

## **ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA CONSTRUÍDAS DE FERROCIMENTO NO ESTADO DE MINAS GERAIS, BRASIL.**

Marcos Rocha Vianna: professor do curso de Mestrado em Construção Civil da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade FUMEC

Rua Cobre, 200 – Cruzeiro – 30310-190 – Belo Horizonte – MG - Brasil

e-mail: [mrvianna@fumec.br](mailto:mrvianna@fumec.br), web: <http://www.fea.fumec.br>

Luciana Nunes de Magalhães: professora do curso de Mestrado em Construção Civil da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade FUMEC

Rua Cobre, 200 – Cruzeiro – 30310-190 – Belo Horizonte – MG - Brasil

e-mail: [lununes@fumec.br](mailto:lununes@fumec.br), web: <http://www.fea.fumec.br>

### **RESUMO**

O ferrocimento é uma técnica de construção artesanal extremamente versátil. Por suas características artesanais, tem se mostrado adequado às obras hidráulicas de cunho social. Elas permitem e incentivam a participação popular. Com isto, é possível transferir para a comunidade a tecnologia do processo construtivo, que a utiliza para implantar pequenos reservatórios e bebedouros em suas propriedades particulares. Além disto, ao participar da implantação das obras com seu trabalho pessoal, os membros da comunidade passam a se sentir corresponsáveis por elas e zelam por sua qualidade e conservação. A Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA – vem construindo estações de tratamento de água e reservatórios em obras voltadas para o saneamento rural desde 1993. Quanto às estações de tratamento de água, dezenas delas encontram-se em operação em todo o estado de Minas Gerais, tratando vazões desde 4 até 150 litros por segundo. Não obstante, os projetos estruturais e os traços da argamassa utilizada são ainda empíricos, não havendo uma norma brasileira a respeito do assunto. Este trabalho descreve, em linhas gerais, o que é o ferrocimento, como são con-

struídas as unidades que o utilizam como material de construção, algumas estações de tratamento de água implantadas e atualmente em operação em Minas Gerais e as orientações atualmente seguidas na elaboração de seus projetos estruturais. Conclui pela necessidade da realização de estudos técnicos visando à determinação das características estruturais, que possam culminar em diretrizes cientificamente embasadas para estruturas de ferrocimento.

Palavras-chave: estação de tratamento de água, ferrocimento.

### **ABSTRACT**

Ferrocimento is a highly versatile low-tech constructive method. Because of its low-tech characteristics, it has been shown suitable for application in social works concerning hydraulic structures. They allow and encourage popular participation. In this way, it is possible to transfer the technology of the constructive method for the community, which uses it to build small water tanks and drinking dishes for cattle in their private properties. Furthermore, when members of the community participate of the works, they feel responsible for them and watch over their quality and conservation. The sanitation agency of the State of Minas Gerais – COPASA – has been implanting drinking water treatment plants and potable water tanks in rural communities since 1993. In regarding to drinking water treatment tanks, dozens of them are in operation in Minas Gerais, treating flows from 4 up to 150 liters per second. Nevertheless, structural projects and the stoichiometry of the concrete components are still experimental and there is not a Brazilian standard about it. This paper describes, in general, what is ferrocimento, how are constructed the structures that use this construction material, some drinking water treatment plants which were implanted and are operating nowadays in Minas Gerais and the orientations that are adopted at the moment in their structural projects. It concludes that further technical studies are necessary to determine the structural characteristics of the units, to obtain guidelines scientifically stated for ferrocimento structures.

Key-words: drinking water treatment plants, ferrocimento.

## INTRODUÇÃO

O ferrocimento como material de construção de estações de tratamento de água (ETA) em Minas Gerais é alternativa recente. Em geral, elas são construídas de concreto armado ou adquiridas pré-fabricadas, de aço ou resina poliéster reforçadas com fibras de vidro (RPFV). A maior ETA de ferrocimento do Estado tem capacidade para tratar 150 litros por segundo (VIANNA, 2012)

Segundo Bonifácio (2012), o ferrocimento teve sua primeira patente em 1855, atribuída ao francês Joseph Louis Lambot. No Brasil, a partir de 1960, a Escola de Engenharia de São Carlos (USP) começou a estudá-lo e, focando sua utilização industrial, desenvolveu a “argamassa armada”. Em 1982, a Universidade Federal do Ceará iniciou o “Projeto Ferrocimento”, através do Professor Alexandre Diógenes, explorando sua construção artesanal.

