



INSTITUTO
BRASILEIRO DE
PETRÓLEO, GÁS E
BIOCOMBUSTÍVEIS

A casa
da nossa
indústria.

O uso do RBI como Ferramenta para a Programação de Inspeção de Tanques

Fórum de Tanques de Armazenamento

Rafael Reis - REGAP/MG

Objetivo da Apresentação

- Apresentar o método da Inspeção Baseada em Risco (RBI - *Risk Based Analysis*)
- Salientar Premissas Básicas, mas essenciais



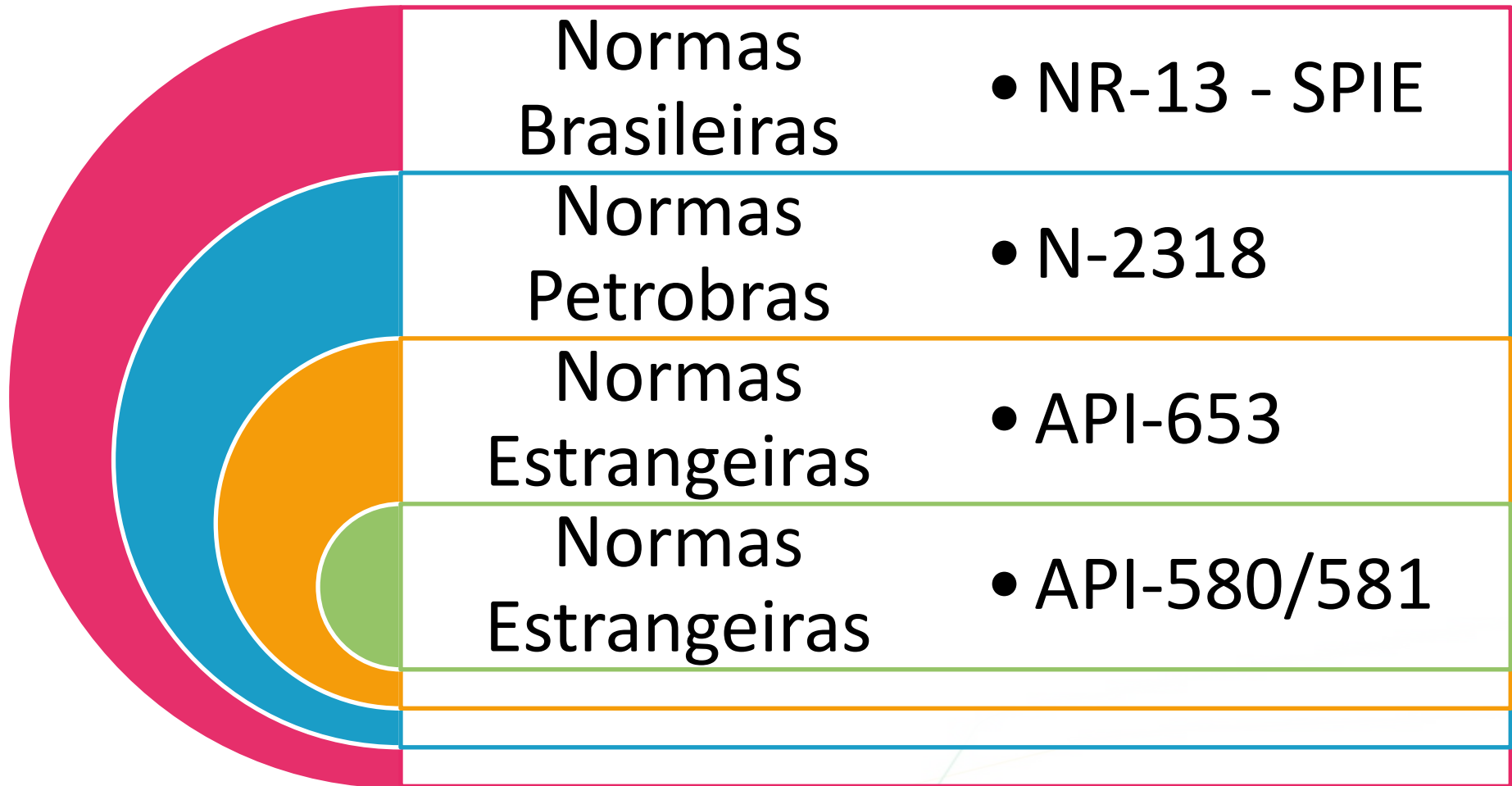
Esclarecer a aplicação simplificada para Tanques

