudo:

- . ácido forte;
- . base forte;
- . resíduo de fundo de tanque de refinação de óleo;
- . resíduo de chumbo da produção de gasolina;
- . resíduo de hidrocarbonetos saturados e insaturados e
- . resíduo de praguicida.

Antes da seleção das combinações de membranas e resíduos, uma série de testes iniciais foi efetuada, através da imersão de pequenas amostras de membranas em vários resíduos, procurando-se analisar a possível utilização das mesmas nos testes de exposição a longo prazo.

A seleção final das combinações de membranas e resíduos foi feita, portanto, de modo que houvesse uma chance razoável de um período longo de exposição sem ocorrência de falhas

no material. Por exemplo, quando uma dada membrana polimérica dilatou-se muito em um resíduo aromático, esta combinação foi desprezada.

A seguir, as várias membranas selecionadas foram submetidas, basicamente, aos seguintes tipos de testes:

- . células de exposição direta: exposição unilateral aos resíduos;
- . testes de exposição ao tempo: pequenos tubos revestidos com membranas contendo resíduos e exposição em telhado;
- . absorção de água à temperatura ambiente e a 70°C e
- . bolsas de membranas contendo resíduos, colocadas em água deionizada: exposição unilateral.

Discussão geral dos resultados

Quando expostos a fluidos, a maioria dos materiais poliméricos, de ligações cruzadas ou não, tenderá a dilatar e sofrer alterações em algumas de suas propriedades.

Os principais fatores intervenientes na dilatação de materiais poliméricos são:

- . parâmetro de solubilidade;
- . agente de formação de ligações cruzadas do polímero;
- . cristalinidade do polímero;
- . estabilidade química e
- . constituintes solúveis no composto.

Os efeitos que os três primeiros fatores têm na dilatação das membranas testadas são ilustrados na figura 1.

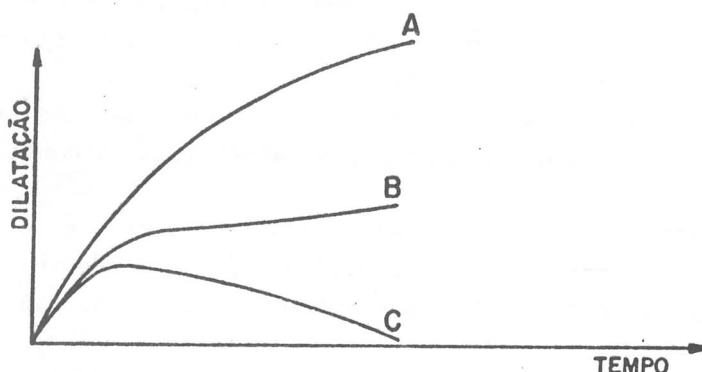


Figura 1 - Tipos de dilatação das membranas poliméricas

A dilatação de um material termoplástico num fluido com o qual ele é de certa forma compatível é representada na curva A, que indica que o material continuará se dilatando ao lonto do tempo sem que um patamar real seja atingido.

A dilatação de um material de ligação cruzada está representada na curva B, na qual ela atinge um patamar e muda levemente com o decorrer do tempo. O nível deste patamar é determinado pelo grau de entrecruzamento e pelo parâmetro de solubilidade do resíduo e do polímero.

A curva C representa um termoplástico plastificado ou borracha contendo óleo na qual o plastificante é lixiviado do polímero. Neste caso, há uma dilatação inicial e, depois, uma redução de dilatação. Em alguns casos pode ocorrer uma retração da membrana devido à perda do plastificante ou óleo.

Portanto, ao se selecionar polímeros ou compostos de borracha para trabalhar em um meio líquido, como os lixiviados dos resíduos, deve-se optar pelos que apresentam uma dilatação desprezível ou pequena.

A dilatação de um composto normalmente acarreta efeitos adversos que tornam o material inadequado para uso. Alguns desses efeitos são:

- . amolecimento;
- . perda de resistência mecânica e de tração;
- . perda de alongamento;
- . aumento de permeabilidade;
- . aumento potencial para deformação e
- . maior susceptibilidade à degradação do polímero.

Todos esses efeitos são prejudiciais ao desempenho das membranas, o que faz do fator de dilatação um indicador valioso da compatibilidade de uma membrana com um dado resíduo.

