

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Curso de Especialização em Análise e Dimensionamento de Estruturas de Concreto
Armado e Aço

Giulliano Digiórgio Andriola Damasceno

RESERVATÓRIOS METÁLICOS PARA ARMAZENAMENTO DE ÁGUA POTÁVEL:
um estudo de manifestações patológicas

Belo Horizonte

2025

Giulliano Digiórgio Andriola Damasceno

**RESERVATÓRIOS METÁLICOS PARA ARMAZENAMENTO DE ÁGUA POTÁVEL:
um estudo de manifestações patológicas**

Monografia de especialização apresentada ao Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Análise e Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado e Aço.

Orientador: Prof. Armando Cesar Campos Lavall, D.Sc.

Belo Horizonte

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO E AÇO

ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA / TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

Aos **vinte e seis dias** do mês de **setembro de 2025**, às 18h, em ambiente virtual, o estudante **Giulliano Digiorgio Andriola Damasceno**, matrícula 2025671380, defendeu o Trabalho intitulado **“Reservatórios Metálicos para Armazenamento de Água Potável: Um Estudo de Manifestações Patológicas”**.

Participaram da banca examinadora os abaixo indicados, que, após finalizada a apresentação do aluno passaram para a fase de arguição. Os membros da banca consideraram o aluno aprovado e assinam eletronicamente a presente ata.

Nota: (90,0 pontos)

Orientador(a): Prof. Armando Cesar Campos Lavall

Nota: (90,0 pontos)

Examinador(a): Prof. Hermes Carvalho

Nota: (90,0 pontos)

Examinador(a): Prof. Rodrigo Barreto Caldas



Documento assinado eletronicamente por **Armando Cesar Campos Lavall, Professor do Magistério Superior**, em 12/10/2025, às 11:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **hermes carvalho, Usuário Externo**, em 14/10/2025, às 12:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Barreto Caldas, Professor do Magistério Superior**, em 20/10/2025, às 08:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

AGRADECIMENTOS

Agradeço meus pais Ivani Damasceno e Nadja Maria Andriola Damasceno por todo o suporte que me deram ao longo da minha vida. Eles são meus grandes exemplos de dedicação, persistência, bondade, humildade e respeito ao próximo. Agradeço a minha esposa Michele pelo carinho e companheirismo ao longo de toda jornada que tivemos juntos. Agradeço a minha filha Laura por existir fazer nossas vidas terem mais sentido. Agradeço minhas irmãs por serem grandes parceiras e incentivadoras do meu desenvolvimento. Agradeço ao professor e orientador Dr. Hermes pelos ensinamentos e por ter ajudado na condução desse trabalho com insights e contribuições importantes para uma entrega de excelência.

RESUMO

O presente trabalho aborda o estudo de manifestações patológicas em reservatórios metálicos cilíndricos destinados ao armazenamento de água potável. A pesquisa tem como objetivo identificar e analisar os principais problemas patológicos que afetam esses reservatórios, levando em consideração aspectos de projeto, execução e manutenção. Para isso, foram realizadas inspeções em diversos tanques instalados em diferentes regiões do Brasil, utilizando métodos visuais e ensaios não destrutivos. Os resultados apontaram a corrosão como a principal causa de degradação estrutural, especialmente em regiões litorâneas. Além disso, o trabalho enfatiza a importância do processo de inspeção e acompanhamento rigoroso durante a fabricação dos reservatórios metálicos para prevenir deformações, falhas nas soldas e outras patologias que comprometem a segurança e a durabilidade da estrutura. A pesquisa conclui que a falta de normas específicas para esse tipo de estrutura no Brasil, associada à utilização de práticas inadequadas de manutenção, contribui significativamente para a redução da vida útil dos reservatórios. Recomenda-se a adoção de estratégias preventivas, como o uso de revestimentos adequados, inspeções regulares e controle de qualidade durante a fabricação, para garantir a integridade e durabilidade desses equipamentos.

Palavras Chaves: Reservatórios metálicos; Corrosão; Patologias estruturais; Inspeção; Ensaios não destrutivos; Durabilidade; Manutenção preventiva; Revestimentos protetores; Controle de qualidade.

ABSTRACT

This study addresses the analysis of pathological manifestations in cylindrical steel tanks designed for potable water storage. The research aims to identify and examine the main structural pathologies affecting these tanks, considering design, fabrication, and maintenance aspects. To achieve this, inspections were carried out on several tanks installed in different regions of Brazil, using visual methods and non-destructive testing techniques. The results indicated corrosion as the primary cause of structural degradation, particularly in coastal areas. Furthermore, the study emphasizes the importance of rigorous inspection and monitoring during the manufacturing process of steel tanks to prevent deformations, welding defects, and other pathologies that compromise structural safety and durability. The research concludes that the absence of specific standards for this type of structure in Brazil, combined with inadequate maintenance practices, significantly contributes to the reduction of the tanks' service life. Preventive strategies are recommended, such as the use of appropriate coatings, regular inspections, and strict quality control during fabrication, to ensure the integrity and longevity of these structures.

Keywords: Steel tanks; Corrosion; Structural pathologies; Inspection; Non-destructive testing; Durability; Preventive maintenance; Protective coatings; Quality control.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	6
1.2	OBJETIVO	7
1.3	JUSTIFICATIVA.....	7
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1	TIPOLOGIA.....	8
2.2	PROJETO	10
2.2.1	Norma ABNT NBR 7821	10
a)	Inspeção de solda.....	16
b)	Teste do fundo	18
c)	Teste do costado	18
2.2.2	Norma AWWA D 100-96.....	18
2.3	INSPEÇÃO EM SERVIÇO.....	28
2.4	POTABILIDADE DA ÁGUA	28
2.5	CORROSÃO	28
2.6	GARANTIAS	30
2.7	MANUTENÇÃO.....	30
3	METODOLOGIA.....	30
4	RESULTADOS	31
4.1	BASE.....	31
4.2	COSTADO.....	35
4.3	TETO.....	37
4.4	SOLDAS	38
4.5	REVESTIMENTO INTERNO.....	40
5	CONCLUSÃO.....	43
6	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

No Brasil, empreendimentos do tipo condomínios residenciais e logísticos demandam um alto volume de água para consumo humano e combate a incêndio. O armazenamento dessa água pode ser dado de diversas formas, sendo uma das mais utilizadas os reservatórios metálicos cilíndricos, também conhecidos como tanques ou castelos d'água (Figura 1). As dimensões dos castelos são definidas em função do volume de armazenamento, local de instalação, custos, entre outros.

Figura 1 - Imagem de reservatório metálico tipo cilíndrico.



Fonte: Próprio autor.

A vantagem desse sistema é que em função da altura da lâmina tem-se energia potencial gravitacional para garantir pressão da água nos pontos de consumo, sem a necessidade de

bombeamento. Nesse caso, somente a reserva técnica de incêndio, quando necessária, é ligada a uma casa de bombas.

Por outro lado, o desafio desse sistema se dá na concepção de projeto e procedimento de manutenção para garantia da durabilidade do equipamento que, exposto ao tempo e internamente a águas tratadas com cloro, sofrem com o processo de corrosão.

Existem outros tipos de tanques metálicos para armazenamento de água com outros formatos, como taças, e existem tanques de outros materiais, como concreto armado, com diversos formatos. Esse trabalho se limitará a tanques metálicos no formato cilíndrico.

1.2 Objetivo

Este trabalho possui como objetivo o estudo de parâmetros relevantes para avaliação de manifestações patológicas em castelos metálicos cilíndricos. Uma vez identificados, os parâmetros serão aplicados em casos reais de um conjunto de castelos metálicos fabricados e instalados em diversas regiões do Brasil.

1.3 Justificativa

Observa-se que com o aumento de parques industriais e condomínios residenciais multifamiliares no Brasil, aumenta-se a demanda por armazenamento de água em grandes volumes para atender consumo humano e reserva técnica de incêndio. Surge-se então como solução a implantação de tanques metálicos elevados com capacidade de comportar grandes volumes, ocupar relativamente pouco espaço e garantir pressão da rede de consumo de água.

Todavia, por inexistência de uma norma técnica brasileira específica para reservatórios metálicos para armazenamento de água, os fabricantes utilizam normas estrangeiras ou nacionais correlatas, sendo as mais utilizadas AWWA D100, API 650, ABNT NBR 7821. Adicionalmente, são utilizados procedimentos próprios para concepção de projeto e execução. Assim, os compradores dos castelos carecem de referências para inspeção e validação no recebimento do tanque.

Além dos desafios de projeto e executivos, os adquirentes desses equipamentos geralmente desconhecem procedimentos apropriados para manutenções preventivas e corretivas, acarretando diversas patologias e, em alguns casos, perda total da estrutura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo explora os aspectos gerais dos sistemas de reservatórios metálicos para armazenamento de água, abrangendo desde a concepção e escolha dos materiais até os desafios de manutenção e durabilidade.

2.1 Tipologia

No mercado brasileiro existem diversos tipos de tanques para armazenamento de água em grandes volumes - acima de 100 m³. Diferente das caixas d'água comumente utilizadas nas residências brasileiras, fabricadas com plástico (polietileno), os tanques aqui tratados são previstos para armazenamento de grandes volumes e apresentam o desafio de suportarem peso e pressão da água armazenada.

A Figura 2 mostra diferentes soluções de reservatórios d'água, definidos de forma atender as necessidades de volume e pressão na rede.