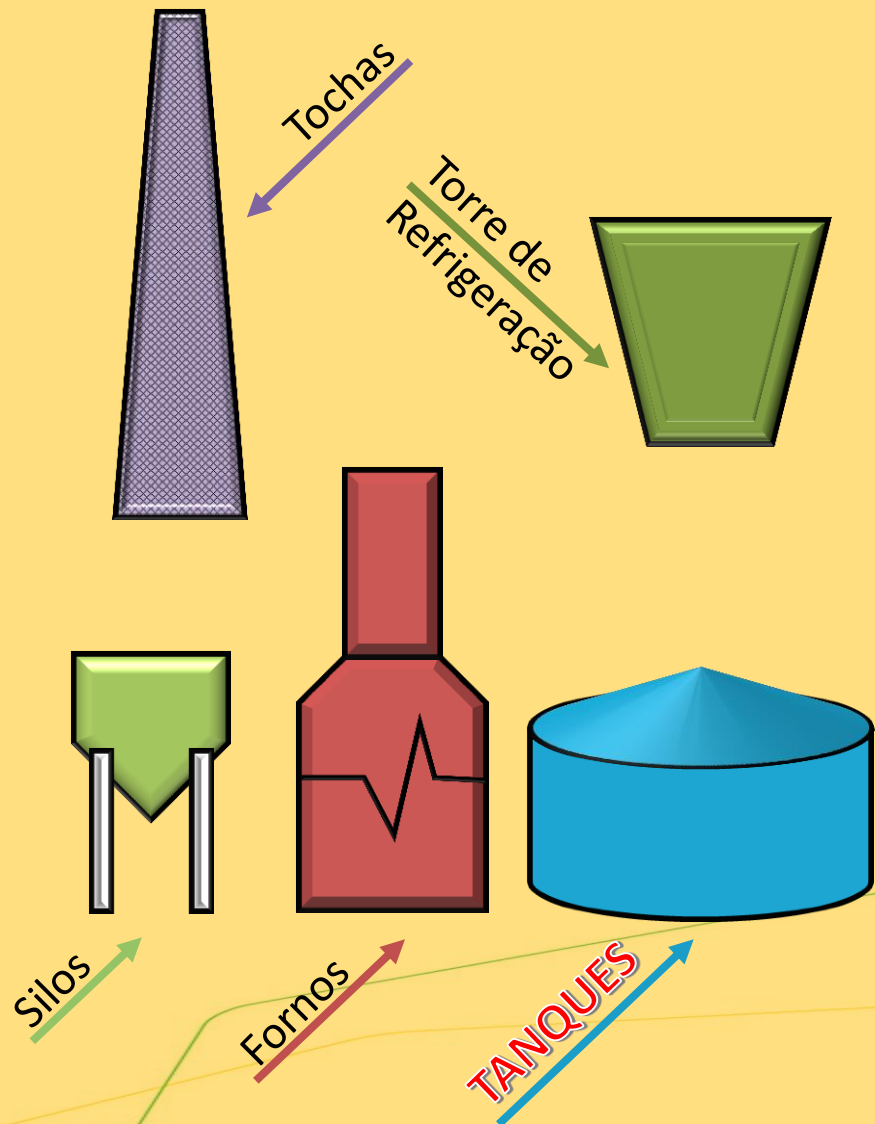
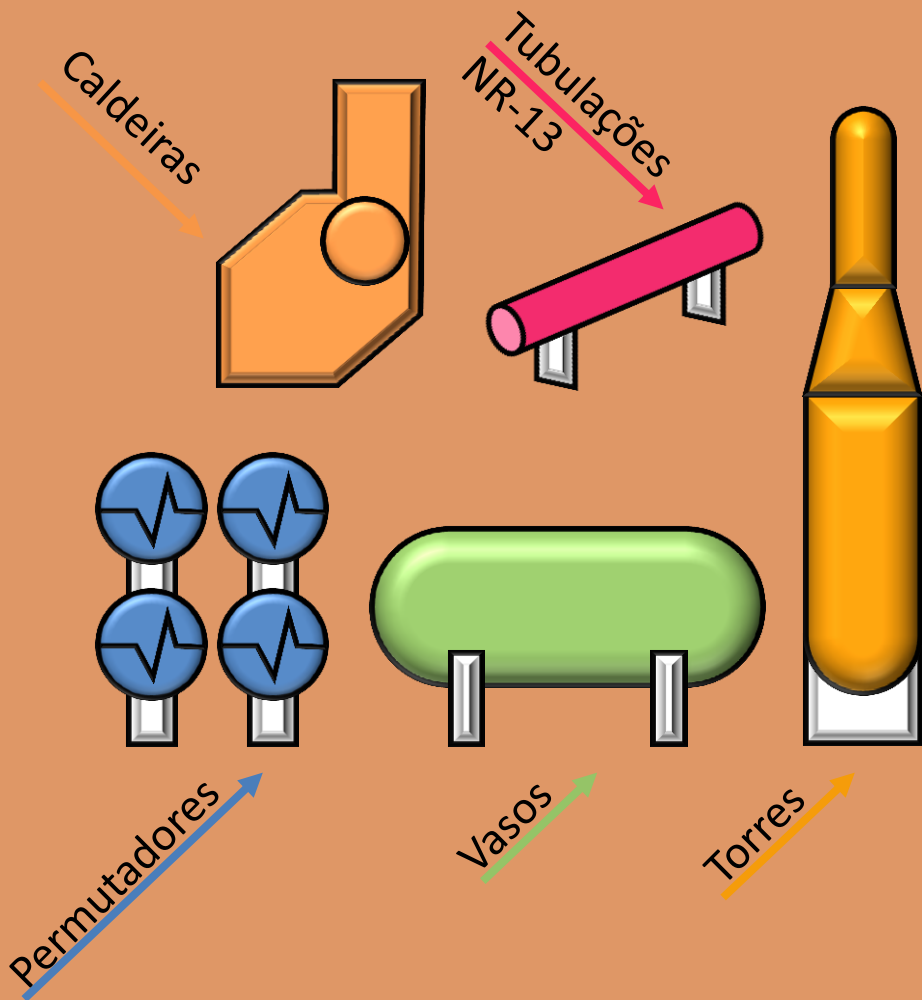
X

Mostrar detalhes e considerações importantes

✓ Importância de uma Equipe Especialista!

Estrutura de Base





SPIE

Aplicação das Normas

N-2318

- Prática Recomendada:
~~Máximo 10 anos~~
- ~~Decisão direta~~

➤ Chama o API-653 para Estudar melhor a frequência

API-653

- Abertura do tanque é necessária por 3 motivos
 - Recalque, Furos, Taxa
 - Frequência de inspeção interna:
 - Vida remanescente ($t_{\min}=2,5\text{mm}$)
 - Limitada a 20 anos de campanha
- Chama Análise de RBI conforme o API-580 e API-581

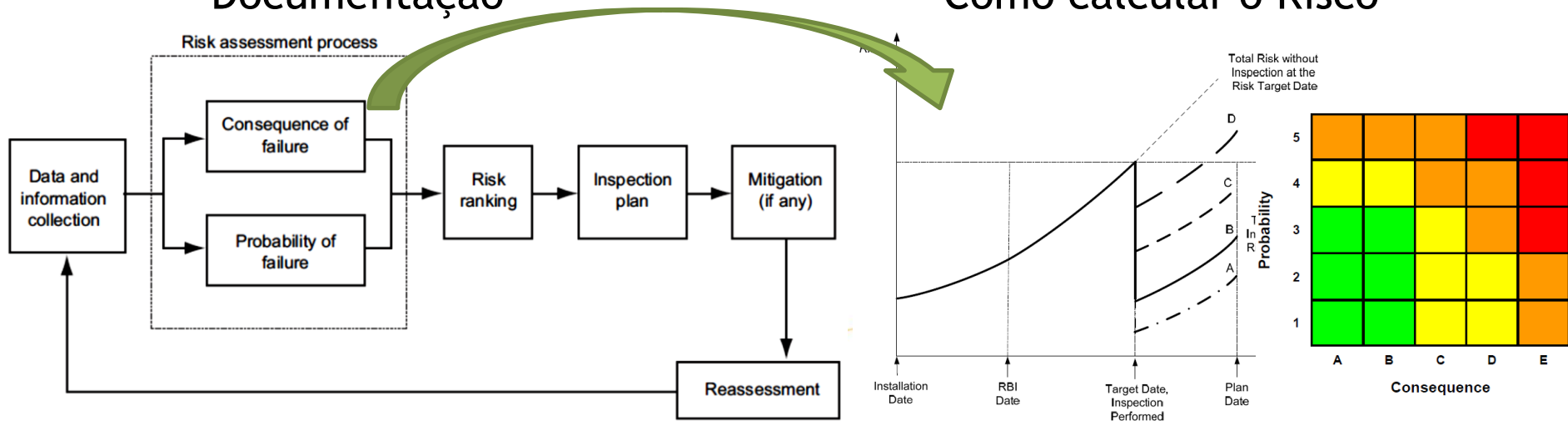
Aplicação das Normas

API-580

- Abordagem Teórica
- Premissas do RBI
 - Conceitos
 - Aplicações
 - Limitações
 - Documentação

