

Análise da evolução dos parâmetros de dimensionamento de reservatórios em concreto

Analysis of the evolution of the sizing parameters of concrete reservoirs

Patrícia da Rosa Dorneles Corrêa(1); Ricardo Girardi(2)

1 Engenheira Civil. Departamento Municipal de Água e Esgotos, Brasil.

E-mail patricia.dornelesc@gmail.com

2 Mestre em Construção Civil. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Brasil.

E-mail ricardo.girardi@pucls.br

Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, vol. 5, n. 1, p. 52-66, Jan.-Jun. 2018 - ISSN 2358-6508

[Recebido: Outubro 13, 2017; Aceito: Julho 09, 2018]

DOI: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2018.v5i1.2197>

Endereço correspondente / Correspondence address

Patrícia da Rosa Dorneles Corrêa

Rua Ney da Gama Ahrends, 219/20,

Bairro Alto Petrópolis – Porto Alegre/RS, Brasil.

CEP 91450-345

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Editora-chefe: Luciana Oliveira Fernandes

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui/click here!](#)

Resumo

Reservatório de concreto é uma unidade hidráulica de acumulação e passagem da água que deve ter uma vida útil para cumprir a função para qual foi projetado. Para tanto, é essencial que a estrutura apresente estanqueidade, que é possível quando o projeto e execução respeitem características como resistência à compressão do concreto, cobrimento mínimo de armadura, relação água/cimento, adequada impermeabilização da estrutura. Não ocorrendo tais características, o concreto pode deteriorar e a armadura ficar sujeita à corrosão, quando a água reservada possuir cloretos, sulfatos em altos teores e baixo pH, entrando em contato com o concreto através de poros ou fissuras. A partir do método indutivo, com a análise documental, o presente estudo objetivou uma análise histórica da atual NBR 6118, desde 1940, e as Portarias do Ministério da Saúde sobre uso de cloro e sulfato, a fim relacionar os parâmetros usados no projeto dos reservatórios com a degradação dessas estruturas. O estudo de dezenove reservatórios de concreto, dentro de um horizonte de trinta e nove anos, demonstrou inicialmente que os parâmetros de projeto de norma e parâmetros físico químicos evoluíram a favor da segurança dessas estruturas. E finalmente, para o dimensionamento dos reservatórios não foram respeitadas as características de projeto, favorecendo o início da corrosão nas armaduras.

Palavras-chave: Reservatórios. Corrosão nas armaduras. Durabilidade.

Abstract

Concrete reservoir is a hydraulic unit of water accumulation and passage which must have a useful life to fulfill the function for which it was designed. For this, it is essential that the structure is watertight, which is possible when the design and execution respect characteristics such as compressive strength of the concrete, minimum reinforcement cover, water/cement ratio, adequate waterproofing of the structure. If these characteristics do not occur, the concrete may deteriorate and the reinforcement will be subject to corrosion when the reserved water has chlorides, sulfates at high contents and low pH, coming into contact with concrete through pores or cracks. From the inductive method, with the documentary analysis, the present study aimed at a historical analysis of the current NBR 6118, from 1940, and the orders of the Ministry of Health on the use of chlorine and sulfate, in order to relate the parameters used in the design of the reservoirs with the degradation of these structures. The study of nineteen concrete reservoirs, within a thirty-nine-year horizon, initially demonstrated that standard design parameters and physical and chemical parameters evolved in favor of the safety of these structures. Finally, for the design of the reservoirs, the design characteristics were not observed, favoring the beginning of the corrosion in the reinforcement.

Keywords: Reservoirs. Reinforcement corrosion. Durability.

1 Introdução

A história do uso da água no Brasil, bem como a sua reservação para consumo, evoluiu com a construção das cidades e a possibilidade que seus governantes viam em cobrar pelo seu uso, visto uma população em expansão à época das capitâneas hereditárias. De meados do século XVI a meados do século XVII, arquitetos e engenheiros militares da Coroa Portuguesa planejaram e construíram cidades com traçados regulares, surgindo assim demandas no abastecimento de água (ANA, 2007).

No Brasil, a história do abastecimento inicia no Rio de Janeiro. Em 1723, foram construídos o Aqueduto e o Reservatório do Carioca, mas desde o século XVII, nesta cidade, as águas das chuvas eram recolhidas em cisternas no Convento de Santo Antônio. Até o final do século XIX, foram construídos outros reservatórios cariocas. Mas foi no ano de 1876, que o Governo Imperial iniciou a construção de uma rede de abastecimento de água a domicílio, abolindo a venda da água em barris carregados na cabeça, surgindo a necessidade de reservação da água (ANA, 2007).

A adução e a reservação da água, gerou preocupação no poder público em tratar a água para consumo, pois percebiam que a má qualidade da mesma era causa principal das epidemias, bem como viam a possibilidade de futura cobrança pelo seu uso.