Figura 2 – A imagem abaixo apresenta quatro diferentes tipos de reservatórios: concreto armado elevado (1), metálico tipo cilíndrico elevado (2), metálico tipo taça elevado (3) e caixa de polietileno (4).



Fonte: <https://www.fazforte.com.br/blog/diferenca-entre-os-materiais-dos-reservatorios-de-agua/>

Os reservatórios metálicos podem ser classificados quanto o tipo de teto, costado e fundo:

- Teto: fixo, móvel, fixo com diagrama flexível e flutuante
- Costado: cilíndrico, esferoidal, cônico, cônico invertido e inclinado
- Fundo: plano, curvo ou esferoidal

O estudo apresentado ao longo desse trabalho se limitará aos castelos: reservatórios metálicos cilíndricos, de aço carbono, submetidos a pressão atmosférica, com teto fixo, costado cilíndrico e fundo plano – tipo 2 da Figura 2.

Os castelos são comumente construídos com divisões internas chamadas de células, a fim de segregar as águas para diferentes usos e para facilitar o processo de manutenção. Na Figura 3, tem-se três células: a superior e intermediária destinadas para consumo humano e a célula inferior para reserva técnica de incêndio.

Figura 3 – Reservatório metálico cilíndrico e seus elementos básicos: célula, teto, costado e fundo.



Fonte: Próprio autor

2.2 Projeto

Atualmente no Brasil não existe norma técnica elaborada especificamente para tanques metálicos para armazenamento de água, sendo a norma que mais se aproxima a ABNT NBR 7821 – Tanques soldados para armazenamento de petróleo e derivados. Como opção alternativa, muitos projetistas utilizam-se também da norma estadunidense AWWA D100 – *Welded steel tanks for water storage* (Tanques metálicos soldados para armazenamento de água) da *American National Standards Institute*, ANSI. Também é utilizada norma estrangeira voltada para indústria do petróleo API 650 – *Weld tanks for oil storage* (Tanques soldados para armazenamento de óleo). Este trabalho limitará no estudo das normas NBR 7821 e AWWA 100.

2.2.1 Norma ABNT NBR 7821

Esta norma tem por objetivo estabelecer as exigências mínimas que devem ser seguidas para materiais, projeto, fabricação, montagem e testes de tanques de aço-carbono, soldados, cilíndricos, verticais, não enterrados, com teto fixo ou flutuantes, destinados ao armazenamento de petróleo e seus derivados líquidos. Na sequência do trabalho será abordado os principais itens dessa norma utilizados como referência para castelos d'água.

2.2.1.1 Chapas do costado

As Tabela 1 e Tabela 2 mostram algumas dimensões típicas, espessuras de chapas do costado e capacidades de tanques construídos de acordo com a NBR 7821. Diferente dos castelos d'água, tanques para armazenamento de petróleo possuem abrangências para diâmetros maiores, alturas menores e podem chegar a volumes armazenados na ordem de 60.400 m³, enquanto castelos possuem geometria mais esbelta com diâmetros menores, na ordem de 3 a 7 metros, e alturas maiores, 20 a 30 metros, para garantia mínima de pressão na rede.

Tabela 1 - Dimensões típicas e correspondentes capacidades nominais de tanques com anéis de 2400mm de largura – Tabela 27 NBR 7821.

Diâmetro do tanque (m)	Capacidade aproximada por metro de altura (m³)	Número de anéis do tanque						
		2	3	4	5	6	7	8
		Altura do tanque (m)						
		4,80	7,20	9,60	12,00	14,40	16,80	19,20
Capacidade nominal (m³) (*)								
5	20	95	140	190	235	280	330	375
10	79	375	565	755	940	1130	1320	1510
15	177	850	1270	1700	2120	2550	2970	3400
20	314	1510	2260	3020	3770	4530	5280	6030
25	491	2630	3540	4710	5880	7060	8250	9520
30	707	3390	5080	6780	8480	10200	11870	13550
35	962	4610	6920	9220	11550	13850	16150	18450
40	1260	6050	9070	12100	15100	18150	21200	24200
45	1590	7630	11450	15250	19100	22900	26700	30500
50	1960	9400	14100	18800	23500	28200	32900	37600
50,5 (**)	-	-	-	-	-	-	-	45700
55	2380	11400	17100	22800	28600	34300	40000	-
58 (**)	-	-	-	-	-	-	47500	-
60	2830	13600	20400	27200	34000	40800	-	-
65	3320	16000	23900	31900	39800	47800	-	-
68 (**)	-	-	-	-	-	55400	-	-
70	3850	18500	27700	37000	46200	-	-	-
75	4420	21200	31800	42400	53000	-	-	-
80	5030	24200	36200	48300	60400	-	-	-

Tabela 2 - Espessuras de chapas do costado para as dimensões de tanques construídos com anéis de 2400mm de largura – Tabela 28 NBR 7821.

Diâmetro do tanque (m)	Número de anéis do tanque								Altura máxima permitida para os diâmetros dados (m)
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	Altura do tanque (m)								
	2,40	4,80	7,20	9,60	12,00	14,40	16,80	19,20	
Espessura da chapa do costado (mm)									
5	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75	-	-	-	-
10	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75	5,60	6,70	7,50	-
15	6,30	6,30	6,30	6,30	7,10	8,50	10,00	11,20	-
20	6,30	6,30	6,30	7,50	9,50	11,20	13,20	15,00	-
25	6,30	6,30	7,10	9,50	11,80	14,00	16,00	19,00	-
30	6,30	6,30	8,50	11,20	14,00	17,00	20,00	23,60	-
35	6,30	6,30	10,00	13,20	17,00	20,00	23,60	26,50	-
40	8,00	8,00	11,20	15,00	19,00	22,40	26,50	30,00	-
45	8,00	8,50	12,50	17,00	21,20	26,50	30,00	35,50	21,50
50	8,00	9,00	14,00	19,00	23,60	30,00	33,50	37,50	19,40
55	8,00	10,00	16,00	21,20	26,50	31,50	37,50	-	17,60
60	8,00	11,20	17,00	22,40	28,00	35,50	-	-	16,20
65	9,50	11,80	18,00	25,00	31,50	37,50	-	-	15,00
70	9,50	13,20	20,00	26,50	33,50	-	-	-	13,90
75	9,50	14,00	21,20	28,00	35,50	-	-	-	13,00
80	9,50	15,00	22,40	30,00	37,50	-	-	-	12,20

Para o dimensionamento das chapas do costado, utiliza-se da fórmula abaixo:

$$e = 0,040D(H - 0,3)G$$

Onde:

e = espessura mínima, em mm.

D = diâmetro nominal do tanque, em metros.

H = altura da lâmina d'água até a extremidade inferior do anel a ser calculado, em metros.

G = densidade do líquido a ser estocado.

Deve ser também acrescido o valor de sobreespesura de corrosão, caso seja adotada. Além disso, o valor da espessura nominal deverá respeitar a Tabela 3:

Tabela 3 - Imagem representa a espessura nominal mínima para chapas do costado

Diâmetro nominal do tanque D (m)	Espessura nominal mínima (mm)
$D < 15$	4,5
$15 \leq D < 35$	6,3
$35 \leq D \leq 60$	8,0
$60 < D$	9,0

Como os castelos d'água possuem normalmente diâmetros inferiores a 15 m, a espessura nominal mínima das chapas mais aplicado é de 4,5 mm.

2.2.1.2 Soldas

Em relação as exigências de soldas, a NBR 7821 dita que as juntas verticais do costado devem ser soldadas de topo e ter penetração total (funde a totalidade da espessura das chapas), enquanto as juntas horizontais devem ser de topo duplamente soldadas (solda em ambas os lados das chapas sem necessidade de fusão da totalidade da espessura) e, numa de distância de 75 mm de lado da interseção com qualquer junta vertical, possuir penetração completa.

2.2.1.3 Tetos autoportantes

No que se diz respeito ao teto do castelo, essa norma estabelece sobrecarga uniforme não inferior a 60 kg/m^2 e chapa com espessura mínima nominal de 4,5 mm para tetos cônicos autoportantes.

2.2.1.4 Aberturas no costado

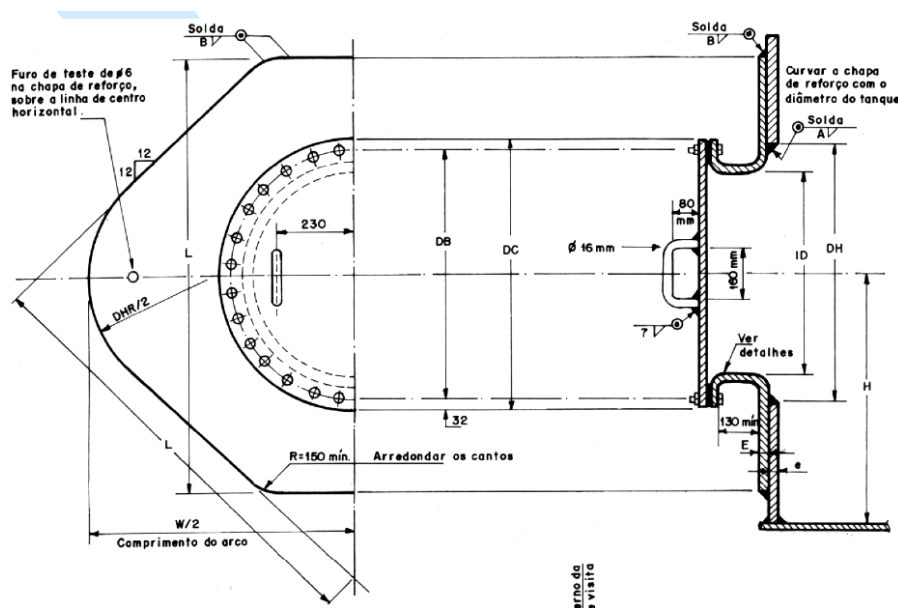
As aberturas no costado com diâmetros maiores que 63 mm, deverão ser reforçados com: utilização de flanges; chapas de reforço; parte do pescoço de uma conexão; excesso de espessura da chapa do costado; inserção de chapas.

