



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Victor Esaú Carlos da Silva

Avaliação das condições de integridade e disponibilidade do sistema de combate a incêndio de um condomínio residencial após falha: corrosão na rede de hidrantes e funcionalidade do sistema de recalque.

MOSSORÓ

2025

Victor Esaú Carlos da Silva

Avaliação das condições de integridade e disponibilidade do sistema de combate a incêndio de um condomínio residencial após falha: corrosão na rede de hidrantes e funcionalidade do sistema de recalque.

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Marta Ligia Pereira da Silva, Profa. Dra.

Co-orientadora: Kalyanne Keyly Pereira Gomes, Profa. Dra.

MOSSORÓ

2025

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S
587 a Silva, Victor Esaú Carlos da.
Avaliação das condições de integridade e
disponibilidade do sistema de combate a incêndio
de um condomínio residencial após falha: corrosão
na rede de hidrantes e funcionalidade do sistema
de recalque. / Victor Esaú Carlos da Silva. -
2025.
50 f. : il.

Orientadora: Marta Ligia Pereira da Silva.
Coorientadora: Kalyanne Keyly Pereira Gomes.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de , 2025.

1. Corrosão. 2. Incêndio. 3. Rede de
hidrantes. 4. Tubos galvanizados. I. Silva, Marta
Ligia Pereira da, orient. II. Gomes, Kalyanne
Keyly Pereira , co-orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Victor Esaú Carlos da Silva

Avaliação das condições de integridade e disponibilidade do sistema de combate a incêndio de um condomínio residencial após falha: corrosão na rede de hidrantes e funcionalidade do sistema de recalque.

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 05 / 08 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Marta Ligia Pereira da Silva, Profa. Dra. (UFERSA)
Presidente

Kalyanne Keyly Pereira Gomes, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Tiago Fernandes de Oliveira, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Por acreditar em uma força maior, agradeço primeiramente a Deus por me conceder saúde, determinação e perseverança, permitindo a conclusão deste curso.

À professora Dra. Marta Ligia Pereira da Silva, minha orientadora, agradeço pela orientação, dedicação e conhecimento compartilhado, sua contribuição foi fundamental para a realização deste trabalho.

Agradeço à banca examinadora, composta pela professora Dra. Kalyanne Keyly Pereira Gomes e pelo professor Dr. Tiago Fernandes de Oliveira, pela disponibilidade em avaliar este trabalho.

Estendo meus agradecimentos à minha namorada, à minha família e aos amigos mais próximos, que sempre me incentivaram e me ofereceram apoio quando precisei.

RESUMO

Este trabalho aborda a inspeção em um sistema de combate a incêndio (SCI) de um edifício residencial localizado no bairro Costa e Silva em Mossoró -RN, tendo como base um caso real de falha, nesse condomínio, no acionamento do sistema durante um incêndio em um dos apartamentos. O objetivo principal foi identificar as causas da falha de funcionamento e verificar a existência de corrosão na rede pressurizada e nos componentes como: bomba de recalque, quadros de comando, tubulações e qualidade da água aprisionada nas tubulações. Para maiores evidências nos resultados, foi realizada uma análise qualitativa e quantitativa da presença de íons de ferro e de óxidos de ferro Fe_2O_3 em amostras de água que foram coletadas da rede de hidrantes, confirmando a ocorrência de corrosão interna nas tubulações. Como resultado, foram identificados os fatores que levaram o sistema a falha e implementadas ações corretivas e preventivas, como manutenção nos equipamentos danificados, otimização com a instalação de sinalizadores de acionamento da bomba de recalque, alertas sonoros de nível e a implementação de testes periódicos de disponibilidade do sistema. A conclusão do estudo trouxe benefícios materiais como o retorno do pleno funcionamento do SCI e imateriais como o conhecimento adquirido ao ser realizado esse estudo, evidenciou também a importância de inspeções periódicas em sistemas de SCI e sugeriu levantamento para adoção futura de ânodos de sacrifício como método para o retardo da degradação e consequentemente mais confiabilidade do sistema.

Palavras-chave: Corrosão; Incêndio; Rede de hidrantes; Tubos galvanizados.

