ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL DE TANQUES METÁLICOS JAQUETADOS SUBTERRÂNEOS

CONSTRUÍDOS CONFORME NORMA

ABNT NBR 16161:2020

I.N.T
INSTITUTO NACIONAL DO TANQUE

ABIEPS

Elaborado por:

Tech & Knowledge
Serviços de Engenharia

Fernando Luiz Torsani
Eng. Mec. e Seg. Trab.
CREA-SP: 5060161892
ART: 28027230201538144

Sumário

RESUMO 3
INTRODUÇÃO E OBJETIVO 3
HISTÓRIA 4
DADOS DOS TANQUES PREVISTOS EM NORMA 6
ESPECIFICAÇÕES DOS COMBUSTÍVEIS ARMAZENADOS 7
CARGAS 8
POSSÍVEIS FALHAS 9
ESPESSURAS REQUERIDAS 9
CORROSÃO 12
TAXAS DE CORROSÃO PREVISTAS 12
VIDA ÚTIL ESTIMADA 18
CONCLUSÃO 20
REFERÊNCIAS 22
ANEXO I - ART (ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA) 24
ANEXO II – CURRÍCULO DO AUTOR 26

Revisão	Data	Descrição	Responsável
00	25/02/2021	Publicação Inicial	Torsani, F.L.
01	04/03/2021	Acrescentado esclarecimentos sobre a pressão e equação 6. Nomenclatura dos combustíveis conf. ANP.	Torsani, F.L.
02	22/03/2021	Revisão das considerações para definição da vida útil	Torsani, F.L.

Tech & Knowledge – Serviços de Engenharia Ltda.- ME
Rua Luiz de Oliveira Souza, 506 – Nova Itália
CEP 13271-390 – Valinhos – SP
(19) 99602-8395
fernando.luiz@torsani.com.br

RESUMO

Neste trabalho é apresentado um histórico do uso dos tanques subterrâneos para armazenamento de combustíveis, especialmente dos tanques jaquetados subterrâneos para o armazenamento de combustíveis. São apresentados os padrões de tanque definidos na norma ABNT NBR 16161:2020 e são calculadas as espessuras mínimas requeridas do costado, tampos e divisórias. É apresentado o equacionamento para a análise da redução do Módulo de Elasticidade em função do Grau de Corrosão e Taxa de Corrosão até o colapso teórico do tanque. São calculadas as vidas úteis dos padrões de tanque considerando um valor crítico de taxa de corrosão e uma vida útil média é estimada.

Palavras-chave: tanque jaquetado subterrâneo, corrosão, combustíveis, grau de corrosão

INTRODUÇÃO E OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é estimar, com a melhor precisão possível, a vida útil dos tanques metálicos jaquetados subterrâneos, construídos conforme a norma ABNT NBR 16161:2020, suas versões anteriores e suas predecessoras, ABNT NBR 13312 e ABNT NBR 13785, as quais cancelou e substituiu. Não são contemplados neste estudo os tanques não jaquetados, construídos conforme NB-190. Considerando que a NB-190 foi cancelada em 1995, sendo substituída pela ABNT NBR 13312, os últimos tanques fabricados conforme esta norma teriam em 2021, 26 anos de uso, sem qualquer monitoramento ou proteção contra corrosão externa e interna e a consequente perda de estanqueidade. A vida útil estimada desses tanques não jaquetados é de 15 anos segundo estudos de alguns órgãos ambientais e, portanto, não deveriam existir tanques desse tipo ainda instalados.

Os tanques metálicos jaquetados subterrâneos são utilizados para o armazenamento de combustíveis e óleo lubrificante usado e contaminado (OLUC) em postos revendedores, pontos de abastecimento e instalações de sistema retalhista.

Esses tanques são constituídos de um tanque cilíndrico horizontal, com fechamentos planos rebordeados, construídos em aço carbono e revestidos por uma jaqueta em plástico reforçado com fibra de vidro.

A função da jaqueta é conter qualquer vazamento do tanque metálico, responsável por armazenar o produto. O vazamento do tanque metálico não é, então, o foco deste trabalho, bem como a resistência da jaqueta.

Como o tanque é instalado abaixo do solo, normalmente sob a área de manobras dos estabelecimentos, estará sujeito a compressão do solo no qual está enterrado, bem como de eventuais cargas do tráfego sobre o piso da área de manobras. Essa compressão pode ser considerada como uma pressão externa ao tanque que, caso não tenha resistência mecânica adequada, irá sofrer colapso.

Assumindo que o tanque novo, construído conforme a norma, tem resistência adequada e que, com o decorrer do tempo sofrerá a ação da corrosão pelos produtos armazenados, a vida útil desse tanque poderá ser determinada a partir da espessura nominal do tanque, da espessura mínima requerida para suportar a pressão externa atuante e da taxa de corrosão esperada.

As espessuras nominais com as quais o tanque deve ser construído são determinadas na norma ABNT NBR 16161:2020. De forma mais específica, o objetivo deste trabalho é então determinar quais as espessuras

requeridas para o costado e os tampos, para todas as geometrias permitidas pela norma e estimar a taxa de corrosão em função do produto armazenado.

Considerará sempre tanques construídos integralmente conforme a norma ABNT NBR 16161:2020 e instalados conforme ABNT NBR 16764:2019 e armazenando produtos conforme as especificações da ANP. Não serão considerados tanques que não atendam à norma, bem como combustíveis fora de padrão.

HISTÓRIA

O desenvolvimento de tanques jaquetados subterrâneos surgiu da necessidade de proteção do solo e da preocupação em relação a potenciais contaminações decorrentes de vazamento dos tanques subterrâneos, largamente utilizados em postos de abastecimento e de serviços. Até então, os combustíveis eram armazenados em tanques subterrâneos metálicos de parede simples, otimizando o espaço do posto de abastecimento, porém permitindo que, em caso de perda de estanqueidade, houvesse a contaminação do solo e lençol freático e, por outro lado, a contaminação do produto armazenado pela água e contaminantes oriundos do solo.

A principal norma para a construção de tanques metálicos subterrâneos para armazenamento de combustíveis e inflamáveis, utilizada em diversos países, é a UL-58. Inicialmente publicada em 1925 pela Underwriters Laboratories Inc., uma organização sem fins lucrativos fundada em Delaware/EUA, essa norma tratava de tanques rebitados de parede simples construídos em aço galvanizado. Ainda nas décadas de 1920 e 1930, a construção rebitada foi substituída pela soldada e, durante a segunda grande guerra a utilização do aço carbono passou a ser permitida em função da escassez de chapas galvanizadas.

No início dos anos 1970 alguns tanques já apresentavam uma jaqueta para prevenir vazamentos, porém somente no início da década de 1980 começaram a ser publicadas regulamentações estaduais, nos EUA, tornando obrigatório o uso de tanques jaquetados ou de parede dupla. Contudo, nos EUA, uma regulamentação mais rígida foi publicada somente em setembro de 1988 pela EPA (United States Enviromental Protection Agency), sendo estabelecida a data limite de 22 de dezembro de 1998 para adequação aos novos requisitos.

Conforme ASTSWMO (2015), em levantamento de 2015, ou seja, 17 anos após a data limite, a idade média dos tanques subterrâneos de armazenamento de combustível nos EUA era a apresentada na Figura 1.

Foi levantado ainda que havia grande variação da forma de tratamento dada por cada estado, sendo que alguns não tinham praticamente informações a respeito desses tanques enquanto alguns poucos tinham regulamentações que exigiam a troca dos tanques após certa idade e outros ainda ofereciam incentivos financeiros para essa troca.

Importante ressaltar também, a ação das companhias de seguro privadas, incentivando a substituição dos tanques como contrapartida da redução do prêmio do seguro.