API-581

- Abordagem Prática
- Passo a passo para Análise de RBI
 - Como calcular PoF
 - Como calcular CoF
 - Como calcular o Risco

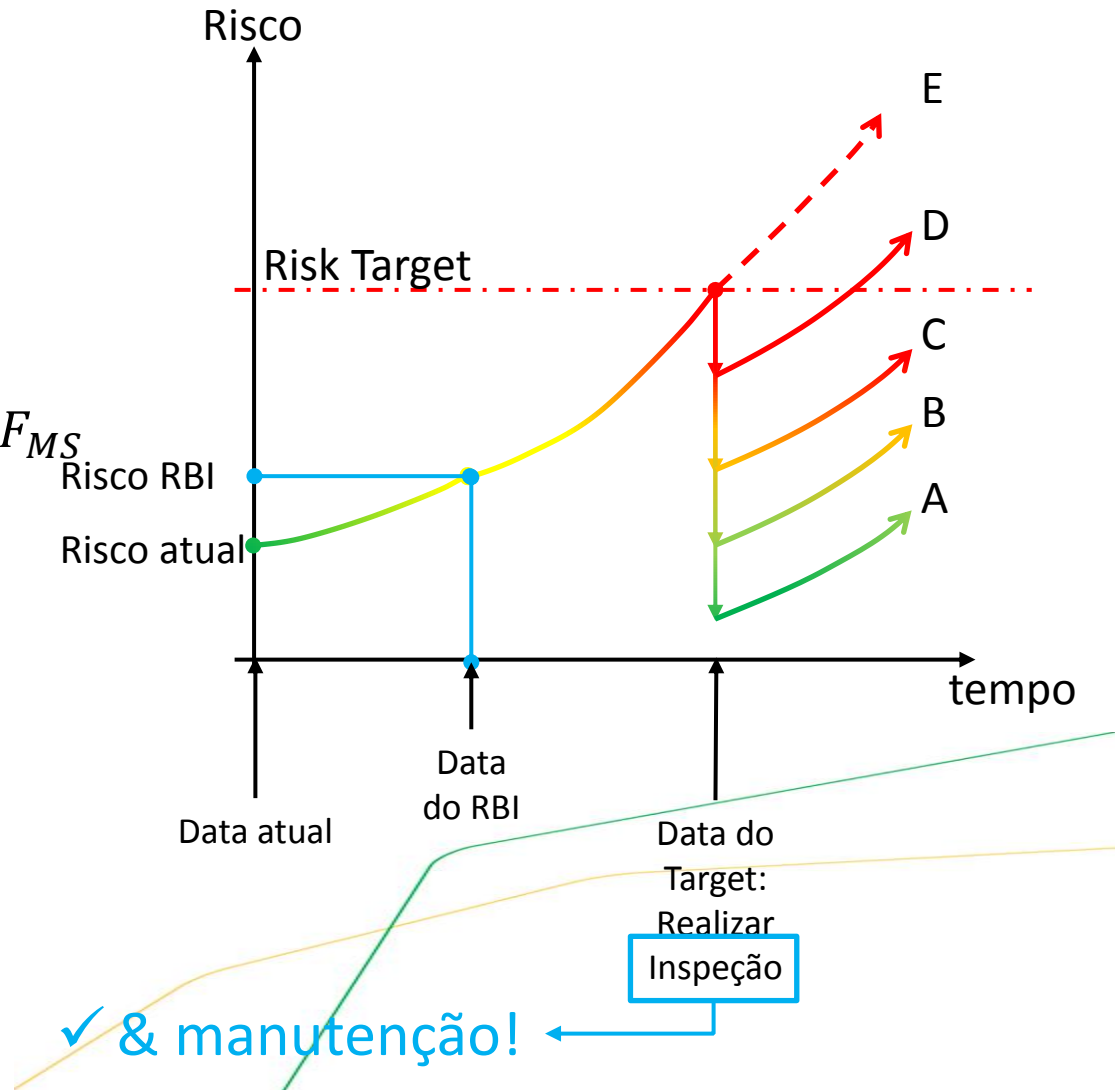


Ferramenta para Programação

- Risco = Subsídio para Programar Inspeção
- Foco no Componente FUNDO
 - Costado e Teto: Métodos não intrusivos
- Determinar:
 - Risco Atual
 - Curva de Crescimento do Risco
 - Risco Máximo aceitável
- Inspeção para redução das incertezas
 - Controle da Efetividade das Inspeções
- Uma das maneiras de reduzir o risco
 - Lançar mão de Manutenção, Processo, Projeto

Análise de RBI - Conceitos

- Risco
 - $R(t) = P_f(t) \times C$
- Probabilidade de Falha
 - $P_f(t) = gff \times D_f(t) \times F_{MS}$
- Consequência
 - Nível 1
 - Geral
 - Para Tanques
 - Nível 2



Probabilidade de Falha

$$P_f(t) = gff \times D_f(t) \times F_{MS}$$

- Frequência de Falha Genérica
 - BD do API
 - Falhas por ano $\left\{ \begin{array}{l} Furo = 7,20 \times 10^{-4} \\ Ruptura = 2,00 \times 10^{-6} \end{array} \right.$
- Fator Dano
 - Adimensional
 - Mecanismos de Deterioração Ativos
 - Função do Tempo
- Fator de Gestão
 - Adimensional - De 0,1 a 10
 - Questionário do API
- Fatores Dano
 - ✓ Perda de espessura
 - ✓ Dano no Revestimento
 - Corrosão externa →
 - ✓ Corrosão sob tensão
 - Ataque pelo H a alta temp. →
 - Fadiga →
 - Fratura Frágil →
 - ✓ Inativos!
- ✓ Não é Porcentual!
 - Falhas por ano.