Para a bocas de visitas, a norma traz uma tabela com dimensões pré-definidas assim como um detalhe típico, conforme Tabela 4 e Figura 4:

Tabela 4 - Dimensões típicas para boca de visita, figura 7 da NBR7821.

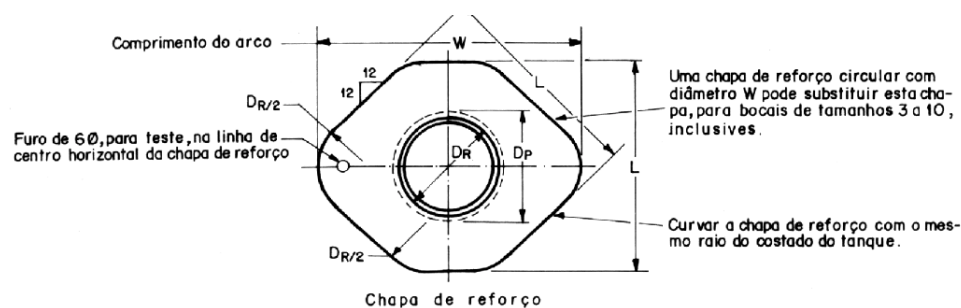
Diâmetro nominal Boca de visita	Parafusos (ver Nota 3)			Junta (ver Nota 1)			Altura H (ver Nota 4)
	Quantidade	Diâmetro	Diâmetro dos furos	Diâmetro externo	Diâmetro interno	Espessura	
508	28	19	22	645	508	3	762
610	28	19	22	746	610	3	762
762	42	19	22	898	762	3	914
914	42	19	22	1051	914	3	1067

Figura 4 – Boca de visita do costado, sendo DH e ID os diâmetros externo e interno, respectivamente - figura 7 da NBR7821



Para os bocais do costado, deve-se estar de acordo com a Figura 5 e as chapas de reforço devem ter um pequeno furo com rosca de 6,0 mm, para detecção de vazamento das soldas internas.

Figura 5 – Detalhe típico para bocais do costado, apresentado na figura 8-a da NBR 8721.

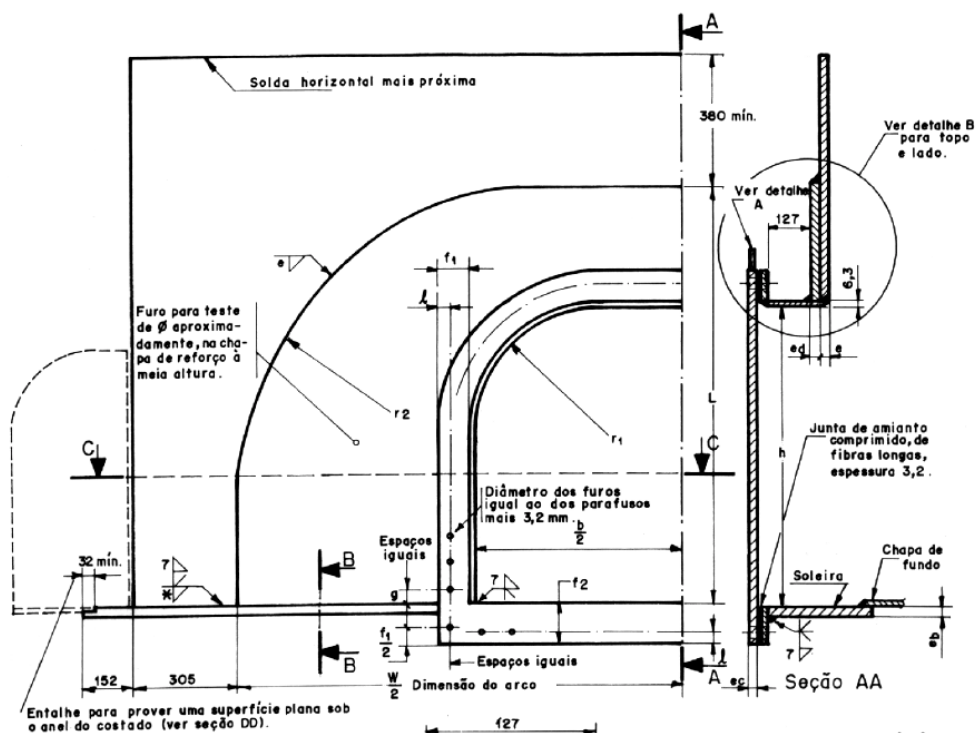


A NBR7821 também versa sobre a execução de portas de limpeza, que não são comumente instaladas em castelos d'água. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra a tabela indicada pela norma com as dimensões previstas. Todavia, o item 6.6.4 da norma estabelece que tais portas de limpeza são opcionais e dependem de solicitação específica do comprador. A Tabela 5 ilustra um detalhe típico desse componente.

Tabela 5 – Quantidade e tamanho dos acessórios para tanques de produtos claros.

Diâmetro do tanque (m)	Acessórios							
	Bocas de visita (costado)		Bocas de visitas (teto)		Portas de limpeza		Drenos de fundo	
	Quantidade	Diâmetro nominal (mm)	Quantidade	Diâmetro nominal (mm)	Quantidade	Dimensões (mm)	Quantidade	Tamanho do tubo ⁽¹⁾
Até 7,5	1	508	1	508	1	914 x 1219	1	2
7,5 a 27	2	610	2	508	1	914 x 1219	1	3
27 a 43	3	610	2	508	1	914 x 1219	2	3
43 a 55	4	610	3	508	1	914 x 1219	2	4
55 a 67	2 2	610 762	2 1	508 610	2	914 x 1219	2	6

Figura 6 – Porta de limpeza para costado – tipo nivelada “flush type”.



2.2.1.5 Escadas

A NBR7821 considera escadas verticais somente para tanques até 6 m de altura, para maiores alturas devem ter escadas inclinadas, com um patamar a cada 8 m de altura. A norma não versa sobre escadas tipo “marinheiro”, utilizadas em castelos d’água.

2.2.1.6 Tolerâncias dimensionais

No item 9.3, a norma define tolerâncias com intuito de garantir um tanque com uma aparência aceitável e possibilitar o funcionamento correto dos tetos flutuantes – não utilizados em castelos d’água. Estas tolerâncias poderão ser ultrapassadas desde que o comprador e fabricante estejam de acordo. Abaixo os principais pontos desse item.

- Verticalidade: desaprumo máximo de 1/200 entre topo e fundo;
- Circunferência: raios medidos a partir de 300 mm acima da solda entre o canto e o fundo do costado não devem exceder + ou - 15 mm para diâmetros até 12 m;
- Barriga: não devem exceder 15 mm as barrigas horizontais ou verticais, medidas por intermédio de um gabarito de 1 m de comprimento.

2.2.1.7 Critério de aceitação

O item 9.4 da norma aborda tópicos de inspeção, teste e reparos nos tanques para armazenamento de petróleo e derivados. Em seguida, serão resumidos os pontos mais relevantes para castelos d'água.

a) Inspeção de solda

Em soldas de topo, a inspeção de qualidade das juntas horizontais do costado, quando exigida penetração total, e das juntas verticais, deve ser feita pelo método radiográfico. Devem ser recusadas as seções de soldas com os defeitos:

- trinca, fusão incompleta ou penetração incompleta;
- inclusão alongada com comprimento maior que 2/3 da chapa mais fina. Inclusão menores que 6 mm são permitidas;
- porosidade em excesso.

A Tabela 6 apresenta uma tabela de indicações de porosidades máximas permissíveis em radiografias.

Tabela 6 – Indicações de porosidades máximas permissíveis em radiografias por 150 mm de solda, tabela 26 NBR 8721.

Espessura da solda (mm)	Área total da porosidade permissível (mm ²)	Poros Grande		Poros médios		Poros finos	
		Tamanho (mm)	Quantidade	Tamanho (mm)	Quantidade	Tamanho (mm)	Quantidade
3,18	4,839	-	-	-	-	0,36	49
6,35	9,678	-	-	0,64	31	0,351	100
12,70	19,356	2,54	4	0,79	40	0,495	101
19,05	29,034	3,18	4	0,86	50	0,61	99
25,40	38,712	3,18	5	0,99	50	0,698	101
38,10	58,068	3,18	7	1,22	50	0,86	99
44,45	67,746	3,18	8	1,588	50	0,94	99

Para juntas horizontais onde não seja exigida a penetração total, a inspeção poderá ser feita pelo método de seccionamento. As Figura 7 e Figura 8 mostram o desenho da área seccionada e do fechamento dos cortes nas juntas.

