



**COTEQ 244 - MANTAS TERMOCONTRÁTEIS DE ALTA RESISTÊNCIA
MECÂNICA PARA TUBULAÇÕES ENTERRADAS OU SUBMERSAS**
André Koebsch¹, André L. Lemuchi², Renata S.O. Ramos³

Copyright 2011, ABENDI

Paper presented at the 11th Conference on Equipment Technology.

The information and opinions contained herein are the sole responsibility of the author(s).

SINOPSE

A indústria de produção, transporte e distribuição de petróleo e gás tem gerado a necessidade de utilização de revestimentos externos de maior resistência à temperatura e aos esforços mecânicos para as tubulações enterradas ou submersas devido a fatores como a necessidade de produção em águas profundas, de bombear fluidos em temperaturas superiores às encontradas anteriormente, de técnicas de construção e montagem que geram condições mais agressivas ao revestimento e da necessidade de cruzar áreas urbanas, onde o método de instalação por perfurações dirigidas se popularizou. Sendo assim, a demanda por revestimentos mais resistentes como o polipropileno tripla camada aumentou consideravelmente e os fabricantes de revestimento, acompanhando esta tendência, desenvolveram sistemas compatíveis para fornecer às juntas de campo uma proteção anticorrosiva e mecânica similares às proporcionadas pelo revestimento aplicado em planta, oferecendo continuidade ao revestimento da tubulação. Além disto, estes revestimentos necessitam ser facilmente aplicáveis em campo, demandar menos equipamentos e acomodar as dificuldades de controle das variáveis que podem afetar os trabalhos em campo.

Revestimentos termocontráteis de polipropileno reticulado com adesivos a base de polipropileno foram desenvolvidos para tubulações revestidas em planta com polipropileno tripla camada e, a partir deste sistema, foi derivada uma família de mantas termocontráteis híbridas com filme externo de polipropileno reticulado combinado com diferentes tipos de adesivos para aplicações onde se necessita de maior resistência mecânica que a oferecida pelo tradicional filme de polietileno reticulado.

Este trabalho tem como objetivo mostrar o desenvolvimento, as propriedades e as características diferenciadas destes novos materiais, além de suas vantagens em relação aos revestimentos termocontráteis tradicionais.

1 Engenheiro Mecânico - PETROBRAS - ENGENHARIA-IEGEN/EGE/EDUT

2 Engenheiro Químico, Gerente Técnico para a América do Sul - CANUSA-CPS

3 Engenheira Química, Gerente de Vendas - IEC-INSTALAÇÕES E ENGENHARIA DE CORROSÃO LTDA .

1. Introdução

Naturalmente a indústria de revestimentos anticorrosivos para tubulações enterradas e submersas se orienta nas necessidades de proteção anticorrosiva e mecânica inerentes a cada tipo de aplicação, sendo que, atualmente, as tubulações de óleo e gás são as que demandam mais cuidados devido às características das suas diversas aplicações que podem variar ao extremo. Estas diferenças envolvem desde o tipo de construção e manuseio dos dutos aos tipos de terrenos e solos onde são enterrados ou profundidades e características das águas e leitos onde serão lançadas no caso de tubulações “offshore”, das diferentes faixas de temperaturas de operação aos sistemas de proteção catódica que atuarão durante sua vida útil.

Por outro lado, dutos de água e de produtos de mineração também demandam materiais de revestimento com alta resistência mecânica devido ao peso do fluido bombeado e os diâmetros envolvidos que combinados com as características dos solos e dos terrenos onde são instalados podem gerar condições muito agressivas de “soil stress”.

Parte dessa indústria destina-se a produzir sistemas e processos para garantir que as juntas de campo soldadas sejam protegidas de maneira a oferecer continuidade ao revestimento aplicado aos tubos em uma planta, onde os processos de instalação são bem controlados, praticamente independem das condições ambientais e o aplicador não necessita aderir a um cronograma de construção que muitas vezes pressiona para que os tempos de instalação e cura dos sistemas aplicados em campo sejam minimizados.

Importância fundamental para o desenvolvimento desses sistemas para juntas de campo é conhecer os sistemas instalados em planta e os requerimentos aplicados a estes para entender o que se requer para proteger as juntas, observando-se principalmente os seguintes pontos:

- A natureza química e a estrutura do revestimento de planta para buscar total compatibilidade entre este e o material aplicado às juntas, fornecendo continuidade ao revestimento da tubulação;
- Normas, especificações e expectativas das concessionárias para poder selecionar materiais que, depois de instalados, brindem propriedades de proteção anticorrosiva, resistência mecânica e em certos casos de isolamento térmico similares às resultantes do revestimento aplicado em planta e que cumpram com os requerimentos contidos nessas normas e especificações;
- Aplicabilidade em campo e otimização dos tempos de instalação e intervalo para o lançamento do duto quer seja em uma vala, por uma perfuração direcional ou em água do mar de maneira a facilitar o trabalho das empreiteiras durante as obras de construção e viabilizar o uso destes sistemas. Obviamente, cronogramas de construção de dutos em diferentes aplicações podem variar muito, sendo os projetos de aplicações “offshore” os que mais demandam neste sentido e fazem com que melhorias não só aos materiais e sistemas, mas também aos equipamentos e processos de instalação sejam continuamente buscadas para garantir competitividade ainda mantendo a repetibilidade e o controle de qualidade das instalações.

Assim, ao longo do tempo, revestimentos anticorrosivos aplicados em planta como sistemas de três camadas consistindo de um primer epóxi, geralmente em pó aplicado eletrostaticamente (FBE ou Fusion Bonded Epoxy), uma camada externa de proteção anticorrosiva formada por uma poliolefina (polietileno ou polipropileno) extrudada lateralmente ou concentricamente ao tubo sobre um adesivo copolimérico que permita boa aderência da poliolefina de natureza apolar ao epóxi polar, vieram substituir revestimentos anteriormente utilizados a base de esmaltes asfáticos, esmaltes de alcatrão de hulha e fitas aplicadas a frio. A **Figura 1** ilustra esquematicamente um sistema de revestimento tripla camada de poliolefina.

