



Congresso Internacional de
Corrosão, Integridade,
Pintura e Revestimentos
Anticorrosivos



Comparativo de Fitas de Polietileno tripla camada co-extrudada com fitas dupla camada laminada

Autor: Eng. José Claudio Estrada Rios



Agenda



- Introdução
- Laminação vs. Coextrusão
- Fitas de Tripla camada vs. Fitas de Dupla camada
- Fitas de Tripla camada: Coextrudadas e assimétricas
- Comparação das propriedades dos materiais
- Conclusões
- O Futuro é agora!



Introdução



As fitas diferem em vários aspectos:

- Material (por exemplo, *PVC-Betume vs. PE-Borracha de butilo - PTC 2022*)
- Estrutura (*2 camadas vs. 3 camadas*)
- Composição (*simétrica vs. assimétrica*)
- Tecnologia de produção (*laminação vs. coextrusão*)
- Aplicação (*com/sem primer - uma ou várias camadas*)
- **Fita ≠ Fita**

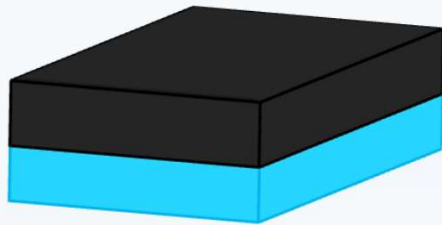


Estrutura das fitas

Fitas poliméricas aplicadas a frio: ISO 21809-3 - Tipo de revestimento 12

Película de suporte + composto

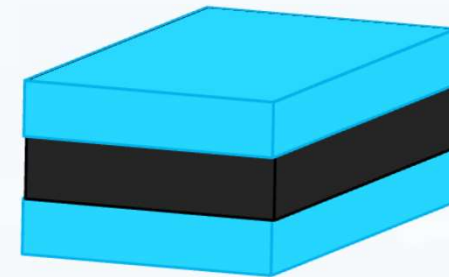
- Película de suporte: PVC ou PE
- Composto: Betume ou borracha butílica



Dupla camada

PVC - Betume

PE - Borracha butílica

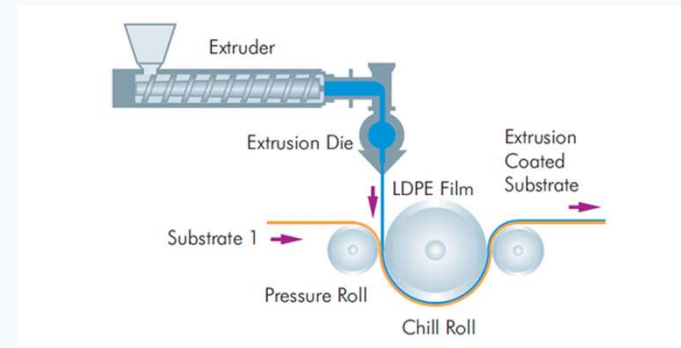


Tripla camada

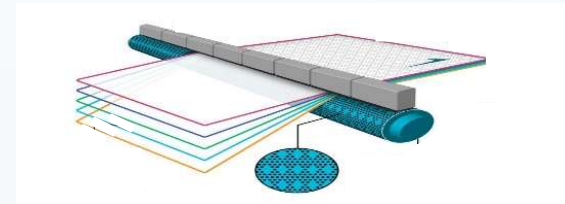
PE - Borracha butílica

3 Tecnologias típicas de laminação

1. Extrusão de uma segunda camada sobre a primeira película sólida a frio.



2. Aquecimento e presagem de películas sólidas e frias

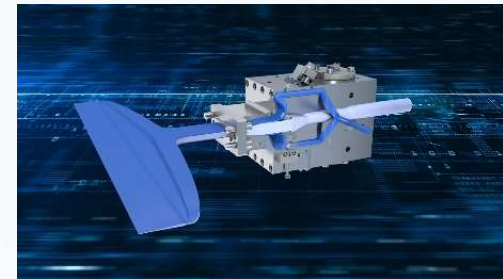
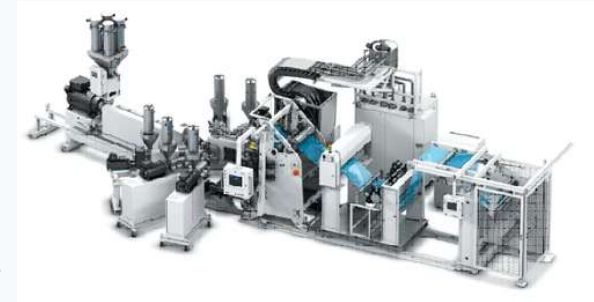




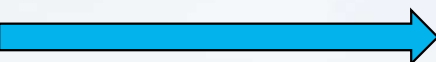
3. O Líquido e distribuído sobre uma película sólida e fria

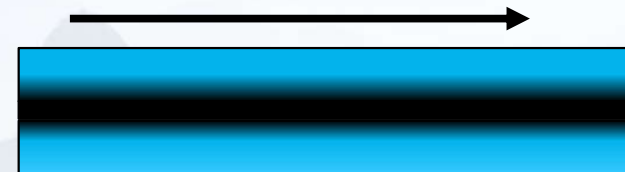
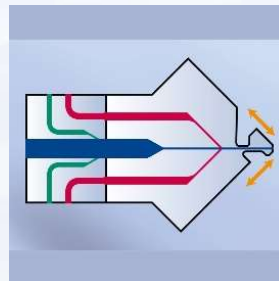


O princípio da Coextrusão

- **Fluxo de fusão** de cada polímero produzido pela sua **própria extrusora**.
- Todos os fluxos de fusão passam por **diferentes entradas para uma matriz comum**.
- Os polímeros fundidos fluem juntos para a saída do molde comum numa **única peça**.