Figura 7 - Fechamento dos cortes nas juntas para espessura da chapa mais fina menos que $1/3$ do diâmetro do furo, figura 24 NBR 7821.

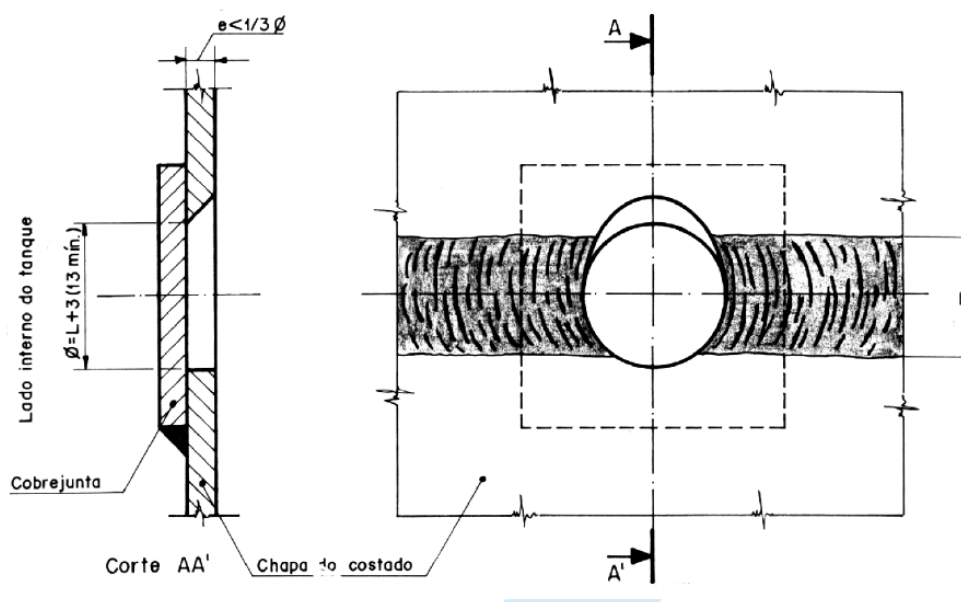
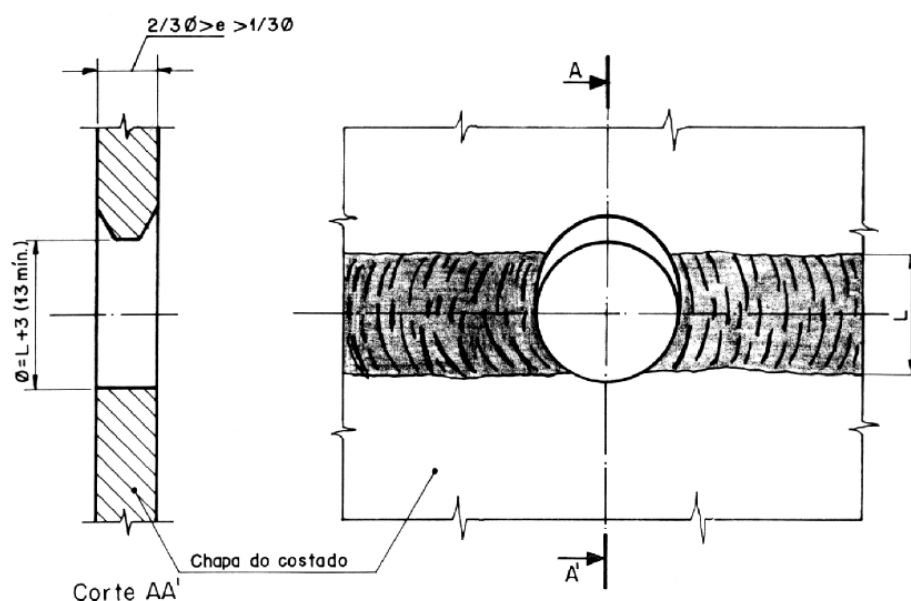


Figura 8 - Fechamento dos cortes nas juntas para espessura da chapa mais fina entre $1/3$ e $2/3$ do diâmetro do furo, figura 24 NBR 7821.



Para as soldas em ângulo, a inspeção será visual e sempre que este exame indicar soldas não satisfatórias, a aceitação ou rejeição do trabalho deve ser baseada no corte de tais área por meio de talhadeiras com ponta arredondada.

Para a fase de montagem, a norma apresenta as seguintes orientações:

- Mordeduras: não admitidas, exceto em juntas de topo horizontais, limitadas a profundidade de 1 mm;
- Reforço de solda: altura máxima limitada a 1 mm para chapas até 12,5 mm;
- Soldagem do costado – juntas verticais: desalinhamento limitado a 10% da espessura da chapa e a 2 mm;
- Soldagem do costado – juntas horizontais: chapa superior não deve projetar-se, além da face da chapa inferior, mais do que 20% da espessura da chapa superior, valor este limitado a 3 mm; excetuam-se os casos que a espessura da chapa superior é menor do que 8mm, quando é permitida uma projeção de até 2 mm;

Os defeitos nas soldas deverão ser reparados removendo-se a zona defeituosa mecanicamente ou por fusão de um ou ambos os lados da junta, soldando-se novamente.

b) Teste do fundo

Após a soldagem das chapas do fundo do tanque, este deve ser testado pela aplicação de vácuo às juntas usando sabão, óleo de linhaça ou outro material adequado para indicação de vazamentos.

c) Teste do costado

Após a conclusão de todas as soldas do costado e antes de conectar qualquer tubulação, o tanque deve ser testado para verificação de vazamentos, utilizando-se os métodos:

- Teste hidrostático do costado pelo enchimento completo do tanque com água;
- Pintando-se todas juntas pelo lado interno, com um óleo de grande penetração e examinando-se o a parte externa;
- Aplicando-se vácuo em qualquer lado das juntas ou pressão de ar internamente;

2.2.2 Norma AWWA D 100-96

A AWWA D100 tem o objetivo de prover um guia para facilitar o projeto, fabricação e compra de tanques metálicos cilíndricos para armazenamento de água. O documento aborda premissas gerais de materiais, dimensionamento, acessórios, soldagem, fabricação, inspeções, testes e fundação.

A norma estadunidense trata sobre tanques cilíndricos definidos em três categorias distintas, considerando a relação altura e diâmetro e posição do fundo. Então, tem-se os *elevated tanks* (tanques elevados) equivalente aos castelos tipo taça, onde o reservatório está elevado e suportado por uma coluna metálica e, complementarmente, tem-se os tanques apoiados no solo classificados como *standpipes* (castelos) para altura maior que o diâmetro e *reservoir* (reservatório) para tanques de altura menor ou igual ao diâmetro.

O enfoque desse trabalho são os tanques tipo *standpipes* ou castelo (altura > diâmetro) apoiados no solo.

2.2.2.1 Dimensionamento

A norma estabelece critérios mínimos para dimensionamento de tanques abrangendo os tópicos que serão apresentados em resumo na sequência deste item.

a. Esforços solicitantes:

- Peso próprio – Aço: 7.850 kg/m³;
- Peso próprio – Água: 1.000 kg/m³;
- Carga variável – Teto: mínimo de 720 N/m²;
- Ação do vento:

$$P_w = 30C_d \left(\frac{v}{100} \right)^2 \geq 30C_d$$

P_w = pressão do vento em lbf/ft²;

C_d = fator de arrasto em função do formato da superfície;

v = velocidade do vento em mph com v limitado a 100mph (45m/s).

b. Tensões admissíveis:

- As Tabela 7 e Tabela 8 a seguir mostram os valores de tensões máximas permitidas pela norma para tensões de tração, compressão, flexão, cisalhamento e apoio:

Tabela 7 – Tensões admissíveis de tração - tabela 4 da AWWA D100

Item	Class	Maximum Unit Stress	
		<i>psi</i>	(<i>MPa</i>)
Plates in tank shell	1,2*	15,000	(103.4)
Structural steel, built-up structural members, structural details	0	12,000	(82.7)
	1	15,000	(103.4)
	2	18,000	(124.1)
Tension rings	1,2	15,000	(103.4)
Bolts and other nonupset threaded parts [†]		15,000	(103.4)
Anchor bolts [‡]			
Mild steel [§]		15,000	(103.4)
High-strength steel**			
1¾ in. to 2½ in. diameter		31,250	(215.5)
2½ in. to 4 in. diameter		28,750	(198.3)
Bracing rods with swaged (upset) or welded, enlarged stub ends having threads with root area greater than the rod area [†]	1	15,000	(103.4)
	2	18,000	(124.1)
Cast steel		11,250	(77.6)

Tabela 8 – Tensões admissíveis de compressão - tabela 5 da AWWA D100

Item	Class	Maximum Unit Stress	
		<i>psi</i>	(<i>MPa</i>)
Nonstructural items	0	12,000	(82.7)
Plates in tank shell, structural steel, built-up members, plate in structural applications, structural details, and weld metal	1	15,000	(103.4)
	2	18,000	(124.1)
Columns, struts, and double-curved, conical, and cylindrical shell plates		*	
Plate girder stiffeners		15,000	(103.4)
Webs of rolled sections at toe of fillet		18,000	(124.1)
Compression rings		15,000	(103.4)
Cast steel		15,000	(103.4)