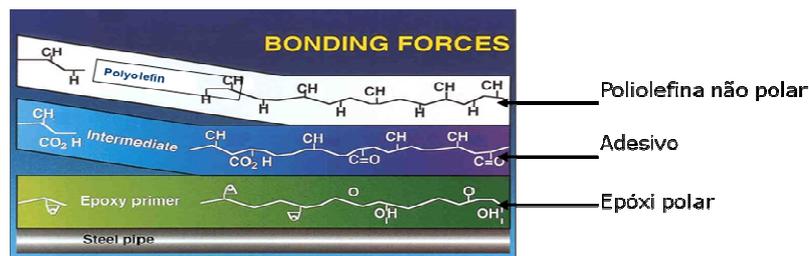


Figura 1. Sistema Tripla Camada de Revestimento Aplicado em Planta e Forças entre as Camadas.

Este tipo de revestimento vem sendo amplamente utilizado, principalmente na Europa e na América do Sul por apresentar excelente resistência mecânica, química, demandar menos gastos com proteção catódica durante a vida útil do duto e combinar as excelentes características de barreira à água das poliolefinas com a baixa permeabilidade a gases e a excelente resistência ao descolamento catódico dos primers epóxis.

Para oferecer continuidade e resistência similares a esses sistemas aplicados em planta, foram desenvolvidos sistemas de revestimento de juntas de campo com mantas termocontráteis utilizando um primer epóxi líquido, já que este facilita o manuseio e a aplicação em campo em relação ao FBE, conforme esquematizado na **Figura 2**.

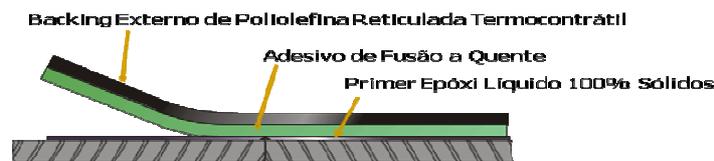


Figura 2. Sistema Tripla Camada de Revestimento para Juntas de Campo Soldadas

Estes sistemas espelham o revestimento de planta. O primer epóxi oferece continuidade ao FBE formando a primeira camada de proteção anticorrosiva do duto, o filme externo ou “backing” de poliolefina reticulada continua a camada externa de proteção mecânica aplicada aos tubos e o adesivo das mantas soma os importantes papéis de, além de apresentar propriedades de proteção anticorrosiva por barreira, aderir-se aos diferentes substratos envolvidos, apresentando total compatibilidade ao epóxi, ao adesivo copolimérico e à poliolefina.

O desenvolvimento e a combinação de diferentes tipos de adesivos e “backings” ou filmes externos é assunto da seção 3.

2. Propriedades importantes das poliolefinas utilizadas para a fabricação dos sistemas tripla camada aplicados em planta e em campo.

Para compor os sistemas tripla camada aplicados em planta ou os sistemas de mantas termocontráteis podem-se utilizar diferentes grades de polietileno, com diferentes faixas de densidades, ramificados ou lineares e com diferentes pesos moleculares e distribuição de pesos moleculares ou então grades de polipropilenos homopolímeros ou copolímeros de impacto, geralmente combinados a aditivos que melhoram seu desempenho de barreira à umidade e aos gases. Algumas propriedades importantes são influenciadas pelo aumento da densidade da poliolefina (que define como se processou sua cristalização e como se formaram as ramificações das cadeias), outras dependem mais do aumento do peso molecular (PM), como mostra a **Tabela 1**.

| Propriedade | Aumento da Densidade (cristalização) | Aumento do PM |
|------------------------------------|--------------------------------------|------------------|
| Facilidade de processamento | Não Altera | Diminui |
| Velocidade de extrusão | Não Altera | Mais Baixa |
| Permeabilidade a gases e solventes | Mais Baixa | Diminui pouco |
| Resistência a flexão e rigidez | Aumenta bastante | Aumenta pouco |
| Dureza superficial | Aumenta | Aumenta pouco |
| Resistência ao impacto | Baixa | Aumenta bastante |
| Resistência química | Aumenta | Aumenta |

Tabela 1. Alteração nas propriedades das poliolefinas de acordo com a densidade e com o peso molecular

A processabilidade das poliolefinas diminui com o aumento do peso molecular. Podemos citar como exemplo o caso dos polietilenos de ultra alto peso molecular (PEUAPM) que apresentam propriedades mecânicas (impacto, abrasão, etc) muito superiores às do polietileno de alta densidade (PEAD), mas são muito difíceis de processar, sendo praticamente impossível fazê-lo através de extrusoras comuns (polietilenos bimodais podem ser utilizados de forma a fornecerem propriedades similares as dos PEUAPM mantendo a facilidade de processamento).

Já a permeabilidade a gases e solventes depende mais do aumento da densidade, ou seja, do grau de cristalização do polímero que de seu peso molecular. O polietileno de alta densidade é mais denso que o polipropileno homopolímero sendo menos permeável. Pode-se contudo, utilizar aditivos como o Basell Adstif agregados ao polipropileno de maneira a melhorar suas propriedades de barreira. Outras propriedades como a flexão, a rigidez e a dureza também são muito mais governadas pela densidade do polímero que pelo PM das macromoléculas.

Para todas as outras propriedades mecânicas importantes como a resistência a tração, ao impacto e ao rasgo, o acréscimo no peso molecular influencia mais positivamente que o aumento da densidade.