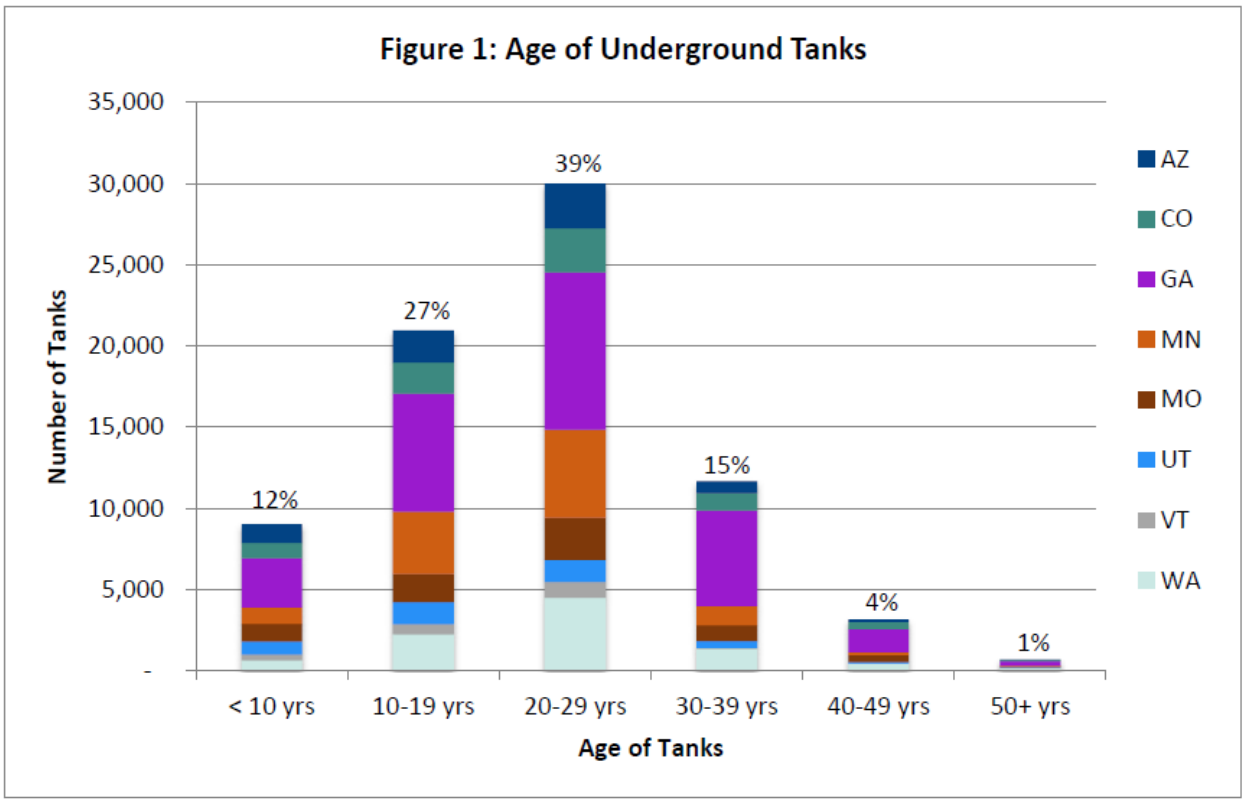

Figura 1. Idade e número de tanques subterrâneos nos EUA em 2015. Fonte: ASTSWMO (2015).

Tabela 1. Dispositivos Legais por estados dos EUA. Fonte: ASTSWMO (2015).

Estado (EUA)	Dispositivo Legal
Connecticut (CT)	Tanques devem ser trocados 30 anos a partir da data de instalação(1)
Florida (FL)	Todos os tanques de parede simples devem ser substituídos por parede dupla até 31/12/2009.
Illinois (IL)	Tanques reprovados na inspeção do revestimento devem ser trocados.
New Hampshire (NH)	Tanques de parede simples e tubulações devem ser fechados até 22/12/2015. Todos os tanques devem ser de parede dupla.
Rhode Island (RI)	Data limite obrigatória para fechamento permanente de tanques de parede simples.
South Carolina (SC)	Sistemas de parede simples devem ser fechados até 22/12/2018 se distantes até 100 ft de um manancial ou superfície de água.
Vermont (VT)	Sistemas de parede simples devem ser fechados até 01/01/2016. Tanques revestidos devem ser removidos 10 anos após a data de revestimento.
Wyoming (WY)	Tanques com taxa de transferência > 500.000 gal/mês devem ser substituídos quando tiverem mais de 30 anos.

(1) Na revisão de 2016 da RCSA §22a-449(d)-1(h) a expectativa de vida de tanques subterrâneos metálicos sem proteção catódica é definida como 15 anos.

No Brasil, a primeira norma relativa a tanques metálicos subterrâneos foi a ABNT NB-190:1972 - Fabricação e instalação de tanques subterrâneos para postos de serviço de distribuição de combustíveis líquidos.

Em 1995 a norma ABNT NB-190 foi cancelada e substituída pela ABNT NBR 13312:1995 - Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Posto revendedor veicular (serviço) - Construção de tanque atmosférico subterrâneo em aço-carbono, que, em conjunto com a norma ABNT NBR 13785:1995 - Posto de serviço - Construção de tanque atmosférico de parede dupla, jaquetado, apresentava os requisitos para a construção de tanques jaquetados.

Em 2000 foi publicada a Resolução CONAMA nº 273, de 29 de novembro de 2000, que trata da Prevenção e Controle da Poluição em Postos de Combustíveis e Serviços, passou a exigir, dentre outras providências, que os equipamentos, incluindo os tanques subterrâneos para combustíveis, fossem certificados pelo INMETRO a partir de 01/01/2003.

Em 2003 o INMETRO publicou a Portaria nº 185 ,de 04 de dezembro de 2003, que aprovou o regulamento estabelecendo os requisitos para Avaliação da Conformidade de Tanques de Armazenamento de Combustíveis, nacionais ou importados, destinados à instalação subterrânea em posto revendedor, posto de abastecimento e instalação de TRR, definidos conforme a Resolução 273 do CONAMA.

Em 2013, estas duas normas forma canceladas e substituídas pela norma ABNT NBR 16161:2013 - Tanque metálico jaquetado subterrâneo - Requisitos de fabricação e de modulação, cuja última versão válida é a 2020.

DADOS DOS TANQUES PREVISTOS EM NORMA

As dimensões e detalhes construtivos dos tanques jaquetados são tratados na norma ABNT NBR 16161:2020. As tabelas 1 e 2 da norma apresentam as capacidades e dimensões dos tanques para armazenamento de combustíveis e OLUC, respectivamente.

Em 4.3.1 são determinadas as espessuras nominais mínimas para o costado dos tanques para armazenamento de combustível e em 4.3.3 a espessura nominal mínima para o costado de tanques para armazenamento de OLUC.

A espessura nominal dos tampos é determinada em 5.2 como igual ou superior à espessura do costado.

A espessura dos discos de compartimento é determinada em 5.8.3 como não inferior à do costado, com reforços.

A espessura do anel de reforço para o tanque de 60.000 L Pleno é determinada em 5.8.4 como não inferior à do costado.

A Tabela 2 abaixo apresenta uma compilação desses dados.

Tabela 2. Características dos padrões de tanque da ABNT NBR 16161:2020.

Capacidade Nominal (L)	Compartimento	Diâmetro Nominal (mm)	Comprim. Nominal (mm)	Espessura do Costado (mm)	Espessura dos Tampos (mm)	Espess. das Divisórias (mm)
Combustíveis						
3.000	Pleno 3.000	1.450	1.820	4,75 (3/16”)	4,75 (3/16”)	NA
5.000	Pleno 5.000	1.450	3.030	4,75 (3/16”)	4,75 (3/16”)	NA
10.000	Pleno 10.000	2.549	2.000	6,30 (1/4”)	6,30 (1/4”)	NA
15.000	Pleno 15.000	1.910	5.400	4,75 (3/16”)	4,75 (3/16”)	NA
15.000	Pleno 15.000	2.549	3.000	6,30 (1/4”)	6,30 (1/4”)	NA
20.000	Pleno 20.000	2.549	4.000	6,30 (1/4”)	6,30 (1/4”)	NA
20.000	2 x 10.000	2.549	4.000	6,30 (1/4”)	6,30 (1/4”)	6,30 (1/4”)
30.000	Pleno 30.000	2.549	6.000	6,30 (1/4”)	6,30 (1/4”)	NA
30.000	2 x 15.000	2.549	6.000	6,30 (1/4”)	6,30 (1/4”)	6,30 (1/4”)
30.000	10.000 x 20.000	2.549	6.000	6,30 (1/4”)	6,30 (1/4”)	6,30 (1/4”)
60.000	Pleno 60.000	2.549	12.000	6,30 (1/4”)	6,30 (1/4”)	6,30 (1/4”)
60.000	2 x 30.000	2.549	12.000	6,30 (1/4”)	6,30 (1/4”)	6,30 (1/4”)
60.000	3 x 20.000	2.549	12.000	6,30 (1/4”)	6,30 (1/4”)	6,30 (1/4”)
60.000	4 x 15.000	2.549	12.000	6,30 (1/4”)	6,30 (1/4”)	6,30 (1/4”)
OLUC						
1.000	Pleno 1.000	906	1.560	4,75 (3/16”)	4,75 (3/16”)	NA
2.000	Pleno 2.000	1.200	1.800	4,75 (3/16”)	4,75 (3/16”)	NA
3.000	Pleno 3.000	1.450	1.820	4,75 (3/16”)	4,75 (3/16”)	NA
5.000	Pleno 5.000	1.450	3.030	4,75 (3/16”)	4,75 (3/16”)	NA

ESPECIFICAÇÕES DOS COMBUSTÍVEIS ARMAZENADOS

Os seguintes produtos poderão ser armazenados nos tanques:

- Etanol Anidro Hidratado Combustível
- Gasolina com Etanol
- Gasolina
- Diesel
- Diesel com Biodiesel
- Biodiesel
- Óleo Lubrificante Usado ou Contaminado (OLUC)

No Brasil é extensivo o uso de biocombustíveis, como o Etanol e o Biodiesel, e a sua mistura com combustíveis minerais.

Segundo Ambrozin *et al.* (2009) o uso do etanol como combustível teve início em 1931, com a obrigatoriedade da adição de 5% à gasolina. A partir do final da década de 1970, com o Programa nacional do Álcool (PROÁlCOOL) o etanol passou a ser utilizado puro. Hoje, além da opção do etanol “puro”, a gasolina comercializada contém 27% de etanol misturado.