A retração pode também ser uma medida de compatibilidade para composições de membranas que são muito plastificadas. Por exemplo, no caso de compostos de PVC altamente plastificados, o plastificante pode lixiviar ou se difundir para fora da massa polimérica, tornando o composto rijo e quebradiço.

MEMBRANAS DISPONÍVEIS NO MERCADO

Com o objetivo de se conhecer os materiais atualmente disponíveis no mercado, passíveis de utilização como revestimento de locais de contenção de resíduos, foi empreendida uma pesquisa junto a diversos produtores de matérias-primas, fabricantes de membranas, instaladores e técnicos envolvidos com sistemas de impermeabilização.

Entre as membranas poliméricas, verificou-se que os seguintes tipos encontram-se disponíveis em linha comercial: borracha butílica, borracha de etileno propileno (EPDM), cloreto de polivinila (PVC) e polietileno clorossulfonado (CSPE). Alguns tipos de borracha como a natural, nitrílica, silicone e neoprene, que vêm sendo utilizadas para uso industrial como revestimentos e na confecção de juntas e guarnições especiais, encontram-se também disponíveis na forma de membranas mas, em geral, mediante encomenda.

Constatou-se também que determinadas membranas existentes podem sofrer alterações na sua formulação, composição ou forma de manufatura, para propiciar a contenção de um produto químico específico.

. borracha butílica: disponíveis em rolos de 30,0 m de comprimento x 1,0 m de largura e de 50,0 m de comprimento com largura de 0,10 a 0,40 m; as espessuras variam de 0,8 a 1,5mm.

. borracha de etileno-propileno (EPDM): apresentam espessuras de 0,8 mm e as mesmas dimensões das de borracha butílica.

. cloreto de polivinila (PVC): são encontradas nas espessuras de 1,0 e 1,5 mm, em rolos de 1,10 m de largura por 20,0 ou 25,0 m de comprimento.

. polietileno clorossulfonado (CSPE): disponíveis em espessuras de 0,8 a 1,5mm e larguras de 1,20 a 1,80 m.

INSTALAÇÃO DE MEMBRANAS

A instalação de uma membrana é tão importante quanto a sua seleção e deve sempre ser precedida de um detalhado processo de planejamento, projeto e construção da infra-estrutura necessária.

Considerações gerais de planejamento e projeto

Os fatores condicionantes do planejamento e do projeto de estruturas impermeabilizantes a base de membranas sintéticas são bastante variados, abrangendo desde as condições físicas do local até as características climáticas da região, passando pela geometria da obra que se quer impermeabilizar e pelos resíduos que serão ali dispostos.

Os principais fatores a serem considerados são:

. Tipo e textura dos solos "in situ"

A determinação da classificação, homogeneidade relativa, características físicas, mecânicas e químicas do solo natural é um aspecto que não pode ser desprezado. Os solos devem ser submetidos aos testes de : limites de Atterberg, granulometria, umidade de retração/inchamento, densidade, resistência, recalque, permeabilidade, conteúdo de matéria orgânica, mineralogia das argilas, capacidade de troca iônica e solubilidade.

. Características da sub-base

Um dos componentes mais importantes, comuns a todos os sistemas que empregam membranas, é a sub-base. Por ser a estrutura de suporte para as membranas, sua qualidade e integridade são fundamentais para um desempenho satisfatório de todo o sistema. Sub-bases inadequadas são responsáveis ou contribuem para a ocorrência de muitas falhas na instalação de membranas e na operação de aterros.

Uma sub-base adequada deve proporcionar um suporte relativamente sólido e duro para o material de impermeabilização e seu desempenho depende da carga à qual estará sujeita, das suas características, da variação do nível do lençol freático, da estabilidade dos taludes, do mau funcionamento da impermeabilização e de atividades sísmicas.

As características mais importantes dos materiais de sub-base são: recalque (relação entre pressão e deformação), consolidação (relação entre tempo e deformação), resistência e solubilidade ácida. Estas características são determinadas por testes de campo e de laboratório.