A **Tabela 2** mostra uma comparação de propriedades entre diversas grades de polietileno com o polipropileno homopolímero.

| Propriedade | PP-H | PEAD | PEMD | PEBDL | PEBD |
|-----------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Temperatura de Fusão (°C) | 160-165 | 126-135 | 120-125 | 126 | 105-118 |
| Resistência à tração Kg/cm ² | 300-390 | 210-380 | 80-240 | | 40 - 140 |
| Alongamento na Ruptura (%) | 200-700 | 90-800 | 50-600 | | 90-800 |
| Ponto de Amolecimento Vicat (°C) | 90-95 | 60-80 | | | 45-60 |
| Condutividade Térmica (W/(mK)) | 0,21-0,22 | 0,38-0,51 | | | 0,32-0,40 |
| Densidade (g/cm ³) | 0,90-0,92 | 0,94-0,96 | 0,925-0,935 | 0,935 | 0,915-0,92 |
| Dureza Shore D | 62-70 | 58-63 | 45-60 | 38-60 | 45-51 |
| Dureza Rockwell | 75 - 92 | 65 | 15 | | 10 |
| Resistividade Volumétrica (ohm.m) | > 10 ¹⁶ | > 10 ¹⁵ | > 10 ¹⁵ | > 10 ¹⁵ | > 10 ¹⁵ |
| Rigidez Dielétrica (KV/mm) | 50-70 | 30-40 | 30-40 | 30-40 | 30-40 |
| Permeação a Vapor (g/m ² d) | 0,92-1,0 | 0,9 | | | 1,2 |
| Absorção de Água, 24 h (%) | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 |

Tabela 2. Propriedades típicas para polipropileno homopolímero e polietileno de diversas grades

O polipropileno que apresenta macromoléculas com estrutura linear e elevado grau de cristalização tem dureza consideravelmente superior aos polietilenos como visto na **Tabela 2**, resultando em materiais com maior rigidez e propriedades mecânicas superiores às do PEAD, como resistência ao impacto pelo menos duas vezes e meia maior, resistência à penetração superior e mantida em alta temperatura e maior resistência à abrasão.

Outro diferencial desta poliolefina é apresentar um ponto de fusão consideravelmente mais alto que o dos polietilenos e manter boas propriedades mecânicas quando sujeitos à temperaturas em que outras poliolefinas falhariam completamente.

Finalmente, uma outra característica de importância industrial é sua menor condutividade térmica, conforme mostra a **Tabela 3**, podendo inclusive ser empregada para compor revestimentos isolantes térmicos (na forma de espumas de PP, com agregados de microesferas de vidro ou mesmo PP sólido).

| Propriedades | PP-H | PEAD | PEBD |
|--------------------------------------------|------|-----------|-----------|
| Ponto de Fusão (°C) (Ordem de Grandeza) | 165 | 132 | 110 |
| Condutividade Térmica (W/m.K) | 0,22 | 0,38-0,51 | 0,32-0,40 |

Tabela 3. Condutividade Térmicas do Polipropileno Homopolímero e dos Polietilenos de Alta e Baixa Densidade.

Tanto o PEAD quanto o PP são praticamente imunes ao ataque químico em aplicações típicas como revestimento de dutos submersos ou enterrados e não devem sofrer alterações importantes quando expostos a soluções ácidas diluídas e outros agentes contidos nos solos ou em água do mar, exceto para aplicações em dutos enterrados em refinarias ou plantas químicas onde pode haver contato com produtos como agentes oxidantes, ácidos fortes e hidrocarbonetos aromáticos ou clorados. A **Tabela 4** mostra o efeito de alguns agentes químicos em contato com o polietileno de alta densidade e o polipropileno.

| Agentes | PEAD | PP |
|---------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Soluções ácidas diluídas | Resistente | Resistente |
| Ácidos fortes e agentes oxidantes | Resistente, porém sofre ataque lento | Resistente, porém sofre ataque lento (mais que PEAD) |
| Hidrocarbonetos alifáticos | Aumento volume, permeabilidade | Aumento volume, permeabilidade |
| Hidrocarbonetos aromáticos e clorados | Sofre ataque, aumento volume, permeabilidade | Não resiste |
| Detergentes | Stress Cracking | Resistente |
| Alcoois | Resistente | Resistente |

Tabela 4. Resistência do PP e do PEAD aos agentes químicos mais comuns.

Ácidos fortes e agentes oxidantes atacam as poliolefinas lentamente, sendo que os oxidantes são mais agressivos ao PP. A interação com solventes aromáticos, clorados e alifáticos também os atacam lentamente causando inchamento, dissolução parcial, mudança de coloração ou quando expostos por tempo prolongado podem causar sua degradação. Os polipropilenos se degradam mais facilmente que os polietilenos quando expostos aos hidrocarbonetos aromáticos e clorados. Por outro lado, a exposição do polietileno a agentes tensoativos provoca uma redução de sua resistência mecânica por efeito de tenso-fissuramento superficial. Além disto, os polietilenos são mais suscetíveis a “Environmental Stress Cracking” (ESC) que o polipropileno.

Todas as propriedades descritas acima além dos fatores econômicos e as diferenças de manuseio em campo e nas instalações devem ser levadas em conta quando se especificam revestimentos poliolefínicos para dutos enterrados ou submersos de forma a eleger-se o material mais adequado para cada aplicação.

3. Sistemas de Mantas Termocontráteis. Conceitos, composição e processo fabril.

São revestimentos que consistem de um filme externo ou “backing” de poliolefina reticulada que recebem a laminação de um adesivo termo-ativado em sua face interna, tendo como função a proteção anticorrosiva e mecânica das juntas de campo soldadas. As mantas em geral proporcionam excelente barreira contra a umidade e boa resistência mecânica, sendo que a poliolefina reticulada que forma o “backing”, fabricada por processos de reticulação químicos ou por bombardeio eletrônico, tem papel fundamental e deve ser escolhida de acordo com a aplicação, podendo ser utilizadas diversas grades de polietileno (PEAD, PEBDL, PEMD ou blendas de polietileno) ou polipropileno, o último muito mais resistente mecanicamente.