O biodiesel, fabricado a partir de diversas matérias primas, é misturado ao diesel desde 2005. Inicialmente na proporção de 2%, hoje é usado na proporção de 5%.

A proporção de mistura de biocombustíveis nos combustíveis minerais pode sofrer alterações em função de diversos fatores como sua disponibilidade e preço.

A ação corrosiva do etanol e de sua mistura com a gasolina é função de diversos fatores como o pH e a presença de contaminantes como íons cloreto, sulfato, acetato e água.

Já o biodiesel (...) possui baixa estabilidade oxidativa e hidrolítica, que alteram o seu padrão de qualidade e aumentam a sua ação corrosiva. Ele oxida quando exposto ao ar e às altas temperaturas, formando ácidos orgânicos e hidroperóxidos, que prejudicam a qualidade do produto e promovem processos corrosivos. Além disso, ele é 30 vezes mais higroscópico do que o diesel. A água absorvida pode agir diretamente sobre a corrosão dos materiais; pode causar reações de hidrólise do biodiesel, aumentando, por consequência, a corrosão metálica; e, promover o crescimento microbiano e, consequentemente, a corrosão microbiana. (Ambrozin *et al.* (2009))

Em função do aumento da utilização de biocombustíveis, não só no Brasil, mas em diversos outros países, diversos estudos têm sido desenvolvidos de forma a identificar a influência do uso de biocombustíveis e suas misturas aos combustíveis de origem mineral na corrosão do aço carbono e outros materiais metálicos usados na construção de veículos e sistemas de transporte e armazenamento.

De uma forma geral, essa influência é negativa, com aumento das taxas de corrosão.

Quanto ao OLUC, não há como definir padrões já que, como diz o nome, é um produto contaminado, que pode conter toda sorte de contaminantes.

CARGAS

O presente estudo visa avaliar os tanques metálicos jaquetados subterrâneos na sua condição de operação, já devidamente instalados e comissionados. Os esforços sofridos por esses tanques durante sua produção transporte e instalação não serão analisados, considerando que os tanques estão adequados a esses esforços.

Considerando que as linhas de respiro são adequadas, não permitindo a pressurização do tanque, durante sua vida útil os tanques subterrâneos estarão sujeitos basicamente às cargas transferidas a eles pelo solo.

A pista de rolagem acima dos tanques deve ser adequadamente pavimentada, de forma a não transferir a carga do tráfego de forma localizada, mas sim distribuindo-a sobre o solo.

Assim, pode-se considerar os tanques como cilindros sujeitos a uma pressão “hidrostática” externa decorrente do solo a sua volta a e acima deles.

Conforme o item 8.2.10 da norma ABNT NBR 16764:2019, a altura de recobrimento do aterro deve ser de, no mínimo, 1,00 m e, no máximo, 1,30 m.

Considerando o recobrimento máximo, a altura da coluna “hidrostática” máxima é dada pelo diâmetro do tanque (d) somado a altura de recobrimento (h).

Considerando também a densidade do solo (ρ) como 1400 kg/m³ e a aceleração gravitacional (g) como 9,81 m/s², a pressão externa na geratriz inferior do tanque (P) é dada por:

$$P = \rho g(h + d) \quad (1)$$

A pressão em função do diâmetro do tanque será então:

Tabela 3. Pressão "Hidrostática" na geratriz Inferior em Função do Diâmetro

Diâmetro Nominal (mm)	Pressão Considerada (MPa)
906	0,030
1.200	0,034
1.450	0,038
1.910	0,044
2.549	0,053

POSSÍVEIS FALHAS

Durante a vida útil os tanques subterrâneos, sujeitos às cargas descritas acima, poderão falhar das seguintes formas:

- Perda de estanqueidade, por furos ou trincas no casco metálico;

- Perda da capacidade estrutura e colapso parcial ou total do tanque sob pressão externa, pela perda de espessura do costado ou da resistência estrutural dos anéis de reforço ou discos de compartimento;

- Deformação dos tampos sujeitos a pressão externa, do solo, devido a uma “fluidização” do solo compactado.

ESPESSURAS REQUERIDAS

A norma ABNT NBR 16161:2020 não apresenta métodos para a determinação da espessura mínima do costado, dos tampos planos e das divisórias internas dos tanques.

A norma UL-58 define as espessuras nominais mínimas dos tampos e divisórias e apresenta a equação de Roark para o cálculo das espessuras mínimas do costado. Essa metodologia é replicada em diversas normas internacionais.

A equação de Roark utilizada corresponde ao caso 19b da tabela 15.2 de Young, W.C. & Budynas, R.G. (2002), para tubos curtos, de comprimento l, extremidades mantidas circulares, mas não restritas de outra forma, ou tubos longos mantidos circulares em intervalos l:

$$P = q' = 0{,}807 \frac{Et^2}{Lr} \sqrt[4]{\left(\frac{1}{1-v^2}\right)^3 \frac{t^2}{r^2}} \qquad (2)$$

Onde:

P é a pressão de flambagem;
E é o módulo de elasticidade do material (203,4 x 10^3 MPa para aço A-36);
t é a espessura do costado;
L é a distância entre reforços;
r é o raio interno do tanque;
v é razão de Poisson (0,287 para A-36);

Reescrevendo a equação para o cálculo da espessura mínima (t_{min}), temos:

$$t_{min} = \left[\frac{PLr^{3/2}\left(1-\nu^2\right)^{3/4}}{0{,}807E}\right]^{0,4} \quad (3)$$

O comprimento L entre reforços é a distância entre os tampos planos, entre um tampo e uma divisória ou entre duas divisórias. Para que essa distância L seja efetiva, os tampos, divisórias ou anéis de reforço devem ter resistência suficiente para suportar as cargas atuantes. Essa resistência é expressa pelo momento de inércia da seção do tampo, divisória ou anel de reforço.

O momento de inércia requerido (I_{req}) é dado por:

$$I_{req} = \frac{0{,}11PLD_o{}^3}{E} \quad (4)$$

Onde D_o é o diâmetro externo do tanque.

Conforme a norma ABNT NBR 16161:2020, serão considerados linhas de suporte os tampos, os discos de compartimento e os anéis de reforço. Os tampos e discos de compartimento são discos inteiriços, sem furos ou vãos. Os tampos são apoiados pelo lado externo pelo solo compactado e os discos de compartimento são enrijecidos por nervuras de reforço. Em ambos os casos a flambagem do elemento é restringida, aumentando a efetividade do reforço.

Os anéis de reforço, conforme especificado na figura 17 da norma, são usados somente no tanque de 60.000 L pleno, com diâmetro de 2549 mm e tem um furo central com 800 mm de diâmetro. A altura da seção transversal (L_e) desse anel é 874,5 mm. Será considerada essa altura no cálculo do momento de inércia para todos os reforços.

O Momento de inércia (I) da seção do reforço é dado por:

$$I = \frac{tL_e{}^3}{12} \quad (5)$$

Os discos de compartimento, além de atender ao requisito de momento de inércia, devem suportar a pressão hidrostática exercida pelo produto quando o compartimento adjacente estiver vazio.

A espessura requerida dos discos de compartimento (t_{dc}) é dada por:

$$t_{dc} = r\sqrt{\frac{P_h}{4{,}6.S}} \quad (6)$$

Onde:

P_h é a pressão hidrostática média no quadrante mais crítico, ou seja, $\frac{3}{2}.\rho.g.r$, sendo ρ a densidade do produto e g a aceleração gravitacional;
S é a tensão admissível (160 MPa, tabela 5.2ª da API-650);
O fator 4,6 foi derivado do caso 27 da tabela 11.2 de Young, W.C. & Budynas, R.G. (2002).

Aplicando esses cálculos temos:

Tabela 4. Espessuras nominais e requeridas dos tanques padronizados na norma ABNT NBR 16161:2020.

Capac. Nominal (L)	Diâm. Int. (mm)	Compr. Nom. (mm)	Esp. Costado (mm)	Esp. Min. Costado (mm)	Esp. Tampos (mm)	Esp. Min. Tampo* (mm)	Esp. Disco (mm)	Esp. Min. Disco. (mm)
Combustíveis								
3.000	1.450	1.820	4,75	2,26	4,75	2,80	NA	NA
5.000	1.450	3.030	4,75	2,77	4,75	2,80	NA	NA
10.000	2.549	2.000	6,30	3,76	6,30	5,62	NA	NA
15.000	1.910	5.400	4,75	4,38	4,75	3,80	NA	NA
15.000	2.549	3.000	6,30	4,43	6,30	5,62	NA	NA
20.000	2.549	4.000	6,30	4,97	6,30	5,62	NA	NA
20.000	2.549	4.000	6,30	3,76	6,30	5,62	6,30	6,04
30.000	2.549	6.000	6,30	5,84	6,30	5,62	NA	NA
30.000	2.549	6.000	6,30	4,43	6,30	5,62	6,30	6,04
30.000	2.549	6.000	6,30	4,97	6,30	5,62	6,30	6,04
60.000	2.549	12.000	6,30	5,84	6,30	5,62	6,30	6,04
60.000	2.549	12.000	6,30	5,84	6,30	5,62	6,30	6,04
60.000	2.549	12.000	6,30	4,97	6,30	5,62	6,30	6,04
60.000	2.549	12.000	6,30	4,43	6,30	5,62	6,30	6,04
OLUC								
1.000	906	1.560	4,75	1,47	4,75	1,80	NA	NA
2.000	1.200	1.800	4,75	1,93	4,75	2,30	NA	NA
3.000	1.450	1.820	4,75	2,26	4,75	2,80	NA	NA
5.000	1.450	3.030	4,75	2,77	4,75	2,80	NA	NA

** Da tabela 1 da norma CAN/ULC-S603-14.*

A Tabela 5 apresenta as espessuras nominais, requeridas e a sobre-espessura disponível para corrosão no costado de cada tanque.