ABSTRACT

This work addresses the inspection of a fire protection system (FPS) in a residential building located in the Costa e Silva neighborhood in Mossoró, RN, based on a real failure case which, in condominium, the system was activated during a fire in one of the apartments. The main objective was to identify the causes of the system malfunction by verifying the existence of corrosion in the pressurized water network and its components such as the pump and the piping. To provide stronger evidence in the results, a qualitative and quantitative analysis was carried out to detect the presence of iron ions and iron oxides (Fe_2O_3) in water samples collected from the hydrant network, confirming the occurrence of internal corrosion in the pipes. As a result, the factors that led the system to fail were identified, and corrective and preventive actions were implemented, such as maintenance of damaged equipment, optimization with the installation of pump activation indicators, level sound alarms, and the implementation of periodic tests to verify the systems availability. The conclusion of the study brought material benefits, such as the restoration of the FPS full functionality, and intangible benefits, such as the knowledge acquired during the study. It also highlighted the importance of regular inspections of FPS systems and suggested further research for the future adoption of sacrificial anodes as a method to delay degradation and consequently increase the reliability of the system.

Keywords: Corrosion; Fire; Hydrant network; Galvanized pipes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Ciclo dos metais.....	16
Figura 2- Processo corrosivo do ferro.	17
Figura 3- Tubulações enferrujadas.	18
Figura 4- Formas de corrosão.....	20
Figura 5- Tubos galvanizados.....	21
Figura 6- Potencial- padrão em volts.....	22
Figura 7- Proteção do ferro com o zinco.	24
Figura 8 - Filtração simples.	28
Figura 9- Princípio de funcionamento	28
Figura 10- Filtrando amostra com Kitassato.	30
Figura 11- Amostras filtradas.....	30
Figura 12- Bomba de recalque.....	31
Figura 13- Quadro de comando da bomba de recalque.	32
Figura 14- Bobina danificada.	32
Figura 15- Bobina nova.	33
Figura 16- Chave de fluxo.	33
Figura 17- Sinalizadores instalados.....	34
Figura 18- Amostras filtradas.....	38
Figura 19- Amostra quatro filtrada.....	38
Figura 20- Evidência de vazamento.	39
Figura 21- Eixo danificado.....	39
Figura 22- Eixo restaurado.	40
Figura 23- Bomba de recalque após manutenção.....	41
Figura 24- Hidrante de recalque.	41
Figura 25- Hidrante do térreo.	42
Figura 26- Tubulações de descarga e sucção.....	42
Figura 27- Furo na tubulação.....	43
Figura 28- Reparo emergencial realizado na tubulação.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Massa de sólidos das amostras.	35
Tabela 2- Concentração das amostras.	36
Tabela 3- Taxa de corrosão.	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Água pressurizada
AVCB	Auto de vistoria do corpo de bombeiros
CV	Cavalo-vapor
LPM	Litro por minuto
ME	Medição de espessura
PQS	Pó químico seco
QC	Quadro de comando
RTI	Reserva técnica de incêndio
SCI	Sistema de combate a incêndio
TH	Teste hidrostático
PIB	Produto interno bruto

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivo geral.....	14
2.2 Objetivos específicos.....	14
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	15
3.1 Corrosão: Conceito.....	15
3.1.1 Processo Eletroquímico e Mecanismos.....	16
3.1.2 Formas de Corrosão.....	18
3.2 Tubos galvanizados: Conceito.....	20
3.2.1 Tipos de revestimentos.....	21
3.2.2 Métodos de aplicação.....	22
3.2.3 Processo Eletroquímico e Mecanismos.....	24
4. METODOLOGIA.....	26
4.1 Instalações e sistemas.....	26
4.2 Procedimento de análise da amostra.....	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
5.1 Sistema de recalque – Quadro de comando (QC).....	31
5.2 Análise da água.....	34
5.3 Bomba de água.....	38
5.4 Tubulação da rede pressurizada de hidrantes.....	41
6. CONCLUSÃO.....	45
7. REFERÊNCIAS.....	46
ANEXO A – AVCB.....	48
.....	48
ANEXO B - PLANTA BAIXA PAVIMENTO TÉRREO.....	49
.....	49
ANEXO C – COBERTURA E ESQUEMA VERTICAL.....	50
.....	50