. Características do fundo e das superfícies laterais

Na maioria das obras que receberão membranas, quanto mais plana e regular for a superfície da sub-base, dos taludes e do fundo, mais fácil e segura será a colocação das mesmas. As maiores partículas aceitas no solo da sub-base devem apresentar diâmetros da ordem de 2 cm; grandes pedregulhos, seixos e matacões devem ser evitados. Quando isto não for possível, deve-se aplicar um forro de geotêxtil sobre a superfície do solo.

. Sub-solo de rocha

Quando o sub-solo é rochoso e a sua remoção ou moldagem se fizerem necessárias, devem-se considerar cuidadosamente os custos dessas operações. Além disso, o aparecimento de grandes partículas angulares e superfícies irregulares dificultam a colocação da membrana, favorecendo a ocorrência de falhas.

. Estabilidade dos materiais

Os materiais utilizados devem apresentar características estáveis sob diferentes condições de carregamento e diferentes condições climáticas, devendo-se levar em conta as possíveis reações de um dado solo em função das alterações de umidade e resistência, e a escolha dos ângulos de inclinação dos taludes. De uma maneira geral, os taludes com inclinação de 1(V):3(H) mostram-se estáveis e apropriados à colocação de membranas.

Drenagem

Os sistemas de drenagem superficial e sub-superficial e as estruturas de controle de nível devem ser planejados com o objetivo de minimizar danos potenciais à impermeabilização. Deve ser analisada a possibilidade de ocorrência de gás abaixo da membrana e, neste caso, prever-se um sistema de ventilação adequado.

. Geometria do local a ser impermeabilizado

A geometria retangular é a forma mais econômica para se efetuar uma impermeabilização. Lados curvos ou formas irregulares contribuem, normalmente, para um aumento de custos de instalação e de pontos sujeitos a falhas.

. Temperatura ambiente

As variações de temperatura, principalmente onde estas são pronunciadas, devem também ser consideradas. Materiais com grande resistência a fissuras em temperaturas baixas, por exemplo, podem ser ineficientes para regiões onde a temperatura média é elevada.

. Vegetação local

A vegetação do local pode comprometer a integridade da impermeabilização devido ao seu crescimento ou à geração de gases, devendo ser removida e, em certos casos, proceder-se a uma esterilização do solo com herbicida apropriado.

. Largura das bermas de equilíbrio

É determinada pelo seu peso e pela inclinação dos taludes. A largura mínima de topo sugerida é de 3 metros, a fim de permitir um espaço suficiente para a operação de equipamentos, abertura das trincheiras de ancoragem e manutenção e reparos ao longo do tempo.

. Entrada e saída de líquidos

Quanto menor o número de obras que penetram em uma área impermeabilizada, maior será a sua integridade. Se possível, canalizações de entrada e saída de líquidos devem ser projetadas para passar sobre o topo da obra. No caso da existência de estruturas atravessando a membrana (tubos, caixas de passagem) deve existir um perfeito selamento em torno das mesmas.

. Sistema de monitoramento das águas subterrâneas

É composto por poços situados a montante e a jusante do local impermeabilizado, de modo a possibilitar uma comparação entre uma água com qualidade natural (montante) e uma eventual água contaminada (jusante). O número de poços é dependente do tamanho da obra, do tipo do material estocado, da necessidade de se descobrir, o mais cedo possível, o escoamento de poluentes e da sensibilidade ambiental da área aos poluentes.

. Sistema de detecção de falhas

Algumas substâncias são tão potencialmente danosas que para serem dispostas em locais impermeabilizados podem requerer um sistema de detecção de falhas imediatamente abaixo da impermeabilização. Esse sistema envolverá, normalmente, duas impermeabilizações; se a superior romper ou furar, o material que percolar será coletado e removido através de uma camada permeável.

. Monitoramento das membranas

A execução de um programa de testes com amostras das membranas é um elemento importante na verificação do desempenho de uma instalação impermeabilizada. Este programa revelará as condições da membrana e os efeitos dos resíduos sobre suas propriedades físicas ao longo do tempo.

Colocação das membranas

Tanto as membranas quanto todos os equipamentos necessários à sua instalação requerem uma estocagem adequada. A maioria das membranas é embalada na forma de painéis dobrados ou rolos, que devem ser armazenados protegidos da luz solar, se possível à sombra.

