

## II-518 – VIDA ÚTIL, PATOLOGIAS E TERAPIAS DE ETE EM FERROCIMENTO – ESTUDO DE CASO DE SUCESSO EM UMA COMPANHIA DE SANEAMENTO

**Sávio Nunes Bonifácio<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia FUMEC. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Engenheiro da COPASA-MG.

**Cristiano Martins Quintão**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Viçosa- UFV. Especialista em Construção Civil e Especialista em Engenharia Sanitária pela UFMG. Engenheiro da COPASA-MG.

**Carlos Antônio Camargos d'Ávila**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Especialista em Estruturas pela UFMG, Especialista em Engenharia Civil pela UFOP, Doutorando em Ingeniería de la Construcción pela UPC, Espanha. Engenheiro da COPASA-MG. Professor dos cursos de Eng<sup>a</sup> Civil e Arquitetura e Urb. da PUCMinas.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Afonso Pena, 1757/1501-B - Funcionários - Belo Horizonte - MG - CEP: 30130-004 - Brasil  
- Tel.: +55 (31) 3250-1840 - e-mail: savio.nunes@copasa.com.br

### RESUMO

O uso da tecnologia do ferrocimento pela companhia de saneamento é aplicado na construção de dezenas de reservatórios, estações de tratamento de água e estações de tratamento de esgotos durante as duas últimas décadas e tem sido inovador no setor de saneamento público no Brasil. Foi um desafio, uma vez que a durabilidade do material sempre foi questionada. Seu baixo custo de implantação, muito expressivo se comparado com tecnologias similares como o concreto, impulsionou sua utilização. No caso do tratamento de esgotos, o ferrocimento, assim como todo material cimentício, é sabidamente vulnerável à exposição prolongada de gás sulfídrico e outros agentes agressivos. Este trabalho objetiva apresentar um caso de patologias e terapias inseridas no projeto de recuperação e proteção estrutural de reator em ferrocimento. Foram realizadas avaliações “in loco” das estruturas do reator e do filtro anaeróbio por meio de inspeção visual e de anamnese para detecção de anomalias existentes. As soluções propostas são fundamentadas na literatura especializada de ferrocimento e em técnicas e produtos específicos para recuperação e proteção estrutural. Para a terapia, foi recomendado o esvaziamento e limpeza do reator; montagem de cimbramento e andaime; demolição do ferrocimento degradado; reconstrução da estrutura; preparação da superfície interna; aplicação de sistema protetor e impermeabilizante; instalação de tubos de distribuição e tampas de inspeção; sistema de coleta e queima de biogás e pintura da superfície externa. Estas estruturas em ferrocimento apresentavam patologias de grande intensidade na face inferior da laje superior que comprometiam a estabilidade estrutural, requerendo intervenções imediatas de recuperação e proteção estruturais. Essas patologias foram causadas pela presença de biogás (composto de metano, gás sulfídrico e dióxido de carbono) que formam ácido sulfúrico a partir do H<sub>2</sub>S, que reage com a pasta de cimento e levando à formação de etringita. Em algumas estruturas ocorre a perda total da argamassa estrutural em consequência da ação da bactéria *Thiobacillus concretivorus*. A vida útil das unidades operacionais dos sistemas de tratamento de água e de esgotos sanitários com estruturas em ferrocimento pode ser tão longa quanto as similares em concreto armado, desde que construídas com as técnicas adequadas, dotadas de sistemas de proteção contra a agressividade dos meios e sendo periodicamente inspecionadas. É possível analisar cada caso, projetar e executar reparos, reforços e proteções, reabilitando-as de modo viável.

**PALAVRAS-CHAVE:** ETE, Ferrocimento, recuperação estrutural, concreto armado.

### INTRODUÇÃO

A estação de tratamento de esgoto em ferrocimento foi desenvolvida a partir de pesquisas sobre o estado da arte desta tecnologia em todo o Brasil e no mundo. O projeto hidro sanitário dos reatores anaeróbios aplicados ao tratamento de esgotos domésticos, assim entendidos os filtros anaeróbios e os reatores de fluxo ascendente através de manta de lodo (UASB) segue os parâmetros de projeto da literatura, em especial CHERNICHARO

(Reatores Anaeróbios, UFMG, ed. 1997 e 2007): carga hidráulica volumétrica, tempo de detenção hidráulico, carga orgânica volumétrica, carga de lodo, velocidade ascendente do fluxo, altura do reator, sistema de distribuição do efluente, separador trifásico, velocidade nas aberturas para o decantador, taxa de aplicação superficial no decantador, tempo de detenção hidráulica no decantador, sistema de coleta do efluente, produção e coleta do biogás, produção e retirada de espuma e produção, amostragem e retirada do lodo, entre outros. Este trabalho apresenta um estudo de caso típico de estruturas em ferrocimento utilizadas para o tratamento do esgoto sanitário. A espessura das paredes das unidades é de apenas oito centímetros. As superfícies internas são expostas a ambientes quimicamente agressivos, classe de agressividade IV (muito forte) segundo a NBR 6118 / 2014.

## OBJETIVOS

Geral: Discutir a vida útil das estruturas de base cimentícia utilizadas em ETE para que sejam resistentes, seguras e duradouras.