1. INTRODUÇÃO.

A segurança contra incêndios é essencial em todos os tipos de edificações, seja em industriais, comerciais e prédios residenciais. Sobre esse tipo de evento a segurança é promovida com o sistema de combate a incêndio (SCI), cuja instalação é obrigatória para o pleno funcionamento regular do edifício. No entanto apenas sua instalação não garante ser suficiente sem que haja uma atenção à sua disponibilidade, manutenção e inspeção adequada a fim de manter a eficácia do sistema, seja na parte elétrica/automação ou estrutural nas tubulações do sistema de recalque.

Os SCI são de suma importância para segurança em condomínios residenciais e desempenham um papel fundamental na preservação da vida de pessoas e integridade de patrimônios. Quando há uma situação de emergência, como um princípio de incêndio, ele pode ser controlado com os extintores de combate a incêndio portáteis, porém esses equipamentos são limitados e muitas vezes se faz necessário a utilização da rede de hidrantes pressurizada que pode ser construída com tubos galvanizados. A falha desse sistema compromete a segurança dos moradores e das instalações podendo causar cenários caóticos, grandes prejuízos financeiros e perdas incalculáveis como a vida de pessoas.

Segundo a Associação Nacional de Engenheiros de Corrosão (NACE), atualmente conhecida como AMPP (Associação de Proteção de Material e Performance), estima-se que aproximadamente 3,4% do Produto Interno Bruto (PIB) global, o equivalente a US\$ 2,5 trilhões sejam perdidos anualmente devido à corrosão de materiais metálicos. A prática de estratégias eficazes de controle da corrosão poderia reduzir entre 15 e 35% desses custos, representando uma economia de US\$ 375 a US\$ 875 bilhões por ano em escala mundial. Esses valores podem ser ainda maiores, uma vez que os cálculos geralmente não incluem perdas indiretas relacionadas à segurança das pessoas ou impactos ambientais (KOCH, 2016).

O metal está presente em praticamente todos os aspectos da vida moderna. O aço utilizado na fabricação de tubos galvanizados também compõe os meios de transporte, como caminhões, trens e metrô. Está presente ainda em unidades de geração de energia como hidrelétricas, usinas nucleares e plataformas de extração de petróleo. Além disso, integra a estrutura de máquinas industriais responsáveis pela produção de bens que, mesmo sem conter metais em sua composição dependem de equipamentos metálicos para serem fabricados. Na construção civil o aço se faz presente em moradias, indústrias, viadutos, tubulações e inúmeras outras aplicações. Sendo o material mais reciclado do mundo, com 40% da produção mundial de aço proveniente da sucata ferrosa (PANNONI, 2015).

Um setor que também sofre com custos e intervenções é o da construção civil, não apenas com estruturas, mas onde o uso de tubos de aço galvanizado em sistemas prediais como SCI é comum. Essas estruturas, quando não submetidas a inspeções periódicas e métodos de proteção anticorrosiva adequados, tornam-se vulneráveis ao desgaste precoce, comprometendo a segurança da edificação e exigindo altos custos de manutenção ou falhas inesperadas.

Em um condomínio localizado no bairro Costa e Silva na cidade de Mossoró-RN, ocorreu um evento de falha do SCI, em maio de 2022. Nesse dia houve o início de um incêndio na cozinha do apartamento 205 localizado no terceiro pavimento do prédio. Os moradores utilizaram os extintores de pó químico (PQS) e de água pressurizada (AP) e logo viram a necessidade de acionarem o sistema da rede de hidrantes pressurizada, então fizeram o lançamento de uma mangueira de 1,5 polegadas e ao abrir a válvula do hidrante notaram que a vazão estava muito baixa. Nesse momento o sistema operava apenas com a pressão piezométrica, ou seja, apenas a pressão da coluna de líquido da caixa de água até a saída no hidrante que estava sendo utilizado, sem que a bomba de recalque funcionasse. Diante dessa situação houve uma grande dificuldade para combater o fogo. Felizmente havia mais extintores de pó químico disponíveis no prédio e com a combinação dos dois agentes extintores foi possível apagar o fogo, sem vítimas.