Assim, a água para ser consumida e vendida precisou ser tratada. O tratamento da água evoluiu e atualmente há legislações, como a Portaria Nº 2.914 (BRASIL, 2011), que dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. A NBR 12217 (ABNT, 1994) classifica os reservatórios quanto à posição no terreno, quanto à localização no sistema, calcula os volumes e pressões adequadas, bem como determina detalhes construtivos, mas é a NBR 6118 (ABNT, 2014) que apresenta informações importantes relacionadas ao dimensionamento e proteção das estruturas dos reservatórios como durabilidade, vida útil de projeto, mecanismos de envelhecimento e deterioração do concreto e armaduras, agressividade do ambiente, controle de fissuração, espessura de cobrimento de armadura, resistências características.

Carmona *apud* Tinoco e Moraes (2013) cita que um reservatório de concreto deve ter uma vida útil para cumprir a função para qual foi projetada, com o mínimo de manutenções, reparos e custos. Assim, a análise da corrosão das armaduras nos reservatórios de concreto foi realizada com relação ao uso de produtos químicos para o tratamento da água e os parâmetros de projeto para dimensionamento de um reservatório, a fim de compreender o declínio da vida útil dessas estruturas, resultando também a descontinuidade do abastecimento.

A análise da corrosão nos reservatórios de concreto será realizada em duas etapas. Na primeira etapa, será realizada uma pesquisa documental sobre: parâmetros de projeto utilizado para dimensionamento reservatórios de concreto; evolução da NBR 6118 (ABNT, 2014) desde 1940, quanto à agressividade ambiental; evolução dos volumes

admitidos de cloro residual, sulfatos e pH empregados na água na fase de tratamento. Na segunda etapa, será realizado comparativo dos dados pesquisados, a fim de concluir quais fatores são preponderantes na corrosão nas armaduras dos reservatórios.

A amostra de reservatórios de concreto em estudo abrange um período de 39 anos e os fatores que poderiam causar a corrosão em armaduras, são citadas por Pereira (2010), que são a presença de íons ácidos dissolvidos na água, ciclo de umedecimento e secagem nas paredes de concreto com as variações de níveis de água no reservatório ao longo do dia, recobrimento de armadura insuficiente, mudança no pH da água com adição de produtos químicos, fissuras e heterogeneidade do concreto relacionado à dosagem do mesmo e relação água/cimento.

2 Referencial teórico

Reservatórios são unidades hidráulicas de acumulação e passagem de água com a finalidade de regularizar a vazão, definir planos de pressões nas redes de distribuição, suprir vazões extras para combate a incêndio e permitir a continuidade do abastecimento, quando ocorre interrupção do fornecimento de água.

Inicialmente, com o objetivo de identificar os problemas nos reservatórios, os mesmos serão classificados de acordo com a classe de agressividade ambiental pela NBR 6118 (ABNT, 2014), conforme cita Tinoco e Morais (2013). Na Tabela 6.1 - Classe de Agressividade Ambiental (CAA) citada na NBR 6118 (ABNT, 2014), os reservatórios de concreto são classificados como CAA-IV, ou seja, agressividade muito forte com risco de deterioração elevado. Esta classificação é a que mais se aproxima das condições de um reservatório, pois o mesmo acondiciona água com teor de cloro, que se assemelha aos respingos de maré. O cloro diluído na água está em permanente contato com as paredes de concreto.

Os produtos químicos adicionados ao tratamento da água possuem limites definidos pela atual Portaria Nº 2.914 (BRASIL, 2011). Entretanto, os íons cloretos dissolvidos na água tratada, são um dos responsáveis pela deterioração da armadura do concreto nos reservatórios. O item 6.3.3.2 da NBR 6118 (ABNT, 2014) cita a ruptura da camada de passivação da armadura devido ao teor de íons cloretos, bem como recomenda como medida preventiva dificultar o ingresso de agentes agressivos no interior do concreto, através de cobrimento suficiente das armaduras e controle de fissuração.

Para os atuais padrões de potabilidade do Ministério da Saúde, preconizadas pela Organização Mundial da Saúde, é recomendado um teor mínimo de cloro residual livre na água de 0,2 mg/l e o máximo de 2,0 mg/l, bem como um pH da água entre 6,0 e 9,5, em todo sistema de distribuição, rede e reservatório. Para Pereira (2010), o cloro residual livre se caracteriza pelo cloro que sofre decaimento de sua concentração, à medida que entra em contato com outras substâncias presentes na água e equipamentos do sistema de distribuição como tubulações, reservatórios, entre outros.

O sulfato de alumínio, outro produto químico adicionado à água na fase de clarificação do tratamento, aglutina toda matéria em suspensão, formando flocos com densidade maior que a água e posterior sedimentação. Para Kulisch (2011), os sulfatos reagem quimicamente com os compostos do cimento formando produtos expansivos, fissuração e deterioração do concreto. A NBR 5737 (ABNT, 1992) recomenda uso de cimentos resistentes a sulfatos.