Específico: Apresentar caso de patologias e terapias inseridas no projeto de recuperação e proteção estrutural de reator de ETE em ferrocimento.

## DESENVOLVIMENTO

### O FERROCIMENTO NA COMPANHIA DE SANEAMENTO

A Norma Técnica desta Companhia T.186 “Ferrocimento para obras de saneamento”, de 1998, adota em sua definição de durabilidade, como sendo a propriedade de manter as suas características ao longo do tempo, atendendo às condições previstas para sua utilização e desempenho, sem necessidade de reparo. As informações sobre o grau de agressividade do meio, assim como a caracterização do solo de fundação, lista entre os dados imprescindíveis para o projeto definitivo. Para obras em meio da agressividade muito forte define, no item 4.2.1.2, usar o cimento Portland resistente a sulfatos (NBR 5737). Cita no item 5.1 que, uma das vantagens na construção de ferrocimento a sua realização sem uso de fôrma, mas, principalmente, quando se tratar de cobertura de reservatórios o emprego pode ser conveniente. A norma adota o traço em volume 1:2 (cimento: areia seca) e o fator Água/Cimento de 0,40 a 0,50 em função da trabalhabilidade da argamassa no estado fresco, da resistência à compressão mínima e da durabilidade após o endurecimento. À época, orienta a aplicação da argamassa por duas pessoas com cuidado de não deixar vazios no interior da argamassa, mas não abrange o processo de aplicação mecanizado com uso da caixa vibratória. A Norma orienta, no item 5.6, a utilizar o tratamento superficial no caso em que a obra em ferrocimento estiver submetida a forte ataque químico que possa danificar a integridade estrutural de seus componentes. Conclui-se que a Norma Técnica T.186 é cuidadosa nos aspectos gerais da estrutura, mas carece de atualização, principalmente, no método construtivo de aplicação de argamassa com processo mecânico de caixa vibratória, que adotado a partir de 2001 na construção de algumas ETE, confere compacidade da argamassa, aumento de resistência e de impermeabilidade, inclusive aos gases, e de indicação mais precisa dos produtos que atendam ao tratamento superficial que, acrescentem durabilidade às estruturas de ETE em ferrocimento. A geometria e a estrutura dos tanques para ETE em ferrocimento estão descritas nos projetos padrões criados por essa empresa, conforme Tab. 1 a seguir.

Tabela 1 – Exemplos de Projetos Padrões de ETE em Ferrocimento desenvolvidos na Companhia.  
Produtos da Normalização Técnica

Número Título

P.306/0 Reator anaeróbio de fluxo ascendente - 1000 Hab. (Saneamento rural)

P.307/0 Reator anaeróbio de fluxo ascendente - 3500 Hab. (Saneamento rural)

P.351/0 Reator anaeróbio de fluxo ascendente em ferrocimento com entrada múltipla  $V = 120\text{m}^3$  (Saneamento rural)

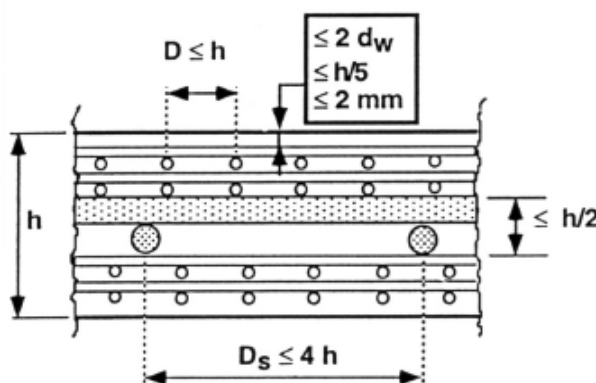
P.352/0 Reator anaeróbio de fluxo ascendente em ferrocimento com entrada múltipla  $V = 250\text{m}^3$  (Saneamento rural)

P.353/0 Reator anaeróbio de fluxo ascendente em ferrocimento com entrada múltipla  $V = 400\text{m}^3$  (Saneamento rural)

- P.354/0 Filtro anaeróbio em ferrocimento diâmetro 5,50m (Saneamento rural)  
P.355/0 Filtro anaeróbio em ferrocimento diâmetro 9,00m (Saneamento rural)  
P.356/0 Leito de secagem em ferrocimento diâmetro 7,00m (Saneamento rural)

## A DURABILIDADE NO CÓDIGO INTERNACIONAL DE FERROCIMENTO

O Código de Ferrocimento elaborado pela Sociedade Internacional de Ferrocimento (IFS) em janeiro de 2001, dedica todo um capítulo à durabilidade e manutenção das estruturas de ferrocimento. Como regra geral para proteção e robustez da estrutura, atenta o Código, melhorar a qualidade da argamassa e aplicar medidas de proteção especial para estruturas em ambientes agressivos. Cabe ressaltar que os produtos protetores têm, geralmente, vida útil mais curta em comparação com a vida útil da estrutura. As estruturas de ferrocimento devem ser projetadas e construídas para uma vida útil semelhante à construção de outros materiais similares. O projeto deve considerar as medidas de proteção para antes do início de deterioração. O item do Código que trata da qualidade da execução e cura destaca a experiência da firma construtora. A pequena espessura da estrutura de ferrocimento é uma característica do material, o que ressalta a necessidade de qualidade da execução da obra. O tipo e a agressividade do ambiente local combinado com a qualidade de execução do ferrocimento podem gerar uma situação adversa à qualidade da estrutura. Muitos construtores não têm experiência em ferrocimento, para tanto, criar programas de treinamento a respeito da tecnologia do ferrocimento são altamente recomendáveis, destaca o Código. A qualidade exigida inclui controle da cura do recobrimento. Uma regra simples e muito usada é especificar o recobrimento de dois mm ou 1/10 da espessura do ferrocimento ou, ainda, o dobro do diâmetro do arame das telas, tomarem o que seja menor. Ver Fig. 1 a seguir.