Esse incidente levanta questões importantes a serem analisadas, como a falta de inspeção, que pode prejudicar o sistema, quais foram os fatores que levaram para o mal funcionamento e que ações mitigadoras foram adotadas para corrigir e prevenir falhas.

2. OJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar as causas do mau funcionamento do sistema de combate a incêndio (SCI) em um condomínio, identificando a existência e a localização de corrosão eletroquímica na rede pressurizada de hidrantes, bem como propor e, quando possível, implementar soluções corretivas e preventivas.

2.2 Objetivos específicos

- Verificar por meio de análise laboratorial de amostras de água coletada *in loco*, a presença de substâncias provenientes da corrosão na rede pressurizada de hidrantes;
- Identificar através de inspeção visual pontos de corrosão nas tubulações e na bomba de recalque do sistema;
- Levantar e descrever os principais problemas encontrados na rede pressurizada de hidrantes do sistema de combate a incêndio;
- Propor soluções corretivas para os problemas diagnosticados, e sempre que viável, sua aplicação prática;
- Sugerir ações preventivas com o objetivo de evitar futuras falhas no sistema.

3. REVISÃO DA LITERATURA.

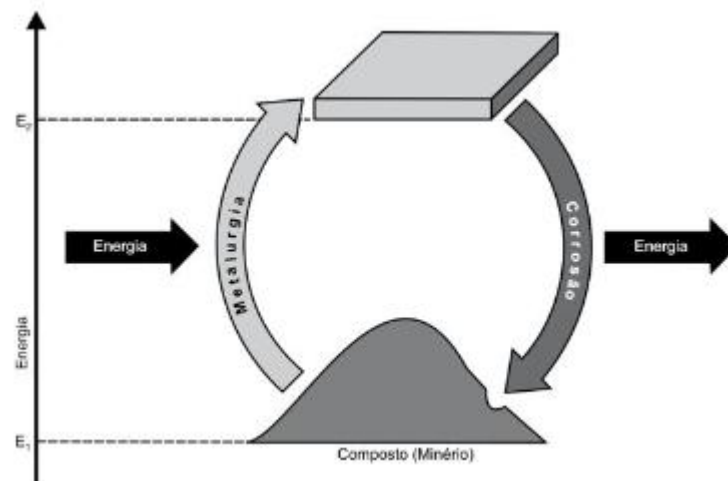
3.1 Corrosão: Conceito

A corrosão é um fenômeno natural de deterioração de materiais, metálicos ou não, por meio de processos químicos ou eletroquímicos resultantes da interação com o meio ambiente, sendo geralmente espontâneo. O ferro, por exemplo, é obtido a partir de minérios naturais através de processos metalúrgicos que consomem energia para convertê-lo em um estado metálico mais instável. Quando exposto ao ambiente, especialmente na presença de umidade e oxigênio, o ferro tende a retornar ao seu estado mais estável, formando compostos como óxidos ou hidróxidos que são produtos característicos da corrosão. Alguns autores estendem o conceito de corrosão também à deterioração de materiais como concreto, borracha, polímeros e madeira, quando causada por reações químicas com o meio, por exemplo, se uma borracha perde sua capacidade de esticar devido à ação química isso também pode ser considerado como corrosão. (TAJCHMAN, 1985; GENTIL, 2011).

Por outro lado, quando a degradação é de natureza apenas física ou mecânica, como nos casos de erosão, cavitação ou abrasão, não se trata de corrosão, mas a atuação simultânea de processo mecânico destrutivo, e químico como a corrosão, pode intensificar a deterioração do material (SERRA, 2014).

O processo corrosivo pode ser interpretado como o inverso da siderurgia. Enquanto a indústria transforma minérios em metais por meio da aplicação de energia, a corrosão desfaz esse processo, degradando o metal e retornando-o à forma de composto estável que inicialmente entrou no processo metalúrgico, como o óxido de ferro hematita (Fe_2O_3) ou a ferrugem hidratada ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), ou seja, como dito anteriormente, o metal tende a retornar à condição de menor energia, a condição de estabilidade (GENTIL, 2011; SERRA, 2014; NUNES, 2007). A Figura 1 mostra o ciclo do metal.