Os cloretos e sulfatos ingressam no interior do concreto pelas fissuras ou poros. A NBR 6118 (ABNT, 2014) destaca que as fissuras podem ter abertura máxima característica entre 0,2 mm e 0,4 mm, mas são consideradas desprezíveis na corrosão das armaduras passivas. Quanto à funcionalidade da estrutura e em caso de estanqueidade de reservatórios, os limites adotados para abertura das fissuras devem ser menores ainda, mas a durabilidade das estruturas de concreto também pode estar relacionada com as características do concreto, sua dosagem e espessura de cobrimento executado na armadura.

Thomaz e Carneiro (2007) citam que há décadas o concreto era formado por cimento, areia, pedra e água. Atualmente, há componentes como adições e aditivos: material pozolânico, sílica ativa, fíler, metacaulim, modificadores de pega, incorporadores de ar, redutores de água e outros. O cimento também está com granulometria menor, causando a hidratação das partículas do cimento mais rápida, com reação exotérmica imediata depois de retirada das formas, favorecendo a fissuração do concreto.

Segundo a análise de Thomaz e Carneiro (2007), a fissuração do concreto pode ocorrer pelas tensões e retrações. Tensões entre laje de fundo e paredes de reservatórios, entre armadura interna e argamassa gerando retração do concreto, entre agregados graúdos e a argamassa, gerando perda de água para atmosfera. Retrações plásticas nas primeiras horas do concreto fresco; autógena que ocorre antes de retirar a forma do concreto sem troca de umidade com a atmosfera, bem como a hidráulica e térmica que é a perda d'água do concreto para a atmosfera.

Analisando ainda a fissuração do concreto, Pereira (2010) cita que as deficiências no projeto, na fase da dosagem, na fase de execução e falta de fiscalização, são fatores preponderantes às fissuras. Independente das causas das fissuras no concreto, há um consenso na literatura técnica, que estas são apenas uma das causas das corrosões nas armaduras.

A hipótese desse estudo é que a despassivação da armadura, por ação de íons cloretos e sulfatos, advindos do tratamento da água, que ingressam pelas fissuras ou poros do concreto, em primeira análise, é a principal causa da corrosão nas armaduras. O concreto só protege a armadura enquanto se mantiver alcalino. Quando ocorre redução da alcalinidade do pH de 12 para 8 no concreto, a solução se torna ácida iniciando o processo de despassivação da armadura, chamada de corrosão galvânica.

Zarpelon e Rodrigues *apud* Pinto (2013) destaca como é formado o íon cloro na água, que penetra no concreto atingindo as armaduras. O cloro (Cl_2) reage com a água (H_2O) formando o ácido hipocloroso (HClO) e o ácido clorídrico (HCl). A ionização do ácido hipocloroso (HClO) resulta em íon hidrogênio (H^+) e íon hipoclorito (ClO^-), o qual permeia, o concreto. O ClO^- ao atingir a armadura, seja pelas fissuras ou porosidade, inicia a despassivação da armadura. Quando a capa apassivadora é destruída pela ação de íons ácidos, inicia o processo de corrosão, aumento do volume de aço, retração por carbonatação gerando deslocamento do concreto e tensões de tração na superfície do concreto, segundo a análise de (TINOCO; MORAIS, 2013).

A NBR 12655 (ABNT, 2015) recomenda que os concretos, expostos a soluções com sulfatos, sejam dosados com cimentos resistentes, com resistência característica à compressão do concreto e relação água/cimento, respectivamente, de 45 MPa e 0,40, relacionados à exposição de cloretos provenientes de agentes químicos do degelo, sais, água salgada, água do mar, respingos ou borrifação desses agentes.

Os íons cloretos e sulfatos presentes na água tratada podem iniciar um processo de corrosão sob determinadas condições já citadas. Mesmo assim, esses produtos químicos são usados no tratamento da água no Brasil por ser um método convencional para desinfecção da água, com custo relativamente baixo. Pinto (2013) cita que a vantagem do uso do cloro está na sua facilidade de aplicação, baixo custo relativo e eficiência de desinfecção.

Nos países, como ocorre no Brasil, em que há doenças veiculadas pela água, como cólera, febre tifoide, disenteria bacilar e amebiana, gastroenterites agudas, diarreias, hepatite A e B, poliomielite, o uso de cloro na água está associada à saúde pública (MONTIEL, 1995).

3 Metodologia

O método de estudo utilizado foi o indutivo, onde analisando dados singulares é possível chegar a uma referência global (MARCONI; LAKATOS, 2003).

Os dados apresentados no trabalho foram obtidos junto ao setor de projetos e manutenção do Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) da cidade de Porto Alegre/RS.