**Figura 1- Detalhe prático do recobrimento da estrutura de ferrocimento**  
**Fonte: Código de Ferrocimento, IFS, 2001.**

A escolha da medida protetora deve ser cuidadosamente selecionada em relação com a agressividade do ambiente. Possíveis efeitos colaterais do uso de medidas protetoras devem ser analisados. O projeto deverá prever política de manutenção para a estrutura. Similar a outras estruturas de engenharia civil, as obras de ferrocimento necessitam regularmente de inspeção e manutenção durante sua vida útil, com atenção especial aos casos de corrosão e deformação excessiva. A presença de água ou umidade são importantes fatores na deterioração. O fluxo de água dentro da matriz de cimento é determinado pela existência de poros, em seu tamanho e distribuição. Durante a construção de estruturas de ferrocimento, controlar a formação e distribuição de poros é uma medida essencial. O Código do ferrocimento busca referência no Comitê Europeu do Concreto (CEB) boletim nº 182 para analisar as condições ambientais, isto é, ações físicas e químicas a que a estrutura de ferrocimento está exposta, as quais causam efeitos e que não contam no carregamento do projeto estrutural. Classe de exposição relativa às condições ambientais de umidade (classe 2) combinada a um ambiente quimicamente agressivo por gás, líquido ou óleos (classe 5). O esgoto apresenta o valor de pH brando com valor entre 6,5 e 5,5 e o sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) em 200 a 600 mg/litro são, também, considerados brandos. Usualmente, o projeto e a execução bem realizados conduzirão a estruturas de alta qualidade. Algumas providências devem ser tomadas nas regiões susceptíveis a maior agressividade. Tais providências incluem a aplicação de proteção superficial e vistorias frequentes. Acrescente-se o uso de uma camada de tela de aço

inoxidável ou reforço com fibra plástica ou, ainda, projetar componentes estruturais de fácil reposição onde a exposição for mais agressiva, são opções a considerar.

Concluindo, colocando os critérios de durabilidade em ordem, o Código do Ferrocimento da IFS destaca:

- A qualidade da argamassa, aplicada com boa compactação e cura, resultando em baixa permeabilidade. O uso de aditivos é indicado para melhorar a desempenho da argamassa;
- O detalhamento do projeto estrutural adequado de forma a evitar a concentração de esforços e assegurar a integridade das superfícies críticas, cantos e bordas;
- Aplicação de pintura protetora da superfície sob condições ambientais fortemente agressivas, caso necessário;
- A durabilidade será fator do uso de materiais da qualidade especificada, execução bem orientada e uma política de manutenção estrutural;
- Programa de treinamento de mão de obra para construção e projeto de estruturas de ferrocimento.

#### A VIDA ÚTIL DO FERROCIMENTO SEGUNDO O CÓDIGO IFS.

O Código do Ferrocimento (IFS, 2001) se posiciona com relação à vida útil e segurança. Uma estrutura em ferrocimento deverá ser projetada e construída tão boa e resistente como as construções de materiais similares, de modo a satisfazer o requerido da vida útil com o mínimo de manutenção prevista. Quanto à estrutura com segurança, deve ser garantida por supervisão adequada, em todo tipo de aplicação, de forma a não causar lesões corporais ou perdas econômicas. As construções em ambientes agressivos devem passar periodicamente por inspeção para detectar pontos de corrosão ou alguma delaminação. Para estruturas principais, o Código prevê uma vida útil de 50 anos, quando se trata de estruturas terrestres em ambiente normal. Para estruturas marinhas e de retenção de água pode se esperar uma vida útil de 30 anos. O Código estabelece que para projeto, execução e manutenção poderá se esperar uma larga vida útil da estrutura de ferrocimento excedendo 50 anos em ambiente com exposição normal.