Figura 1- Ciclo dos metais



Fonte: Nunes, 2007.

Esse fenômeno está amplamente presente no cotidiano, perceptível mesmo a leigos, seja em utensílios domésticos oxidados, portões corroídos, ou armaduras expostas em estruturas de concreto. Além de desagradar em aspectos visuais, a corrosão compromete a integridade mecânica e a funcionalidade dos equipamentos e estruturas metálicas, e mais que isso, a segurança estrutural, podendo gerar desde custos elevados a consequências catastróficas, se tratando de meio ambiente e vida humana.

Outro ponto relevante é a conservação de reservas minerais. Como o processo corrosivo é um fenômeno que está permanentemente acontecendo, se faz necessário a produção adicional de materiais metálicos para reposição desses que foram deteriorados. A literatura informa que cerca de 25% da produção mundial de aço é destinada à reposição de material perdido pela corrosão (GENTIL, 2011).

No Brasil a corrosão também representa uma significativa perda econômica e estrutural. Estudos revelam que as perdas causadas pela corrosão correspondem de 1% a 5% do PIB nacional. É estimado que em 2019 o Brasil teve um gasto de aproximadamente 4% do PIB (R\$ 290 bilhões) com manutenção contra corrosão (IBRAM, 2020).

3.1.1 Processo Eletroquímico e Mecanismos.

Os processos corrosivos podem ser classificados em dois grupos: a corrosão química e a corrosão eletroquímica. Estes grupos contemplam todos os casos de degradação do metal por corrosão (OLIVEIRA, 2013).

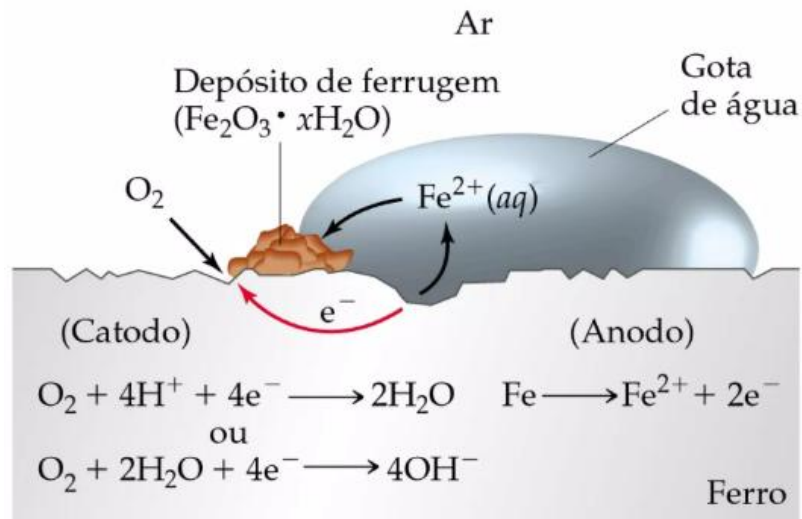
A corrosão galvânica acontece a partir do contato elétrico de diferentes tipos de metais em meio a um eletrólito, onde quanto maior a diferença de potencial desses materiais, mais

agressivo será o processo corrosivo. Outro fator muito importante a ser levado em consideração é a relação entre as áreas anódicas e catódicas, onde as áreas anódicas devem ser significativamente maiores que as catódicas em razão de promover desgaste menor e mais uniforme (DUTRA, 2011).

O processo de corrosão eletroquímica para os materiais metálicos consiste em uma reação onde há transferência de elétrons de uma espécie química para a outra, em que alguns cedem e outros recebem elétrons. O fenômeno de perder ou ceder elétrons é chamado de oxidação ou reação anódica, pois o local onde ocorre a reação é no ânodo. Já os elétrons que foram gerados a partir da reação de oxidação são transferidos para outra espécie química, em um fenômeno chamado de reação de redução, que ocorre no cátodo. Nesse remanejamento dos elétrons o total de carga da oxidação deve ser igual ao total de carga da redução, logo, não deve haver acúmulo de cargas elétricas dos elétrons e íons, e todos os elétrons da oxidação devem necessariamente ser consumidos pela redução (CALLISTER, 2016).