Em Minas Gerais, coube à Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA – a iniciativa de sua utilização em maior escala. Segundo Gaio (1993), a ideia surgiu em 1990. Em 1991, o curso interno “Introdução ao Ferrocimento” foi ministrado para seus funcionários. Uma aplicação imediata que apresentou sucesso foi a construção, em 1992, de mais de cento e cinquenta reservatórios domiciliares de água, com capacidade para duzentos e cinquenta litros cada, destinados à comunidade de Nova Esperança, em Montes Claros. O trabalho foi entregue à própria comunidade, após breve treinamento conduzido pela COPASA. O Centro Comunitário transformou-se em indústria de reservatórios, que eram transportados pelos usuários e instalados em suas residências.

A inspiração para utilização como material de construção de ETA originou-se num trabalho apresentado no II Simposio Internacional de Ferrocimento, em 1985. Uma ETA na ilha de Java, Indonésia, foi construída através de mutirão, para uma comunidade de 500 habitantes (BONIFÁCIO, 2012).

As ETA em ferrocimento aqui descritas surgiram a partir de concepções hidráulicas originalmente desenvolvidas pelo autor para a COPASA (VIANNA, 1993). A concepção adotada em seus projetos estruturais permanece essencialmente a mesma (BONIFÁCIO, 1993). Dezenas encontram-se implantadas e em operação. Construídas inicialmente para três a doze litros por segundo (Tabela 1), mostraram grande economia, devido à utilização de mão de obra pouco qualificada e pequeno gasto de insumos. O custo era de um terço daquele de unidades similares de outros materiais (Tabela 2).

Em Divinópolis encontra-se a maior ETA em ferrocimento de que se tem notícia, com capacidade para 150 litros por segundo. Desde sua inauguração, a qualidade da água tratada nessa instalação atende rigorosamente ao padrão de potabilidade brasileiro (VIANNA, 2012).

## O FERROCIMENTO

O ferrocimento permite a construção de unidades de tratamento com paredes esbeltas e rigidez estrutural favorecida pela combinação de elementos com predominância de formas curvas. As características de impermeabilidade e baixo custo o tornam apropriado para se construir estruturas em casca, com espessuras mínimas de três centímetros e recobrimento de 1 cm.

Tabela 1. Relação de algumas ETA construídas pela COPASA em Minas Gerais (BONIFÁCIO, 2012).

| Município / localidade                 | Capacidade (L/s) |
|--|------------------|
| Galiléia / Sapucaia do Norte           | 3                |
| Caratinga / Patrocínio                 | 3                |
| Santa Cruz de Salinas / Sede           | 3                |
| São Gonçalo do Pará / Quilombo do Gaia | 3                |
| Senhora de Oliveira / Santana          | 3                |
| Jequitinhonha / São Pedro              | 5                |
| Itaobim / São João                     | 5                |
| São João do Paraíso / Boa Sorte        | 5                |
| Rio Piracicaba / Padre Pinto           | 5                |
| João Pinheiro / Canabrava              | 8                |
| Dionísio / Baixa Verde                 | 8                |
| Pingo d'Água / Sede                    | 12               |
| São Gonçalo do Abaeté / Varjão         | 12               |
| Josenópolis / Sede                     | 12               |
| Santa Helena / Sede                    | 12               |
| Divinópolis / Distrito Industrial      | 150              |

Tabela 2. Comparativo de custos de ETA Q = 12 L/s de diversos materiais (BONIFÁCIO, 2012).

| Material de construção | Custo (R\$) | Preço com BDI = 40% (R\$) | Preço (US\$) (**) |
|------------------------|-------------|---------------------------|-------------------|
| Concreto armado        | 198.901,65  | 265.307,89                | 92,539            |
| Ferrocimento           | 65.904,03   | 91.445,90                 | 31,896            |
| PRFV (*)               | 180.554,27  | 217.835,73                | 75,980            |

(\*) PRFV = Resina poliéster reforçada com fibras de vidro

(\*\*) Implantadas pela COPASA. US\$1.00 = R\$2,867 (Referência: outubro de 2003)