#### A DURABILIDADE DO FERROCIMENTO PELO PROFESSOR DR. ING. HUGO WAINSHOTK

O Prof. Dr. Hugo Wainshotk Rivas, em seu livro “Ferrocimento – diseño y construcción”, La Habana: Cuba, 1991 e Guayaquil: Equador, 1998, elucida que as medidas para melhorar a durabilidade do concreto armado convencional são aplicáveis ao ferrocimento, entretanto, cita três fatores que afetam especificamente à estrutura em ferrocimento, são eles: o recobrimento que se dá à armadura é muito pequeno e agente corrosivos logo alcançam a armadura; segundo, a distribuição da ferragem é maior, o que gera maior área onde atuar a corrosão; terceiro mesmo o aço recebendo a cobertura de galvanização pode ter um efeito prejudicial por, ao sofrer ataque químico, gera borbulhas de gás. Sem desprezar estes três fatores, a corrosão em estruturas em ferrocimento está diretamente relacionada com a inadequada técnica de aplicação da argamassa, de pouca compacidade, visto que o ferrocimento bem construído reduz a permeabilidade. Em Cuba se realizaram numerosas investigações com corpos de provas de ferrocimento submetidos à fissuração, com relação de aberturas destas submetida à influência da água do mar. Observou-se ao final de nove meses que não houve corrosão nos corpos de prova com abertura de fissura de 0,05 mm (50 µ) e com recobrimento de três mm. O autor ressalta a importância da proteção da armadura garantida por um recobrimento adequado, que varia entre dois e seis mm. Na experiência do autor, uma estrutura de ferrocimento bem argamassada não necessitaria de proteção, a menos que esteja exposto em ambiente de forte ataque químico, caso que indicaria o vinil e diferentes tipos de epóxi. Para melhorar a aderência do produto à estrutura recomenda-se uma primeira camada mista com outra resina e em seguida aplica-se o epóxi ou vinil. Os requisitos que deve cumprir uma camada protetora são os seguintes, enumera o autor:

- Ter boa aderência à argamassa;
- Tolerar a alcalinidade;
- Ter boa resistência química e à abrasão;
- Possuir propriedades isolantes à corrente elétrica;
- Ser impermeável;
- Não ser tóxico e ser apropriado para usar por pessoal não qualificado;
- Ter secagem rápida;
- Ter uma técnica simples de aplicação por pincel;
- Possibilitar uma manutenção futura.

Através da participação no simpósio Latino-americano e do Caribe de Ferrocimento, no ano 2000, em entrevista com o Prof. Dr. Hugo Wainshotk este reforçou a importância da vibração da argamassa para

compacidade da estrutura, associada ao uso de plastificante para redução do fator água / cimento, para obtenção de estruturas de ferrocimento impermeáveis.

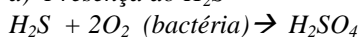
#### ESTUDOS SOBRE AS PATOLOGIAS DO CONCRETO E DO FERROCIMENTO.

Os efeitos do ácido sulfúrico em superfícies de concreto exposto a ambientes com esgotos e águas paradas com a presença de Sulfeto de Hidrogênio- $H_2S$ , produzem uma reação devastadora no concreto, provocando a redução de seu pH de 12/13,5 para abaixo de 06 e, conseqüentemente, a perda de sua dureza e estabilidade. Este pH elevado é o resultado da formação do hidróxido de cálcio  $[Ca(OH)_2]$ , um subproduto após a hidratação do cimento. O hidróxido de cálcio é um composto cristalino, muito cáustico, que pode ocupar 25% do volume em massa da pasta do concreto. Entretanto, na região gasosa de um reator, criou-se um “habitat natural” para o crescimento e proliferação de “bactérias corrosivas” que atacam o concreto. Primeiramente, através da redução de seu pH, bem lentamente, pelo contato direto de uma solução de sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ), facilmente capturado em nesse ambiente. Estes gases são conhecidos como gases “ácidos”, porque dão forma a soluções ácidas, relativamente fracas, quando dissolvidos na água ou na umidade presente na superfície do concreto. O  $CO_2$  produz o ácido carbônico e o  $H_2S$  produz o ácido sulfúrico. Estes gases dissolvem-se na água ou nas superfícies úmidas do concreto, reagindo com o hidróxido de cálcio, reduzindo, lentamente e constantemente, o pH da superfície do concreto. Este processo de redução de seu pH é devastador para sua existência e longevidade, porque quando o seu pH cair para 9 ou 9,5, será o momento do surgimento e crescimento de várias bactérias corrosivas da mesma espécie (família), até o surgimento da bactéria *Thiobacillus concretivorus*, no momento que atingir o pH 6/7, também conhecida como o “Bastonete de Enxofre”. Na presença de umidade e  $O_2$ , essa bactéria através de seu metabolismo, converte o  $H_2S$  em ácido sulfúrico biogênico, que, provoca no concreto, desagregação, perda de dureza e coesão, virando “Farinha de Areia e Agregados”.

O aluminato de cálcio hidratado reaciona com o sulfato de cálcio e forma um sulfoaluminato conhecido pelo nome de Etringita, que se dá com a fixação de muita água, o que provoca expansão e desagregação do material.