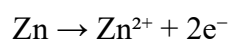
A Figura 2 ilustra o processo corrosivo do ferro.

Figura 2- Processo corrosivo do ferro.

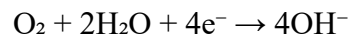
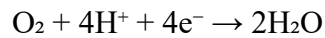


Fonte: Brown, 2005.

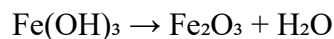
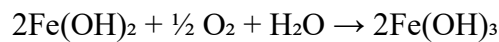
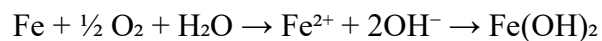
Dois exemplos de reações anódicas quando está ocorrendo corrosão referentes a este trabalho são a do ferro, saindo de ferro sólido e oxidando a Fe^{2+} , e a do zinco, saindo de zinco sólido se oxidando a Zn^{2+} . A seguir estão as semirreações (CALLISTER, 2016):



Outros dois exemplos, agora de reações catódicas quando está ocorrendo corrosão são, quando ocorre em solução ácida contendo oxigênio, e quando ocorre em soluções neutras ou básicas com oxigênio, cujas semirreações são mostradas a seguir (CALLISTER, 2016):



A ferrugem é formada pela oxidação do ferro em água na presença de oxigênio. Inicialmente, ocorre a formação do hidróxido ferroso $\text{Fe}(\text{OH})_2$, que posteriormente se oxida a hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Como o hidróxido $\text{Fe}(\text{OH})_3$ é instável, ele desidrata ao longo do tempo formando óxido de ferro Fe_2O_3 . Esse processo é descrito pelas seguintes reações (CALLISTER, 2016):



Na figura 3 pode ser visto um exemplo de tubos enferrujados.

Figura 3- Tubulações enferrujadas.



Fonte: Rodrigues, 2025.

3.1.2 Formas de Corrosão

Após a explicação de como ocorre o processo de corrosão, tomando como exemplo a oxidação do ferro, serão abordadas as formas de corrosão. Existem várias formas de corrosão, e caracterizá-las levando em consideração a morfologia ajuda no entendimento do mecanismo

e na aplicação de medidas de proteção adequadas. As formas de corrosão são: uniforme, por placas, alveolar, puntiforme ou por pite, intergranular, intragranular, filiforme, por esfoliação, gráfitica, dezincificação, empolamento pelo hidrogênio, e em torno de cordão de solda (GENTIL, 2011; NUNES, 2007).

- Corrosão uniforme: perda homogênea da espessura da peça em toda a superfície;
- Por placas: formação de placas com escavações em áreas específicas;
- Alveolar: escavações semelhantes a alvéolos, de profundidade menor que o diâmetro;
- Puntiforme (pite): regiões muito pequenas com profundidade maior que o diâmetro;
- Intergranular: ocorre entre os contornos de grão da rede cristalina;
- Transgranular: ocorre dentro dos grãos da rede cristalina;
- Filiforme: aparece sob películas de tinta como filamentos delgados;
- Esfoliação: corrosão paralela à superfície, comum em chapas extrudadas;
- Gráfitica: o ferro fundido cinzento é corroído, restando apenas grafite;
- Dezincificação: ocorre em ligas de cobre-zinco, admite que ocorre uma corrosão preferencial do zinco;
- Empolamento pelo hidrogênio: difusão do hidrogênio, formando bolhas;
- Corrosão em torno do cordão de solda: comum em aços inoxidáveis com teor elevado de carbono, gerando corrosão intergranular.

A Figura 4 ilustra os padrões característicos dessas formas.

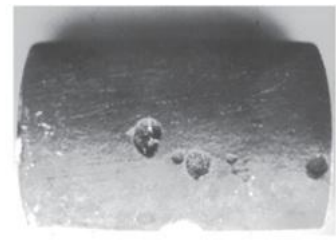
Figura 4- Formas de corrosão.