Tabela 9 – Tensões admissíveis de flexão - tabela 6 da AWWA D100

Item	Class	Maximum Unit Stress	
		<i>psi</i>	(<i>MPa</i>)
Tension on extreme fibers of rolled sections, built-up members, plate girders, except column base plates, roof plates, and roof rafters	1	15,000	(103.4)
	2	18,000	(124.1)
Compression on extreme fibers of rolled sections, built-up members, and plate girders, except column base plates, roof plates, and roof rafters:			
* $LD/BT \leq 600$	1	15,000	(103.4)
* $LD/BT > 600$	1	9,000,000/ (LD/BT)	(62,040/ (LD/BT))
* $LD/BT \leq 500$	2	18,000	(124.1)
* $LD/BT > 500$	2	9,000,000/ (LD/BT)	(62,040/ (LD/BT))
Roof rafters [†]	1	18,000	(124.1)
	2	22,000	(141.7)
Column base plates, roof plates	1	20,000	(137.9)
	2	24,000	(165.4)
Compression on extreme fibers of double-curved, conical, or cylindrical shell plates (full-section stress, not through thickness bending)		See Sec. 3.4	
Pins, extreme fiber		22,500	(155.1)
Cast steel		11,250	(77.6)

Tabela 10 – Tensões admissíveis de cisalhamento - tabela 7 da AWWA D100

Item	Class	Maximum Unit Stress	
		<i>psi</i>	(<i>MPa</i>)
Plates in tank shell, structural connections, structural details; also webs of beams and plate girders, gross section	0	9,600	(66.2)
	1	12,000	(82.7)
	2	14,400	(99.3)
Pins and turned bolts in reamed or drilled holes		11,250	(77.6)
Unfinished bolts		7,500	(51.7)
Cast steel		7,325	(50.5)

Tabela 11 - Tensões admissíveis de apoio - tabela 8 da AWWA D100

Item	Maximum Unit Stress	
	psi	(MPa)
Pins and turned bolts in reamed or drilled holes	24,000	(165.5)
Contact area of milled surfaces	22,500	(155.1)
Contact area of fitted stiffeners	20,250	(139.6)
Expansion rollers and rockers	600d*	
Concrete-bearing shall conform to ACI 318	—	
Machined finished bolts in reamed or drilled holes	Double shear	30,000 (206.8)
	Single shear	24,000 (165.5)
Unfinished bolts	Double shear	18,750 (129.3)
	Single shear	15,000 (103.4)

c. Cargas combinadas:

- O carregamento axial e momento combinados, deverão satisfazer a equação:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1$$

F_a = tensão axial admissível

F_b = tensão a flexão admissível

f_a = tensão axial aplicada, obtida pela carga axial dividida pela seção do elemento solicitado

f_b = tensão de flexão aplicada, obtida pela divisão do momento fletor pelo módulo de resistência do elemento solicitado

d. Pilares:

- O efeito combinado de carregamento axial e momento fletor em pilares deverá satisfazer a seguinte equação:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} = \frac{f_a}{K_\phi F_L} + \frac{f_b}{F_L} \leq 1.0$$

K_ϕ = redutor de fator por esbeltez

F_L = Flambagem local admissível de compressão em psi

e. Viga, enrijecedores e anéis de compressão:

- A AWWA prescreve verificação da necessidade de vigas intermediárias, entre o fundo e teto do tanque, através da equação abaixo, onde o h representa a altura máxima para o costado sem as vigas intermediárias:

$$h = \frac{10.625 \times 10^6 t}{P_w \left(\frac{D}{t}\right)^{1.5}}$$

h = altura entre viga intermediária e o teto, em pés

t = espessura média de chapa menos a sobreespessura de corrosão, na altura h , em polegadas

P_w = pressão de vento em lb/ft^2 assumida como $18 \text{ lb}/\text{ft}^2$ para velocidade de ventos inferior a 100mph (45 m/s)

f. Tetos:

- Espessura mínima de 4,76 mm;
- Espaçamento máximo entre vigas que suportam o teto, caso utilizadas: 2.135 mm;

g. Chapa do costado:

- Fórmula de cálculo da espessura do chapa:

$$t = \frac{2.6 h_p D G}{s E}$$

t = espessura da chapa em polegadas

h_p = altura do líquido do nível topo a base no trecho calculado, em pés

D = diâmetro nominal em pés

s = tensão admissível de projeto, em libras por polegada quadrada (psi)

G = gravidade específica do produto (1,0 para a água)

E = eficiência da junta

- Espessura mínima **sem** contato com água: 4,76 mm;
- Espessura mínima **com** contato com água: 6,35 mm;

h. Chumbadores:

- Diâmetro mínimo: $1 \frac{1}{4}$ pol ou 31.8 mm;

- Espaçamento máximo: 10 pés ou 3,048 m;
- Esforço de cálculo: considera-se o maior entre vento e sísmico;
- Tensão admissível de ancoragem:

$$U = 1.5\sqrt{f'_c} \leq 160 \text{ psi}$$

U = tensão admissível de ancoragem em psi

f'_c = resistência à compressão do concreto, em psi

i. Corrosão permitida:

- O comprador deverá levar em consideração a natureza da água armazenada e proximidade do tanque a águas salgadas ou outras causas atmosféricas que corroboram com corrosão. Em função disso, poderá ser solicitado sobre espessuras de corrosões nas partes expostas a maiores potenciais corrosivos.

j. Espessura mínima:

- Espessura mínima de chapa: 4,76 mm

k. Reforço em aberturas:

- Aberturas com diâmetros iguais ou inferiores a 100 mm dispensam reforço;
- Aberturas com diâmetros superiores a 100 mm locados no costado, fundo suspenso ou outra localização sujeita a pressão da água, deverão ser reforçadas.

2.2.2.2 Soldagem, fabricação e montagem

A qualificação do procedimento de soldagem deverá ocorrer em conformidade com ASME ou ANSI/AWS B2.1. O fabricante deverá verificar qual norma se adequará melhor ao processo que será utilizado e realizar testes de qualificação com os soldadores, que deverão deixar impressas nas peças suas identificações como forma de manter histórico de montagem.

As juntas de topo em elementos submetidos aos esforços primários, como as juntas longitudinais, deverão ser executadas com penetração total. Em complemento, as juntas de topo em elementos

submetidos a esforços secundários, como as juntas circunferenciais deverão ser em penetração total para espessuras iguais ou inferiores a 9,5 mm.

O reforço em soldas de topo deve ter sua espessura limitada a 2,4 mm em juntas verticais e a 3,2 mm em juntas horizontais, para espessuras de placas inferiores a 13 mm.

Tanques com fundos apoiados diretamente na fundação poderão utilizar juntas sobrepostas ou juntas de topo. As juntas sobrepostas poderão ser soldadas no lado superior (solda tipo filete continua em toda junta), dispensando o lado inferior. A espessura máxima para fundos de juntas sobrepostas é de 9,5 mm. Caso o método seja o junta de topo, a solda poderá ser realizada pelo lado superior, utilizando uma chapa de suporte por baixo ou solução similar que garanta 90% de fusão. Em ambos os métodos, nos encontros de três chapas do fundo, deverá ser respeitada a distância mínima de 305 mm entre juntas e entre as juntas e o costado.

Em tanques cilíndricos de fundo plano, o encontro do fundo com as chapas do costado deverá ser soldado com solda tipo filete contínuo em ambos os lados do costado. O tamanho máximo do filete soldado é de 13 mm. O tamanho mínimo do filete será a espessura nominal da chapa mais fina da junta ou os valores apresentados na Tabela 12, o que for maior.

Tabela 12 – Tamanho mínimo de filetes de soldas na junta do costado com o fundo – tabela 18 AWWA D100

Thickness of Shell Plate				Minimum Size of Fillet Weld	
Minimum		Maximum		in.	(mm)
in.	(mm)	in.	(mm)		
$\frac{3}{16}$	(4.7)	$<\frac{1}{4}$	(6.4)	$\frac{3}{16}$	(4.7)
$\frac{1}{4}$	(6.4)	$\frac{3}{4}$	(19.0)	$\frac{1}{4}$	(6.4)
$>\frac{3}{4}$	(19.0)	$1\frac{1}{4}$	(31.8)	$\frac{5}{16}$	(7.9)
$>1\frac{1}{4}$	(31.8)	2	(50.8)	$\frac{3}{8}$	(9.5)

Durante a fase montagem do tanque deverá levar em consideração as condições climáticas. As soldas não poderão ser realizadas em superfícies molhadas ou em condições de ventos fortes, a menos que haja devida proteção.

As superfícies a serem soldadas deverão estar livres de graxas, óleos, tinta, ferrugem avançada e quaisquer outros materiais diferentes da chapa. Uma camada fina de ferrugem remanescente após o lixamento poderá ser aceita. Os pontamentos de solda poderão ser mantidos se visualmente inspecionados quanto a integridade.

Todo o costado, fundo e teto sujeitos a tensões pelo peso ou pressão do líquido armazenado deverão ser montados e soldados de forma a manter a curvatura das chapas nas duas direções. Assim, as chapas deverão ser unidas por soldagem numa sequência que o construtor obtenha a menor distorção por retração de solda e que evite deformações nas juntas longitudinais.