É um tipo especial de concreto armado, sem adição de aglomerado graúdo, com impermeabilidade natural,

obtido a partir da combinação de pasta de material cimentício na proporção de 500 a 600 kg/m<sup>3</sup>, com um agregado miúdo (areia lavada) e água, dotado de armaduras de barras e telas delgadas, regularmente distribuídas, respectivamente denominadas principal e de reforço. A cura das reações até o endurecimento do cimento deve dispor de água em quantidade superior à exigida pelo concreto armado, devido à perda de água nas reações de amassamento, e por evaporação, dada a grande superfície de contato, típico das estruturas em casca.

É essencialmente artesanal, o que o torna merecedor de destaque especial, ver figura 1. Dispensa a utilização das formas de madeira, o que a torna sustentável.

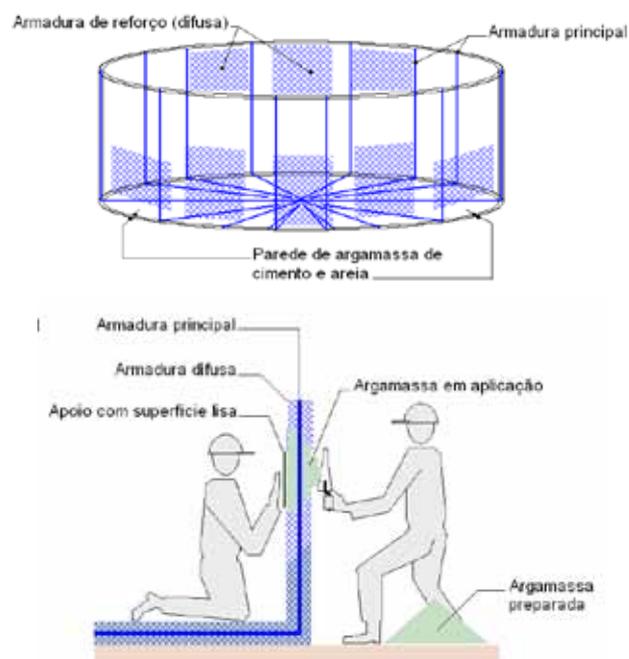


Figura 1. Execução artesanal da estrutura de ferrocimento (VIANNA, 2012)

## CONCEPÇÃO HIDRÁULICA

Do ponto de vista hidráulico, todos os modelos de ETA já implantadas foram concebidos de forma a atender ao que dispõe a NBR 12216 (ABNT, 1992b).

A mistura rápida é feita prevalecendo-se da queda d'água originária do vertedouro triangular existente em sua chegada, destinado à medição da vazão aflu-

ente. Aí é feita a aplicação do produto químico utilizado como coagulante/floculante. Eventualmente, torna-se necessário ajustar o pH da água a tratar antes de efetuar a mistura rápida. De modo geral, a cal hidratada é utilizada para esse fim, sendo então aplicada a montante do vertedouro. A Figura 2 ilustra esse procedimento.

A floculação é realizada em unidades que promovem hidráulicamente a agitação da água em tratamento (floculadores hidráulicos). Os floculadores adotados são do tipo Alabama ou de bandejas perfuradas. Nos floculadores Alabama, todas as passagens de água de um compartimento para outro localizam-se na parte inferior, ver Figura 3. No floculador de bandejas perfuradas, água é sempre introduzida na parte de cima de cada câmara de floculação. Ao escoar no sentido descendente, ela passa através de orifícios existentes numa sucessão de bandejas perfuradas, interpostas perpendicularmente à direção do fluxo.

A decantação é realizada em unidades clássicas, de fluxo turbulento e forma circular em planta. Os primeiros, de formato cilíndrico e profundidade útil da ordem de 1,50 m, foram adotados nas primeiras unidades implantadas. Novas concepções foram desenvolvidas, nas quais passou-se a adotar decantadores de formato hemisférico, que propiciavam a utilização de profundidades maiores, da ordem de 4,50 m. Essas profundidades eram compatíveis com as dos floculadores do tipo de bandejas perfuradas e dos sistemas autolaváveis de filtros, ver Figura 4.