Tabela 5. Sobre-espessura de corrosão.

Capacidade Nominal (L)	Compartimento	Diâmetro Nominal (mm)	Comprim. Nominal (mm)	Espessura do Costado (mm)	Espessura Mínima do Costado (mm)	Sobrespessura Disponível (mm)
Combustíveis						
3.000	Pleno 3.000	1.450	1.820	4,75 (3/16”)	2,26	2,49
5.000	Pleno 5.000	1.450	3.030	4,75 (3/16”)	2,77	1,98
10.000	Pleno 10.000	2.549	2.000	6,30 (1/4”)	3,76	2,59
15.000	Pleno 15.000	1.910	5.400	4,75 (3/16”)	4,38	0,37
15.000	Pleno 15.000	2.549	3.000	6,30 (1/4”)	4,43	1,92
20.000	Pleno 20.000	2.549	4.000	6,30 (1/4”)	4,97	1,38
20.000	2 x 10.000	2.549	4.000	6,30 (1/4”)	3,76	2,59
30.000	Pleno 30.000	2.549	6.000	6,30 (1/4”)	5,84	0,51
30.000	2 x 15.000	2.549	6.000	6,30 (1/4”)	4,43	1,92
30.000	10.000 x 20.000	2.549	6.000	6,30 (1/4”)	4,97	1,38
60.000	Pleno 60.000	2.549	12.000	6,30 (1/4”)	5,84	0,51
60.000	2 x 30.000	2.549	12.000	6,30 (1/4”)	5,84	0,51
60.000	3 x 20.000	2.549	12.000	6,30 (1/4”)	4,97	1,38
60.000	4 x 15.000	2.549	12.000	6,30 (1/4”)	4,43	1,92
OLUC						
1.000	Pleno 1.000	906	1.560	4,75 (3/16”)	1,47	3,28
2.000	Pleno 2.000	1.200	1.800	4,75 (3/16”)	1,93	2,82
3.000	Pleno 3.000	1.450	1.820	4,75 (3/16”)	2,26	2,49
5.000	Pleno 5.000	1.450	3.030	4,75 (3/16”)	2,77	1,98

CORROSÃO

O mecanismo de dano previsto que pode comprometer a resistência estrutural do tanque com o passar do tempo é a corrosão.

Por se tratar de um vaso jaquetado, ou seja, protegido da ação corrosiva do solo no qual está enterrado, não será observada corrosão externa.

Por outro lado, a superfície interna do tanque estará exposta a ação dos produtos armazenados e dos vapores desses produtos. Essa ação pode provocar a corrosão dessa superfície interna, reduzindo a espessura e/ou a resistência mecânica do tanque, com o comprometimento estrutural e, no limite, o colapso do tanque. A corrosão pode gerar também perfurações com a perda da estanqueidade do tanque.

A jaqueta tem a função de evitar o vazamento de produto para o solo no caso da perda da estanqueidade, permitindo detecção da presença de líquidos no interstício entre o tanque metálico e a jaqueta. Contudo não oferece uma retenção prolongada para os produtos armazenados, deteriorando-se em um curto período de tempo. Assim, é importante que o sistema de detecção esteja sempre operante, informando vazamento assim que este ocorra e permitindo a troca do tanque em tempo hábil. Por outro lado, é igualmente importante que o tanque não perca a sua estanqueidade e a estimativa de um tempo de vida antes que ocorra um furo é uma ferramenta interessante, já que uma troca planejada do tanque sempre será menos onerosa do que uma troca corretiva.

TAXAS DE CORROSÃO PREVISTAS

A norma Petrobrás N-270 (E) - Projeto de Tanque de Armazenamento Atmosférico, estabelece na tabela A.2, reproduzida na Figura 2, as taxas de corrosão anual que devem ser consideradas no projeto mecânico de tanque de superfície, para armazenamento de petróleo, seus derivados líquidos e outros produtos líquidos utilizados pela PETROBRAS, tais como: álcool, biodiesel, produtos químicos, água e outros.

Os valores apresentados na tabela são elevados, quando aplicados diretamente como uma sobre-espessura, em relação a corrosão observada nos tanques metálicos jaquetados subterrâneos e resultariam em uma vida útil muito pequena, o que não é observado na prática, desde o início do uso dos tanques jaquetados.

Conforme diversos trabalhos a corrosão dos combustíveis em aço carbono ocorre de forma mais significativa na forma de pites, podendo apresentar também uma corrosão generalizada.

Essa tendência é corroborada pela observação da superfície interna de tanques durante inspeções, onde é observada a formação de pites principalmente próximo a geratriz inferior do tanque e nas regiões de solda.

O enfoque em uma sobre-espessura para corrosão fica assim prejudicado, já que, ainda que uma medição de espessura indique uma perda pequena, com a espessura remanescente maior do que a espessura mínima requerida, a resistência estrutural do tanque pode já estar comprometida em função dos vazios decorrentes dos pites.

Esse comprometimento estrutural tem sido abordado basicamente de duas maneiras: como uma redução das propriedades mecânicas do material ou como uma redução de espessura equivalente. Em ambas é considerada a perda de massa com o decorrer do tempo.

Tabela A.2 - Taxas Anuais de Corrosão para Aço-Carbono (mm por Ano)

Produto	1º anel	2º anel	3º anel	4º anel	5º anel	6º anel
Petróleo (teto fixo)	0,10	0,10	0,14	0,14	0,12	0,12
Petróleo (teto flutuante)	0,10	0,10	0,06	0,06	0,06	0,06
Gasolina	0,30	0,30	0,30	0,25	0,25	0,25
Querosene	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Nafta pesada	0,02	0,02	0,05	0,05	0,05	0,05
Nafta leve	0,30	0,30	0,30	0,25	0,25	0,25
Óleo diesel	0,10	0,10	0,06	0,04	0,04	0,04
Gasóleo	0,10	0,10	0,10	0,10	0.08	0,08
Óleo combustível	0,02	0,02	0,10	0,06	0,05	0,05
Asfalto	0,02	0,02	0,02	0,10	0,10	0,10
Asfalto diluído	0,02	0,10	0,06	0,06	0,04	0,04
Álcool etílico (anidro ou hidratado) Metanol	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NOTA 1 Esses valores são válidos para tanques que armazenem sempre o mesmo produto. Para tanques que armazenem produtos diferentes adotar a condição mais critica. NOTA 2 Para tanques pintados internamente observar requisitos constantes no 6.3 desta Norma (revestimento e sobrespessura de corrosão).						

Figura 2. Tabela A.2 apresentada pela norma Petrobrás N-270(E).

Para a avaliação da integridade estrutural dos tanques metálicos jaquetados subterrâneos, conforme pode ser visto na equação (2), é considerado o módulo de elasticidade do material (E) e a razão de Poisson (ν). Conforme Jurišić & Parunov(2015) e Garbatov et al. (2014), as propriedades mecânicas do material podem ser analisadas em função do seu Grau de Degradação (D), em %, usado para medir a gravidade da corrosão e definido como:

$$D = \frac{V_0 - V_c}{V_0}.100 \quad (7)$$

Onde:

V_0 é o volume intacto da chapa; e
V_c é o volume remanescente após a corrosão.

Na prática, os volumes intacto e corroído podem ser respectivamente substituídos pelas espessuras intacta e corroída média dos elementos estruturais.

Considerando ainda que não há variação da densidade do material, a equação (7) também pode ser reescrita em função das massas intacta e corroída ou das espessuras intacta e corroída:

$$D = \frac{m_0 - m_c}{m_0}.100 = \frac{t_0 - t_c}{t_0}.100 \quad (8)$$

Onde:

m_0 é a massa intacta da chapa;
m_c é a massa remanescente após a corrosão;
t_0 é a espessura intacta da chapa;
t_c é a espessura remanescente após a corrosão.

Figura 3. Detalhes na superfície interna corroída em um tanque jaquetado subterrâneo.

Ainda segundo Garbatov et al. (2014), o módulo de elasticidade (E) pode então ser avaliado baseado em dados experimentais e considerando o módulo de elasticidade de 196 GPa como:

$$E(D) = -1{,}0349D + 196 \quad (9)$$

Com resultado em GPa.