A **Figura 3a** esquematiza as etapas do processo fabril para a manufatura de “backings” reticulados termocontráteis. Já a **Figura 3b** mostra como a estrutura química das macromoléculas de polietileno é reticulada no processo de bombardeio eletrônico. Já

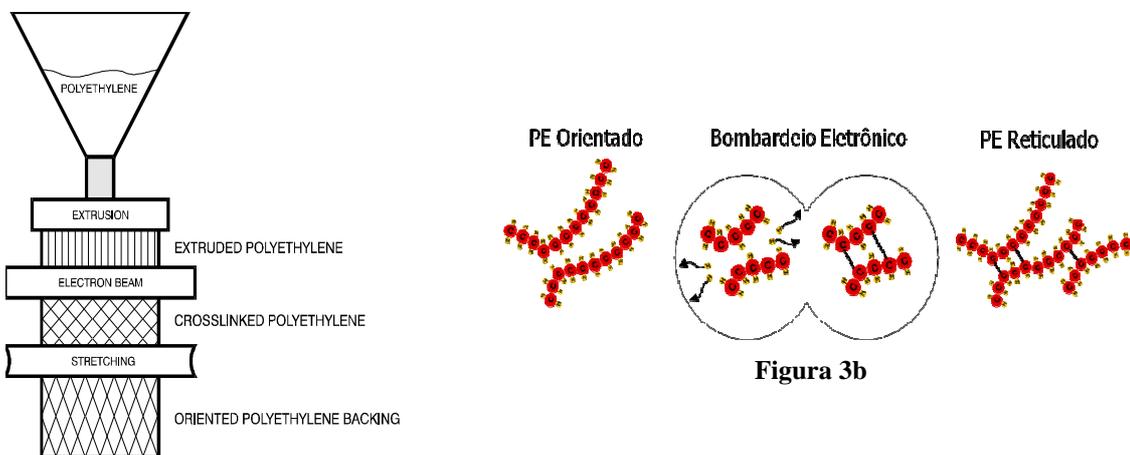


Figura 3a

Figura 3a. Processamento de “Backings” de Polietileno Reticulado **3b.** Reticulação das Cadeias de Polietileno.

As mantas termocontráteis podem ainda ser instaladas em combinação com um primer epóxi de maneira a espelharem o revestimento tripla camada dos tubos. Os primers epóxies utilizados nesses sistemas oferecem excelente barreira ao oxigênio e outros gases, aderência ao substrato e resistência ao descolamento catódico. Como os processos de instalação envolvem aplicação térmica (cura forçada do epóxi / pré-aquecimento para ativar o adesivo da manta), os epoxies utilizados obrigatoriamente são livres de solvente e 100% sólidos, são escolhidos conforme a temperatura de operação da linha e devem ser totalmente compatíveis com a manta a se utilizar. Espessuras típicas aplicadas nos sistemas tripla camadas de mantas são similares às de FBE aplicadas em planta, ou seja, entre 150 e 250 µm de espessura. Epoxies de alta espessura conhecidos como HBE (“High Building Epoxies”) também estão disponíveis e pode-se aplicá-los com até 500 µm de espessura, o que vem sendo estudado por algumas concessionárias para uso em aplicações offshore.

O sistema necessita ainda de um selo de fechamento reticulado não termocontrátil, adesivado em sua face interna para fixar a área de sobreposição entre os extremos da manta permitindo sua contração térmica sobre as juntas. A **Figura 4** mostra o esquema de um sistema de mantas tripla camada.



Figura 4. Esquema para um sistema tripla camada de mantas termocontráteis

4. Desenvolvimento dos sistemas de mantas de polietileno, polipropileno e de sistemas híbridos combinando elementos dos anteriores

4.1. Mantas Termocontráteis de Polietileno Reticulado

As mantas de polietileno reticulado foram primeiramente desenvolvidas devido a maior facilidade no processamento do polietileno termoplástico e sua reticulação controlada por processos químicos como o “Engel” que utiliza peróxidos ou através de silanos. Posteriormente a reticulação dos polietilenos passou a ser feita por processos eletrônicos, em geral mais custosos, mas que permitem melhor controle do processo e melhores resultados quanto a aplicação em campo. Diferentes grades de polietileno podem ser utilizadas dependendo da aplicação. Assim, em ambientes extremamente frios onde a flexibilidade em baixa temperatura é importante pode-se utilizar um backing de polietileno de baixa densidade linear (PEBDL) enquanto que para uma aplicação em um duto de grande diâmetro de um oleoduto que operará a uma temperatura entre 60 e 80°C, utiliza-se um polietileno de alta densidade (PEAD) para a fabricação do “backing”.

Importante notar que os polietilenos somente são utilizados em dutos que operam a até 70 ou 80°C porque em temperaturas superiores a estas, não apresentam dureza, resistência a penetração, resistência ao impacto e à abrasão suficientes e nesses casos, sistemas tripla camada de polipropileno podem ser utilizados.

As mantas de polietileno, por serem desenhadas para operarem a até 80°C, empregam adesivos adequados para esta faixa de temperatura. Existe grande variedade de adesivos que, obviamente, devem ser escolhidos de acordo com a aplicação. Para especificar-se o sistema mais adequado, diversos parâmetros devem ser considerados, incluindo o diâmetro da tubulação, a densidade do fluido a se transportar, o revestimento de planta com o qual deve ser compatível, o tipo de construção a empregar-se (se será lançado em vala comum, por perfurações direcionais, cravamento, lançamentos offshore através de distintos métodos como “Reel Lay”, “S-Lay”, “J-Lay”, “shore approach”, etc.), as condições ambientais no local onde será construído o duto, o tipo de solo (se argiloso, arenoso, seu teor de quartzo, etc.) e

finalmente, a temperatura de operação projetada. Os adesivos dividem-se basicamente em dois grandes grupos de acordo com suas características termodinâmicas:

4.1.1. Adesivos Tipo *Mastique*:

São adesivos que não apresentam um ponto de fusão bem definido, mas amolecem com o aumento de temperatura apresentando um ponto de amolecimento em que já não oferecem qualquer resistência ao cisalhamento e fluem. Devido às suas características, em geral são adequados para aplicações em diâmetros menores que 500 mm (20”), baixas temperaturas de operação e como sistemas de dupla camada já que apresentam boa resistência ao descolamento catódico sem necessitar de um primer epóxi. São adesivos mais tolerantes a preparações de superfície mecânicas com baixo perfil de ancoragem.