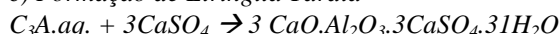
*Equações de formação do ácido sulfúrico -  $H_2SO_4$  e Etringita*

*a) Presença do  $H_2S$*



*b) Formação do Sulfato de Cálcio  $H_2SO_4 + CaCO_3 \rightarrow CaSO_4 + CO_2 + H_2O$*

*c) Formação de Etringita Tardia*



#### A RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL PELOS PESQUISADORES PINTO E TAKAGI

Para os pesquisadores Jaques Pinto e Emilio Minoru Takagi, da MC-Bauchemie Brasil, no artigo “Sistema de impermeabilização e proteção para obras de saneamento” in Revista Concreto, os sistemas de tratamento de água e esgoto estão cada vez mais agressivos às estruturas de concreto [e às de ferrocimento]. Portanto, a utilização de sistemas de impermeabilização e proteção a obras de saneamento se faz cada vez mais necessária para aumentar sua durabilidade, tanto em estruturas novas quanto nas existentes. Nas estações de tratamento de esgoto cobertas, a ação de bactérias, pela formação do ácido sulfúrico biogênico, costuma ocasionar grandes problemas de corrosão nos tetos das estruturas, como também, na parte superior de grandes tubulações de concreto. Torna-se necessário um esforço das entidades públicas e privadas para uma mudança nos padrões de projeto, execução e manutenção destas obras. Na área dos efluentes, foco de nosso trabalho, os autores do artigo consideram como prática comum à integração dos despejos industriais com os esgotos domésticos. Destacam algumas características do esgoto, agressivas às estruturas de concreto:

- DBO<sub>5</sub> e COT – parâmetro de determinação da quantidade de matéria orgânica no esgoto. A matéria orgânica alimenta os microrganismos que, então, produzem o gás sulfídrico ( $H_2S$ ) que se oxida formando o ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), que ataca a superfície do concreto e da armadura;
- Nitrogênio Total – indispensável ao crescimento de microrganismos e algas, mas produz sal de amônio ( $NH_3$ ) que reage com a alcalinidade protetora do concreto;
- Cloretos – em sua forma iônica promovem a corrosão da capa apassivante da armadura do concreto;
- Alcalinidade – ainda que a pasta de cimento do concreto tenha natureza química alcalina, a presença de solução alcalina concentrada age na deterioração do concreto;



- Ácido Sulfúrico Biogênico – atenção especial ao potencial de deterioração em estruturas de concreto em estações de esgoto. A formação de gás sulfúrico biogênico pela ação das bactérias, como *Thiobacillus thiooxidans* e *Thiobacillus concretivorus*. Estas bactérias aeróbias necessitam da presença de oxigênio, oxidam os compostos de enxofre, o gás sulfídrico ( $H_2S$ ), formado na digestão do esgoto e o transforma em ácido sulfúrico biogênico. Causam intensa corrosão no teto das estruturas de armazenamento de esgoto. Seus processos metabólicos ocasionam valores de pH em torno de 2, podendo chegar a valores ainda menores de 0,7. Pode ocorrer grande deterioração nestas estruturas, com perda de até 7 (sete) cm do cobrimento do concreto em menos de 5 (cinco) anos.

Os autores distinguem basicamente dois sistemas de proteção, são eles os orgânicos e os inorgânicos. Os orgânicos constituídos por resinas epóxi, poliuretana, furânica, fenólica ou de poliéster. Os inorgânicos são os revestimentos à base de cimento ou outros sistemas minerais. Uma das características que diferencia os sistemas de proteção é a difusão de vapor d'água. O movimento da água através de uma parede de concreto [ou de ferrocimento] ocorre devido ao fenômeno de osmose, mais pelo gradiente de umidade entre os dois lados e não apenas pela pressão hidrostática. A difusão de vapor diferencia os dois sistemas, os inorgânicos são abertos à difusão e os orgânicos são fechados. Este gradiente de umidade pode exercer uma pressão de vapor significativa, quando a umidade retida tende a sair e apresentar patologia de bolhas e deslocamento nas películas impermeáveis. A pressão de arranque causada pelo movimento do vapor d'água de dentro do concreto pode chegar a 1,5 MPa e empolar a película impermeável. Para estruturas que contenham efluentes os autores indicam revestimentos minerais à base de cimentos isentos de  $C_3A$ , resistentes a sulfatos e resistência química (pH 3 a 14), aplicados com espessura > 5,0 mm. Para estações de tratamento de efluente, os autores indicam como ideal o sistema de revestimento à base de silicato polimérico, de alta resistência química e isento de cimento. Consiste de um gel de silicatos amorfos ( $SiO_2 \cdot nH_2O$ ) dentro de uma matriz endurecida de uma substância mineral pura, com aderência, durabilidade e estabilidade dimensional. Os revestimentos minerais à base de silicato polimérico são abertos à difusão de vapores, resistentes aos ácidos orgânicos e inorgânicos, resistem a pH próximo ao zero (0) e a temperatura de até 570°C. Concluem os pesquisadores que a aplicação de revestimentos minerais para impermeabilização e proteção de estruturas, por sua natureza similar ao concreto, abertura à difusão de vapor de água, possibilidade de aplicação em substratos úmidos e execução de reparos pontuais, se torna os mais apropriados para a manutenção e operação de estruturas de saneamento.

#### A PROTEÇÃO DOS REATORES PELO PROF. CHERNICHARO

O Prof. Carlos A. L. Chernicharo em seu livro “Reatores Anaeróbios” (UFMG, 2007) faz algumas considerações à proteção anticorrosiva dos reatores. Nas estruturas em concreto armado [e ferrocimento] a preocupação com a proteção inicia-se ainda na fase de construção, buscando uma estrutura de baixa permeabilidade e absorção, com atenção a:

- Utilizando baixo fator água: cimento na mistura do concreto ou argamassa,
- Atingir alto grau de compacidade da estrutura,
- Cura adequada,
- Uso de cimento apropriado (Portland Pozolânico) e cimentos isentos de  $C_3A$ , resistentes a sulfatos.