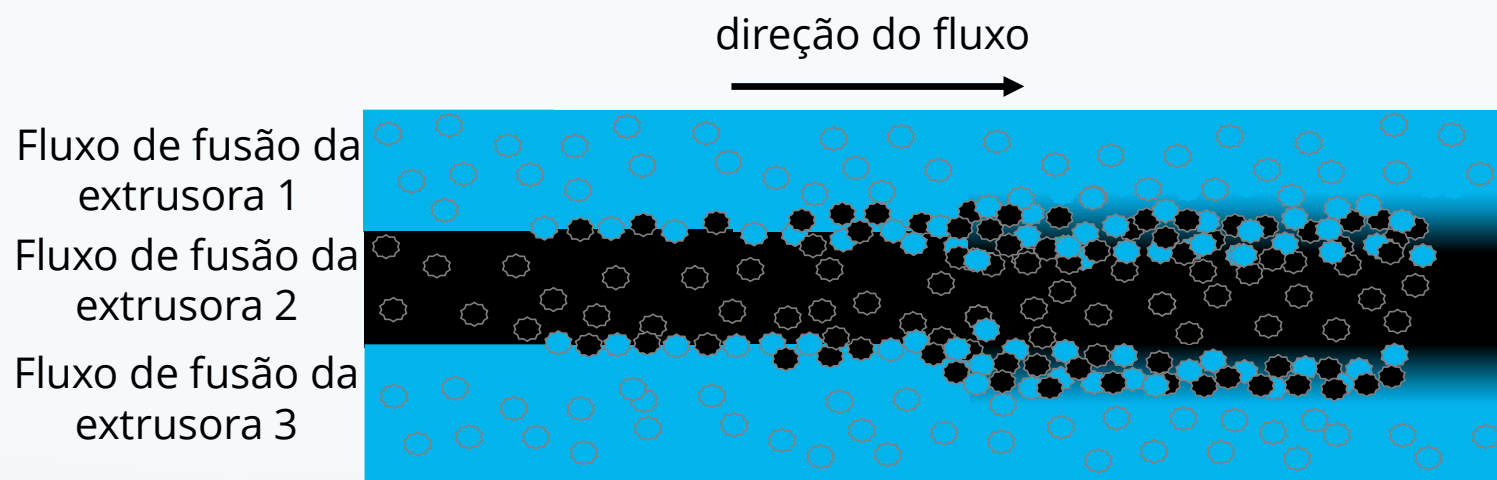


- Extrusora 1 
- Extrusora 2 
- Extrusora 3 



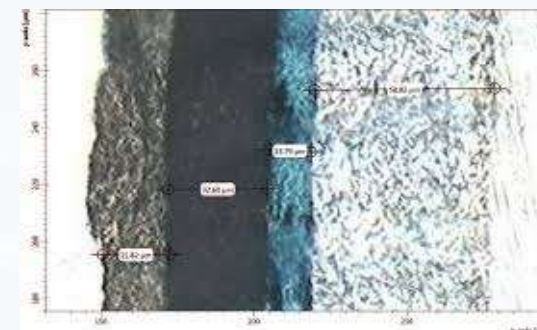
O princípio da Coextrusão

- Dentro do molde comum: As macromoléculas dos polímeros fundidos fluem umas para as outras e **misturam-se** nas zonas de fronteira



Ao longo do percurso do fluxo, os fluxos de fusão fluem uns para os outros

Equivalente a **"soldagem"** com uma interligação muito forte entre as camadas.

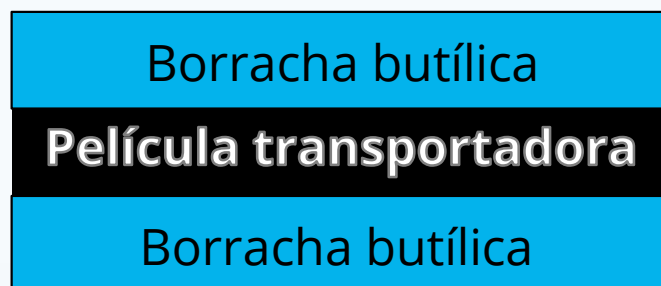


Óp

Fitas Tripla camada vs. Fitas de dupla camada

Material e estrutura Fitas de tripla camada vs. Fitas de dupla camada

- Fita de Tripla camada

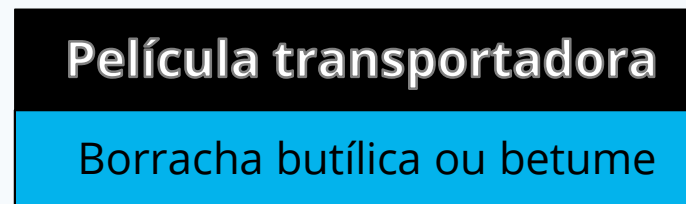


Estrutura: película de suporte coberta em **ambos os** lados com adesivo.

Adesivo: **Apenas borracha butílica.**

Por laminação ou coextrusão.

- Fita de Dupla camada



Estrutura: película de suporte coberta apenas **numa das** faces com adesivo.
Adesivo: Borracha butílica **ou** betume.
Borracha butílica: laminação ou coextrusão.

Betume: apenas laminação, **a coextrusão não é possível**

Fitas Dupla camada: prevenção confiável da corrosão?