4.1.2. Adesivos Tipo *“Hot Melt”*:

São adesivos termoplásticos que apresentam um ponto de fusão definido, adequados para operarem a temperaturas mais altas mantendo a resistência ao cisalhamento, praticamente sem restrições de diâmetro e geralmente formando sistemas tripla camada já que, em geral, necessitam de um primer epóxi por não apresentarem boa resistência ao descolamento catódico quando aplicados diretamente ao aço. Além disto, necessitam de uma preparação de superfície que resulte em uma limpeza pelo menos ao metal quase branco e com perfil de rugosidade mínimo de 40 µm, geralmente obtida através de jateamento abrasivo.

O adesivo mais popularmente utilizado para tubulações de petróleo, gás, água e minérios para temperaturas de operação entre as criogênicas e 65°C (que abrange a grande maioria das aplicações para polietilenos) é classificado como um “hot melt” por apresentar ponto de fusão definido de 94°C (para que apresente resistência ao cisalhamento e conseqüentemente resistência as movimentações da tubulação, “soil stress”, etc. durante operação a até 65°C) e que é formulado de maneira a maximizar sua aderência às superfícies metálicas e dos revestimentos adjacentes às juntas, devido a suas características termodinâmicas/reológicas. Este adesivo chamado “Open Adhesive” funde a uma temperatura superior à temperatura que se solidifica, de forma que durante a instalação permanece por mais tempo na fase líquida em contato com a superfície da junta de campo sob a pressão exercida pela contração térmica do “backing”, conforme mostra o diagrama constante da **Figura 5**.

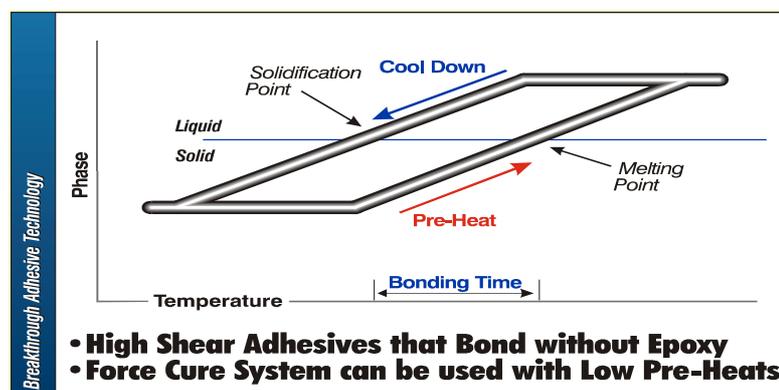


Figura 5. Adesivo fabricado com tecnologia “Open Adhesive” que permite mais tempo de contato do adesivo na fase líquida com o substrato.

Além disto, o uso de adesivos com estas características permite obter um sistema com alta resistência ao cisalhamento (na ordem de 240 N/cm² a 23°C e 15 N/cm² a 65°C – DIN 30672 com velocidade de teste de 10 mm/minuto) aplicados em temperaturas relativamente baixas porque fundem em temperatura pouco superior aos 90°C e dispensa o uso do epóxi sobre o revestimento de planta que poderia gerar problemas de compatibilidade e aderência.

4.2. Mantas Termocontráteis de Polipropileno Reticulado

Como anteriormente citado, para temperaturas de operação superiores a 80°C (e até 140°C), é necessário substituir-se o polietileno por polipropileno para compor sistemas tripla camada de revestimentos. Já a algumas décadas os revestimentos de polipropileno foram desenvolvidos mas sua aplicação vem aumentando gradualmente conforme a necessidade de se explorar petróleo em águas mais profundas, bombear fluidos a temperaturas mais elevadas, lançar tubulações em ambientes inóspitos, em terrenos rochosos agressivos, etc.

Com o desenvolvimento de sistemas tripla camada de polipropileno (3LPP) para aplicação em plantas de revestimento, a dificuldade estava em se revestir as juntas de campo de maneira a lograr-se um desempenho similar.

Em 2001 o laboratório de pesquisa e desenvolvimento do grupo ShawCor desenvolveu um processo controlado de reticulação do polipropileno que permitiu a fabricação de sistemas de mantas de polipropileno, combinando-o a adesivos de base polipropileno e um epóxi 100% sólidos para alta temperatura. Este sistema cumpre com todas as normas e especificações utilizadas para o revestimento principal de polipropileno como a NF A 49-711 e a DIN 30678, assim como a práticas recomendadas para revestimento de juntas de campo como a DNV-RP-F-102 em seu capítulo sobre juntas de polipropileno. Isto é possível porque os sistemas de juntas de campo de polipropileno desenvolvidos são fabricados a partir das mesmas matérias-primas, ou similares, às utilizadas para fabricar o sistema de 3LPP aplicado em planta, conforme ilustra a **Figura 6**.



Figura 6. Revestimentos de planta e de juntas de campo. Matérias-primas.

Estes sistemas para juntas de campo foram testados e aprovados para aplicações em dutos que operam a até 140°C e podem ser aplicadas em espessuras de até 8 mm, sem a necessidade de um material de “infill”, de maneira a cumprir com especificações de revestimento de tubulações offshore em que o revestimento de planta seja espesso devido a necessidade de resistência mecânica superior ou de isolamento térmico (ver IBP 1335_09 – “Engineered Pipeline Field Joint Coating Solutions for Demanding Conditions. Lemuchi A, Gudme C., Buchanan R”).