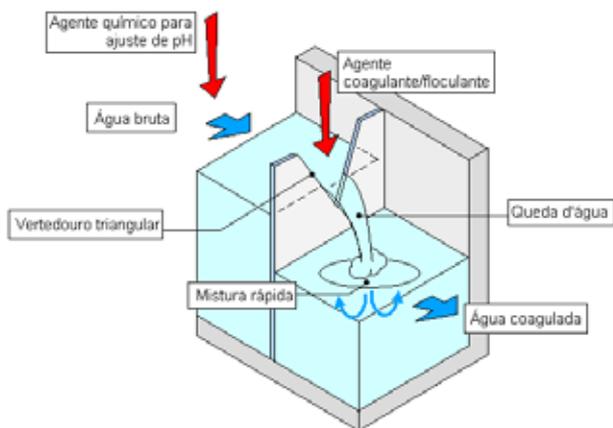


Figura 2. Medição da vazão afluente e mistura rápida: vertedouro triangular [6].

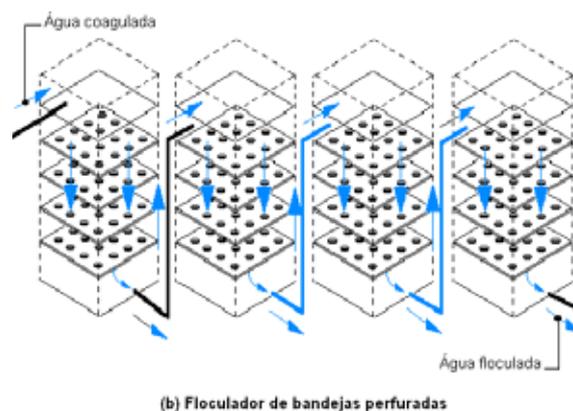
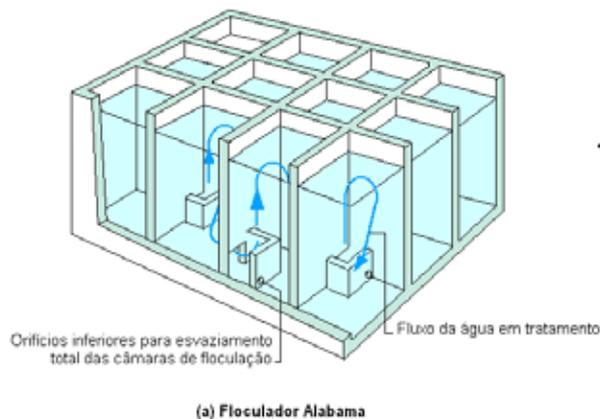


Figura 3. Floculadores hidráulicos: (a) tipo Alabama e (b) tipo de bandejas perfuradas [6].

A filtração é realizada em sistema autolavável, contando com quatro filtros em paralelo, de leito filtrante duplo (areia e antracito dispostos sobre camada suporte de seixos) operando como sistema de taxa declinante variável, ver Figura 5.

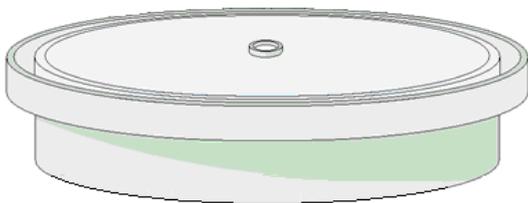
As primeiras estações de tratamento de água implantadas foram concebidas utilizando floculadores hidráulicos do tipo Alabama e decantadores cilíndricos. Posteriormente, nova concepção foi desenvolvida, em que os floculadores passaram a ser do tipo de bandejas perfuradas e os decantadores do tipo hemisférico. A Figura 6 apresenta diagramas em que essas duas concepções hidráulicas são representadas.

Em vista de seu maior porte, a estação de tratamento de água de Divinópolis, destinada a tratar 150 litros por segundo, foi concebida de modo sui generis, não

descrito neste trabalho. Maiores informações podem ser encontradas em Vianna(2012).

As Figuras 7 (a) e (b) apresentam fotografias de uma ETA implantada conforme a primeira concepção. O reservatório da Casa de Química, também de fercimento, tem formato esferoidal. A Figura 7 (c) é a fotografia de uma ETA implantada conforme a segunda concepção.