A seguir as tolerâncias dimensionais apresentadas pela norma:

- Verticalidade: o desaprumo máximo é de 1/200 medido do topo a base do castelo;
- Circularidade: o limite de variação do raio, medido a 0,3 m do fundo, é de 13 mm para castelos de diâmetro menores que 12,2 m;
- Distorção do cordão de solda horizontal e vertical: utilizando uma régua de 0,91 m a distorção não poderá exceder 13 mm;
- Tolerância de montagem para fórmulas de estabilidade:
 - Desvio local da forma teórica

$$e_x = 0.04 \sqrt{Rt}$$

$$L_x = 4 \sqrt{Rt}$$

L_x = comprimento de medição para imperfeição local

e_x = desvio local da forma teórica

t = espessura da chapa

R = raio da superfície externa do costado, normal a chapa no ponto considerado e medido da superfície exterior da chapa até o eixo de revolução

- Alinhamento entre chapas soldadas:
 - Junta de sobreposição: durante o processo de soldagem as chapas devem ser mantidas unidas. O limite de distância entre as chapas é de 1,6 mm e a solda deverá ser aumentada no mesmo valor da separação;
 - Junta de topo – alinhamento:
 - sujeitas a tensões primárias: 1/16 pol (1,6 mm) de desvio máximo
 - sujeitas a tensões secundárias: 1/8 pol (3,2 mm) de desvio máximo
 - Limpeza das soldas: a equipe do construtor deve remover a escória da solda, respingos, rebarbas e outras projeções afiadas ou rugosas de maneira que deixe a

superfície adequada para as operações subsequentes de limpeza e pintura. As juntas soldadas não precisam ser desbastadas ou lixadas, desde que possam ser limpas e pintadas de forma satisfatória.

2.2.2.3 Inspeção e testes

A AWWA indica que o comprador poderá especificar inspeções a de fabricação e montagem, sendo responsável pela contratação. A seguir é apresentado em tópicos os principais pontos tratados sobre testes e inspeções:

- a) Inspeção em fábrica: caso solicitado pelo comprador, consistirá em avaliação visual do processo de fabricação e operacionais para conformidade com a AWWA D100;
- b) Inspeção em campo: a qualidade da solda deverá ser determinada por radiografia e ou seções de segmentos de solda nas regiões definidas. É recomendado que as inspeções sejam feitas imediatamente após a soldagem das primeiras juntas verticais para prevenir possíveis reprovações futuras e necessidade de remoção das soldas;
- c) Credenciais dos soldadores: o fabricante deverá garantir que os soldadores possuam devidas credenciais antes de iniciar as soldas;
- d) Inspeção de juntas soldadas: as inspeções nas juntas por meio de testes radiográficos ou pela remoção de segmentos seccionais, deverá ser restrita àquelas sujeitas a tensões primárias. Radiografia deverá ser realizada apenas em juntas de penetração total. Mordedura máxima aceita será de 0,4 mm para juntas sujeitas a tensões primárias e 0,8 mm para tensões secundárias;
- e) Quantidade e localização das radiografias e segmentos seccionais: deverá ser realizado algum dos dois tipos de ensaios nas juntas sujeitas a tensão primária nos primeiros 3 m (10 pés) de soldas realizadas por cada soldador. Na sequência, independentemente do número de soldadores, um ensaio adicional a cada 30 m (100 pés) de solda. As localizações das radiografias para juntas sujeitas a tensão primária deverão incluir 5% de todas as juntas de interseção que incluiu pelo menos uma junta sujeita a tensão primária, com um mínimo de duas interseções por tanque. Os ensaios nas juntas sujeitas a tensão secundária deverão ocorrer nos primeiros 3 m, independentemente no número de soldadores e, a um ensaio adicional a cada 60 m de solda;

- f) Teste do tanque: o fundo do tanque deverá ser testado se está impermeável a água. As juntas do fundo poderão ser testadas pelo método de partículas magnéticas. Um ensaio de vácuo poderá ser realizado no fundo para detectar vazamentos. O tanque deverá ser cheio de água para detectar se há vazamentos no costado ou fundo. A água de teste deverá ser descartada;
- g) Pintura e desinfecção: após a aprovação dos testes, o tanque deverá ser pintado. A pintura poderá ocorrer antes do teste de encher o tanque, se acordado entre o fornecedor e comprador. O tanque deverá ser desinfetado após a pintura interna tiver seca e em conformidade com especificação da tinta (prazo não inferior a cinco dias). Na sequência poderá ser cheio com água potável e colocado em serviço.

2.3 Inspeção em serviço

Tanto a NBR7821 quanto a AWWA D100 não tratam sobre inspeção de tanques em serviço. Sendo assim, caberá ao proprietário do tanque estabelecer metodologia própria para garantir as inspeções periódicas que verifiquem o estado da pintura e integridade do equipamento.

2.4 Potabilidade da água

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabelece que deve ser realizada a limpeza e desinfecção do tanque de água a cada seis meses. Além disso, a água armazenada deverá atender padrões de potabilidade incluindo, ausência de contaminantes químicos, físicos e biológicos acima dos limites permitidos.

O principal produto utilizado no tratamento da água é o cloro que dissolvido na água gera um ambiente mais agressivo ao aço carbono, intensificando o processo de corrosão do metal.

2.5 Corrosão

A corrosão é um problema frequente em equipamentos metálicos, especialmente tanques de armazenamento de água, e geram custos de manutenção do processo de proteção, substituição de peças e equipamentos completos.

Segundo GENTIL (2011), podem-se considerar os processos de corrosão como reações de oxidação dos metais, isto é, o metal age como redutor, cedendo elétrons que são recebidos por uma

substância, o oxidante, existente no meio corrosivo. Logo, a corrosão é um modo de destruição do metal, progredindo através de sua superfície.

As formas de corrosão podem apresentadas considerando-se a aparência ou forma de ataque e as diferentes causas da corrosão e seus mecanismos, a saber:

- Morfologia: uniforme, placas, alveolar, pite (*pitting corrosion*), intergranular, em torno do cordão de solda e empolamento pelo hidrogênio;
- Mecanismos: aeração diferencial, eletrolítica, galvânica, associadas a solicitações mecânicas, fragilização pelo hidrogênio;
- Fatores mecânicos: sob tensão, sob fadiga, por atrito, associada à erosão;
- Meio corrosivo: atmosférica, pelo solo, induzida por microrganismos, pela água do mar, por sais fundidos etc.;
- Localização do ataque: pite, uniforme, intergranular, transgranular etc.

As formas localizadas – por exemplo, alveolar, puntiforme ou pite, intergranular e intragranular – são mais prejudiciais aos equipamentos, pois, embora a perda de massa seja pequena, as perfurações ou fraturas podem ocorrer em pequeno período de utilização do equipamento.

O pite pode causar rápida perda de espessura do material metálico originando perfurações e pontos de concentração de tensões, ocasionando a diminuição de resistência mecânica do material e consequente possibilidade de fratura.

A composição química do meio corrosivo ou do material metálico pode influenciar bastante no ataque por pite. Assim, a presença de cloreto no meio corrosivo acelera a formação de pites no aço inoxidável, e as inclusões de sulfeto são responsáveis pelo início do ataque por pite em aço-carbono e aço inoxidável.

Nos tanques de armazenamento de água também se observa o processo de corrosão sob tensão, onde tem-se a deterioração de materiais pela ação combinada de tensões residuais ou aplicadas e meios corrosivos. Segundo GENTIL (2011), nesse processo quando se observa a fratura dos materiais, ela é chamada de corrosão sob tensão fraturante (*stress corrosion cracking*).

Característica importante da corrosão sob tensão é que não se observa praticamente perda de massa do material. O material permanece com aspecto aparentemente íntegro até que ocorre a fratura.

2.6 Garantias

A NBR 7821 não aborda um item específico sobre garantias. A norma AWWA D100 estabelece que o construtor deverá garantir a estrutura contra qualquer defeito material ou de fabricação, incluindo tinta e pintura, pelo período de 1 ano após a construção.

No Brasil, é de praxe as empresas fabricantes de castelos d'água possuírem regras próprias de garantia. Os prazos mais comuns são 5 anos para estrutura e 2 anos para pintura. Porém essa garantia é condicionada a um processo de limpeza específico de toda a estrutura, inclusive lado externo do castelo, com periodicidade semestral.

Observe-se que, em função dos grandes volumes associados a tanques para armazenamento de água de consumo e incêndio, a limpeza completa, incluindo lado interno e externo, com necessidade de esvaziamento de milhares de litros de água, geram custos altos aos proprietários, que acabam não cumprindo o manual do fabricante e perdendo o direito de garantia do equipamento.

2.7 Manutenção

A manutenção adequada de tanques metálicos é condição indispensável e essencial para durabilidade e segurança da estrutura. A falta de conhecimento acerca das práticas mais adequadas para conservação destes equipamentos, leva a degradação acelerada e diminuição de sua vida útil.

Após a finalização da obra e entrega do reservatório, o proprietário deve seguir um planejamento de vistorias periódicas, de carácter preventivo, para monitorar a conservação do equipamento. A principal ação a ser tomada é garantir que a pintura esteja sempre em conformidade para proteção do aço contra o processo corrosivo.

Um tanque corretamente dimensionado, executado e operado, terá vida útil ilimitada caso o metal esteja constantemente protegido da corrosão.

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado com base em visitas do próprio autor a castelos em diversas regiões do Brasil e através de relatórios de vistoria técnicas realizados por equipe terceiras de profissionais de engenharia especializados nesse tipo de estrutura.