Complementar com o uso de revestimento resistente a ácidos. Citando Fortunato et al (1998) que recomendam a pintura de reatores com borracha clorada ou epóxi betuminoso. Estes materiais funcionam como barreiras químicas para as superfícies de concreto expostas a ambientes de média e alta agressividade.

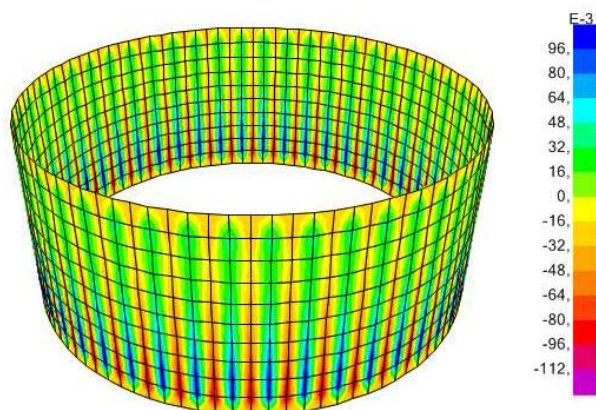
#### A PROTEÇÃO ESTRUTURAL PELOS PESQUISADORES DA UFC

O Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará (UFC) editou em 1994 a “Cartilha do biodigestor rural em ferrocimento artesanal” dos autores Márcio A. N. Andrade, Francisco D. Bezerra, Paulo César M. Carvalho e Cleber R. Oliveira. Os biodigestores são tanques fechados que recebem dejetos para a produção de biogás, o mesmo gás formado nas ETE. A campânula dos biodigestores está sujeita ao mesmo ambiente agressivo da cobertura dos reatores de tratamento de esgoto. Andrade et al indicam como revestimentos impermeabilizantes a serem aplicados na face interna da campânula:

- Revestimento à base de borracha clorada,
- Cobertura de poliuretano,
- Tinta epóxi,
- Revestimento à base asfáltica.

## ESTUDO DE CASO DO PROJETO DE RECUPERAÇÃO E PROTEÇÃO ESTRUTURAL DE UMA ETE FERROCIMENTO DE CARNEIRINHO – MG

**INTRODUÇÃO** - Vistoria realizada ao reator em ferrocimento da ETE de Carneirinho- MG, com emissão de Relatório Técnico e projeto de recuperação e proteção estrutural. Foi realizada a avaliação das estruturas do reator “in loco”, por meio de inspeção visual e anamnese (informações orais) para detecção de anomalias existentes, não sendo executados ensaios laboratoriais para elaboração deste relatório. As soluções propostas basearam-se em consultas a catálogos de fabricantes de produtos relacionados à recuperação estrutural e proteção. Foi feita modelagem matemática para estudar o comportamento estrutural do reator, que distribui uniformemente as cargas na estrutura (ver Fig. 2).



**Figura 2 - Resultado de modelagem matemática da estrutura**

**CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA** - Trata-se de dois reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo, semienterrados, construídos em ferrocimento, utilizados para o tratamento primário do esgoto sanitário coletado no município. O reator é circular, de câmara única, diâmetro interno de 8,00 metros, altura central de 6,90 metros, de volume útil de aproximadamente 250m<sup>3</sup>. Externamente a parede encontra-se em bom estado, porém com alguns pontos da cobertura há presença de trincas. A espessura de parede é de 8 cm. A estrutura está dentro de área urbana, em ambiente com classe de agressividade II (moderada), porém as superfícies internas estão sujeitas à classe de agressividade IV (muito forte), por estarem expostas a ambientes quimicamente agressivos, de acordo com NBR 6118-2014.

**ANOMALIAS ESTRUTURAIS VERIFICADAS** - A inspeção visual realizada na estrutura externa do reator possibilitou o cadastramento das patologias, que de forma geral são as seguintes: Desagregação a Argamassa estrutural, devida a ataque de gases, ácidos e sulfatos, com a formação de etringita. No sifão de saída do reator ocorreu, em alguns pontos, perda total da argamassa estrutural (ver Fig.3); Presença de trincas na laje superior do reator. Não foi possível inspecionar o reator internamente por estar em operação.



**Figura 3 - Detalhe do sifão da saída do reator degradado.**

**DIAGNÓSTICO ESTRUTURAL E TERAPIAS RECOMENDADAS** - Durante a inspeção de campo foi identificado que as estruturas em ferrocimento dos reatores anaeróbios apresentam patologias de grande intensidade na face inferior da laje superior, anomalias que comprometem a estabilidade estrutural, requerendo intervenções imediatas de recuperação e proteção estruturais. Essas patologias foram causadas pela presença de gás metano, gás sulfídrico, dióxido de carbono e de ácido sulfúrico, que estão reagindo com a pasta de cimento, dissolvendo esta pasta e levando à formação de etringita. As estruturas são relativamente novas, com início de operação em 2004 e construídas sem adequado sistema de proteção química da estrutura. Diante dessa situação recomenda-se a demolição da estrutura situada na região da presença do gás, ou seja, acima da lâmina d'água, preservando as armaduras da parede, que serão utilizadas para promover melhor ligação com a estrutura ferrocimento a ser reconstruída. Para preparação da argamassa utilizar cimento resistente a sulfatos. Durante a cura da argamassa, hidratar devidamente.