Perda de espessura (Thinning)

D_{fB}^{thin} - Corrosão

- Combinação de:
 - Espessura remanescente
 - Cálculo do A_{rt}
 - Efetividade
 - A, B, C, D, E: Tabelado

- A_{rt} é o máximo entre 0 e:

$$1 - \frac{t_{rd} - C_{r,cm} \cdot age_{rc} - C_{r,bm} (age - age_{rc})}{t_{min} + CA}$$

$$A_{rt} = 1 - \frac{t_{rd} - C_{r,bm} \cdot age}{t_{min} + CA}$$

✓ Decisão de engenharia

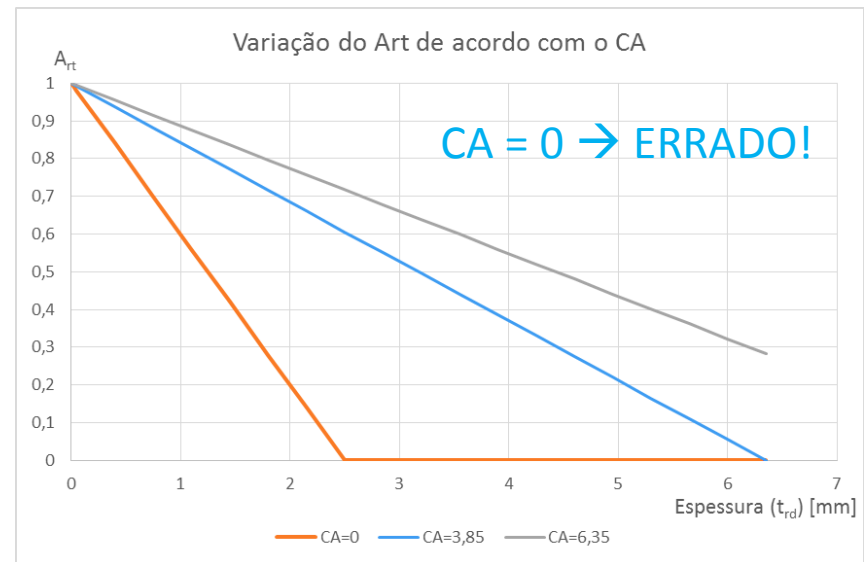
✓ Especialista, histórico, anexo 2B do API-581

→ Espessura atualizada

→ Espessura nominal

% Espessura Remanescente

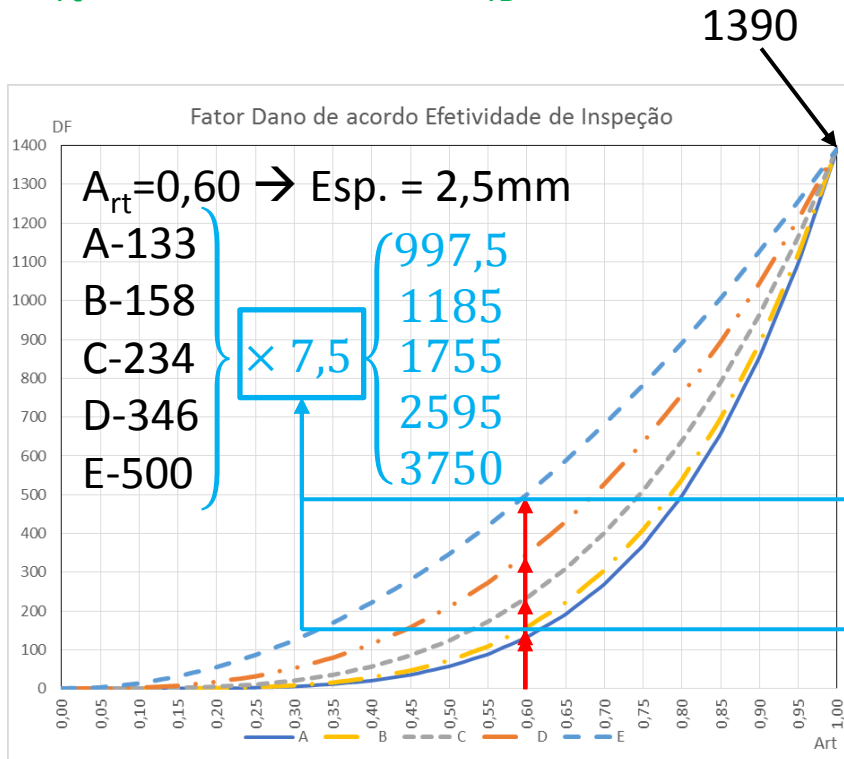
Definição adequada da CA



Perda de espessura (Thinning)

Influência da Efetividade no D_f

$$A_{rt} + \text{Efetividade} = D_{fB}^{thin}$$



Multiplicadores

$$D_f^{thin} = \frac{D_{fB}^{thin} \cdot F_{IP} \cdot F_{DL} \cdot F_{WD} \cdot F_{AM} \cdot F_{SM}}{F_{OM}}$$

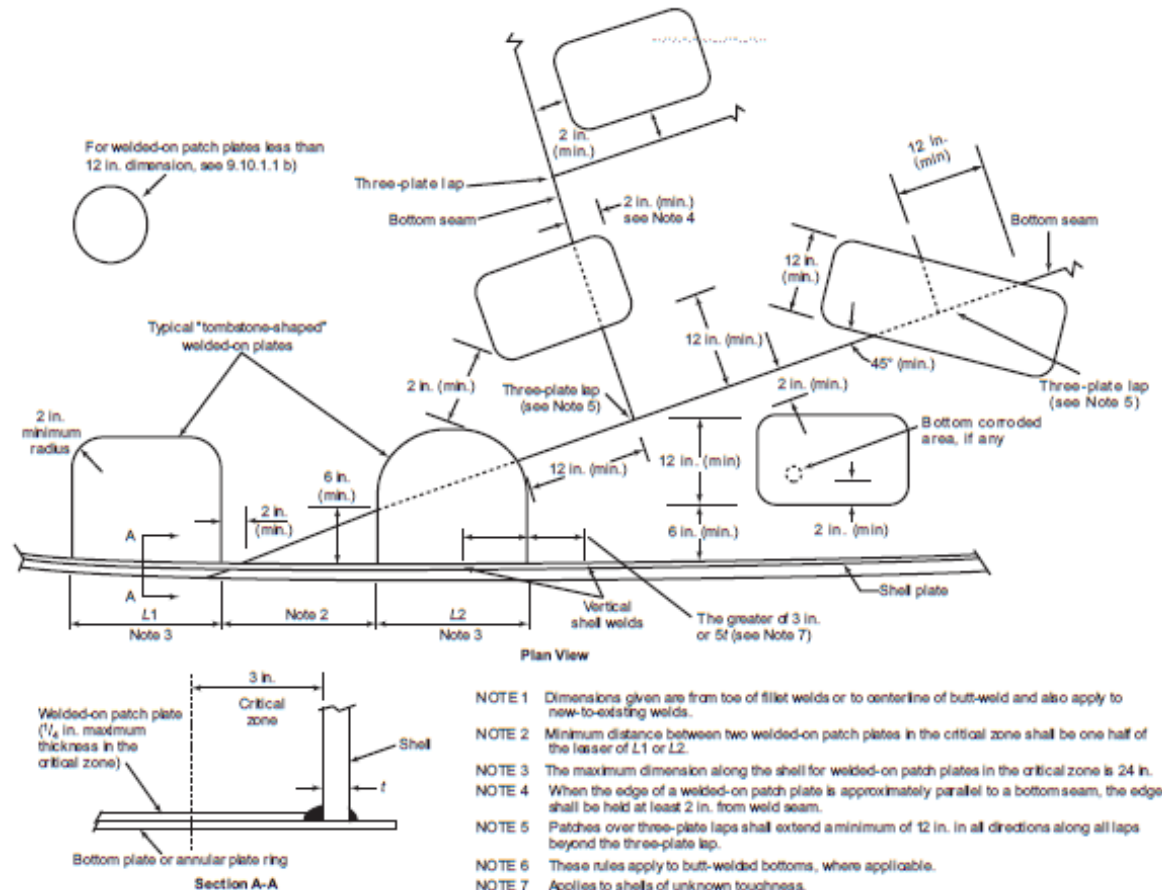
- F_{IP} – Pontos de injeção (tubulação)
- F_{DL} – Trechos mortos (tubulação)
- F_{WD} – Tanque soldado ou rebitado
 - 1 ou 10
- ✓ F_{AM} – Manutenção conforme API-653
 - 1 ou 5
- ✓ F_{SM} – Recalque
 - 1; 1,5; ou 2
- F_{OM} – Monitoramento online
 - 1 ou >1 conforme tipo de monitoramento