Segundo Garbatov et al. (2014), essa correlação entre o módulo de elasticidade e o grau de degradação apresenta uma dispersão alta em relação à regressão linear, apresentando o gráfico do levantamento experimental do Módulo de Elasticidade em função do grau de degradação (Figura 4):

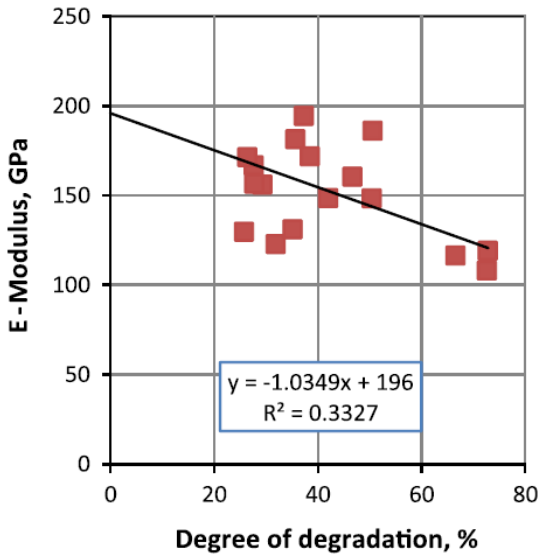

Figura 4. Módulo de Elasticidade em função do Grau de Degradação (Garbatov et al. (2014))

A regressão linear proposta leva a uma condição em que, com grau de degradação de 100%, ou seja, com uma corrosão total do material, o módulo de elasticidade seria 93 GPa, ou 47% do módulo de elasticidade não corroído. O que não é correto, já que com 100% de corrosão na realidade o tanque estaria em ruina.

É plausível considerar que com grau de degradação de 100% a capacidade do material suportar qualquer esforço mecânico esteja completamente deteriorada, ou seja, o módulo de elasticidade e todas as outras propriedades mecânicas seja nulas. Por outro lado, com grau de degradação de 0% o tanque está totalmente íntegro e o módulo de elasticidade é aquele original do material.

Tomando assim, além dos pontos do gráfico, também esses dois pontos:

- E = 196 GPa, para D = 0%; e
- E = 0 GPa, para D = 100%.

E achando uma linha de tendência quadrática com o ponto inicial fixo e dividindo-se pelo módulo de elasticidade não corroído, chegou-se a:

$$E(D) = [-0{,}0068D^2 - 0{,}1906D + 100]\frac{E_0}{100} \qquad (10)$$

Onde E_0 é o Módulo de Elasticidade não-corroído.

A equação (10) plotada no gráfico de porcentagem do Módulo de Elasticidade em função do Grau de Degradação é apresentada na Figura 5.

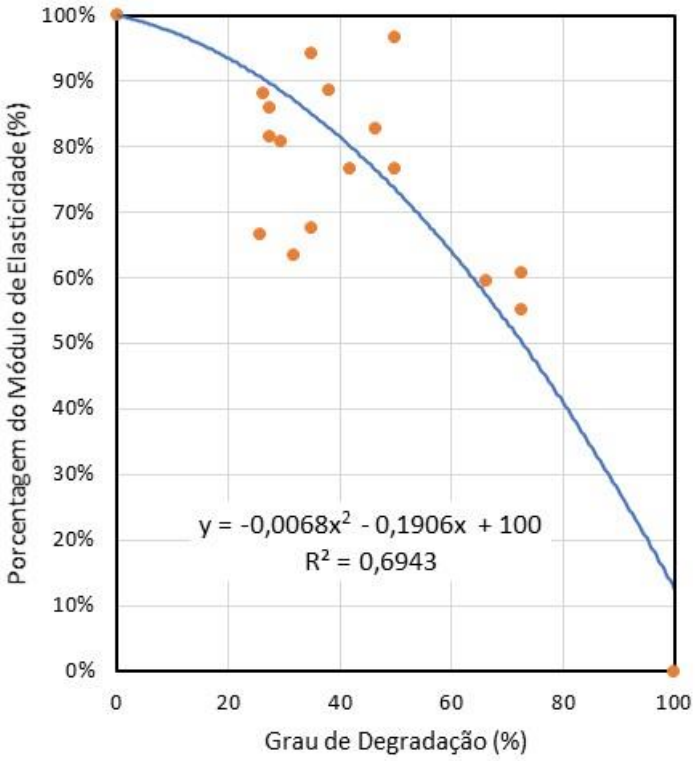

Figura 5. Módulo de Elasticidade em função do Grau de Degradação (Curva de Tendência Quadrática)

Considerando o costado e reescrevendo a equação (1) pode-se isolar o módulo de elasticidade (E):

$$E = \frac{PLr}{0{,}807t^2}\left[\left(\frac{1}{1-v^2}\right)^3 \frac{t^2}{r^2}\right]^{-1/4} \quad (11)$$

Usando a espessura nominal intacta da chapa (t_0) e a pressão externa de projeto (P), é possível encontrar o menor valor do Módulo de Elasticidade que suporte esse esforço (E_{min}).

$$E_{min} = \frac{PLr}{0{,}807{t_0}^2}\left[\left(\frac{1}{1-v^2}\right)^3 \frac{{t_0}^2}{r^2}\right]^{-1/4} \quad (12)$$

Então, considerando a equação (10), o máximo Grau de Degradação admissível para cada caso (D_{max}) é dado por:

$$D_{max} = \frac{0{,}1906 - \sqrt{-0{,}1906^2 - 4.-0{,}0068.\left(1-\frac{E_{min}}{E}\right)100}}{2.-0{,}0068} \quad (13)$$

Que corresponde, conforme a equação (8), à porcentagem de massa ou de espessura que pode ser perdida até o colapso estrutural do tanque.

A norma ASTM G31, que descreve os procedimentos aceitos e os fatores que influenciam os testes de corrosão por imersão, define a taxa de corrosão como:

$$Taxa\ de\ Corrosão = \frac{KW}{AT\rho} \quad (14)$$

Onde:

K é uma constante em função do sistema de unidades utilizado. Por exemplo, para mpy (mils per year, ou milésimo de polegada por ano), K = 3,45x10^6;
W é a perda de massa do corpo de prova, em gramas;
A é a área, em cm²;
T é o tempo de exposição, em horas; e
ρ é a densidade do material, em g/cm².

Na norma ASTM G31, o uso das taxas de corrosão implica que toda a massa foi perdida devido a corrosão generalizada e não por corrosão localizada, como pites ou corrosão intergranular de áreas sensibilizadas por soldagem. Porém, mesmo em trabalhos em que foi verificada a ocorrência de corrosão localizada, em conjunto ou não com corrosão generalizada, são apresentadas taxas de corrosão, normalmente em mpy.

A partir do valor da taxa e corrosão (TC) é possível calcular a razão de degradação (D(T)), ou seja, o grau de degradação em função do tempo, dividindo-se o valor da taxa de corrosão pela espessura nominal do tanque, em unidades coerentes. Se a taxa de corrosão é dada em mm/ano, a espessura intacta deve ser dada em mm, por exemplo.

$$D(T) = \frac{TC}{t_0}\ (\%/\text{ano}) \quad (15)$$

Finalmente, a estimativa da vida útil de um tanque (V) é dada pelo grau de degradação admissível do tanque (D_{max}) dividido pela razão de degradação (D(T)):

$$V = \frac{D_{max}}{D(T)}\ \text{, em anos} \quad (16)$$

A Tabela 6 apresenta, para cada um dos tanques padronizados pela norma ABNT NBR 16161:2020, as suas características principais, o Módulo de Elasticidade (E_{min}) dado pela equação (12), a relação E_{min}/E e o Grau de Degradação máximo admissível (D_{max}) dado pela equação (13).

Tabela 6. Módulo de Elasticidade mínimo e Grau de Degradação máximo.

Capac. Nom. (L)	No. Comp.	Diâm. Nom. (mm)	Compr. Nom. (mm)	Press. Ext. Cons. (MPa)	Mód. Elast. E (MPa)	Razão Poiss. v	Esp. Nom. Cost. (mm)	Mód. Elast. Min. E_{min} (MPa)	E_{min}/E	Grau Degr. Máx. $D_{máx}$ (%)
Combustíveis										
3000	1	1450	1820	0,038	203400	0,287	4,75	31703	16%	98,28
5000	1	1450	3030	0,038	203400	0,287	4,75	52780	26%	91,28
10000	1	2549	2000	0,053	203400	0,287	6,35	55001	27%	90,51
15000	1	1910	5400	0,044	203400	0,287	4,75	165995	82%	**39,84**
15000	1	2549	3000	0,053	203400	0,287	6,35	82503	41%	80,52
20000	1	2549	4000	0,053	203400	0,287	6,35	110004	54%	69,35
20000	2	2549	4000	0,053	203400	0,287	6,35	55002	27%	90,51
30000	1	2549	6000	0,053	203400	0,287	6,35	165006	81%	**40,50**
30000	2	2549	6000	0,053	203400	0,287	6,35	82503	41%	80,52
30000	2	2549	6000	0,053	203400	0,287	6,35	110004	54%	69,35
60000	2	2549	12000	0,053	203400	0,287	6,35	165006	81%	**40,50**
60000	2	2549	12000	0,053	203400	0,287	6,35	165006	81%	**40,50**
60000	3	2549	12000	0,053	203400	0,287	6,35	110004	54%	69,35
60000	4	2549	12000	0,053	203400	0,287	6,35	82503	41%	80,52
OLUC										
1000	1	906	1560	0,030	203400	0,287	4,75	10766	5%	100,00
2000	1	1200	1800	0,034	203400	0,287	4,75	21460	11%	100,00
3000	1	1450	1820	0,038	203400	0,287	4,75	31703	16%	98,28
5000	1	1450	3030	0,038	203400	0,287	4,75	52780	26%	91,28

É importante observar que há uma variação entre os diversos padrões estabelecidos quanto ao Grau de Degradação máximo admissível. Enquanto os tanques 15.000 L x 1, 30.000 L x 1, 60.000 L x 1 e 60.000 L x 2 apresentam $D_{máx}$ próximo de 40%, os tanques 1.000 L x 1 e 2.000 L x 1 praticamente não correm o risco teórico de colapso.