Da mesma forma como estabelecido na seção 2 quando desenvolvemos uma comparação entre as poliolefinas utilizadas como camada externa dos sistemas aplicados em planta, os “backings” de polipropileno reticulado apresentam desempenho muito superior aos de polietileno reticulado quanto a resistência mecânica, conforme pode-se verificar na **Tabela 5** que mostra as propriedades típicas para as mantas de polipropileno.

| Propriedade | Método de Ensaio | Unidades | Valores Típicos |
|-------------------------------------|---------------------|-------------|-----------------|
| Ponto de Fusão do Adesivo de PP | ASTM D3418 | g/cm3 | 147 |
| Resistência ao Cisalhamento a 23°C | DIN 30672 | N/cm2 | > 500 |
| Resistência ao Cisalhamento a 100°C | DIN 30672 | N/cm2 | > 100 |
| Resistência ao Cisalhamento a 140°C | DIN 30672 | N/cm2 | > 50 |
| Dureza | ASTM D2240 | Shore D | 65 |
| Aderência ao Aço e ao 3LPP a 100°C | NF A 49-711 | N/cm | 80 |
| Aderência ao Aço e ao 3LPP a 140°C | NF A 49-711 | N/cm | 40 |
| Impacto | NF A 49-711 | J/mm | >10 |
| Penetração a 140°C | DEP 31.40.30.31 | mm residual | < 0.6 |
| Penetração a 110°C | NF A 49-711 | mm | 0.38 |
| Descolamento Catódico a 130°C, 28 | ASTM G42 modificada | mm | < 3 |

Tabela 5. Propriedades típicas para sistema de mantas de polipropileno

Além do revestimento de juntas de campo de dutos revestidos com 3LPP, o sistema de mantas de PP vem sendo utilizado para outras aplicações como transições de FBE para 3LPP, conforme ilustra a **Figura 7** e de juntas de dutos offshore isolados termicamente com PP sólido, sintático ou espumas de PP. Neste caso, as mantas de PP são geralmente combinadas com sistemas de isolamento térmico de poliuretano sólido ou outro material de baixa condutividade térmica injetados nas juntas, conforme mostra a **Figura 8**.

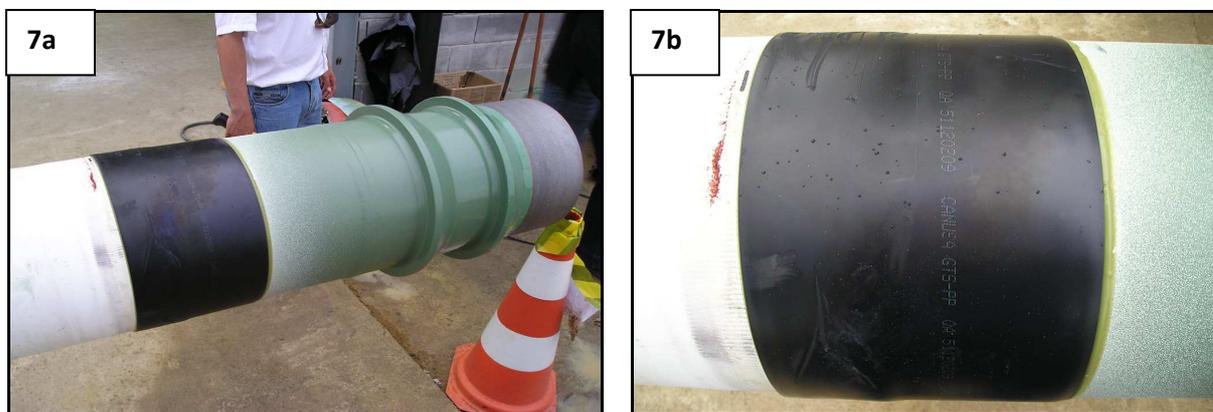


Figura 7. Projeto Greater Plutonio – Angola. Revestimento de zonas de transição 3LPP/FBE com mantas de polipropileno



Figura 8. Projeto PDET Águas Rasas - Petrobras. Revestimento de juntas de campo com mantas termocontráteis de polipropileno e isolamento térmico com poliuretano sólido.

O sistema de mantas de polipropileno por apresentar um adesivo que funde a cerca de 150°C, necessita de um pré-aquecimento a uma faixa de temperaturas entre 175-190°C. Isto, somado a susceptibilidade do polipropileno à oxidação térmica e o chamado efeito “waxing” que impede a aderência de qualquer material caso o PP seja aquecido a altas temperaturas com a incidência de chama direta, impede que o PP possa ser pré-aquecido através de maçaricos de propano como no caso dos sistemas de mantas de polietileno e assim, o uso de aquecimento indireto por indução é estritamente necessário. A **Figura 9a** mostra um esquema típico para a otimização das estações de revestimento em uma balsa de lançamento para a instalação de mantas de polipropileno. A **Figura 9b** apresenta uma foto de uma instalação de manta de PP em “firing line” de uma balsa de lançamento tipo “S”.

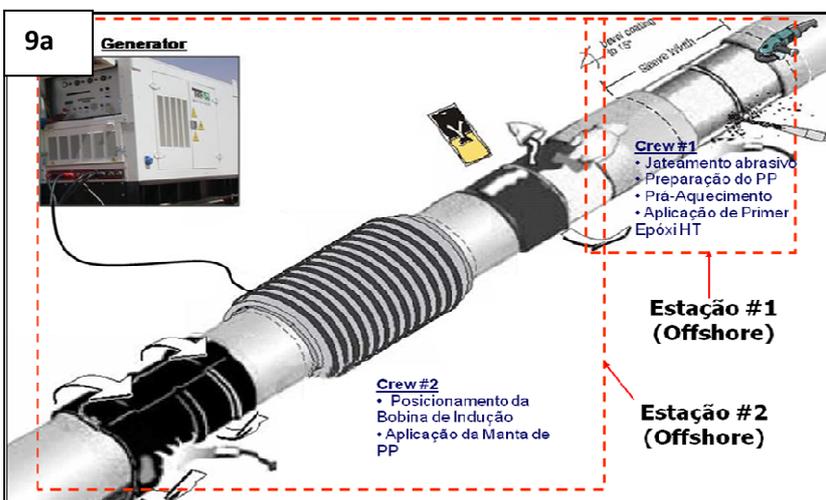


Figura 9a. Processo típico de instalação de mantas de polipropileno a bordo de uma balsa de lançamento de dutos. **9b.** Foto de instalação de manta de PP em uma linha de produção de uma balsa de lançamento tipo “S”.