Perda de espessura (Thinning)

- F_{AM} - Manutenção Conforme API-653

- Capítulo 9.10

- Reparo
- Substituição
- Zona Crítica
- Recalque
- Ensaio



Dano no Revestimento (Lining)

Considerações

- Taxa de degradação: não aferida
 - Avaliação Qualitativa da condição da pintura
- Comparação com o Fator de Thining:

$$D_{f-gov}^{thin} = \min[D_f^{thin}, D_f^{elin}]$$

- 3ª Edição: alterou os parâmetros do Revestimento Orgânico

D_{fB}^{elin} - Fator Base

Valores Tabelados por:

- Tipo de revestimento
 - Pintura, lining, refratário, fibra de vidro, etc.
- Tempo de operação
- ~~• Tempo desde última inspeção~~
- Tipo da pintura orgânica

$$D_f^{elin} = D_{fB}^{elin} \cdot F_{LC} \cdot F_{OM}$$

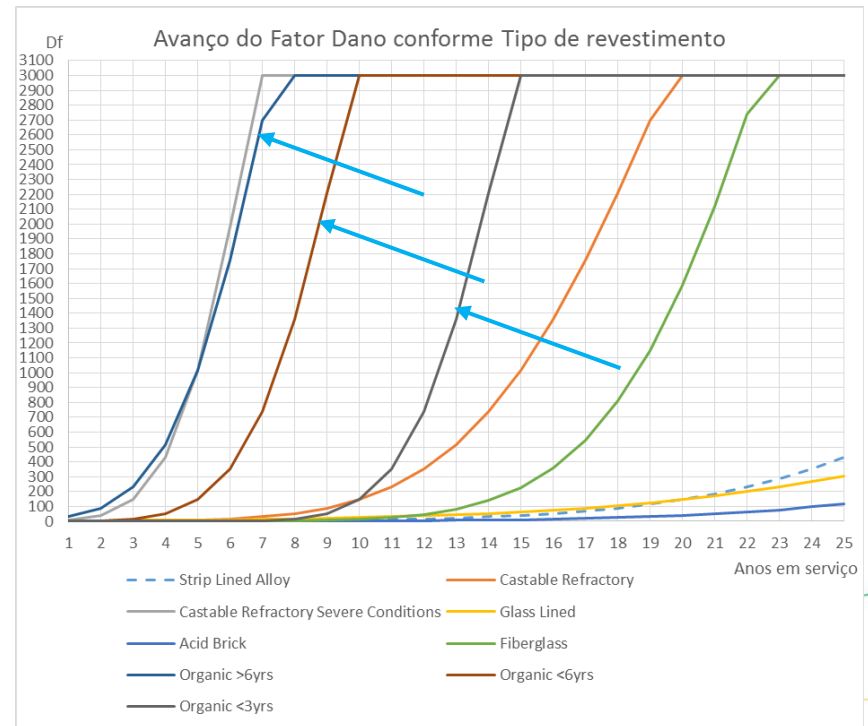
- F_{LC} - Condição do revestimento
 - 1, 2 ou 10
- F_{OM} - Monitoramento online
 - 1 ou <1 conforme tipo de monitoramento

Dano no revestimento (Lining)

D_{fB}^{elin} - Orgânicos

- Ao invés de considerar o Tempo desde a última inspeção, agora considera:
 - Baixa qualidade: Spray <40mils (1000 μ m)
 - Média qualidade: Espátula <80mils (2000 μ m)
 - Boa qualidade: Espátula \geq 80mils (2000 μ m)
- N-2913:
 - Tipo II: Pistola airless 450 μ m
 - Tipo III: Pistola airless 500 μ m

Avanço do D_{fB}^{elin} com tempo



✓ Plotagem das tabelas do API

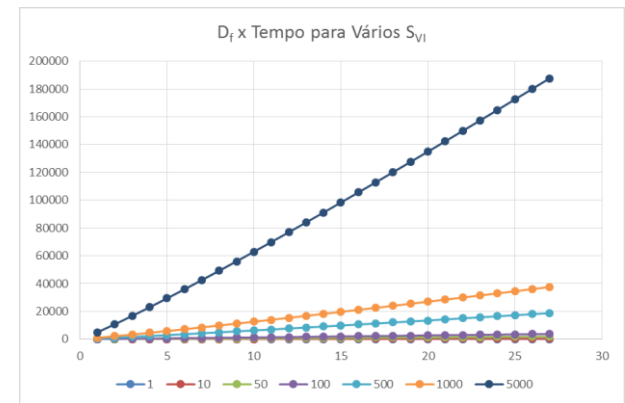
Corrosão sob Tensão (Cracking)

- Avaliar quanto à Trincamento:
 - por Soda Cáustica
 - por Amina
 - por H₂S em meio úmido
 - por Carbonatos
 - por Ácidos Politônicos
 - por Cloretos
 - por Ácido Fluorídrico
- ✓ Nem todos são sempre aplicáveis

$$D_{f-gov}^{SCC} = \max \left[\begin{array}{l} D_f^{caustic}, D_f^{amine}, D_f^{SCC}, D_f^{HIC\ SOHIC\ H_2S}, D_f^{ACSCC}, \\ D_f^{PASCC}, D_f^{ClSCC}, D_f^{HSC-HF}, D_f^{HIC\ SOHIC\ HF} \end{array} \right]$$