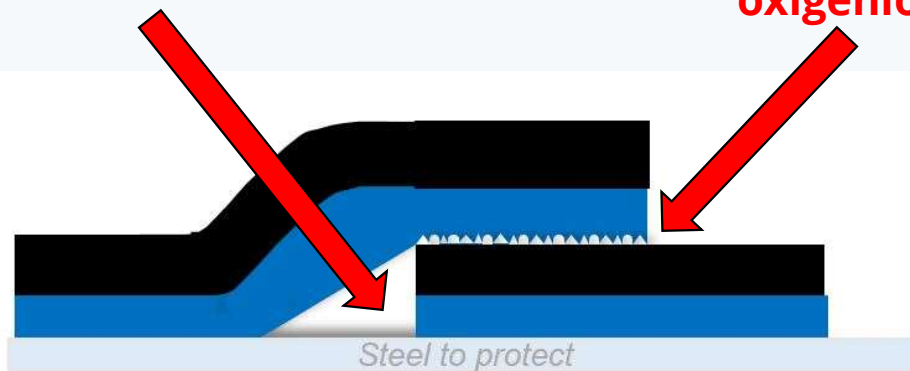
Fitas de 2 camadas enroladas

Na restante interface entre as camadas podem ocorrer **micro canais**

Possível **caminho** para a humidade e oxigênio

Falta de aderência:
perigo de cavidades

Falta de aderência:
Caminho para a humidade e o oxigênio

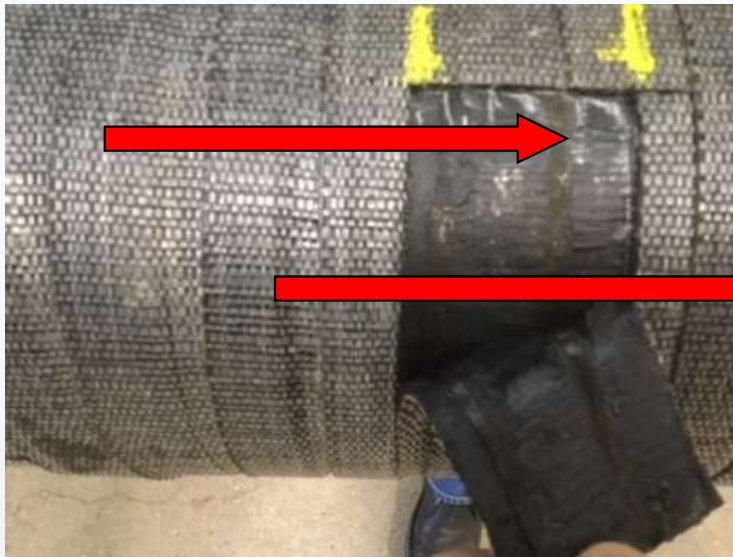


➤ = **CORROSÃO EM ESPIRAL**

Fitas de dupla camada: Risco de corrosão em espiral.

A CORROSÃO ESPIRAL é frequentemente encontrada em dutos onde as fitas de Dupla camada são utilizadas como fita anticorrosiva

Corrosão em espiral



Fitas Tripla camada: forte proteção contra a corrosão

Fitas de 3 camadas enroladas

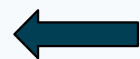


As camadas de borracha butílica **auto-fundem**, **auto-amalgamam-se** quando as fitas são enroladas. As moléculas migram umas para as outras:

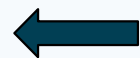
- As fitas formam um "revestimento **impermeável** tipo **mangueira**" homogêneo
- Sem interface, buracos ou micro canais;
- **SEM CORROSÃO EM ESPIRAL**

Fitas de 3 camadas: Coextrudadas e assimétricas

1st etapa: Coextrusão:



Borracha butílica coextrudada com película de suporte.

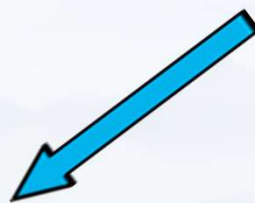


Borracha butílica intermediária coextrudada com película de suporte.

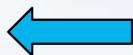
2nd passo: Adicionar borracha butílica:



Fundição: Borracha butílica + Borracha butílica



A borracha butílica adicional está construindo a espessura necessária.



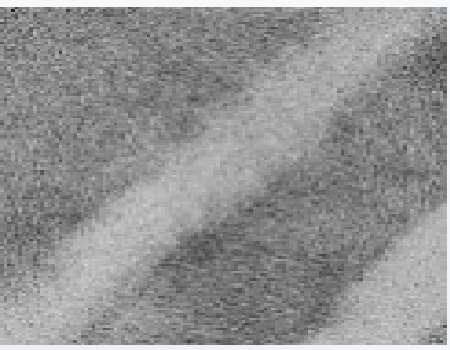
Fita Tripla camada - Coextrusão vs. laminação



Coextrusão:



Forte **ligação química** entre a borracha butílica e o PE!
Fundição: Borracha butílica + Borracha butílica



Penetração de macromoléculas entre camadas:
Excelentes, imóveis para longa duração.

Laminação:



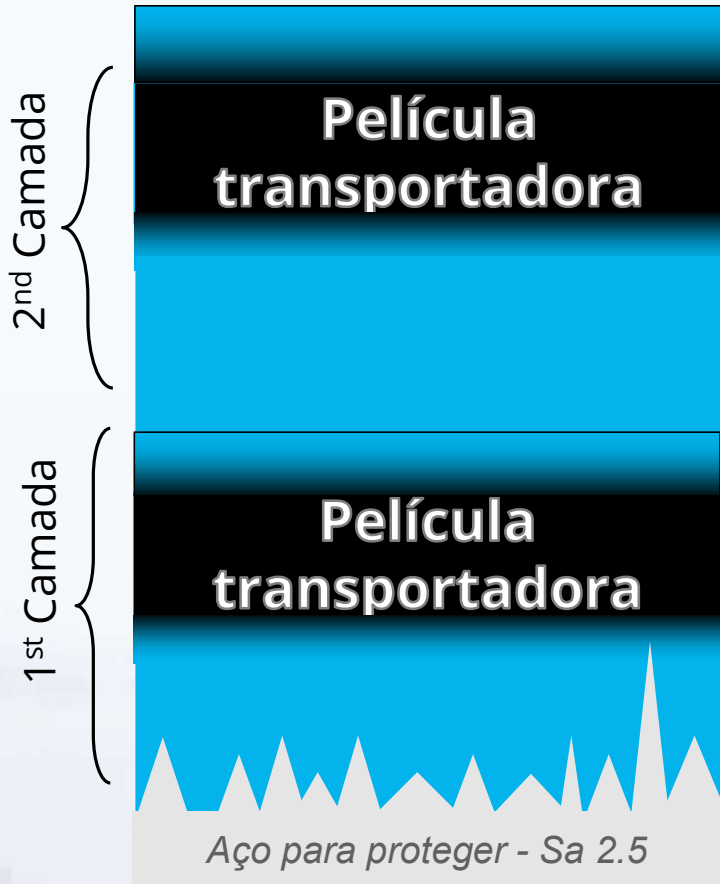
Única ligação mecânica entre a borracha butílica e o PE



Não há penetração de macromoléculas entre as camadas: **As propriedades a longo prazo**, após o envelhecimento, são significativamente **reduzidas**.

Fitas Tripla camada - Assimétricas vs. Simétricas

Assimétrico:



Simétrico:

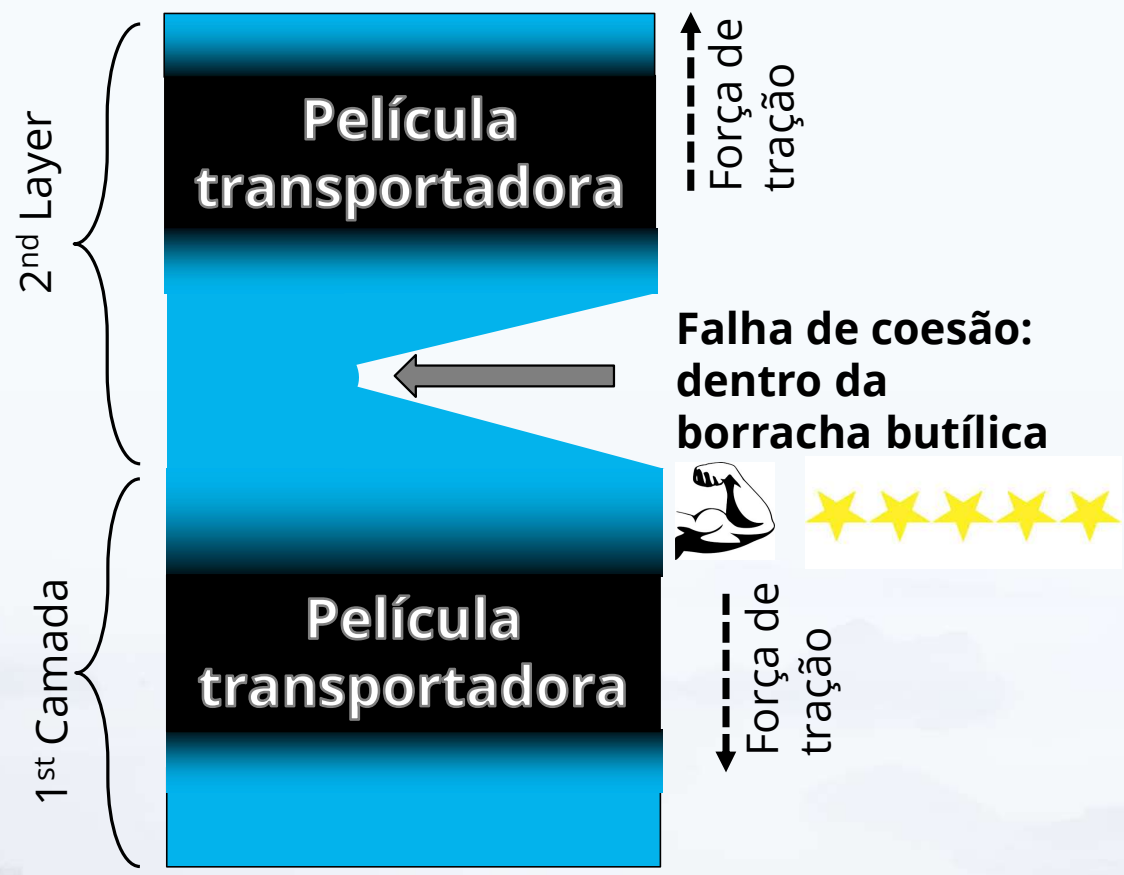


Comparação das Propriedades dos materiais

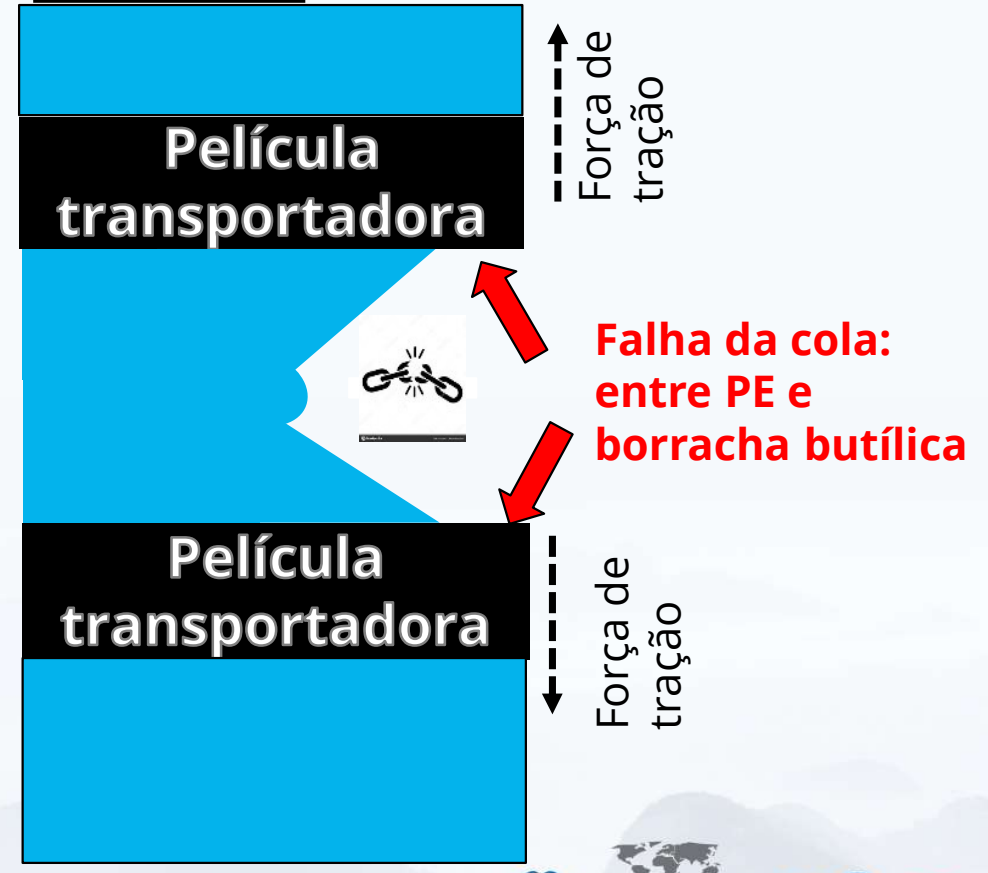
Fita Tripla camada - Adesão camada a camada



Coextrudado:



Laminado:



Risco certo de delaminação apenas com fitas laminadas.



Fitas Tripla camada - Adesão camada a camada

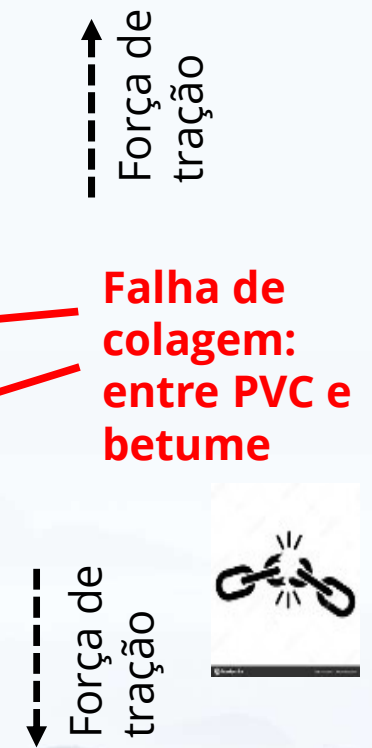
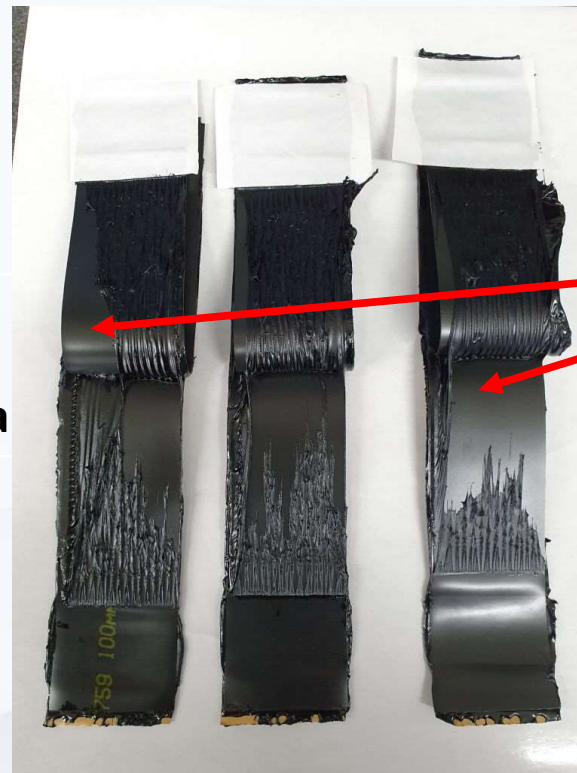
Borracha butílica/PE coextrudada

Tripla camada:



Laminado de dupla camada

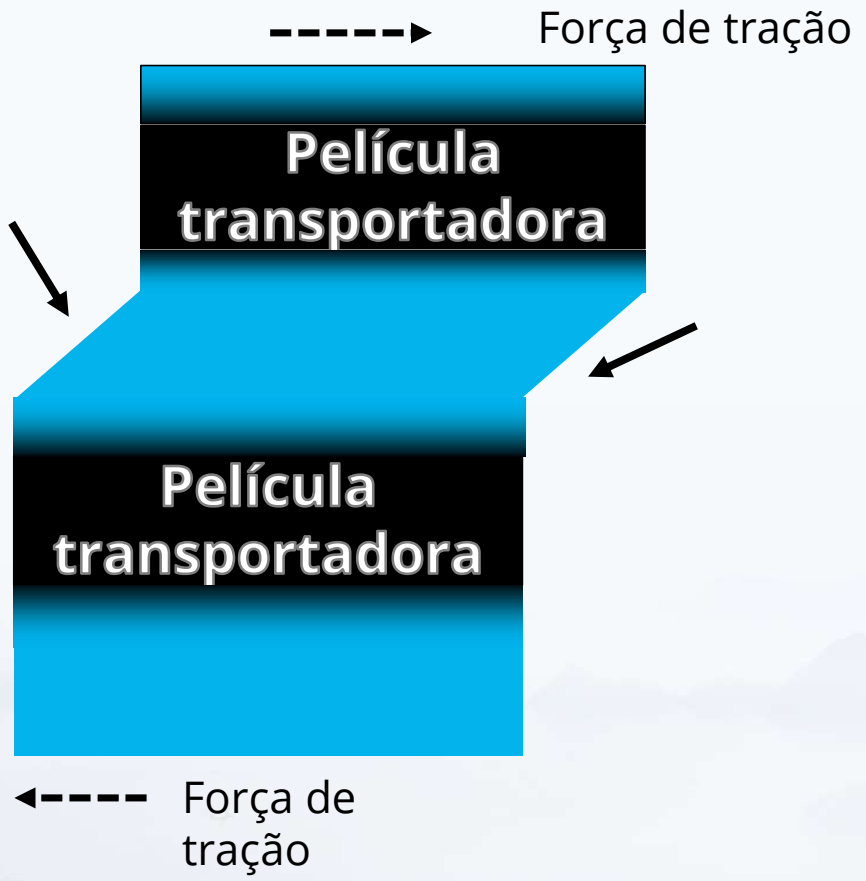
Betume/PVC:



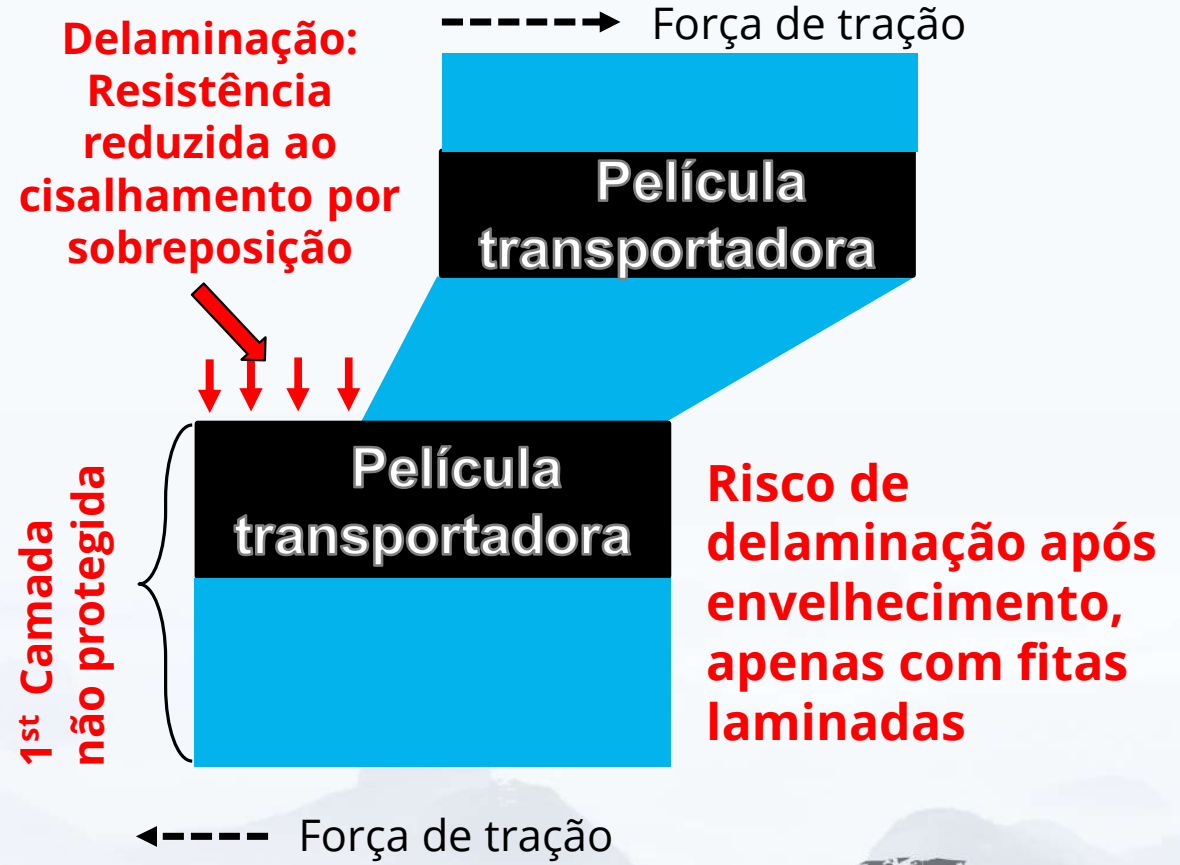
Fitas de 3 camadas - Resistência ao corte sobreposto



Coextrudado:



Laminado:



Sem delaminação: Alta resistência ao cisalhamento



Mal desempenho das fitas laminadas Dupla camada



**Resistência deficiente ao cisalhamento : Fraca
resistência à tensão do solo**

Comparativo fita de PE coextrudada e fita de PVC

PVC - Aditivos

São necessários vários auxiliares de processamento:

- Modificadores de impacto – Modificadores térmicos; Enchimentos; Biocidas; Pigmentos; **Plastificantes**
Estabilizadores de calor - Estabilizadores UV