Um tanque com D_{max} = 40%, por exemplo, admite uma perda de massa de 40% até o seu colapso.

Contudo, a curva de regressão utilizada para a estimativa do Módulo de Elasticidade em função do Grau de Degradação apresenta um coeficiente de determinação (R^2) de 0,6943, já que os dados experimentais são bastante dispersos. Ou seja, o modelo explica 69,43% da variância, com um desvio padrão de 12,6.

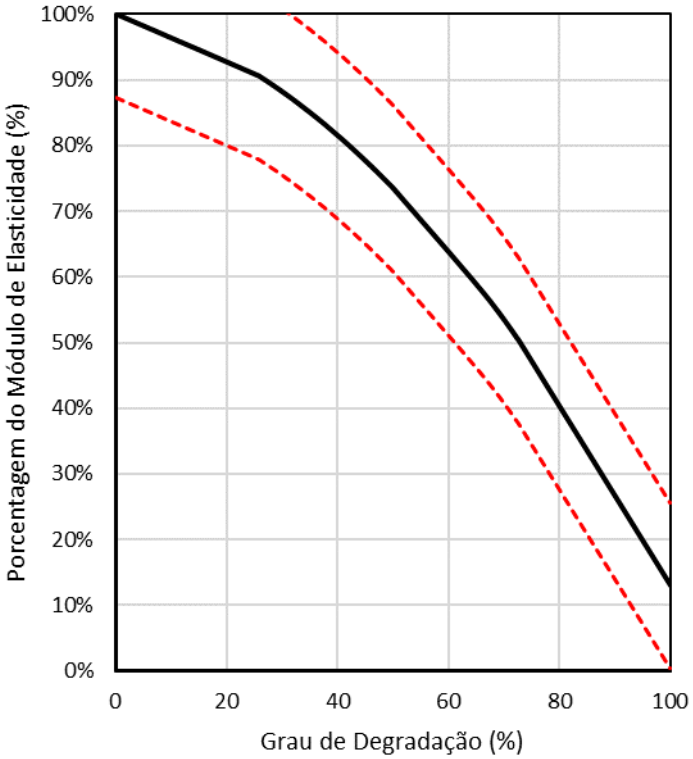

Figura 6. Curva de tendência e desvio padrão.

Considerando esse desvio, pode-se concluir que os valores de Grau de Degradação máxima apresentados na Tabela 6 não devem ser assumidos como valores absolutos e precisos, mas como estimativas sujeitas a diversos fatores, desde as características de fabricação da chapa, passando pelo processo de fabricação do tanque, as condições ambientais e dos combustíveis armazenados.

VIDA ÚTIL ESTIMADA

O objetivo deste trabalho é a estimativa de um valor de vida útil para os tanques jaquetados subterrâneos. Contudo, considerando o Grau de Degradação máximo apresentado na Tabela 6, observamos que os diferentes padrões propostos pela norma ABNT NBR 16161:2020 oferecem diferentes "resistências" à degradação e teriam, teoricamente, vidas úteis diferentes. O principal fator para a essa variação é o material excedente, ou seja, os menores valores correspondem aos tanques com menor sobre-espessura disponível para corrosão. Teoricamente, quando expostos a um mesmo combustível estes tanques teriam uma vida menor do que aqueles com Grau de Degradação máximo maior. Considerando porém as variáveis e incertezas citadas anteriormente, um tanque com Grau de Degradação máximo de 39,84%, conforme a Tabela 6, poderia suportar um Grau de Degradação da ordem de 52,44% ou até maior.

Além disso, variações da qualidade do combustível armazenado, de temperatura e umidade ambiental e do ciclo de uso, que não foram ainda consideradas até o momento, podem resultar em desvios ainda maiores do Grau de Degradação em função do tempo e, consequentemente, da vida útil dos tanques jaquetados subterrâneos.

Essa variação é refletida nos diferentes estudos encontrados sobre a taxa de corrosão do aço carbono em combustíveis, em que não raro, o erro de medição é da mesma ordem de grandeza da medida e cuja análise torna-se inconclusiva.

Adotando-se a taxa de corrosão mais crítica da tabela A.2 da norma Petrobrás N-270(E) para as regiões mais altas do tanque, expostas com maior frequência a vapores de combustível e sua condensação (0,25 mm/ano para gasolina) e aplicando-se as equações (15) e (16) obtém-se, para cada tanque, a vida útil estimada, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7. Vida Útil baseada na taxa de corrosão de 0,25 mm/ano.

Capac. Nom. (L)	No. Comp.	Diâm. Nom. (mm)	Compr. Nom. (mm)	Esp. Nom. Cost. (mm)	Mód. Elast. Min. E_{min} (MPa)	E_{min}/E	Grau Degr. Máx. $D_{máx}$ (%)	Vida Útil Estimada (anos)
Combustíveis								
3000	1	1450	1820	4,75	31703	16%	98,28	18,7
5000	1	1450	3030	4,75	52780	26%	91,28	17,3
10000	1	2549	2000	6,35	55001	27%	90,51	23,0
15000	1	1910	5400	4,75	165995	82%	39,84	7,6
15000	1	2549	3000	6,35	82503	41%	80,52	20,5
20000	1	2549	4000	6,35	110004	54%	69,35	17,6
20000	2	2549	4000	6,35	55002	27%	90,51	23,0
30000	1	2549	6000	6,35	165006	81%	40,50	10,3
30000	2	2549	6000	6,35	82503	41%	80,52	20,5
30000	2	2549	6000	6,35	110004	54%	69,35	17,6
60000	1*	2549	12000	6,35	165006	81%	40,50	10,3
60000	2	2549	12000	6,35	165006	81%	40,50	10,3
60000	3	2549	12000	6,35	110004	54%	69,35	17,6
60000	4	2549	12000	6,35	82503	41%	80,52	20,5
OLUC								
1000	1	906	1560	4,75	10766	5%	100,00	19,0
2000	1	1200	1800	4,75	21460	11%	100,00	19,0
3000	1	1450	1820	4,75	31703	16%	98,28	18,7
5000	1	1450	3030	4,75	52780	26%	91,28	17,3

*O tanque de 60000 L pleno é equipado com um anel de reforço no centro.

Assim, a determinação de valores de vida útil específicos para cada padrão de tanque, baseado unicamente no seu Grau de Degradação máximo pode induzir a estimativas equivocadas, penalizando alguns tanques, que seriam trocados antecipadamente e em boas condições, e permitindo a falha de outros antes da troca. Além disso, dificulta o controle pelos órgãos de fiscalização e pelos próprios proprietários dos postos de abastecimento, pois em tese um estabelecimento poderia ter tanques de padrões e vidas úteis diferentes.

A adoção de um valor único de vida útil mostra-se mais apropriada para fins de controle e fiscalização, bem como para a substituição antecipada da maioria dos tanques, antes de uma falha.

O tanque de 15000 L com diâmetro de 1910 e espessura de 4,75 mm apresenta uma vida útil cerca de 27,6% inferior ao mais crítico dos outros tanques. Este modelo foi inicialmente adotado, porém hoje é usado apenas em aplicações específicas, como a instalação em solo rochoso que dificulta a escavação.

Devido a sua baixa vida útil estimada e grande discrepância em relação aos outros modelos, optou-se por desconsiderá-lo na avaliação de uma vida útil comum e aplicar um tratamento diferenciado, com sua vida útil mais curta e, como sugestão, a sua retirada em uma próxima revisão da norma ABNT NBR 16161.

O número de modelos que tem vidas úteis estimadas iguais ou ainda o número de tanques instalados de cada modelo não são parâmetros que possam influenciar a definição de um valor único de vida útil. Por outro lado, os diferentes valores encontrados indicam um comportamento, em termos de degradação, que deve ser considerado em um valor único de vida útil.

Assim, para a determinação de um valor único de vida útil estimada, será considerada a gama de valores de vida útil individual, exceto para o tanque de 15000 L e diâmetro de 1910 mm.

Valores de vida útil considerados: 10,3; 17,3; 17,6; 18,7; 19,0; 20,5; 23,0

Calculando a média aritmética desses valores, chega-se ao valor de **18,1 anos**.