Corrosão sob Tensão (Cracking)

- Padrão dos Mecanismos de Trincamento:
 - Tempo em serviço desde última inspeção
 - Susceptibilidade ao Trincamento
 - Índice de Severidade
 - Efetividade de Inspeção
 - Quantidade de Inspeções



- Padrão do Fator de Dano:

$$D_f^{trincamento} = D_{fB} \cdot [\max(age; 1,0)]^{1,1}$$

- D_{fB} varia de 1 a 5000

Consequência

- Modelagem de cenários
 - Modelagem de fluidos
 - Análise de Grupo de Inventário
 - Impactos tóxicos
 - Impactos explosivos e inflamáveis
 - Comparar impacto Financeiro com de Área
- É aplicado uma versão simplificada da nível 1
 - Fluido tabelado
 - Apenas a consequência financeira é aferida

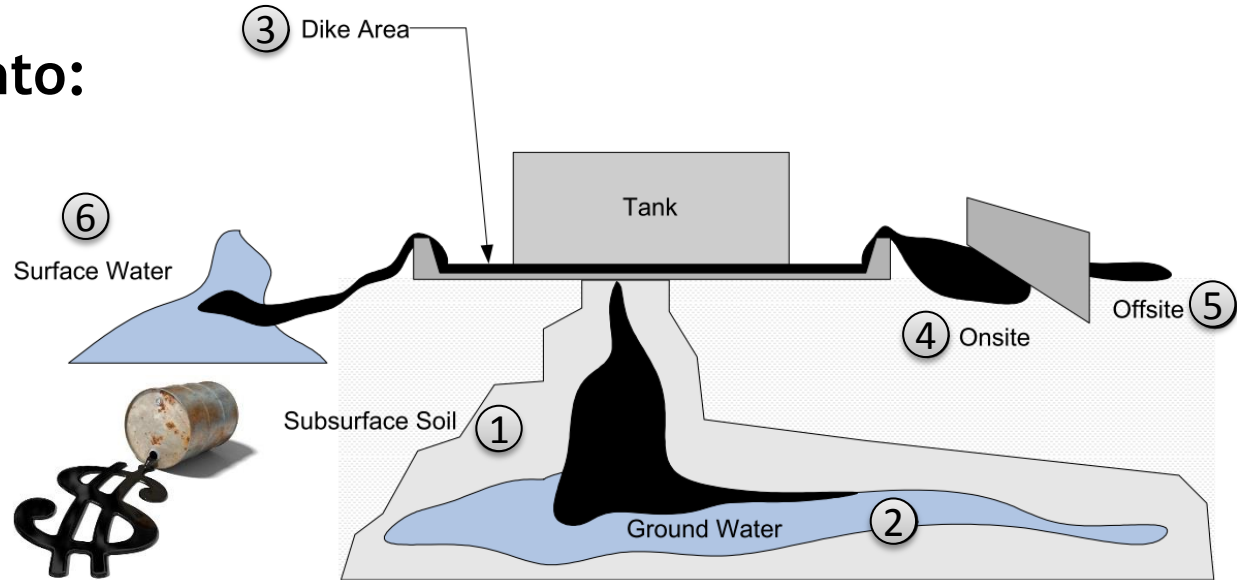
$$FC_{total} = FC_{env} + FC_{cmd} + FC_{prod}$$

- Meio ambiente
- Dano ao componente
- Lucro cessante

Consequência ao Meio Ambiente

Sobre o vazamento:

1. Volume
2. Tempo
3. Forma
4. Local
5. Custo



- Volume depende do tamanho do tanque e do tempo de vazamento
- Tempo é vazar até **esvaziar** ou até ser detectado
- *Release hole sizes*: ‘n’ Furos pequenos (gff_1) ou Ruptura (gff_4)
- Vazamento (1 e 2) ou ruptura (3, 4, 5 e 6)
- ✓ **Valor de reparar a contaminação em cada local**

$$FC_{env} = FC_{env}^{leak} + FC_{env}^{rupt} = \frac{gff_1}{gff_{total}} \sum_{i=1}^2 Bbl_i^{leak} \cdot C_i + \frac{gff_4}{gff_{total}} \sum_{i=3}^6 Bbl_i^{rup} \cdot C_i$$

Dano ao Componente e

$$FC_{cmd} = \left(\frac{holecost_1 \cdot gff_1 + holecost_4 \cdot gff_4 \cdot \left(\frac{D_{tank}}{C_{36}} \right)^2}{gff_{total}} \right) \cdot matcost$$

Lucro Cessante

$$FC_{prod} = \left(\frac{outage_1 \cdot gff_1 + outage_4 \cdot gff_4}{gff_{total}} \right) \cdot M \cdot prodcost$$

- **Holecost 1:**
 - Custo de reparo de um furo pequeno no fundo do tanque
- **Holecost 4:**
 - Custo de reparo de uma ruptura do fundo (substituição)
- **Matcost:**
 - Multiplicador do valor conforme o tipo de material
- **Outage 1:**
 - Quantidade de dias para reparar um furo pequeno
- **Outage 4:**
 - Quantidade de dias para reparar uma ruptura do fundo
- **M . Prodcost:**
 - Multiplicador de dias
 - Custo diário do tanque parado em \$/dia

✓ O API possui todos os parâmetros tabelados, mas que podem não ser a realidade da planta, nem estar atualizado (2001 US Dollars)