Existem aplicações, porém, em que a temperatura de operação não é alta suficiente para demandar uma manta de polipropileno, sendo que em muitos casos o revestimento de planta é feito com polietileno tripla camada, mas em que se necessita de uma proteção mecânica superior nas juntas de campo que a fornecida pelos “backings” de PEAD. Para estes casos, desenvolveram-se os sistema híbridos de mantas termocontráteis.

4.3. Mantas Termocontráteis Híbridas

Utilizando-se de adesivos tipo mastiques ou “hot melts” para temperaturas entre 60 e 80°C, de tecnologias comprovadas com vasto histórico positivo de projetos e compatibilidade tanto com FBE como com polietileno e polipropileno, como os adesivos apresentados na seção 4.1 e combinando-os com filmes externos de polipropileno como os apresentados na seção 4.2, obtém-se as chamadas mantas híbridas. A **Figura 10a** ilustra esquematicamente um sistema de mantas híbridas e a **Figura 10b** mostra uma foto de um sistema híbrido com elementos de sacrifício para lançamento em uma perfuração de “shore approach”.



Figura 10a. Esquema de um sistema de mantas híbridas. **10b.** Foto de um sistema híbrido aplicado nas juntas de 16” de diâmetro de seção lançada em perfuração de “shore approach” no projeto Terminal Norte Capixaba.

As mantas híbridas, tipicamente utilizadas para o revestimento de juntas de campo de tubulações operando em temperaturas intermediárias (até 80°C) em que se necessita de resistência mecânica superior ou nas quais o uso de um “backing” mais robusto oferece grandes vantagens quanto à diminuição dos ciclos de instalação aumentando a produtividade, permitem que se utilize um procedimento de instalação simplificado já que este depende fundamentalmente do primer epóxi (se aplicável) e do tipo de adesivo do sistema.

A **Figura 11** ilustra um agressivo ensaio de impacto executado em mantas com “backings” de PP como parte de qualificações dos sistemas para projetos offshore mostrando uma das grandes vantagens das mantas híbridas.



Figura 11. Ensaio de impacto aplicado a mantas com “backings” de polipropileno

Assim, diferentemente das mantas de polipropileno (com adesivos base polipropileno) que são compatíveis apenas com 3LPP e extensamente utilizadas nos casos de dutos que operam a

alta temperatura, as mantas híbridas não necessitam de equipamentos específicos para o pré-aquecimento como geradores e fornos de indução, tendo em seu processo de instalação um pré-aquecimento na faixa de 70-100°C, de acordo com o adesivo utilizado e que pode ser executado através de maçaricos de propano ou GLP.

Além de menos equipamentos envolvidos na instalação, estes sistemas permitem uma redução considerável nos ciclos de aplicação, extremamente importantes no caso de lançamento de tubulações offshore.

A manta híbrida mais comumente utilizada combina o backing de polipropileno com um adesivo tipo hot melt de tecnologia “Open Adhesive” conforme descrito na seção 3.1, adequado para temperaturas de operação de até 65°C. Este sistema pode ser aplicado como tripla camada com a adição de um primer epóxi 100% sólidos.

O sistema acima descrito necessita de uma preparação de superfície por jateamento abrasivo ao metal quase branco com perfil de ancoragem de pelo menos 40 µm, pré-aquecimento mínimo de 90°C que pode ser executado através de maçaricos de propano ou por indução e além das vantagens inerentes ao uso do filme externo de PP, possibilita que em aplicações em que o tempo para o lançamento é restritivo, se esfrie o sistema imediatamente após aplicá-lo, geralmente com água corrente (“water quenching”) mais rapidamente que sistemas tradicionais com “backings” de polietileno reticulado.

Isto ocorre porque os backings de polipropileno reticulado alcançam uma dureza relativa suficiente para que possam passar pelos roletes na linha de produção a uma temperatura de 135°C enquanto que “backings” de polietileno reticulado devem ser esfriados até pelo menos 80°C antes que possam passar pelos roletes, demandando mais tempo de “water quenching”.

A **Figura 12** mostra um gráfico que compara o que ocorre em aplicações de mantas com mesmo adesivo para 65°C e backings de PE e PP (manta híbrida) mostrando que a diferença de tempos de “water quenching” de uma manta híbrida para uma manta com “backing” de PE pode chegar a 3 minutos. Obviamente, esta diferença de tempos de aplicação depende do diâmetro do duto, do desenho do sistema de “water quenching” utilizado e do sistema de pré-aquecimento empregado.

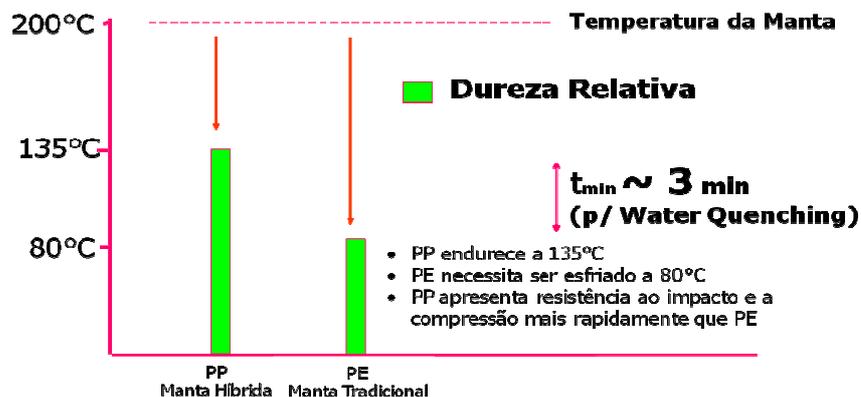


Figura 12. Comparação dos tempos de esfriamento forçado com água para mantas com “backings” de PE e de PP com o mesmo tipo de adesivo hot melt para 65°C.