Os plastificantes tornam o PVC flexível (40% s´ apenas) a -18°C

PVC + Calor (a partir de +70°C) HCl + H₂ O (vapor)

HCL: Hidrocloro (ácido): **Corrosivo e tóxico**

"Efeito de transpiração":

Os plastificantes não são estáveis e migram para:

- Meio Ambiente: **Poluição das águas subterrâneas**

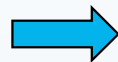
PE - Propriedades mecânicas básicas

Rigidez/Flexibilidade



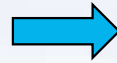
Flexível **a partir de -40°C**
sem plastificantes

Elevada ductilidade



Deformações plásticas
antes da ruptura

Elevada resistência
ao impacto



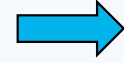
Absorve energia e
deforma-se sem fratura

PE - Propriedades mecânicas básicas

Estabilidade

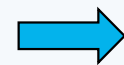


Sem estabilizadores de calor



Boa estabilidade térmica

Ponto de fusão (HDPE)



120°C - 180°C

Ponto de fusão (PVC)



77°C - 88°C

PE - Resistência eléctrica e absorção de água

Resistência eléctrica (EN 12068)

PE	→	$10^{16} \Omega \text{ cm}$
PVC	→	$10^{11} \Omega \text{ cm}$

Absorção de água (ASTM D570)

PE	→	0.02% - 0.06%
PVC Plastificado	→	0.20% - 1.00%

PE - Propriedades básicas (NACE CIP Nível II)



- Resistente a temperaturas próximas de +100°C / boa flexibilidade a baixas temperaturas.
- Excelente resistência a produtos químicos / insolúvel em solventes orgânicos.
- Resistividade eléctrica elevada.
- Excelente resistência à tração.
- Elevada resistência ao impacto.
- Não racha sob tensão.

Perfeito para fitas de prevenção da corrosão

Nota: A NACE não menciona nenhuma propriedade do PVC



Comparativo de fita PE coextrudada e fita de Betume

Betume - Revestimentos de Dutos (ensaio de envelhecimento)



Ensaio de envelhecimento de 100 dias ($T_{\max} +20^{\circ}\text{C}$) - EN 12068 & ISO 21809-3:

Requisito Resistência do revestimento à superfície de aço: $A_{100} / A_0 \geq 0,75$

- Fita de betume (laminada de 2 camadas): $A_{100} / A_0 \pm 0,60$
- Fita de borracha butílica (coextrudada de 3 camadas): $A_{100} / A_0 \geq 0,90$

Betume - Revestimentos de Dutos (ensaio de envelhecimento)



Ensaio de imersão em água quente (HWI) - ISO 21809-3:

Requisito Resistência do revestimento à superfície de aço: $\geq 1 \text{ N/mm}$

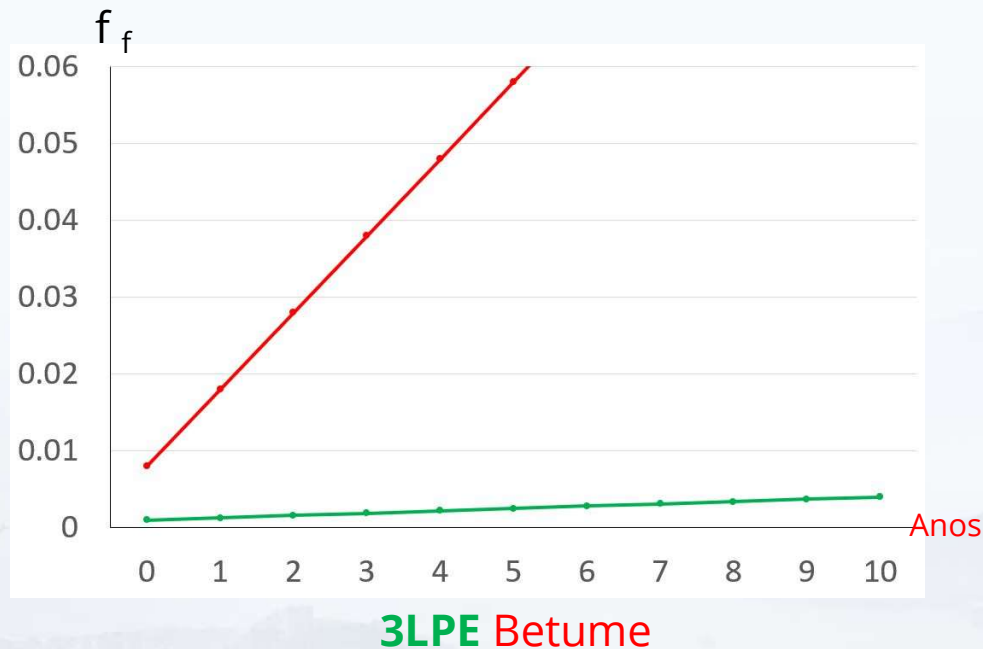
Requisito Resistência ao descolamento da superfície de aço após 28 dias de HWI. $\geq 0.4 \text{ N/mm}$

	Inicial	Depois HWI
▪ Fita de betume (laminada de 2 camadas):	$> 1,0 \text{ N/mm}$	- 0,2 - $0,4 \text{ N/mm}$
▪ Fita de borracha butílica (coextrudada de Tripla camadas):	$> 3,0 \text{ N/mm}$	- $> 3,0 \text{ N/mm}$

Betume - Revestimentos de Dutos (questão da porosidade)

Porosidade elevada = elevada necessidade de aumento de corrente do Sistema de Proteção Catódica (SPC)

Factores de degradação do revestimento (f_f) ao longo do tempo



A procura atual de SPC* é principalmente influenciada pelos fatores de ruptura do revestimento (f_f)

***ISO 15589-1:2015** - Proteção catódica em condutas terrestres. § 8.4. Corrente de proteção catódica

Borracha butílica

Propriedades básicas

- Baixa permeabilidade ao ar, gases e humidade (perfil do pneu e câmaras de ar).
- Temperatura de transição vítrea: -67°C .
- Temperatura máxima: $+100^{\circ}\text{C}$ ($+150^{\circ}\text{C}$ se vulcanizado com enxofre).
- Resistente ao envelhecimento e às intempéries (estável).
- Boas propriedades de dureza e resistência à tração.
- Baixo teor de carga.
- Seguro (pastilha elástica).