3.1 Levantamento dos dados dos reservatórios

Assim, foi analisada uma amostra com dezenove reservatórios representativos de todos os subsistemas de abastecimento da cidade de Porto Alegre/RS, considerando localizações distintas que têm diferentes ambientes de agressividade externa.

a. Com diferentes formas construtivas – reservatórios baixos e elevados: considerando as diferentes tensões que podem agir na estrutura de acordo com a forma construtiva;

b. Com data de projeto entre 1960 a 2005: construídos em diferentes períodos, considerando que cada período pode apresentar revisões das normas de projeto e padrões de potabilidade;

c. Com capacidade entre 100 m³ e 10.000 m³: considerando que em reservatórios com capacidade menor que 100 m³ ocorrem poucas manutenções e acima de 10.000 m³, geralmente, são reservatórios em saídas de estações de tratamento (ETA), onde o teor de cloro residual não são condizentes com o usual.

Inicialmente, foram pesquisados os parâmetros de projeto e físico-químicos (teor de sulfatos e cloro residual livre, pH) que estão no Quadro 1, que apresenta um comparativo da evolução das normas utilizadas para o dimensionamento dos reservatórios com as normas vigentes à época do projeto.

Quadro 1. Parâmetros de norma e os utilizados nos projetos dos reservatórios

RESERVATÓRIO	CAPACIDADE (m ³)	TIPO B-BAIXO E-ELEVADO	DATA PROJETO	NBR 6118 VIGENTE NO PROJETO (ano)	f _{cd} PROJ (MPa)	f _{cd} DA NORMA (MPa)	COBRIMENTO DE PROJETO LAJE/VIGA/PILAR (mm)	COBRIMENTO ADMITIDO POR NORMA LAJE (mm)	COBRIMENTO DE NORMA VIGA/PILAR (mm)	PORTARIA VIGENTE MINISTÉRIO SAÚDE (Nº/ano)	VOLUME DE CLORO RESIDUAL (mg/l) PORTARIA MINISTÉRIO SAÚDE	VOLUME DE SULFATO (mg/l) PORTARIA MINISTÉRIO SAÚDE	pH - PORTARIA MINISTÉRIO SAÚDE
1	2.500	B	1966	1960	13,5	20	25	20	25	50.877/1961	NAO SE APLICA	NAO SE APLICA	5,0 a 9,5
2	3.000	B	1976	1960	12,5	20	25	20	25	50.877/1961	NAO SE APLICA	NAO SE APLICA	5,0 a 9,8
3	5.000	B	1977	1960	13,5	20	30	20	25	79.367/1977	> 0,2	400	6,5 a 8,5
4	1.000	E	1977	1960	15	20	30	20	25	79.367/1977	> 0,2	400	6,5 a 8,5
5	5.000	E	1977	1960	18	40	30	20	25	79.367/1977	> 0,2	400	6,5 a 8,5
6	5.000	B	1978	1978	15	40	30	45	50	79.367/1977	> 0,2	400	6,5 a 8,5
7	2.500	B	1979	1978	18	40	20	45	50	79.367/1977	> 0,2	400	6,5 a 8,5
8	4.600	B	1983	1978	18	40	30	45	50	79.367/1977	> 0,2	400	6,5 a 8,5
9	6.000	B	1986	1978	18	40	30	45	50	79.367/1977	> 0,2	400	6,5 a 8,5
10	100	B	1987	1978	15	40	25	45	50	79.367/1977	> 0,2	400	6,5 a 8,5
11	4.000	B	1988	1978	18	40	30	45	50	79.367/1977	> 0,2	400	6,5 a 8,5
12	4.400	B	1991	1978	18	40	30	45	50	36/1990	> 0,2	400	6,5 a 8,5
13	4.400	B	1994	1978	20	40	30	45	50	36/1990	> 0,2	400	6,5 a 8,5
14	1.000	B	1995	1978	20	40	30	45	50	36/1990	> 0,2	400	6,5 a 8,5
15	500	E	1995	1978	20	40	30	45	50	36/1990	> 0,2	400	6,5 a 8,5
16	4.400	B	1996	1978	20	40	30	45	50	36/1990	> 0,2	400	6,5 a 8,5
17	2.500	B	1997	1978	21	40	30	45	50	36/1990	> 0,2	400	6,5 a 8,5
18	530	B	2003	2003	15	40	30	45	50	1.469/2000	0,2 < e ≤ 2,0	250	> 8,0
19	5.000	B	2005	2003	20	40	30	45	50	1.469/2002	0,2 < e ≤ 2,2	250	> 8,0

Fonte: Autor.

3.2 Apresentação dos parâmetros estabelecidos por norma (classe de agressividade, relação água/cimento, cobrimento de armadura, tensão de compressão de projeto)

Como no Brasil não existem normas que atendam, exclusivamente, o processo de modelagem de reservatórios de concreto, as principais especificações normativas constam na antiga NB-1 (ABNT, 1940): Projeto e execução de obras de concreto armado e hoje a NBR 6118 (ABNT, 2014), referente aos projetos de estruturas de concreto, os quais determinam as quantidades de armaduras, espessura mínima de cobrimento, limites de fissuras, resistência característica, classe do concreto.

Assim, como a amostra contemplava diferentes datas de projeto, foi necessário apresentar uma evolução histórica da atual NBR 6118 (ABNT, 2014), a fim de classificar corretamente os reservatórios em cada época, bem como analisar os parâmetros de projeto. O Quadro 2 apresenta a evolução da classe de agressividade e seus principais parâmetros a serem seguidos.