(a) Decantador cilíndrico



Sistema autolavável de filtros de camada dupla

(b) Decantador hemisférico

Floculador hidráulico de bandejas perfuradas

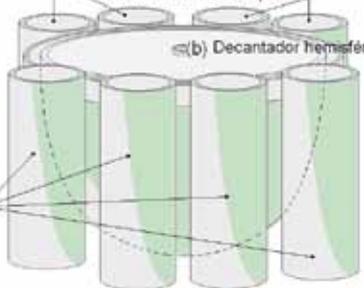


Figura 4. Decantadores clássicos: (a) cilíndrico e (b) hemisférico: perspectivas e diagramas explicativos (VI-ANNA, 2012).

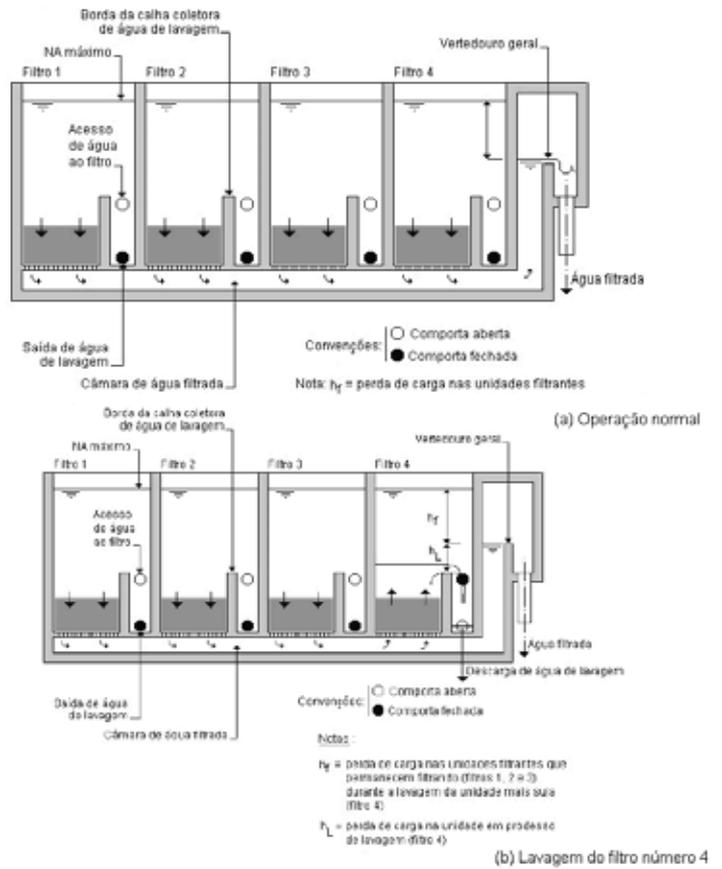


Figura 5. Sistema autolavável de filtros (a) em operação normal e (b) durante a lavagem de uma de suas unidades (VIANNA, 2009).