➔ **Perfeito para fitas de prevenção da corrosão**

Borracha butílica (NACE CIP Nível II)

- Resistente a temperaturas próximas de +100°C.
- Material maleável e moldável.
- Utilização típica: mastiques, adesivos, vedantes.
- Excelente resistência aos ácidos.

➔ Perfeito para fitas de prevenção da corrosão

Nota: A NACE não menciona nenhuma propriedade do betume

Borracha butílica: as propriedades são estáveis ao longo do tempo



A fita de borracha PE-butílica **após 40 anos de funcionamento** excede os requisitos actuais



Borracha butílica: as propriedades são estáveis ao longo do tempo



Transportadora: Energienetz Bayern GmbH(Munich/Germany) (9.500km)

Projeto Moosburg – Straubing Pipeline

Ano de construção 1976

Revestimento utilizado para proteção contra corrosão: Fita de polietileno coextrudada tripla camada DENSO.

Ano de escavação para retirada do corpo de prova:2015

(Depois de 39 anos de operação)

Teste de aderência: positivo conforme EN 12068




Conclusões

PVC-Betume vs. PE-Borracha butílica

PVC-Betume

Devido às suas propriedades materiais intrínsecas, o PVC e o betume **não são adequados** como material de base para as fitas poliméricas.

- O PVC **necessita de plastificantes e estabilizadores** que se evaporam com o envelhecimento.
- O betume apresenta um **envelhecimento estrutural**: torna-se **duro, quebradiço e poroso**.

As fitas de PVC-Bitume
 **apresentam um fraco**
desempenho a longo prazo



PVC-Betume vs. PE-Borracha butílica

PE-borracha butílica

De acordo com as suas propriedades materiais, o polietileno (PE) e a borracha butílica são **adequados** para fitas poliméricas

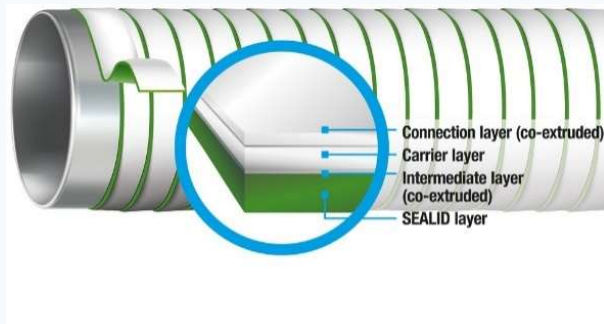
- O polietileno não necessita de plastificantes ou estabilizadores: **excelente estabilidade térmica.**
- Borracha butílica: composto de vedação **estável e forte.**



As fitas de borracha PE-e borracha butílica apresentam um excelente desempenho a longo prazo



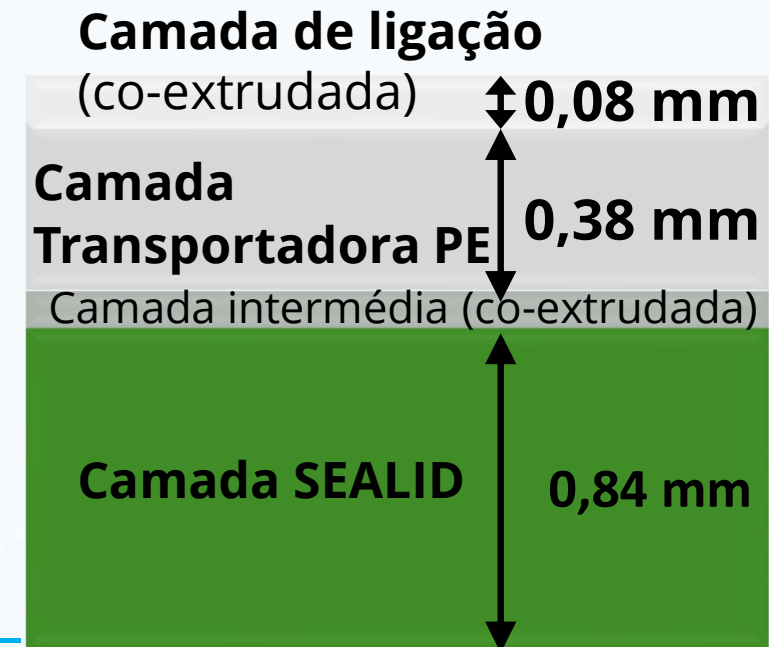
Futuro é agora!



Espessura da fita (1,3 mm) com 2 voltas espessura total de 2,6mm



- Com Proteção mecânica já incorporada
- Apenas um passo para aplicação
- Sem primer- não há produto perigoso ou tóxico
- Aplicação á frio – não queima combustível fóssil para aplicação.
- Aceita SA 2 1/2 e ST3
- Com ST3 diminui impacto ao meio ambiente – sem granalha, sem jato compressor = sem combustível fóssil.



Obrigado!

Contato:

Eng. Estrada – José Claudio Estrada Rios
0 55 12 99798-3050
joseestrada@egdengenharia.com.br