Quadro 2. Evolução da NBR 6118 em relação à classe de agressividade

NB-1 ou NBR-6118 (ano)	Classe de agressividade	pH	CO ₂ agressivo mg/l	Amônia NH ₄ ⁺ mg/l	Magnésia Mg ²⁺ mg/l	Sulfato SO ₄ ²⁻ mg/l	Sólidos dissolvidos mg/l
NB-1:1940	I	>5,9	< 20	< 100	< 150	< 400	> 150
NB-1:1960	I	>5,9	< 20	< 100	< 150	< 400	> 150
	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto			Risco de deterioração da estrutura		
NBR 6118: 1978	IV	Muito Forte			Industrial Respingos de maré		
NBR 6118: 2003	IV	Muito Forte			Industrial Respingos de maré		
NBR 6118: 2014	IV	Muito Forte			Industrial Respingos de maré		

Fonte: ABNT, 1940; ABNT, 1960; ABNT, 1978; ABNT, 2003; ABNT, 2014.

De acordo com o Quadro 2 a classe de agressividade depende do local de aplicação do concreto. Na antiga NB-1 (ABNT, 1940), a classificação era feita com base nos índices químicos do solo ou água que ficava em contato com o concreto. Na atual NBR 6118 (ABNT, 2014) a agressividade depende do ambiente onde a estrutura está inserida. Dessa forma, tornou-se necessário pesquisar a relação entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto, para comparar com as resistências à compressão de projeto. O Quadro 3 apresenta a relação água/cimento máxima e a resistência à compressão mínima, em função da classe de agressividade.

Quadro 3. Classificação dos reservatórios em função da relação água/cimento e classe de resistência à compressão do concreto

NB-1 ou NBR-6118 (ano)	Classe de agressividade ambiental	Tipo de estrutura	Relação água/cimento	Classe de Concreto
1940	I	Concreto armado	$\leq 0,65$	$\geq C20$
		Concreto protendido	$\leq 0,60$	$\geq C25$
1960	I	Concreto armado	$\leq 0,65$	$\geq C20$
		Concreto protendido	$\leq 0,60$	$\geq C25$
1978	IV	Concreto armado	$\leq 0,45$	$\geq C40$
		Concreto protendido	$\leq 0,45$	$\geq C40$
2003	IV	Concreto armado	$\leq 0,45$	$\geq C40$
		Concreto protendido	$\leq 0,45$	$\geq C40$
2014	IV	Concreto armado	$\leq 0,45$	$\geq C40$
		Concreto protendido	$\leq 0,45$	$\geq C40$

Fonte: ABNT, 1940; ABNT, 1960; ABNT, 1978, ABNT, 2003; ABNT, 2014.

Tendo sido classificados os reservatórios, quanto à classe de agressividade do ambiente, apresenta-se também o Quadro 4, o qual é essencial para demonstrar como evoluiu a proteção contra a corrosão através do cobrimento de armadura.

Quadro 4. Evolução da espessura do cobrimento nominal de armadura

NB-1 ou NBR-6118 (ano)	Tipo de estrutura	Componente ou Elemento	Classe de agressividade ambiental	Cobrimento nominal (mm)
1940	Concreto armado	Laje	I	20
		Viga/pilar		25
	Concreto protendido	Todos		30
1960	Concreto armado	Laje	I	20
		Viga/pilar		25
	Concreto protendido	Todos		30
1978	Concreto armado	Laje	IV	45
		Viga/pilar		50
	Concreto protendido	Laje		50
		Viga/pilar		55
2003	Concreto armado	Laje	IV	45
		Viga/pilar		50
	Concreto protendido	Laje		50
		Viga/pilar		55
2014	Concreto armado	Laje	IV	45
		Viga/pilar		50
		Elementos estruturais em contato com solo		50
	Concreto protendido	Laje		50
		Viga/pilar		55

Fonte: ABNT, 1940; ABNT, 1960; ABNT, 1978; ABNT, 2003; ABNT, 2014.

3.3 Análise do crescimento ou diminuição da resistência à compressão de projeto, da relação água/cimento, do cobrimento de armadura e teor de cloretos e sulfatos

A análise de todos os parâmetros de projeto para dimensionamento e os parâmetros de norma dos reservatórios de água tratada, sugere que a corrosão deve ser tratada sob dois aspectos. O primeiro aspecto indica que, pelos padrões de potabilidade da água, há produtos químicos adicionados no processo de tratamento (cloro residual e sulfato) que ao entrar em contato com as fissuras ou poros do concreto, atingem a armadura, iniciando um processo de corrosão.

O segundo aspecto indica que há padrões de projeto, com relação água/cimento elevado, com baixa resistência à compressão, insuficiente cobrimento de armadura, caracterizando um concreto sem controle tecnológico, iniciando também um processo de corrosão.