Além das grandes vantagens de redução de ciclo de instalação, mais importantes para aplicações offshore em balsas de lançamento, outras aplicações que demandam o uso desta tecnologia incluem:

- Revestimentos de juntas de campo de colunas a serem lançadas em perfurações dirigidas onde o solo é agressivo contendo alto teor de quartzo ou rochas.
- Revestimento de colunas lançadas em perfurações de shore approach;
- Tubulações a serem enterradas em localidades onde é difícil conseguir material selecionado para o reaterro das valas;
- Aplicações em que o revestimento de planta especificado é o 3LPP devido ao tipo de terreno e de solo da região necessitando de proteção mecânica similar nas juntas campo;
- Outras aplicações demandando resistência mecânica superior.

5. Antecedentes de Projetos que empregaram Mantas Híbridas para diferentes aplicações

Apesar do desenvolvimento das mantas híbridas ser relativamente recente, existe um histórico considerável de projetos de tubulações de petróleo e gás tanto onshore como offshore que empregaram esses sistemas com comprovação de suas vantagens quanto aos revestimentos tradicionais. A seguir citamos alguns desses projetos executados na América do Sul com alguns detalhes e fotos.

5.1. Petrobras Gasoduto Campinas-Rio



Ano de Construção: 2004-2005

Localidade: Onshore Brazil

Cliente/Concessionária: Petrobras

Empreiteira: GDK SA

Comprimento Total: 182 km

Diâmetro Nominal: 28”

Figura 13. Coluna de 28” de diâmetro com juntas revestidas com sistemas híbridos a ser lançada em uma perfuração dirigida.

Sistemas Aplicados: Sistema tripla camada de mantas de polietileno com adesivo “Hot Melt” para 65°C para as aplicações em valas comuns e sistema híbrido com adesivo “Hot Melt” para 65°C para perfurações direcionais em solos agressivos.

5.2. Petrobras Terminal Norte Capixaba



Ano de Construção: 2005

Localidade: Offshore Brasil

Cliente/Concessionária:
Petrobras

Empreiteira: Conduto

Comprimento Total: 30 Km
com 2 colunas de 1 Km x 16”OD
de “Shore Approach”

Diâmetro Nominal: 16”

Figura 14. Coluna com juntas revestidas com sistemas híbridos lançada por “shore approach”, vista na saída da perfuração na praia.

Sistemas Aplicados: Sistema tripla camada de mantas de polipropileno com adesivo base polipropileno na seção offshore e o mesmo sistema anticorrosivo acrescido de uma manta híbrida com adesivo tipo mastique para 100°C para as juntas das colunas lançadas em perfurações de “shore approach”.

5.3. Planos de Expansão 2006-2008 TGN e TGS



Ano de Construção: 2007-2009

Localidade: Onshore Argentina

Cliente/Concessionária:
TGN/TGS

Empreiteira: Techint e outras

Comprimento Total: >550 Km

Diâmetro Nominal: 26 e 30”

Figura 15. Aplicação de sistemas de mantas híbridas nos projetos de Plano de Expansão da TGN e da TGS.

Sistemas Aplicados: Em ambos os projetos, foram utilizados sistema tripla camada de mantas de polietileno com adesivo “Hot Melt” para 65°C para as aplicações em valas comuns e sistema híbrido com adesivo “Hot Melt” para 65°C para perfurações direcionais em solos agressivos.

6. Conclusão

A atividade de proteção de juntas de campo soldadas requer tecnologias e alternativas específicas para cada tipo de aplicação, seja em obras de gasoduto, oleodutos, aquedutos ou minerodutos. Para diversas aplicações em que se necessita de uma resistência mecânica superior às dos tradicionais sistemas de polietileno reticulado existe a opção de se empregar sistemas de mantas híbridas que oferecem o melhor dos “backings” de polipropileno, mas mantendo um procedimento de instalação simples e rápido evitando o uso de equipamentos complexos como é necessário para instalar-se uma manta de polipropileno. Finalmente, estes sistemas híbridos utilizam adesivos que são compatíveis com praticamente todos os tipos de revestimento de planta abrangendo ampla gama de aplicações.

7. Referências Bibliográficas

1. N.S Allen, M.E.D. Holdsworth, A. Rahman, F. Catalina, E. Fotan, A.M. Escalona, F.F. Sibon, “Ageing and spectroscopy properties of polyethylenes – comparison with metallocene polymer”
2. M. Ashby, H. Schercliff, D. Cebon, “Materials – Engineering science processing and design”
3. F.M.B. Coutinho, I.L. Mello, L.C. Santa Maria, “Polietileno – Principais tipos, propriedades e aplicações”, Instituto de Química, UERJ
4. M. Welander, “Effect of High Stress on the ageing behaviour of High Density Polyethylene”, Chalmers University of Technology, Dept of Polymeric Materials, Goteborg, Sweden
6. J.R.B. Danielleto, “Manual de Tubulações de Polietileno e Polipropileno”
7. Catálogos Técnicos – Canusa-CPS, A ShawCor Company
8. Catálogo Técnico Safplast – Polipropileno
9. Catálogos Técnicos Emco Plásticos Industriais - Polipropileno Homopolímero e Polipropileno Copolímero
10. Lemuchi A, Gudme C., Buchanan R, IBP 1335_09 – “Engineered Pipeline Field Joint Coating Solutions for Demanding Conditions”