Durante as visitas foram realizadas inspeções visuais ao longo de todo o tanque na parte externa e interna quando foi possível. Para alguns casos específicos, foram contratadas empresas especializadas em ensaios não destrutivos para realização complementar de ensaios nas soldas, nas chapas do castelo e na pintura. Os ensaios realizados foram:

1. Soldas: visual, líquido penetrante e ultrassom;
2. Chapas: visual, espessura das chapas do costado, teto e fundo;
3. Pintura: visual, espessura da película e teste de arrancamento;

Dessa forma, têm-se um conjunto de dados fotográficos de diversas regiões do país para castelos metálicos verticais cilíndricos, com ou sem divisões físicas internas, variando entre 1 e 15 anos de idade, identificado as principais patologias manifestadas nestes equipamentos.

4 RESULTADOS

A seguir são apresentadas o conjunto de imagens coletadas de tanques em diversas regiões do país da seguinte forma:

1. Base
2. Costado
3. Teto
4. Solda
5. Revestimento

Os castelos localizados nos estados de ES, RJ, CE e AL estão em zona litorânea com distâncias variando de 10 a 20 km do mar.

4.1 Base

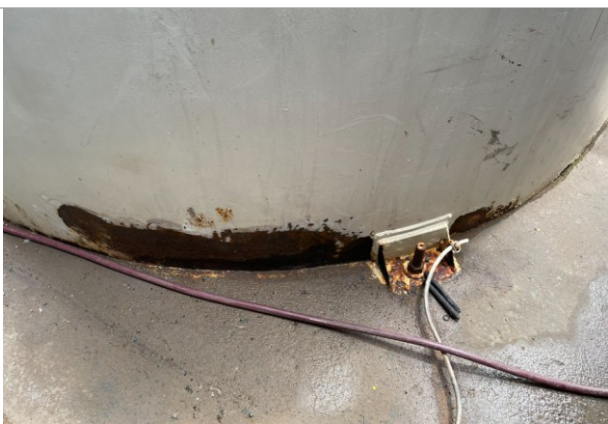
MG 1 – Pontos de corrosão no perímetro da base	MG 1 – Pontos de corrosão nas regiões de ancoragem
--	--



MG 2 – Corrosão generalizada em região da base e ancoragem



MG 2 – Corrosão severa em região junto à base



SP 1 – Vegetação crescendo junto a base



SP 1- Pontos de corrosão na chapa da base



SP 2 - Pontos de corrosão na chapa da base e porca	SP 2 - Pontos de corrosão no nicho de ancoragem
	
SP 3 – Acúmulo de água sob a base	SP 3 – Corrosão generalizada na chapa de base
	
RJ – Corrosão avançada na chapa de base	RJ – Corrosão na chapa de base



ES 1 – Pontos de corrosão na base e nichos de ancoragem



ES 1 – Chumbador sem comprimento necessário para duas porcas






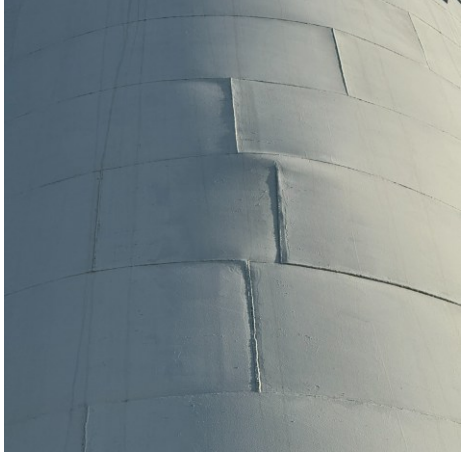
CE 1 – Corrosão avançada na ancoragem



CE 1 – Ponto de corrosão na ancoragem



4.2 Costado

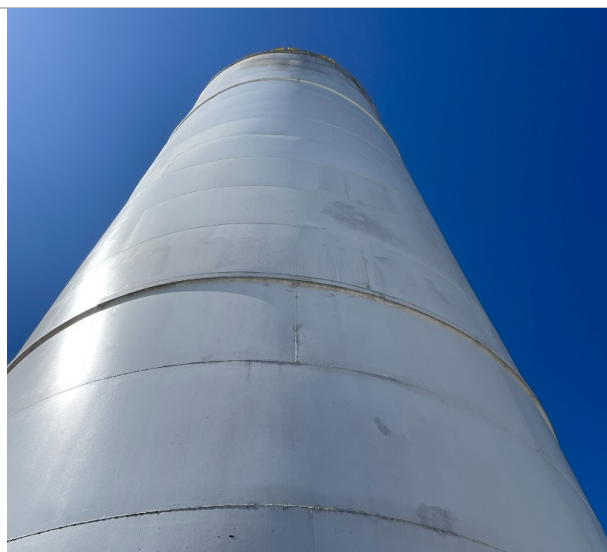
<p>BH 1 – Deformação/desalinhamento das chapas do costado</p>	<p>BH 1 - Embicamento na junta de encontro das chapas do costado</p>
	
<p>SP GLI – Deformação das chapas do costado</p>	<p>SP GLI - Deformação das chapas do costado</p>
	
<p>SP HTL – Desalinhamento das chapas do costado</p>	<p>SP HTL – Desalinhamento e embicamento das chapas do costado</p>



BA 1 – Deformação das chapas do costado

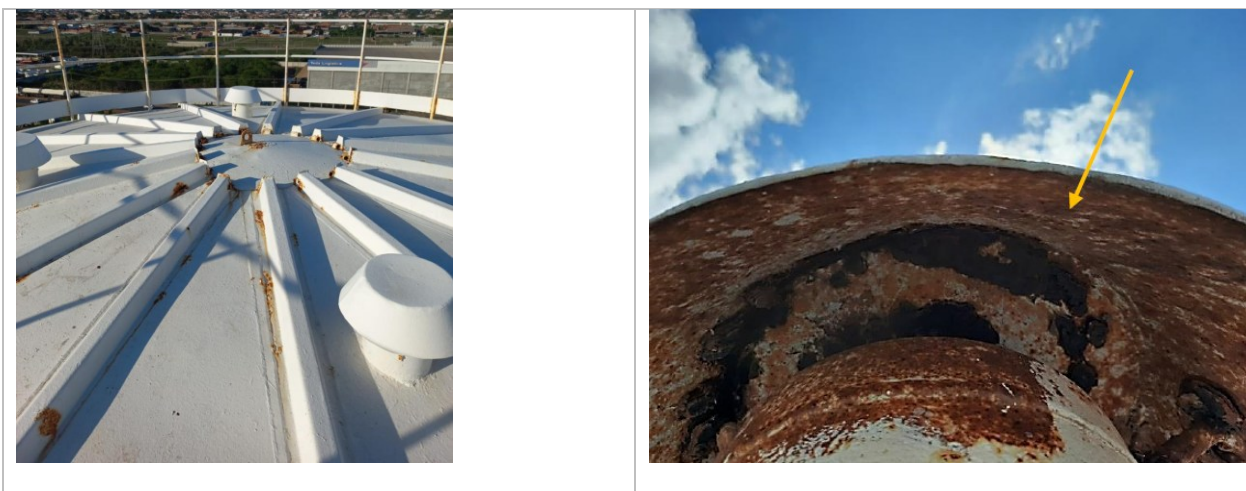


AL – Deformação em chapas do costado





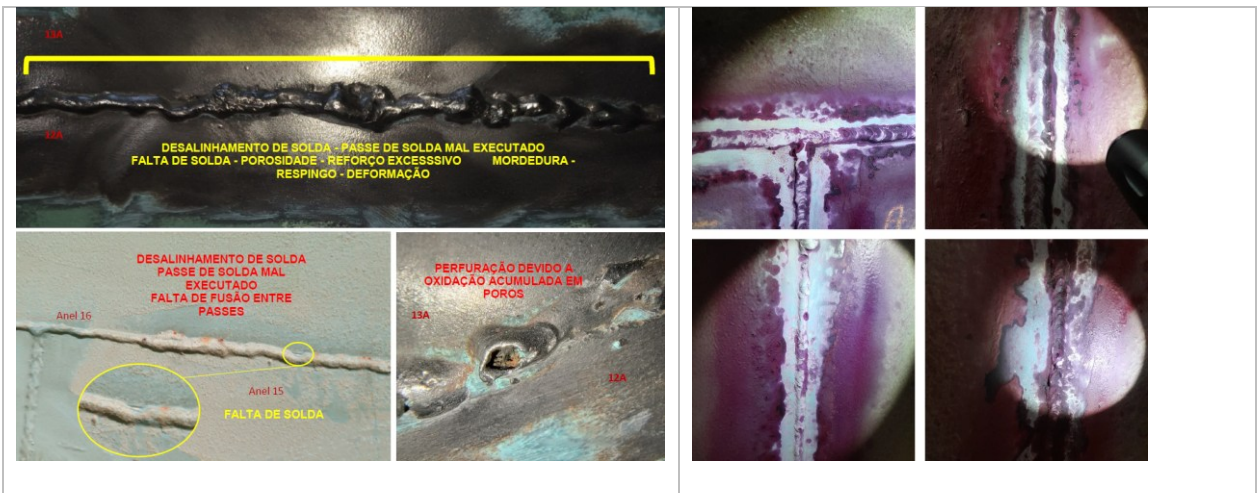
4.3 Teto

<p>BH 1 – Corrosão avançada em bocal de inspeção</p>	<p>SP HTL – Corrosão generalizada no teto do castelo</p>
	