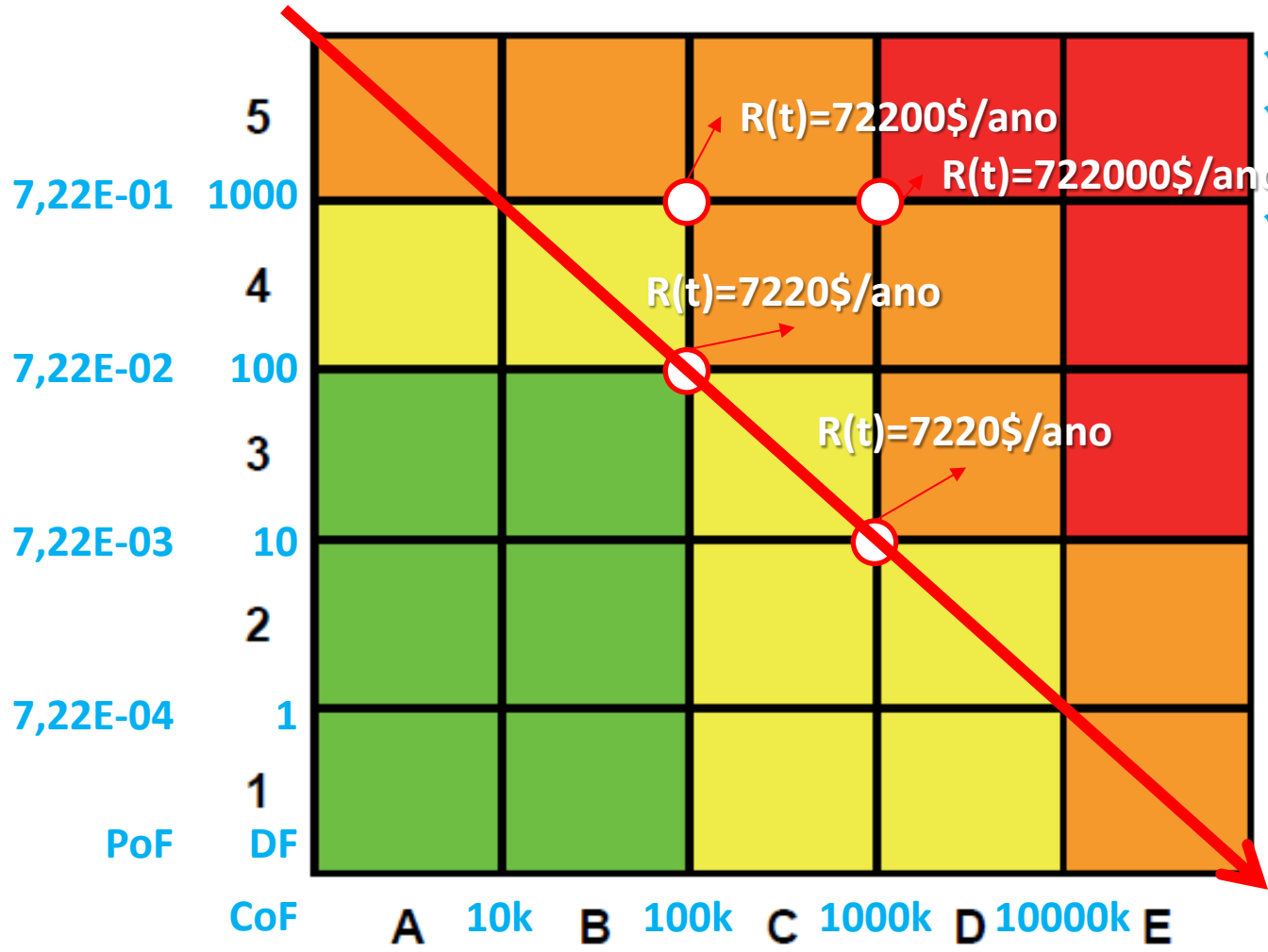
Tabelas de Consequência Financeira

Location (1)	Description	Environmental Sensitivity		
		Low (US\$/bbl)	Medium (US\$/bbl)	High (US\$/bbl)
1	C_{indike} – Environmental cost for product located in the dike area	10	10	10
2	$C_{ss-onsite}$ – Environmental cost for product located in surface soil located on-site	50	50	50
3	$C_{ss-offsite}$ – Environmental cost for product located in surface soil located off-site	100	250	500
4	$C_{subsoil}$ – Environmental cost for product located in subsoil	500	1500	3000
5	$C_{groundwater}$ – Environmental cost for product located in groundwater	1,000	5,000	10,000
6	C_{water} – Environmental cost for product in surface water	500	1,500	5,000

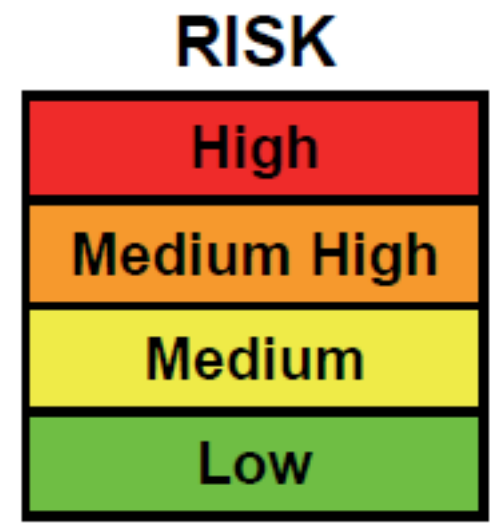
- ✓ Valores NÃO foram atualizados mesmo na 3ª Edição de 2016!
- ✓ Análise Relativa é válida, mesmo assim

Equipment Type	Component Type	Estimated Outage in Days, $Outage_n$			
		Small	Medium	Large	Rupture
Tank	TANKBOTTOM	5	NA	NA	50
	COURSE-1 through 10	2	3	3	14
Equipment Type	Component Type	Damage Cost (2001 US Dollars), $holecost$			
		Small	Medium	Large	Rupture
Tank	TANKBOTTOM	5,000	0	0	120,000
	COURSES-10	5,000	12,000	20,000	40,000

Matriz de Risco



- ✓ $gff = 7,22e-04$ falhas/ano
- ✓ $F_{MS} = 1$
- ✓ $DF = 1000$
- ✓ $A_{rt} = 0,85$
- ✓ Efetividade E
 - ✓ $t \approx 1,0\text{mm}$
- ✓ Efetividade A
 - ✓ $t \approx 0,5\text{mm}$