4 Resultados e discussões

4.1 Análise dos parâmetros físico-químicos da água tratada

De acordo com o Quadro 1, analisaram-se parâmetros físico-químicos dos valores de cloro residual livre, sulfatos e pH da água. Em relação aos valores de cloro residual e sulfato utilizados na água, o Decreto Nº 79.367 (BRASIL, 1977) foi à primeira lei que regulamentou e limitou os padrões de potabilidade no Brasil. Anterior a essa lei, o uso de cloro residual livre e sulfato era dosado sob a orientação da Organização Mundial de Saúde – OMS e, cada Estado brasileiro também tinha competência para normatizar sobre os parâmetros de potabilidade.

De 1977 a 1999, a legislação recomendava um mínimo de 0,2 mg/l de cloro residual livre, mas não havia limite de uso. Da legislação de 2000 à atual Portaria Nº 2.914 (BRASIL, 2011), há limites mínimos e máximos de cloro residual livre no sistema de distribuição de água. Um mínimo de 0,2 mg/l para garantir a desinfecção da água para consumo e um máximo de 2,0 mg/l para não prejudicar a saúde da população, bem como a previsão de decaimento de concentração do íon, no decorrer do tratamento até o abastecimento.

Em relação ao uso de sulfatos na água para floculação, de 1977 a 1999 a legislação recomendou um valor máximo admitido de 400 mg/l. De 2000 à atual Portaria Nº 2.914 (BRASIL, 2011), o valor máximo de sulfatos passou para 250 mg/l, uma redução significativa de 62,5%, se comparado ao cloro residual livre, que se manteve praticamente constante, visto a deterioração que ambos podem causar ao concreto e armaduras.

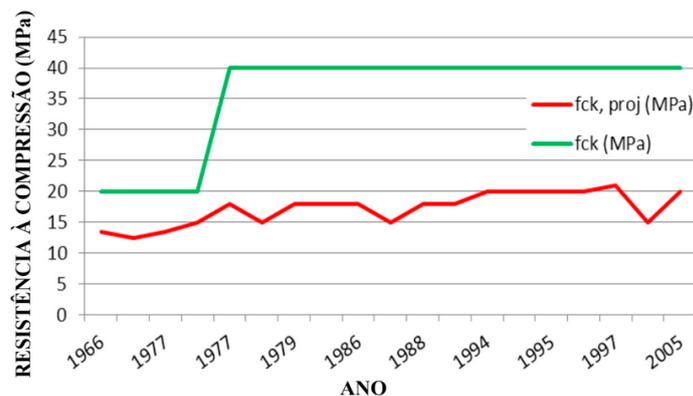
Com relação ao pH, desde a primeira legislação até 2011, houve mudanças significativas. De 1961 a 1977 a legislação recomendou mínimos e máximos, respectivamente, de 5,0 a 9,5. De 1977 a 1999 era recomendado valores entre 6,5 a 8,5. Já de 2000 a 2010 era recomendado apenas valor mínimo de 8,0 e, a partir de 2011, os valores ficaram entre 6,0 e 9,5. A tendência observada é que o pH sofreu elevação no decorrer do tempo, sendo a favor da segurança das estruturas de concreto dos reservatórios.

4.2 Análise de parâmetros de projeto e de norma

Inicialmente, nota-se que dos dezenove reservatórios estudados, 63% levaram em conta a utilização da NBR 6118 (ABNT, 1978), 26% utilizaram a NB-1 (ABNT, 1960) e 11% a NBR 6118 (ABNT, 2003) para o dimensionamento da estrutura.

Os dezenove reservatórios dimensionados até 2005 estão com a resistência característica à compressão do concreto abaixo da recomendada pela norma vigente à época do projeto. Observou-se que desde a NB-1 (ABNT, 1940) a resistência característica era maior ou igual a 20 MPa. Entretanto, todos os projetos de reservatórios pesquisados parecem ter ignorado a recomendação da norma, a exemplo do reservatório nº 18 que usou resistência característica de projeto com valor muito inferior ao recomendado pela norma. A Figura 1, apresenta a data de projeto e a evolução da resistência à compressão utilizada e citada pela norma.