CONCLUSÃO

Há tempos o uso de tanques subterrâneos já provou ser a melhor forma de armazenamento de combustíveis em postos de abastecimento, principalmente em área urbana. Ao mesmo tempo que otimiza o espaço do estabelecimento, protege o seu conteúdo de intempéries como o calor, o frio, a chuva e o vento. Fica ainda protegido de impactos de veículos, outros danos mecânicos e fadiga térmica pela variação natural da temperatura. Por outro lado expõe o tanque à umidade, à química e a microrganismos presentes no solo, bem como às cargas impostas pelo aterro a sua volta.

O risco de contaminação ambiental pelo vazamento do combustível armazenado é um fator importante a ser considerado, já que um vazamento diretamente para o solo seria invisível a curto prazo.

A adoção dos tanques jaquetados subterrâneos, a partir da certificação pelo INMETRO, em 2003, dos tanques fabricados pela norma ABNT NBR 13312 representou um avanço quanto a proteção dos tanques primários dos agentes agressivos presentes no solo e quanto a prevenção e detecção de vazamentos.

Hoje, o uso de tanques subterrâneos de parede simples, sem a jaqueta, é inadmissível diante principalmente do risco de contaminação ambiental que oferece. Considerando que a obrigatoriedade legal da instalação de tanque jaquetados já tem 18 anos em 2021, qualquer tanque de parede simples ainda em operação representa um risco grave e iminente de vazamento e contaminação, devendo ser substituído.

Da mesma forma um tanque jaquetado subterrâneo sem o sistema de detecção de vazamento equipara-se ao tanque de parede simples, já que a jaqueta tem uma resistência limitada ao combustível, estando suscetível a um vazamento também através da jaqueta, caso o vazamento não seja detectado em curto prazo.

Neste trabalho foi visto que a corrosão em tanques jaquetados subterrâneos ocorre basicamente pelo lado interno, exposto ao combustível, já que o lado externo está protegido pela jaqueta da ação corrosiva do solo.

Foi verificado que a corrosão pelos combustíveis armazenados ocorre de forma generalizada, com uma perda de espessura relativamente uniforme, porém com baixa intensidade e forma localizada, principalmente por pites, de forma mais intensa do que a corrosão generalizada.

A corrosão localizada pode levar a furos e, consequentemente, a vazamentos, além de um comprometimento estrutural do material devido a perda de massa mesmo sem uma perda de espessura significativa. Ou seja, ainda que a espessura geral do tanque esteja acima da espessura mínima requerida, a presença de "vazios" na estrutura compromete a sua resistência mecânica.

A carga imposta ao tanque pode ser analisada como uma pressão externa em um corpo cilíndrico, que induz basicamente cargas e compressão e eventuais falhas por flambagem localizada. Diferentemente das cargas de tração, onde a tensão de escoamento é a propriedade governante, para a análise de flambagem o módulo de elasticidade é a propriedade do material considerada.

Foi mostrado que a perda de massa (localizada e generalizada) por corrosão acarreta uma redução do módulo de elasticidade aparente do material e, no limite, a um colapso estrutural do tanque.

Foi calculado o módulo de elasticidade mínimo para cada geometria considerada e o grau de corrosão máximo permitido para cada caso.

Foi apresentada uma relação para a definição do grau de corrosão em função da taxa de corrosão, normalmente apresentada em trabalhos sobre o tema.

Os dados de corrosão disponíveis na literatura para os combustíveis analisados, em geral avaliados em laboratório e com propriedades do combustível controladas, apresentam taxas de corrosão baixas, além de desvios muitas vezes na mesma ordem de grandeza da taxa medida.

A taxa de corrosão é ainda fortemente influenciada por diversos fatores como a presença de água, o pH do combustível, a presença de contaminantes, a formação de ácidos, a uso de misturas de biocombustíveis com combustíveis minerais e a presença de bactérias. Além disso pode haver um desvio no padrão do combustível armazenado.

Diante dessas variáveis, que não são controladas no dia a dia em posto de abastecimento, a definição de taxas de corrosão precisas e, consequentemente, de uma vida útil precisa é prejudicada.

Foi calculada uma vida útil média para os padrões estabelecidos pela norma ABNT NBR 16161:2020 de **18,1 anos**, que, consideradas as incertezas apresentadas, garante que a grande maioria dos tanques não colapsará.

Dada a predominância da corrosão por pites, é provável que mesmo para os tanques 15.000 L x 1910, 30.000 L x 1, 60.000 L x 1 e 60.000 L x 2 instalados em ambientes com atmosfera agressiva e operados de forma crítica, apresentem algum vazamento antes que ocorra um colapso. Contudo, o tanque 15.000 L x 1910 deve ser tratado separadamente, com vida útil específica e sua retirada de futuras revisões da norma ABNT NBR 16161.

Foi demonstrado ainda que os tanques de OLUC apresentam uma sobre-espessura alta que garante a sua resistência estrutural mesmo após uma corrosão acentuada.

Estas considerações somente tornam-se válidas com a presença do monitoramento de vazamentos operacional. Sem este monitoramento, não é possível garantir uma vida útil maior do que as apresentadas na Tabela 7 para cada padrão de tanque.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 13312:1995 **Construção de tanque atmosférico subterrâneo em aço-carbono.**

ABNT NBR 13783:2014 **Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis — Instalação dos componentes do sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC)**

ABNT NBR 16161:2000 **Tanque metálico jaquetado subterrâneo — Requisitos de fabricação e de modulação**

ABNT NBR 16764:2019 **Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis — Instalação dos componentes do sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC), óleo lubrificante usado e contaminado (OLUC) e ARLA 32**

Ambrozin, A.R.P., Kuri, S.E. e Monteiro, M.R. (2009) **Corrosão Metálica Associada ao Uso de Combustíveis Minerais e Biocombustíveis.** Quim. Nova, Vol. 32, No. 7, 1910-1916

ASTM G31-72 (2004**) Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals**

ASTSWMO (2015). **An Analysis of UST System Infrastructure in Select States - Final Report**. Disponível em: https://plia.wa.gov/wp-content/uploads/2016/12/2015-10-ASTSWMOAgingTanks-Report-Final.pdf Acessado em: 06/02/2021.

CAN/ULC-S603-14 (2014) **Standard for Steel Underground Tanks for Flammable and Combustible Liquids** – ULC Standards

EMG (2015) **Storage Tanks FAQs | Environmental Testing and Remediation**. Disponível em: https://emgremediation.com/storage-tanks/storage-tanks-faqs. Acessado em: 06/02/2021.

EPA (2010) **Compatibility of Underground Storage Tank Systems With Biofuel Blends.** Disponível em: https://www.federalregister.gov/documents/2010/11/17/2010-28968/compatibility-of-underground-storage-tank-systems-with-biofuel-blends. Acessado em: 06/02/2021.

EPA (2020) **Underground Storage Tanks (USTs)** - US EPA. Disponível em: https://www.epa.gov/ust Acessado em: 06/02/2021.

Ewing Oil (2012) **Alternative Fuels and Underground Storage Tanks (USTs)** | Ewing Oil. Disponível em: http://www.ewingoil.com/news/alternative-fuels-and-underground-storage-tanks-usts. Acessado em: 06/02/2021.

Garbatov,Y.,Soares, C.G., J. Parunov, J., Kodvanj, J. (2014) **Tensile strength assessment of corroded small scale specimens**, Corrosion Science, Corrosion Science 85, 296–303.

Geyer, W. (2015), **Steel Tanks: Past, Present and Future.** Steel Tank Institute - Reprinted with permission from Chemical Engineering Magazine - Disponível em: https://www.steeltank.com/Portals/0/Articles/Steel%20Tanks%20Past%20Present%20and%20Future.pdf?ver=2009-05-31-010755-297, Acessado em: 06/02/2021.

Infomoney (2008) **Mistura de álcool à gasolina aumenta a corrosão nos tanques de postos**. Disponível em: https://www.infomoney.com.br/consumo/mistura-de-alcool-a-gasolina-aumenta-a-corrosao-nos-tanques-de-postos/. Acessado em: 06/02/2021.

Jurišić, P. & Parunov, J. (2015) **Influence of corrosion-related degradation of mechanical properties of shipbuilding steel on collapse strength of plates and stiffened panels** em Towards Green Marine Technology and Transport – Guedes Soares, Dejhalla & Pavleti (Eds). Disponível em: https://core.ac.uk/download/pdf/44741723.pdf. Acessado em: 07/02/2021.

NB-190:1972 **Fabricação e Instalação de Tanques Subterrâneos para Postos de Serviço de Distribuição de Combustíveis Líquidos**.

O'Brien, J. (2019) **Aging Underground Storage Tanks – Is 25 the New 30?** - Fuels Market News. Disponível em: https://fuelsmarketnews.com/aging-underground-storage-tanks-is-25-the-new-30/. Acessado em: 06/02/2021.

Petrobras N-270-E (2010) **Projeto de Tanque de Armazenamento Atmosférico**. Petrobras.
RCSA 22a (2016) **Regulations of Connecticut State Agencies - TITLE 22a. Environmental Protection - Underground Storage Tank System Management**. Disponível em: https://eregulations.ct.gov/eRegsPortal/Browse/getDocument?guid={90F39F57-0700-C577-9A9D-130FCD79268F}. Acessado em: 02/03/2021.