<p>ES 1 – Corrosão generalizada no guarda corpo</p>	<p>ES 1 – Corrosão severa com danos ao respiro</p>
	
<p>CE 1 – Pontos de corrosão nas vigas do teto</p>	<p>CE 1 – Corrosão avançada no respiro</p>



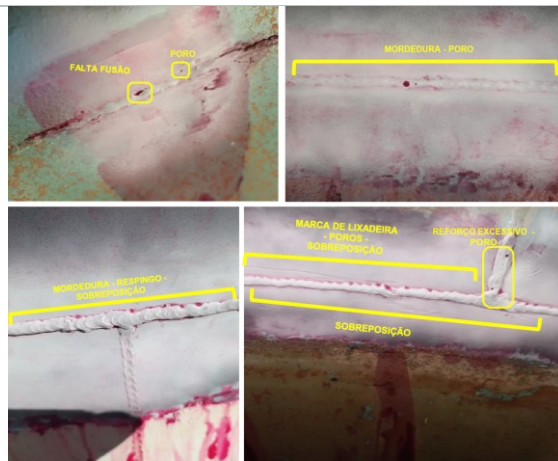
4.4 Soldas

BH 1 - Mordedura	BH 2 – Deposição insuficiente
	
BH 2 – Patologias generalizadas na solda	SP HTL – Patologias generalizadas na solda

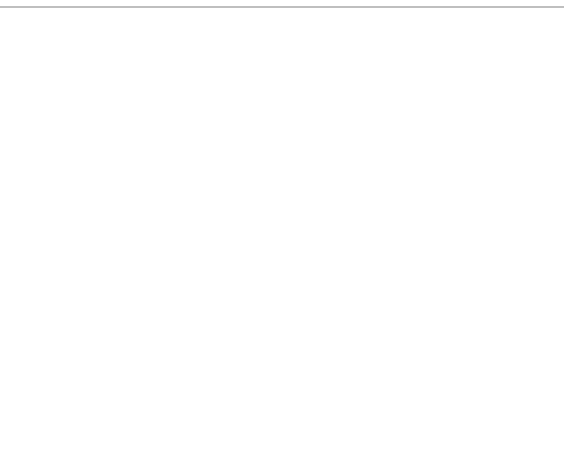


GO - Patologias generalizadas na solda


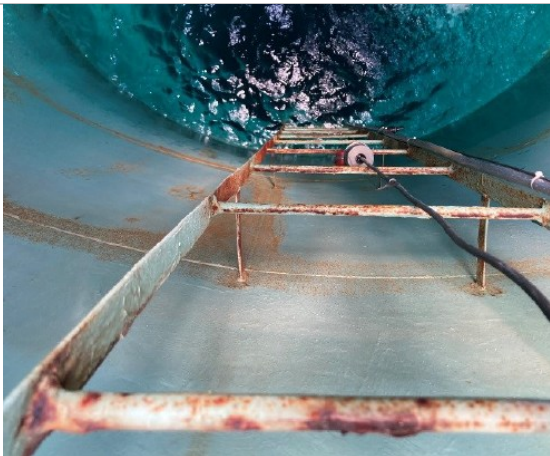

AL – Mordedura, reforço excessivo



CE 1 – Perfuração no cordão de solda



4.5 Revestimento interno

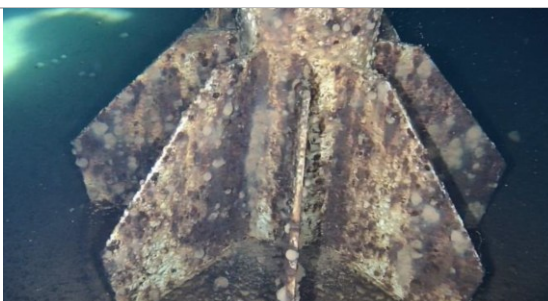
BH 1 – Corrosão generalizada no teto	BH 1 – Corrosão generalizada concentrada nos cordões de solda do costado
	
BH 1 – Corrosão avançada na escada	BH 2 – 1 Anel com corrosão severa gerando perda de espessura e buracos na chapa
	
SP HTL – Corrosão generalizada no teto	RJ – Corrosão nos cordões de solda do costado



ES 1 – Corrosão generalizada no pilar central apoio no fundo do castelo



ES 1 – Corrosão uniforme generalizada no costado



RJ CG – Corrosão severa uniforme e generalizada no costado e pilar central



RJ CG – Corrosão severa uniforme e generalizada no costado e pilar central



RJ ITA – Corrosão no teto



RJ ITA – Corrosão uniforme no costado



CE 1 – Corrosão severa uniforme e generalizada no costado



CE 1 - Corrosão severa uniforme e generalizada no costado e escada



5 CONCLUSÃO

O primeiro desafio em relação a tanques metálicos para armazenamento de água é a inexistência de uma norma brasileira específica para este tipo de equipamento. Na ausência de normas técnicas, os projetistas e construtores utilizam normas correlatas, valendo-se do que lhes é conveniente e de sua própria expertise. Assim, são elaborados projetos sem respaldo normativo e com níveis de segurança que podem ser comprometidos, em um contexto em que as empresas buscam estruturas o mais leves possível, com menor custo de fabricação. Na fase de obra, tem-se como resultado a falta de parâmetros de tolerâncias dimensionais quanto à verticalidade, circularidade, embecamento, embarrigamento, entre outros. Isso pode resultar em estruturas menos estáveis e mais suscetíveis a falhas futuras.

Outro ponto que carece de parâmetros mínimos é a execução das soldas. As soldas verificadas em campo apresentam diversas patologias executivas, como mordedura, falta de fusão, deposição insuficiente, reforço excessivo, porosidade, entre outras. Isso revela empresas com equipes de soldadores não qualificados e a falta de inspeção por profissionais habilitados durante a fase de montagem. Assim, tem-se a diminuição da resistência do equipamento, que passa a ser mais suscetível a falhas estruturais.

Além das patologias endógenas, ou seja, aquelas que surgem na fabricação do tanque, há também patologias de operação. Estas últimas foram percebidas como majoritariamente decorrentes do processo de corrosão do tanque, que ocorre com níveis de intensidade diferentes em função da agressividade da atmosfera local. Ou seja, os castelos das regiões litorâneas apresentaram níveis de corrosão mais intensos em função da maresia. Além disso, observou-se em vários tanques um acúmulo de água na base, que intensificou o processo de corrosão nas chapas e chumbadores.

Existem boas práticas que podem ser utilizadas nos tanques para o controle da corrosão e, conseqüentemente, para aumentar a durabilidade da estrutura. A primeira é prever em projeto uma sobreesspessura de corrosão nas chapas do costado, fundo e teto. A segunda é utilizar sistemas de proteção catódica, valendo-se de metais de sacrifício para otimizar o controle de oxidação do castelo.

Outro fator de grande relevância é a preparação da superfície do tanque antes de receber a aplicação do revestimento. A falta de preparação adequada pode resultar na não remoção completa da carepa

de laminação, ferrugem, resíduos de solda, óleos, graxas e materiais estranhos, o que, posteriormente, resultará em surgimento de bolhas e no deslocamento da pintura. A NTS 085:2001 orienta o uso do padrão de jateamento interno Sa3 para jatos abrasivos ou Sw3 para jatos úmidos. Para superfícies externas, recomenda-se o padrão Sa 2½ ou Sw 2½, respectivamente. No histórico do recebimento dos tanques, percebeu-se que as superfícies não são avaliadas utilizando rugosímetro para atestar se o padrão necessário foi obtido. Além da preparação da superfície, é essencial a aplicação do revestimento na espessura de projeto. Nos ensaios de película da camada de tinta, notou-se que os fabricantes respeitam a espessura na maior parte das vezes.

Após a finalização da obra e entrega do reservatório, o proprietário deve seguir um planejamento de vistorias periódicas, de caráter preventivo, para monitorar a conservação do equipamento. É de suma importância que as inspeções sejam regulares e avaliem tanto o exterior quanto o interior do tanque. A principal ação a ser tomada é a avaliação da pintura, com foco na detecção de corrosão ou danos estruturais. O proprietário do tanque deve garantir que o revestimento esteja sempre em conformidade para a proteção do aço contra o processo corrosivo. Recomenda-se utilizar as normas de concessionárias, como SABESP e COPASA, que possuem materiais que servem como guias para inspeção e manutenção desses equipamentos.

Um tanque corretamente dimensionado, executado e operado terá vida útil ilimitada, caso o metal esteja constantemente protegido da corrosão.

6 REFERÊNCIAS

GENTIL, VICENTE. Corrosão, 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC – livros Técnicos e Científicos Editoria LTDA, 2011.

SABESP NTS 085: Preparo de superfícies metálicas para pintura.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7.821, Tanques soldados para armazenamento de petróleo e derivados. Rio de Janeiro, RJ. 1983.

API – *American Petroleum Institute*, API 650, *Welded Steel Tanks for Oil Storage*, décima terceira edição, Washington D. C., 2013.

AWWA – *American Water Works Association*, AWWA D100-96, *Welded Steel Tanks for Water Storage*. Denver, Colorado. 1996.