Figura 1. Evolução da resistência à compressão utilizada e recomendada por norma

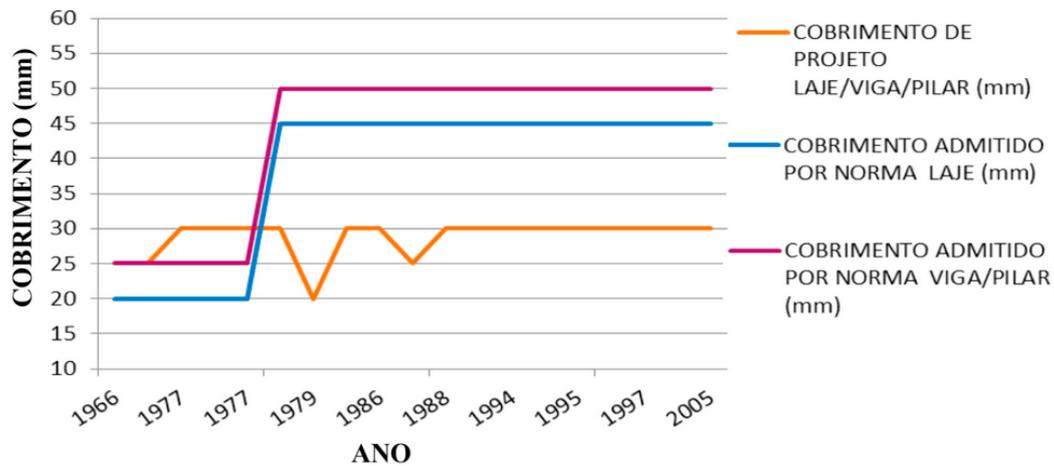


Fonte: Autor.

A primeira observação, em relação ao cobrimento, é que no projeto dos reservatórios a espessura do cobrimento não é especificada para vigas, pilares e lajes, levando a considerar que foi usado um valor único de cobrimento para toda a estrutura. A segunda, é que apenas os reservatórios de 1 a 6 estão dentro dos parâmetros recomendados por norma. A outra observação é que passado dez anos da NBR 6118 (ABNT, 1978), o reservatório nº 10 tem a estrutura dimensionada com cobrimento de armadura com a metade do valor recomendado pela norma vigente.

A Figura 2 apresenta os resultados das espessuras de cobrimento recomendadas por norma e as utilizadas em projeto.

Figura 2. Espessura de cobrimento recomendada por norma e a utilizada em projeto



Fonte: Autor.

4.3 Análise da evolução da NB-1 ou atual NBR 6118

Para avaliar os problemas de corrosão nos reservatórios foi necessário classificá-los de acordo com o grau agressividade do ambiente, a fim de conhecer os cobrimentos mínimos de armadura, a relação água/cimento e a resistência do concreto. Entretanto, a forma de dimensionar os reservatórios nem sempre foi igual, pois atual NBR 6118 (ABNT, 2014) foi revisada desde sua criação, a NB-1, elaborada em 1940.

Os reservatórios projetados sob a NB-1 (ABNT, 1940) e NB-1 (ABNT, 1960) tinham classe de agressividade I, baseado em índices químicos presentes na solução em contato com o concreto. Neste caso, recomendava pH superior a 5,9; teor de sulfato menor que 400 mg/l e sem menção ao teor de cloretos. Ao comparar com os padrões físico-químicos do Quadro 1, na mesma época, o pH variava entre 5,0 e 5,9, demonstrando uma água tratada bem ácida para consumo e agressiva ao concreto. Somente com a Decreto N° 79.367 (BRASIL, 1977) foi recomendado pH entre 6,5 a 8,5, mais básico. Lembrando que mudança de pH na água de 12,0 para 8,0 já é um fator que acelera o processo de corrosão sob ação de íons ácidos. Ainda sob a classe I era recomendado uma relação água/cimento de até 0,65, classe de resistência à compressão do concreto maior ou igual a 20 MPa e um cobrimento nominal variando de 20 a 25 mm.

A partir da NBR 6118 (ABNT, 1978) à atual NBR 6118 (ABNT, 2104) a classe de agressividade passou a considerar o local de exposição da estrutura. Assim os reservatórios passaram da classe I para classe IV, agressividade muito forte, semelhante a respingos de marés porque possui cloretos, uma mudança da relação água/cimento para o limite de 0,45 e a resistência à compressão mínima do concreto 40 MPa e o cobrimento nominal variando de 45 a 50 mm.

5 Considerações finais

Considerando o horizonte de 1966 a 2005, ou seja, em um período de 39 trinta e nove anos, o Quadro 5 apresenta a evolução das características admitidas por norma e as consideradas em projeto.

Quadro 5. Variação dos parâmetros de projeto e parâmetros físico-químicos

Δ PERÍODO DE PROJETO (ANOS)	Δ DO fck ADMITIDO POR NORMA (MPa)	Δ COBRIMENTO POR NORMA LAJE (mm)	Δ COBRIMENTO POR NORMA VIGA/PILAR (mm)	Δ VOLUME CLORO RESIDUAL PORTARIA MINISTÉRIO SAÚDE (mg/l)		Δ VOLUME SULFATO PORTARIA MINISTÉRIO SAÚDE (mg/l)	Δ pH PORTARIA MINISTÉRIO SAÚDE	
				MIN	MAX		MIN	MAX
39	20	25	25	0	2	-150	1,5; 1,5; 2,0	1,0; 1,0
Δ EM PERCENTUAL								
	↑ 100%	↑ 125%	↑ 100%	*	↑ 200%	↓ -62,50%	↑ 30%; ↑ 23%; ↓ 25%	↓ 12%; ↑ 12%

Fonte: Autor.