Deve-se garantir que todas as obras necessárias para a colocação dos painéis estejam terminadas antes de movimentá-los do local de armazenamento para o de disposição. Portanto, antes da instalação dos mesmos em campo, é importante verificar se: a sub-base foi compactada e regularizada e não existe água parada sobre a mesma; o dente de ancoragem foi completamente em todo o perímetro da instalação e a terra escavada foi removida; todas as estruturas de concreto foram seladas em seu contorno e todas as estruturas de drenagem foram executadas.

Freqüentemente, inicia-se a colocação desdobrando-se ou desenrolando-se o painel no sentido do seu comprimento. Em seguida, ele é posicionado no local apropriado, cuidando-se para que seja fixado na posição correta, utilizando-se, para tal, sacos de areia. O próximo passo é a execução das emendas, seguida da ancoragem e da colocação de eventual camada de proteção sobre as membranas.

. Emendas de campo

Os painéis devem ser desdobrados ou desenrolados somente o suficiente para sobrepor a emenda nos painéis adjacentes. Normalmente, recomendam-se sobreposições de 10 a 30 cm.

As emendas de campo constituem um fator crítico na instalação de membranas, sendo absolutamente necessário que o fabricante recomende os procedimentos e os sistemas adesivos a serem empregados.

A tabela nº 2, apresentada a seguir, indica os tipos de materiais recomendados para a emenda das principais membranas.

O fator mais importante para a integridade das emendas, associado ao uso sob as condições de campo, é a compatibilidade entre o sistema adesivo e o material da membrana. As emendas apresentam melhor desempenho quando executadas a temperaturas superiores a 15,5°C.

Deve-se garantir que, quando da execução das emendas, as partes a serem coladas se encontrem perfeitamente limpas e secas, pois a presença de sujeira ou material estranho pode alterar as características de cura e colagem do adesivo, diminuindo a resistência da emenda e proporcionando falhas.

Após a colocação do adesivo, é necessária a aplicação de uma pressão sobre a emenda, devendo, portanto, a membrana estar sobre uma superfície seca, firme e lisa. Muitas vezes, utiliza-se uma tábua por baixo da sobreposição para se obter esta superfície.

Durante a execução das emendas toda a superfície deve ser lisa e comprimida uniformemente com rolos, e os adesivos devem ser aplicados e espalhados uniformemente. A existência de rugas será prejudicial ao desempenho da impermeabilização.

As emendas de campo devem começar do meio do painel para as pontas. Esta técnica reduz ao mínimo a extensão das rugas. Normalmente, os painéis são colocados de forma que as emendas tenham um sentido perpendicular ao pé da inclinação, o que minimiza a pressão sobre as mesmas.

TABELA 2 - EMENDAS RECOMENDADAS PARA MEMBRANAS SINTÉTICAS

TIPO DE MEMBRANAS	TIPO DE COMPOSTO	TIPOS DE MATERIAIS OU MÉTODOS USADOS PARA EMENDAS							
		Solven- tes	Adesivos em redução	Adesivos a base de sol- ventes	Adesivos de contato	Adesivos vulcani- zantes	Fitas adesivas *	Adesivos aplica- dos a quente	Aqueci- mento dielétrico**
Borracha butílica	Vulcanizado ou de ligação cruzada				*	*	*		
Borracha de Epícloridrina	Vulcanizado					*			
Borracha de Etileno Propileno (EPDM)	Vulcanizado ou de ligação cruzada				*	*	*		
Cloreto de Polivinila (PVC)	Termoplástico	*	*	*	*			*	*
Elastômeros Termoplásticos	Termoplástico							*	
Neopreno	Vulcanizado ou de ligação cruzada				*				
Polietileno clorado (CPE)	Termoplástico	*	*	*	*		*	*	*
Polietileno Clorossulfonado (CSPE)	Termoplástico	*	*	*	*		*	*	*
Polietileno de baixa densidade	Termoplástico				*			*	
Poliiolefinas elastificadas	Termoplástico				*			*	

(*) Material utilizado somente em campo

(**) Método utilizado somente em fábrica

4. Ancoragem

Para que a impermeabilização apresente um desempenho satisfatório, é essencial que se execute uma ancoragem adequada da membrana ao longo do perímetro da contenção.