Thangavelu, S. K, Ahmed, A. S. & Ani, F. N. (2016) **Corrosive characteristics of bioethanol and gasoline blends for metals –** International Journal of Energy Research, Volume 40, Issue12

Thangavelu, S. K., Chelladorai, P. & Ani, F. N. (2015) **Corrosion Behaviour of Carbon Steel in Biodiesel–Diesel–Ethanol (BDE) Fuel Blend** – MATEC Web Conferences 27

UL-142. **Steel Aboveground Tanks for Flammable and Combustible Liquids**, 10th. Edition, 2019

UL-58. **Steel Underground Tanks for Flammable and Combustible Liquids**, 9th. Edition, 1998 – Underwriters Laboratories Inc.

Young, W.C. & Budynas, R.G. (2002) **Roaks's Formulas for Stress and Strain**, 7th edition, McGrall-Hill, New York.

ANEXO I - ART (ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA)

Resolução nº 1.025/2009 - Anexo I - Modelo A

Página 1/2

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado de São Paulo

CREA-SP

ART de Obra ou Serviço
28027230201538144

1. Responsável Técnico

FERNANDO LUIZ TORSANI
Título Profissional: **Engenheiro Mecânico, Engenheiro de Segurança do Trabalho**
RNP: **2602771066**
Registro: **5060161892-SP**
Empresa Contratada: **TECH & KNOWLEDGE - SERVIÇOS DE ENGENHARIA MECÂNICA, ELÉTRICA E DE TELECOMUNICAÇÕES, ASSESSORIA E CONSULTORIA EM SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO LTDA**
Registro: **0661869-SP**

2. Dados do Contrato

Contratante: **ABIEPS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE EQUIPAMENTOS E DE SERVIÇOS PARA O MERCADO DE COMBUSTÍVEIS E DE CONVENIÊNCIA.** CPF/CNPJ: **04.946.799/0001-64**
Endereço: **Avenida PAULISTA** N°: **1439**
Complemento: **conjunto 12** Bairro: **BELA VISTA**
Cidade: **São Paulo** UF: **SP** CEP: **01311-200**
Contrato: **002-2020** Celebrado em: **17/11/2020** Vinculada à Art n°:
Valor: R$ **20.000,00** Tipo de Contratante: **Pessoa Jurídica de Direito Privado**
Ação Institucional:

3. Dados da Obra Serviço

Endereço: **Avenida PAULISTA** N°: **1439**
Complemento: **conjunto 12** Bairro: **BELA VISTA**
Cidade: **São Paulo** UF: **SP** CEP: **01311-200**
Data de Início: **17/11/2020**
Previsão de Término: **17/01/2021**
Coordenadas Geográficas:
Finalidade: **Industrial** Código:
CPF/CNPJ:

4. Atividade Técnica

			Quantidade	Unidade
Elaboração				
1	**Estudo**	**Equipamentos / Máquinas em Geral**	**1,00000**	**unidade**

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

Estudo para a estimativa da vida útil dos tanques jaquetados enterrados para o armazenamento de combustíveis.

6. Declarações

Acessibilidade: Declaro que as regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas da ABNT, na legislação específica e no Decreto nº 5.296, de 2 de dezembro de 2004, não se aplicam às atividades profissionais acima relacionadas.

Resolução nº 1.025/2009 - Anexo I - Modelo A

Página 2/2

7. Entidade de Classe

ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS, ARQUITETOS E AGRÔNOMOS DE VALINHOS

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

Valinhos (Local) 07 de dezembro de 2021 (data)

FERNANDO LUIZ TORSANI - CPF: 137.702.078-90

ABIEPS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE EQUIPAMENTOS E DE SERVIÇOS PARA O MERCADO DE COMBUSTÍVEIS E DE CONVENIÊNCIA. - CPF/CNPJ: 04.946.799/0001-64

9. Informações

- A presente ART encontra-se devidamente quitada conforme dados constantes no rodapé-versão do sistema, certificada pelo *Nosso Número*.

- A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.creasp.org.br ou www.confea.org.br

- A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.

www.creasp.org.br
Tel: 0800 17 18 11
E-mail: acessar link Fale Conosco do site acima

CREA-SP

Valor ART R$ **233,94** Registrada em: **07/12/2020** Valor Pago R$ **233,94** Nosso Numero: **28027230201538144** Versão do sistema

Impresso em: 07/12/2020 19:53:56

ANEXO II – CURRÍCULO DO AUTOR

Msc. Eng. Mec. e Seg. Trab. Fernando Luiz Torsani

Data de Nascimento: 1971
fernando.luiz@torsani.com.br; Lattes CV: http://lattes.cnpq.br/3198224219983335

Atuação

- Projeto de equipamentos para a indústria de processos como tanques, vasos de pressão, reatores, sistemas de agitação de fluidos, filtros de pré-capa, estufa para cozimento de embutidos;
- Projeto de plantas industriais na área química, desde a definição de layout, fluxogramas P&ID, o detalhamento de equipamentos e tubulações;
- Especificação de equipamentos para processo como filtros, trocadores de calor, válvulas, instrumentos de medição, torres de resfriamento, dentre outros;
- Dimensionamento térmico de sistemas de produção, distribuição e uso de vapor, bem como de recuperação de condensado;
- Inspeção de vasos de pressão, conforme NR13;
- Auditoria quanto à adequação de instalações e equipamentos à NR12, NR13, NR19 e NR20;
- Projeto de sistemas de prevenção e combate a incêndios (SPCI);
- Projetos de alteração ou reparo em caldeiras e vasos de pressão;
- Participação no desenvolvimento de rotinas computacionais para o programa de cálculo de vasos de pressão e sistemas de agitação CEREBROMIX;
- Elaboração de material didático (apresentações e apostila) para treinamentos de engenharia e segurança do trabalho, em especial para curso de projeto de vasos de pressão conforme ASME, VIII-1, para curso de legislação e inspeção de vasos de pressão, para treinamento de segurança na operação de caldeiras e de vasos de pressão, conforme NR-13;
- Treinamento de Operadores de Caldeiras e de Unidades de Processo, conforme NR13;
- Elaboração de LTCAT, PPRA, AET;
- Desenvolvimento de Análise de Riscos em diversas indústrias de processo;
- Atuou como professor universitário na disciplina de órgãos de máquinas;
- Projeto de tanques de armazenamento conforme API 650 e API 620.

Formação

2015 – 2017	Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho – PECE-USP
2003 – 2007	Mestrado Engenharia Mecânica (Projeto Mecânico e Mecânica dos Sólidos) – UNICAMP, Análise numérica de materiais compósitos com o método dos elementos de contorno.
1996 – 2000	Engenharia Mecânica – UNICAMP
1992 – 1995	Licenciatura em Física (Incompleto) – UNICAMP
1986 – 1988	Técnico Mecânico – Colégio Técnico da Unicamp (COTUCA)

Experiência Profissional

2019 – Atual Tech & Knowledge – Serviços de Engenharia Ltda.
Engenheiro Mecânico e de Segurança do Trabalho / Consultor.

08/15 – 12/15 UNIMEP Universidade Metodista de Piracicaba
Professor Universitário.

2005 – 2018 Mixing Consultoria em Processos Industriais Ltda.
Engenheiro Mecânico / Consultor.

1999 – 2005 Cérebro Engenharia e Tecnologia da Informação S.A.
Estagiário /Engenheiro Mecânico

1996 – 2000 CDI – Informática
Instrutor de Informática

1992 – 1996 Tampas Click para Veículos Ind. e Com. Ltda.
Desenhista Mecânico

1991 – 1992 Aurora Projetos Automobilísticos Imp. e Exp. Ltda.
Desenhista Mecânico

1989 – 1990 Crown Cork do Brasil S/A
Desenhista Copista /Desenhista Mecânico

1989 Equipamentos Clark Ltda.
Estagiário - Departamento de Projetos de Manutenção

Outras Atividades

2015 – 2019 Conselheiro no Conselho Municipal de Meio Ambiente de Valinhos.

2013 – 2017 Inspetor do CREA-SP na área mecânica, atuando na CAF-Valinhos.

2011 Co-autor do artigo “Computation of moments and stresses in laminated composite plates by the boundary element method” no periódico Engineering Analysis with Boundary Elements, volume 35, Issue 1, January 2011, Pages 105-113, Ed. Elsevier.

2007 - 2012 Conselheiro da Câmara Especializada em Engenharia Mecânica e Metalúrgica (CEEMM) do CREA-SP (Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura), representando a Associação de Engenheiros, Arquitetos e Agrônomos de Valinhos.

2003 Co-autor do artigo: “Improved Agitators Applied to High Viscosity Fluids in Concentrated Juices” apresentado na ASME Citrus Engineering Conference.

1999 Apresentação do Trabalho: “Implementação de Técnicas Preditivas para a Propagação de Trincas em Materiais Compósitos Usando Método dos Elementos de Contorno” no Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica – COBEM

1998 Apresentação do trabalho “Implementação de Técnicas Preditivas para a Propagação de Trincas em Materiais Compósitos Usando Método dos Elementos de Contorno” no Congresso Interno Iniciação Científica PIBIC/CNPq da UNICAMP.