Os parâmetros de projeto, da evolução da NB-1 (ABNT, 1940) à atual NBR 6118 (ABNT, 2014), aumentou em mais de 100%, a resistência à compressão e espessura de cobrimento, protegendo de certa forma as estruturas de concreto do ambiente agressivo onde está localizado. Desde a NBR 6118 (ABNT, 1978) a classificação em relação à agressividade passou de índices químicos da água em contato com o concreto para uma classificação de acordo com o ambiente onde está inserida a estrutura.

Os reservatórios da amostra que foram dimensionados com uma resistência característica inferior ao recomendado pela norma vigente à época, bem como os que não atenderam a espessura de cobrimento no projeto, incidiram em maiores custos de impermeabilização, de manutenção, bem como a descontinuidade no abastecimento vistas estas interações.

Os parâmetros físico-químicos demonstraram que houve uma queda significativa no volume de sulfatos, 62,5% e um aumento no valor máximo de pH de 12%. A variação do parâmetro de sulfatos apresentou-se favorável ao concreto do reservatório, e a diminuição do pH propicia que os íons cloretos e sulfatos tem acelerada sua reação eletroquímica.

Avaliando o aumento percentual do cloro residual livre há três conclusões a partir da análise documental: a primeira é que os valores mínimos de 0,2 mg/l se mantém constante nos últimos trinta e nove anos; a segunda é que antes do valor máximo de cloro residual de 2,0 mg/l, a Secretaria de Saúde de cada Estado, dosava o cloro de acordo com suas normas e, assim acredita-se que houve valores muito superiores aos atuais. E por último, o cloro é residual, o qual ao longo do sistema de distribuição ele sofre decaimento de sua concentração, que em tese não é fator primordial na corrosão de armaduras, ao invés disso, são os parâmetros de projeto não atendidos.

O estudo da amostra de reservatórios de concreto demonstrou que as variações dos parâmetros de projeto e parâmetros físico-químicos evoluíram a favor da segurança das estruturas de concreto, sendo que este evoluiu com a finalidade de beneficiar a saúde pública. Desta forma, o dimensionamento inadequado dos reservatórios deixa a estrutura frágil e suscetível à corrosão de armaduras e deterioração do concreto.

A inovação desse estudo está na relação entre os parâmetros de projeto e parâmetros físico-químicos, esta sob a evolução histórica das Portarias do Ministério da Saúde e àquela sob a evolução da norma de concreto desde 1940, ou atual NBR 6118 (ABNT 2014). Assim, seria adequado existir uma norma que especifica o dimensionamento de reservatórios em consonância com os parâmetros físico-químicos da água que possam intervir na intergradade das estruturas.

Agradecimentos

Agradecemos à Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul e ao Departamento Municipal de Água e Esgotos por fornecer seu acervo bibliográfico, possibilitando a concretização desse trabalho.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. *A história do uso da água no Brasil: Do descobrimento ao século XX*. Brasília: 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NB-1: Cálculo e execução de obras de concreto armado – Procedimentos*. Rio de Janeiro, 1940.

_____. *NB-1: Cálculo e execução de obras de concreto armado – Procedimentos*. Rio de Janeiro, 1960.

_____. *NBR 12217: Projeto de reservatório de distribuição de água para o abastecimento público*. Rio de Janeiro, 1994.

_____. *NBR 12655 - Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimentos*. Rio de Janeiro, 2015.

_____. *NBR 5737 - Cimentos Portland resistentes a sulfatos*. Rio de Janeiro, 1992.

_____. *NB 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos*. Rio de Janeiro, 1978.

_____. *NB 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos*. Rio de Janeiro, 2003.

_____. *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos*. Rio de Janeiro, 2014.

BRASIL. *Portaria N° 2.914*, de 12 de dezembro de 2011. Brasília, 2011.

BRASIL. *Decreto N° 79.367*, de 9 de março de 1977. Brasília, 1977.

KULISCH, D. *Ataques por Sulfatos em Estruturas de Concreto*. Curitiba, 2011. 108 p. Trabalho de Conclusão (Curso de Engenharia da Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. *Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório publicações e trabalhos científicos*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MONTIEL, A. *Organização Mundial da Saúde*. Paris, 1995.

PEREIRA, E. A. *Patologias em reservatórios de água potável e sua correção*. Lisboa, 2010, 89 p. Dissertação (Mestrado) - Curso Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, 2010.

PINTO, G. M. F.; LIMA, A. V.; PÉRICO, M. A. Avaliação da qualidade da água de abastecimento do município de Paulínia (SP), pela determinação de residual de cloro livre. *XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Bento Gonçalves, 2013.

THOMAZ, E. C. S.; CARNEIRO, L. A. V. Estrutura de Reservatórios: conceitos de fissuração e sugestões para execução. *Revista Concreto*, Belo Horizonte, p. 20, 2007.

TINOCO, H. F. F.; MORAIS, A. S. Reservatórios em concreto armado: principais manifestações patológicas, diagnóstico e soluções para reabilitação e reforço. *IX Congresso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras*. João Pessoa, 02 a 05 de junho 2013.