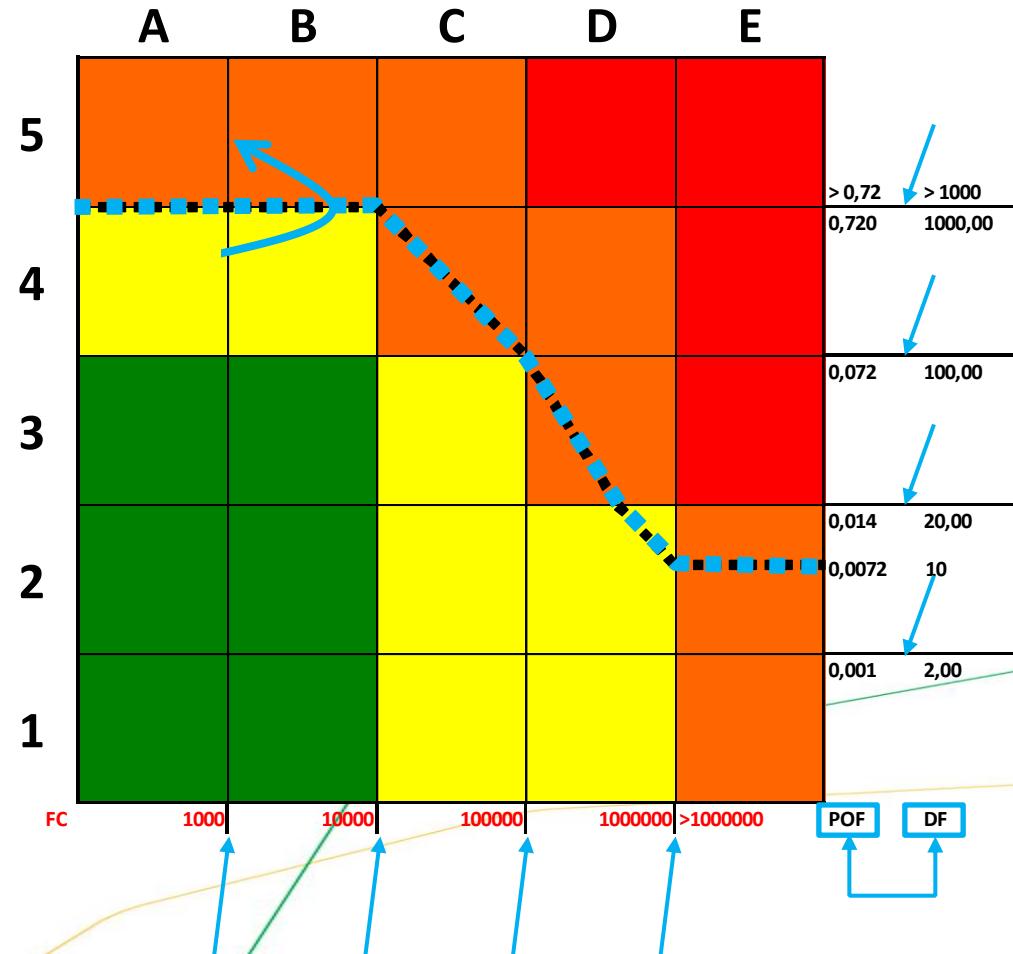
Matriz de Risco

$$R(t) = P_f(t) \times FC$$

- Considerada a nota de gestão definida, o $P_f(t)$ é equivalente ao D_f

$$P_f(t) = gff \times D_f(t) \times F_{MS}$$

- As divisões padrão são encontradas no API, mas podem ser reavaliadas
- A linha tracejada é o Risk Target da planta
- Posiciona-se o Risco atual e o Risco futuro, quando ultrapassará o Target



Estudo de caso 1

Tanque Inspeccionado - Pensamento no RBI

- Última Inspeção: 2012
 - Não há mecanismo p/ trinca
 - Ensaio visual e MFL do fundo 100%: Sem furos
 - Realizada medição de recalque - Aprovada
 - t_{rd} espessura mínima: 2,7mm
 - **Efetividade B**
- Taxa de corrosão
 - Calculada: 0,1090mm/ano
 - **Histórica: 0,1144mm/ano**
- Manutenção
 - Reparo do fundo nos pontos de corrosão > 40% (3,81mm)
 - Conforme diretrizes do API-653
 - **Espessura mínima remanescente: 4,0mm**
- Campanhas:
 - N-2318: 10 anos (fixo)
 - API-653: 13 anos (vida até mínima - 2,5mm)
 - **API-581: 29 anos (risco > Risk Target)**

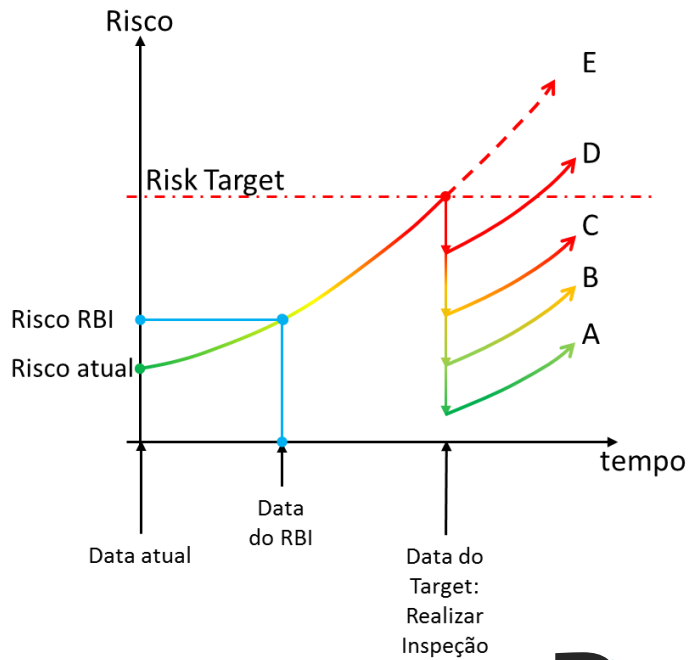
✓ API-653 só recomenda não operar até furar, mas o risco bypassa a espessura mínima

Estudo de caso 2

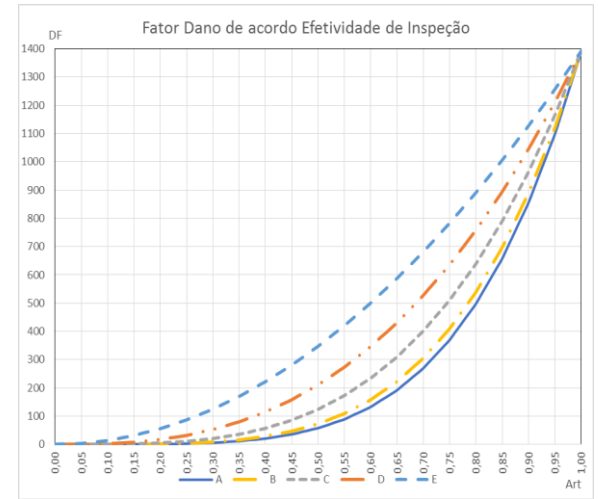
Tanque em Operação - Aferição do risco

- Última Inspeção: 2002
 - Há mecanismo p/ trinca não inspecionado: Efetividade E
 - Ensaio visual do fundo 100%: Sem furos
 - Removidas bolachas
 - Nunca medido recalque
 - t_{rd} espessura mínima: 4,7mm
 - **Efetividade C**
- Taxa de corrosão
 - Calculada: 0,1746mm/ano
 - Trincamento ativo
- Manutenção
 - Conforme diretrizes do API-653
- Risco Atual (2014): $D_F = 537$
- Campanhas:
 - N-2318: 10 anos (fixo)
 - API-653: 12 anos (vida até mínima - 2,5mm)
 - **API-581: 17,5 anos (risco > Risk Target)**

✓ RBI ainda permitiu acoplar o risco do trincamento, mesmo que nunca aferido antes



Dúvidas?



Boa tarde e Obrigado!