A fixação da membrana se dá, geralmente, no topo do dique ou berma, utilizando-se do método de trincheira e aterramento ou através de ancoragem em estrutura de concreto. O primeiro sistema, devido a sua simplicidade e economia, é o mais utilizado. Outros tipos de ancoragem podem ser projetados dependendo de instruções do fabricante do material.

5. Cobertura de proteção

Normalmente, sobre as impermeabilizações com membranas flexíveis são executadas coberturas de terra que objetivam protegê-las contra danos mecânicos e de exposição ao tempo, assim como atuar como uma camada permeável para drenagem e coleta de lixiviados que são gerados durante o preenchimento do aterro.

Geralmente, esta camada tem uma espessura da ordem de 60 cm, ou mais. Seu dimensionamento é dependente da composição e propriedades da membrana, das condições climáticas, das características dos resíduos a serem confinados, da forma de operação prevista e do grau de

proteção do local contra animais e vandalismos.

Sempre que se prever tráfego de veículos ou de equipamentos sobre a impermeabilização, far-se-á necessária a execução desta camada de proteção.

. Controle de qualidade

O estabelecimento de um programa de controle de qualidade é uma parte vital do planejamento, projeto, construção e operação de instalações com impermeabilização de membranas, pois através dele pode-se garantir que os materiais usados e os trabalhos executados estão de acordo com as especificações. Existem três áreas específicas de controle de qualidade: a sub-base, as emendas e a selagem das penetrações através das membranas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na seleção de uma membrana sintética, para um local de disposição de resíduos, deve-se considerar que o material a ser utilizado deve atender aos seguintes requisitos:

- . resistir satisfatoriamente ao ataque de todos os produtos químicos aos quais estarão expostos, assim como ao envelhecimento, ao ozônio, à radiação ultra-violeta e aos microorganismos. Essas características devem ser comprovadas através de ensaios de laboratório;

- . apresentar resistência às intempéries para suportar os ciclos de umedecimento-secagem e congelamento-descongelamento;

- . ter adequada resistência à tração e apresentar flexibilidade e alongamento suficiente para suportar os esforços de instalação e de operação, bem como os de recalques da sub-base, sem apresentar falhas;

- . resistir à laceração, abrasão e punção de qualquer material pontiagudo ou cortante que possa estar presente nos resíduos;

- . apresentar facilidade para execução de emendas e reparos em campo, sob quaisquer circunstâncias e

- . ser o material mais econômico entre os que preencham satisfatoriamente as especificações necessárias.

A membrana escolhida deve ser de espessura uniforme e fornecida por um só fabricante para se garantir uma boa emenda e, quando do seu recebimento no local de disposição, deve ser convenientemente inspecionada pois não deve apresentar defeitos externos visíveis tais como rasgos, rachaduras, falhas, furos, bolhas, ondulações, beiras serrilhadas ou de corte não reto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DAVID W. SHULTZ and MICHAEL P. MICKLAS JR. *Placement Procedures for Various Impoundment Liners*, Solid Waste Management, July, 1982.
- FRED COPE, GALL KARPINSKI, JOHN PACEY and LEE STEINER - *Use of Liners for Containment at Hazardous Waste Landfills*, Pollution Engineering, March 1984.
- HENRY E. HAXO, ROBERT S. HAXO and RICHARD M. WHITE-MATRECON. INC., *Liner Material Exposed to Hazardous and Toxic Sludges*, Municipal Environmental Research Lab, Cincinnati, Ohio, Jun. 1977.
- MATRECON INC., 1981; *Lining of Waste Impoundment and Disposal Facilities*, SW-870 U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- PEDRO PENTEADO DE CASTRO NETO, JOSÉ PEDRO DE OLIVEIRA SOUZA, MARIA LAIS GUZZO LEÃO E LUZIA MITIKO SAITO - *Revestimentos para Locais de Disposição de Resíduos - Membranas Sintéticas*. CETESB, 1985.
- WILFORD S. STEWART - *State-of-the-Art Study of Land Impoundment Techniques*, Exxon Research and Engineering Co., Linden, N.J.

Data Angk. :
Temp. :
Uyutan :
Pres. : 0.3
Data Lamba. 25/09/95