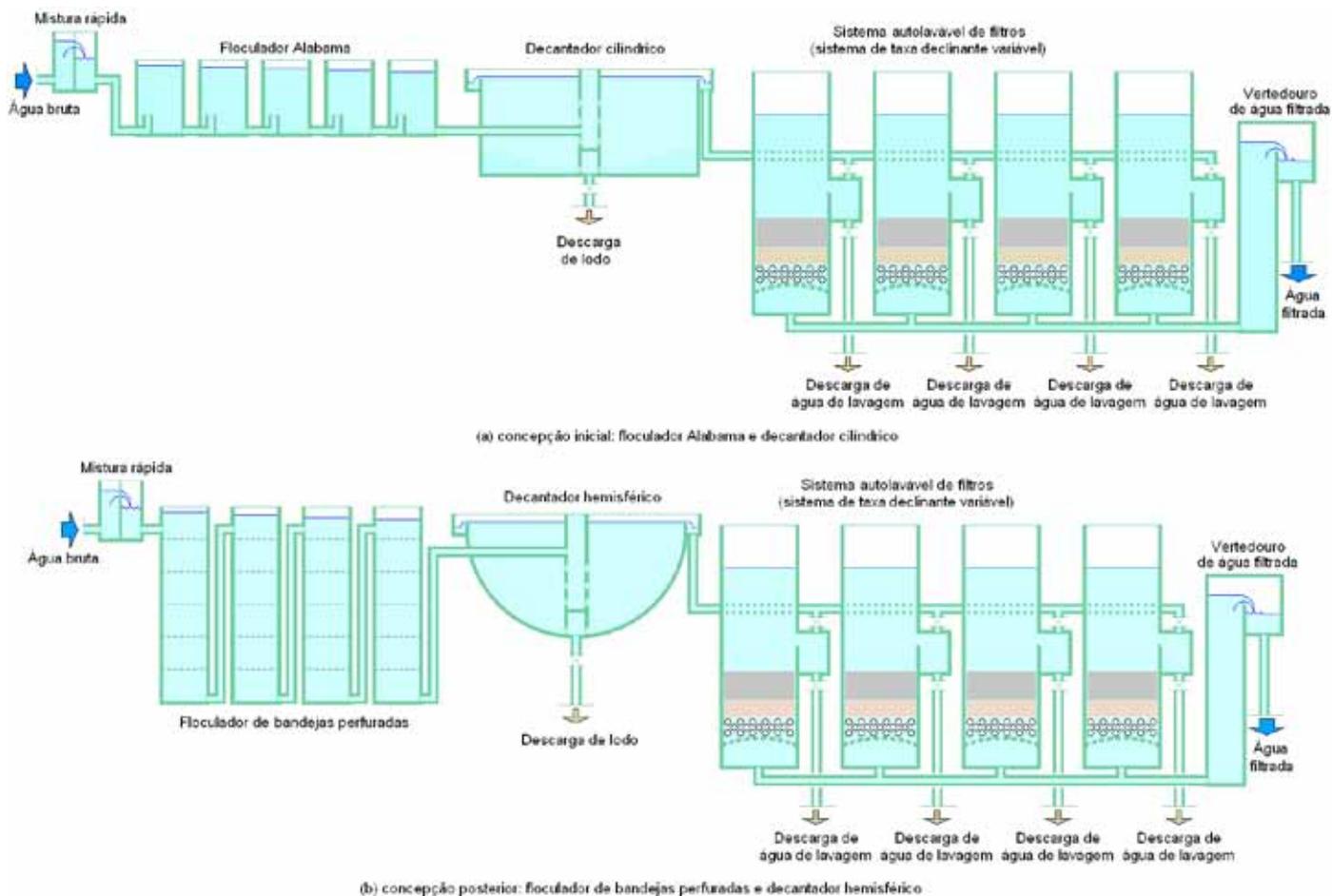


Figura 6. Estações de tratamento de água de ferrocimento: concepções típicas implantadas.

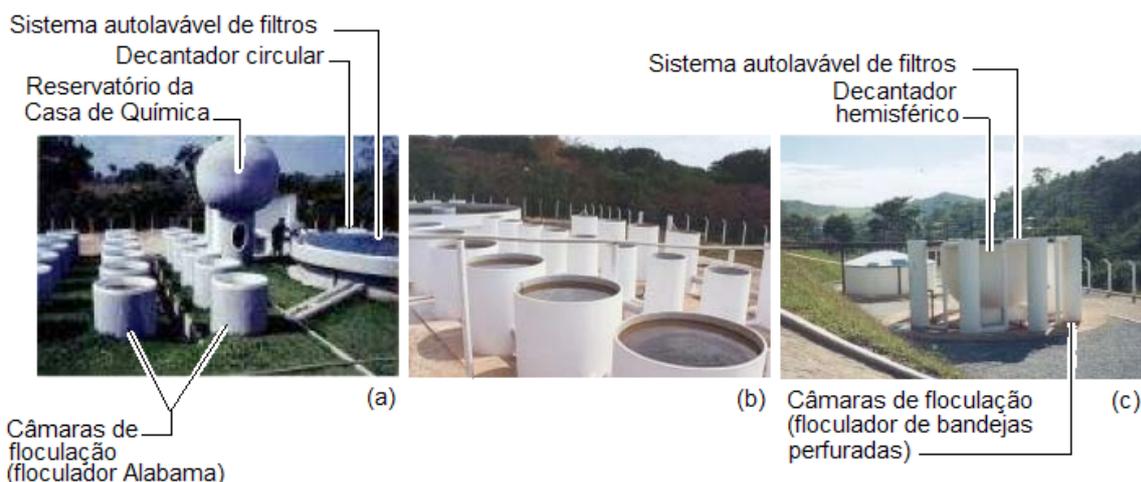


Figura 7. Estações de tratamento de água de ferrocimento: fotografias.

## CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS

O comportamento estrutural da casca é dividido em duas parcelas: a teoria da membrana e a teoria da flexão. Na primeira é considerado o mecanismo resistente de membrana, que resulta em solicitações por força normais e cisalhamento. Na segunda são consideradas as flexões, que resulta na casca curva em solicitações por momentos, esforços normais, cortante e cisalhamento longitudinal (MEDRANO, 2005).

Os esforços que podem solicitar as paredes de um reservatório cilíndrico, Figura 8, no sentido longitudinal, força cortante e esforço normal, geram tensões que podem ser, a princípio, consideradas desprezíveis. No entanto, ao se analisar a estrutura sob a ação de uma pressão interna, apresentará tensões de tração simples, conhecidas como tensões de membrana, responsáveis pelo dimensionamento estrutural.

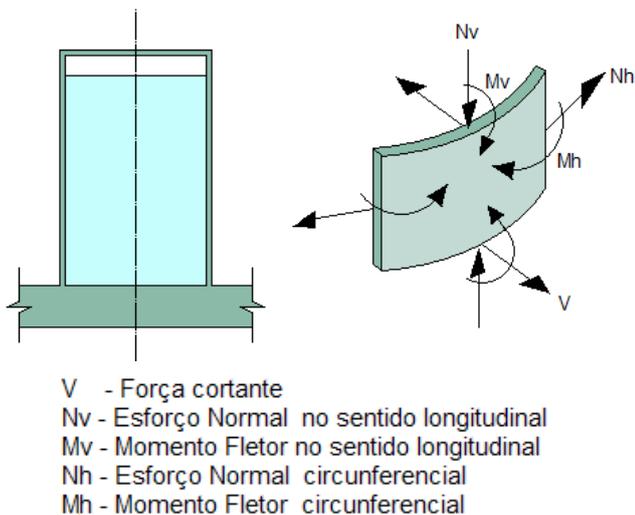


Figura 8. Solicitações na casca cilíndrica com função de reservatório.

Um projeto estrutural tradicional de um reservatório cilíndrico é constituído pelo cálculo da armadura circunferencial para resistir às tensões de membrana, supondo cada seção da altura do reservatório como um anel. Existe uma vasta quantidade de combinações e probabilidades de diâmetro, espessura e altura das paredes de um reservatório, devendo assim, ser levado em consid-

eração o efeito dos vínculos, pois para cada tipo, haverá um correspondente diagrama de esforços solicitantes.

Depois de definida a volumetria do reservatório e seus vínculos, obviamente, em função da necessidade de sua capacidade, determinam-se as resistências dos materiais estruturais empregados. A profundidade do cilindro é convertido em pressão, e conseqüentemente, o esforço na parede é a resultante, que deverá ser resistida pelo material estrutural do reservatório – ferrocimento.

No ferrocimento, a camada de argamassa de concreto é responsável por tornar impermeável a estrutura de aço, para tal, a NBR11173 (ABNT, 1992a), estabelece os valores admissíveis de absorção de água e resistência mecânica para a mistura. Entretanto, todas as tensões a serem absorvidas recairão sobre as barras de aço (armadura principal) e arame soldado (armadura difusa) ver Figuras 1 e 9. O processo de cálculo se desenvolve de forma a verificar, se o número de barras e armaduras adotadas serão suficientes para as tensões atuantes. Assim, pelas recomendações da referida norma e das normas a ela pertinentes, define-se o número e o diâmetro de fios horizontais do arame soldado e as barras de aço que vão constituir o círculo da parede do tanque.



(a) Decantador cilíndrico em construção



(b) Detalhe da armadura:  
principal e de reforço (difusa)

Figura 9. Armaduras principal e difusa: fotografias.