Após a cura a argamassa da região recuperada, promover o preparo das superfícies internas (laje inferior e paredes), a fim de tirar todas as sujeiras, impregnações e partes soltas. Aplicar impermeabilizante, na região submersa da superfície interna do reator e aplicar um sistema de proteção acima do nível d'água resistente ao ataque de ácidos.

Prever reforço externo da estrutura de ferrocimento, na região de transição parede/laje, para instalação de guarda-corpos perimetral ao reator. Instalação de novo sistema de coleta e queima de gás.

Com o objetivo de uniformizar as áreas tratadas, melhorando o aspecto visual e protegendo as superfícies externas, deve-se pintar toda a estrutura externa com tinta acrílica, na cor de concreto.

**PROCEDIMENTOS EXECUTIVOS** - São descritas neste item as principais sequências construtivas nos serviços de recuperação, impermeabilização e proteção das estruturas do reator.

- Esvaziamento, Limpeza e Higienização do Reator (Local de aplicação: Área interna do Reator)

Antes do início dos serviços, a contratante programará a paralisação do reator a ser recuperado e providenciará a descarga do lodo do reator nos leitos de secagem e devida limpeza e higienização interna para início dos trabalhos

- Montagem de Cimbramento e Demolição do Ferrocimento Degradado (Local de aplicação: Laje Superior, Parte Superior da Parede do Reator e do Separador Trifásico)

Antes do início dos serviços, a Contratada procederá a um detalhado exame e levantamento da estrutura. Os meios de proteção e segurança serão executados conforme as recomendações da Norma NR 18, bem como os materiais e equipamentos a serem utilizados na execução dos serviços de demolições e remoções.

Devido ao risco iminente de ruptura da laje do reator, primeiramente deve-se realizar montagem de estrutura de escoramento sob a laje, com o objetivo de garantir as condições de segurança para a execução de todas as etapas de demolição ou de recuperação estrutural.

- Reconstrução da Estrutura Demolido (Local de aplicação: Laje Superior, Parte Superior da Parede do Reator e do Separador Trifásico)



Caso tenha sido definida a demolição de toda a estrutura, para posterior reconstrução, na etapa de armação, deve ser executada em obediência ao projeto estrutural. Para a dosagem da argamassa deseja-se uma consistência plástica, com baixa relação água/cimento, de tal maneira que a permeabilidade seja a mais baixa possível, para se assegurar adequada proteção das armaduras e durabilidade; deseja-se também menor retração hidráulica e fluência e resistência mecânica elevada, sobretudo na tração. No plano de aplicação da argamassa, promover adequadas operações de aplicação, adensamento e cura do concreto. A argamassa deve ser aplicada preferencialmente por processo vibratório (caixa vibradora), de maneira a evitar vazios. Para a cura, as peças em ferrocimento devem permanecer úmidas nos primeiros quinze dias, sendo molhadas três vezes/dia.

- Limpeza das Superfícies (Local de aplicação: Superfícies do reator)

Promover a limpeza das superfícies, com o objetivo de retirar todas as sujeiras, impregnações, partículas soltas, fungos, eflorescências, manchas, etc. Somente após esta limpeza será possível iniciar os trabalhos de proteção e impermeabilização, pois o substrato deverá estar totalmente limpo para possibilitar a visualização das patologias existentes.

- Aplicação de Sistema Impermeabilizante no Ferrocimento (Local de aplicação: Faces internas do reator, acima da lâmina d'água, inclusive separador trifásico)

Após a preparação e limpeza do substrato, visando impermeabilizar as estruturas internas do reator sujeita ao fissuramento, aplicar o revestimento impermeabilizante de base mineral, na parte da estrutura que ficará imersa, que pode ser utilizado em estruturas que operam com efluentes, com aderência a substratos de concreto, sob a forma de pintura.

- Aplicação de Sistema Protetor no Ferrocimento (Local de aplicação: Faces internas do reator, acima da lâmina d'água, inclusive separador trifásico)

Para proteção da estrutura de ferrocimento situada na região gasosa do reator, de maneira a impedir o escape de gases e o ataque da armadura pelos componentes corrosivos presentes no biogás, sugere-se sistema de proteção base epóxi ou poliuretano.

a) Camada de Nivelamento

Deve-se aplicar um revestimento à base de resina epóxi e cimento, sem solventes, para nivelamento de superfícies de concreto e argamassa, além de barreira temporária ao vapor. Esta camada deve ser aplicada previamente à aplicação de revestimentos Epóxi ou Poliuretano, sobre substratos com alto teor de umidade ou concreto “verde”, permitindo redução do tempo para aplicação de revestimentos resinados em substratos úmidos. O revestimento a ser aplicado deverá possuir as seguintes características: Base de resina epóxi e cimento; Alta resistência química; Impermeável a líquidos, mas permeável ao vapor d'água.

b) Aplicação de Resina Epóxi

Sobre a superfície de ferrocimento obrigatoriamente preparada com a camada de nivelamento, deve ser aplicada uma camada de resina epóxi de alta resistência química, possuindo as características de impermeabilidade a líquidos e barreira ao vapor d'água, teor de sólidos de 100%, resistência à compressão de 50 MPa. Essa camada de resina deverá resistir contra ataques químicos de existentes no meio, tais como, ácido sulfúrico 20%, ácido sulfúrico biogênico, gás sulfídrico, Dióxido de Carbono e metano.

- Instalação de Tubos de Distribuição, Escada de Acesso, Guarda-corpo e Tampas de Inspeção. (Local de aplicação: Reator)
- Sistema de Queima de Biogás (Local de aplicação: Coleta do biogás)

De acordo com projeto da ETE de Carneirinho a produção de biogás nos reatores situa-se em torno de 0,480 m<sup>3</sup> de biogás por Kg de DBO aplicado. Após execução de nova estrutura em ferrocimento, promover a instalação de sistema de coleta, transporte e queima do biogás produzido nos reatores, diminuindo a incidência da atmosfera agressiva interna e dando destinação adequada dos gases com a queima do metano.

- Pintura das Superfícies (Local de aplicação: faces externas do reator)

Todas as fachadas externas visíveis do reator deverão ser preparadas e pintadas para proteção estética e visual. Deverá ser aplicada pintura com membrana líquida de base acrílica, com características de elasticidade, resistente à intempéries.

Após conclusão dos serviços de recuperação dos reatores, podem-se ser visualizados conforme figura 4, abaixo.



**Figura 4 - Detalhe dos reatores recuperados e sistema de Biogás implantado**

#### CUSTOS DE RECUPERAÇÃO DE REATORES

Através da análise de custos de recuperação dos reatores, foi verificado a sua viabilidade financeira, conforme estudo comparativo de custos abaixo.

	ETE	Investimento / Reator	Indicador (R\$/l/s)
Recuperação	ETE Teixeira - Betim; Q = 10 a 16 l/s (2 reatores 400 m³) (Custos para limpeza, demolição, reconstrução, proteção gasosa e impermeabilização submersa, itens de segurança...)	R\$ 185.390,25	R\$ 37.078,05
Recuperação	ETE Carneirinho; Q = 8 a 10 l/s (2 reatores 250 m³) (Custos para limpeza, demolição, reconstrução, proteção gasosa e impermeabilização submersa, itens de segurança...)	R\$ 129.670,00	R\$ 32.417,50
Construção	ETE Padrão Concreto Armado Q=5l/s Separadores Trifásicos em Aço Inoxidável (Sem Proteção Concreto)	R\$ 397.050,00	R\$ 79.410,00
Construção	ETE Padrão Concreto Armado Q=10l/s Separadores Trifásicos em Aço Inoxidável (Sem Proteção Concreto)	R\$ 780.000,00	R\$ 78.000,00

#### CONCLUSÕES

Construir estruturas em ferrocimento com durabilidade e vida útil de no mínimo 20 (vinte) anos é possível, desde que seguindo as orientações para uso de materiais de qualidade, execução bem orientada e uma política de manutenção estrutural periódica e adequada.

No caso de ocorrência de patologias, os custos de recuperação e/ou proteção, quando necessárias, são factíveis e estimulam a construção cada vez mais aprimorada de ETE em ferrocimento.

Os resultados das intervenções podem assim, resultar na completa e perfeita reabilitação das unidades, com extensão de sua vida útil para operação.

A vida útil das unidades operacionais dos sistemas de tratamento de água e de esgotos sanitários com estruturas em ferrocimento pode ser tão longa quanto as similares em concreto armado, desde que construídas com as técnicas adequadas, dotadas de sistemas de proteção contra a agressividade dos meios e sendo periodicamente inspecionadas.

É possível analisar cada caso, projetar e executar reparos, reforços e proteções, reabilitando-as de modo viável.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. ANDRADE, Márcio A.N., BEZERRA, Francisco D., CARVALHO, Paulo C.M., OLIVEIRA, Cleber R. Cartilha do biodigestor rural em ferrocimento artesanal. Fortaleza: Centro de Tecnologia da UFC, 1994. 40 p.
2. CHERNICHARO, Carlos A.L. Reatores Anaeróbios. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997, 2007. 380 p. – (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias; 5).
3. COPASA. Norma Técnica T.186: Ferrocimento para obras de saneamento. Belo horizonte: Sistema de Normalização Técnica COPASA MG, 1998. 18 p.
4. INTERNATIONAL FERROCEMENT SOCIETY; Intenational Ferrocement Information Center; Asian Institute o Technology; Reported by IFS Committee 10. Ferrocement Model Code: Building Code Recommendations for Ferrocement (IFS 10-01). Pathumthau, Thailand: The Society, 2001. 98 p.
5. PINTO, J., TAKAGI, E.M. Sistemas de impermeabilização e proteção para obras de saneamento: obras de saneamento. In: Revista Concreto. P.73-79.
6. WAINSHOTOK RIVAS, Hugo. Ferrocemento: Diseño y Construcción. La Habana: Cuba, 1991, 3. ed. Guayaquil, Ecuador, 1998. 227 p., il. color.