As barras de aço limitadas por diâmetros entre 0,56 e 3 mm possuem 350 MPa de resistência média à tração enquanto arame soldado, constituído de telas de malha quadrada, retangular ou hexagonal, apresenta na média 630 MPa. Assim, após a verificação de absorção de tensões em ambos, a etapa final do cálculo estrutural consiste em compará-las à pressão da água, observando-se que as armaduras de piso (armadura difusa em arames dobrados a 90°) inseridas nos processos construtivos, aumentam em até 2,5 vezes a resistência final das paredes.

Superfícies simples contínuas, ou dupla curvatura, formam as estruturas em casca. Contendo uma espessura muito menor que as outras dimensões, as cascas possuem grande eficiência estrutural, resultado de sua capacidade de resistência e formas tridimensionais, com um consumo mínimo de material. Devido a estas qualidades estruturais, as cascas são cada vez mais pesquisadas e aplicadas nas construções, sendo a forma cilíndrica, classificada como de translação utilizada em estruturas hidráulicas.

## CONCLUSÃO

A exposição anterior permite constatar que a adoção do ferrocimento como material de construção em estruturas de saneamento básico propicia enorme alcance social. Por suas características artesanais, elas per-

mitem e incentivam a participação popular. Ela permite transferir para a comunidade a tecnologia do processo construtivo, que a utiliza para implantar pequenos reservatórios e bebedouros em suas propriedades particulares. Percebe-se que, ao participar da implantação das obras, os membros da comunidade beneficiada passam a se sentir corresponsáveis por elas e passam a zelar por sua qualidade e conservação.

Não obstante as orientações apresentadas pela NBR11173 (ABNT, 1992a), de modo geral os projetos estruturais e os traços da argamassa utilizada são ainda empíricos, não havendo uma norma brasileira específica para o ferrocimento. Esse empirismo pode ser atribuído ao fato da citada norma ser destinada a estruturas de argamassa armada, considerada por alguns como o ferrocimento industrial.

Torna-se necessário, portanto, a realização de estudos técnicos visando à determinação das características estruturais das peças construídas utilizando essa técnica, que possam culminar na elaboração de diretrizes cientificamente embasadas para o projeto e construção de obras de ferrocimento. Para reconhecimento da capacidade de absorção de água do material ferrocimento, entende-se que durante determinado tempo, em condições específicas de vazão e pressão, deve-se adotar e aplicar métodos de ensaio. Quanto à resistência aos esforços mecânicos de tração e compressão, recomendam-se ensaios com variação de traços da argamassa, testes de tração nas armaduras envoltas pela argamassa para verificação de mecanismos de fissuração.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 11173- Projeto e execução de argamassa armada. ABNT, Rio de Janeiro, 1992a, 10p.
- \_\_\_\_\_. NBR 12216 - Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público – Procedimento. ABNT, Rio de Janeiro, 1992b. 18p.
- GAIO, M.M. O ferrocimento na COPASA MG: um breve histórico – comunicação pessoal. Belo Horizonte, 1993.
- VIANNA, M.R. Análise do desempenho quanto à cor aparente e turbidez da água em ETA de ferrocimento.

---

Hydro. Vol. VI, pp. 24-27, 2012.

\_\_\_\_\_. Estação de tratamento de água em ferrocimento: aspectos do projeto hidráulico. 17º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal, 1993. Anais eletrônicos.

\_\_\_\_\_. Hidráulica para engenheiros sanitários e ambientais. Volume 4: sistemas de tratamento de água. FUMEC, 2009.

MEDRANO, R.H.; MEIRELES, C. R. M. Estruturas espaciais em cascas: Estudo de Casos Latino-Americano, In: XXI Conferência Latinoamericana de Escuelas y Facultades de Arquitectura – CLEFA, 2005.

BONIFÁCIO, S.N. A revolucionária aplicação do ferrocimento em reservatórios, estações de tratamento de água e tratamento de esgoto no estado de Minas Gerais – Brasil. Simposio Internacional de Ferrocemento y Compuestos Delgados de Cemento Reforzado, La Habana, 2012.

\_\_\_\_\_. Estação de tratamento de água em ferrocimento: aspectos estruturais e construtivos. 17º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal, 1993. Anais eletrônicos.

\_\_\_\_\_. Estação de tratamento de esgotos - ETE em ferrocimento composta de reator anaeróbio de fluxo ascendente, filtro anaeróbio e leito de secagem. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa, 2001. Anais eletrônicos.