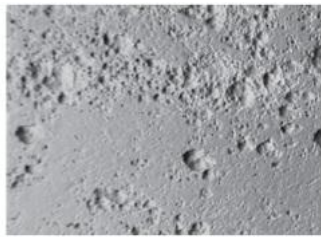
Uniforme



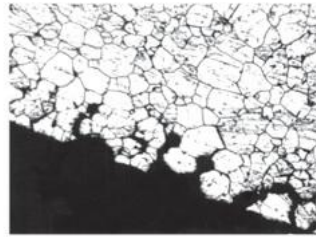
Em placas



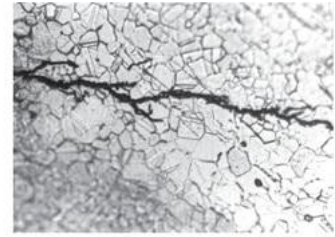
Alveolar



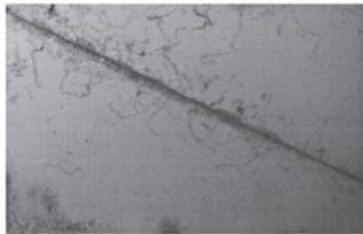
Puntiforme (pite)



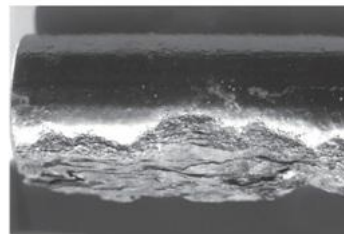
Intergranular



Transgranular



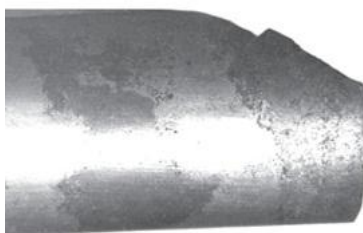
Filiforme



Por esfoliação



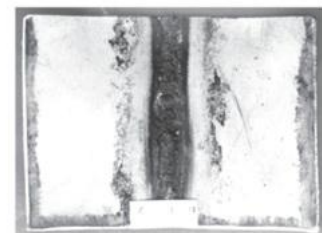
Grafítica



Dezincificação



Empolamento pelo hidrogênio



Em torno de solda

Fonte: Gentil, 2011.

3.2 Tubos galvanizados: Conceito

O tubo galvanizado (Figura 5), também conhecido como aço galvanizado, é fabricado a partir de ferro ou aço-carbono que passa por um processo de revestimento metálico chamado de galvanização, no qual uma camada de zinco é aplicada com o objetivo de aumentar a resistência e durabilidade do material frente à corrosão. Esse revestimento atua como uma

proteção adicional, sendo amplamente utilizado em sistemas de proteção contra incêndio (SCI), redes hidráulicas, estruturas metálicas e outras aplicações industriais (TUBOS ABC, 2025; ZEUS DO BRASIL, 2025).

Figura 5- Tubos galvanizados.



Fonte: Atitubos, 2025

A galvanização entrega diversos benefícios, como resistência à oxidação em contatos elétricos, efeito decorativo, endurecimento superficial, restauração de peças e, principalmente, proteção anticorrosiva. A eficácia do revestimento se dá, em grande parte, pela formação de películas de óxidos, hidróxidos ou outros compostos protetores, resultantes da reação com o meio corrosivo. Além disso, os metais utilizados nesses revestimentos costumam apresentar elevado valor de sobretensão, o que os torna mais resistentes à corrosão mesmo em meios ácidos e pouco oxigênio. (GENTIL, 2011).

3.2.1 Tipos de revestimentos

É importante compreender a diferença entre os revestimentos catódicos e anódicos. Nos revestimentos catódicos não deve haver falhas ou imperfeições na superfície, pois pode resultar na formação de pilhas galvânicas agressivas, uma vez que pequenas áreas anódicas estão expostas em meio a uma grande área catódica. Isso acelera a corrosão do metal base. Já nos revestimentos anódicos, como no caso da galvanização com zinco, uma pequena falha no revestimento não comprometerá a proteção, uma vez que o próprio revestimento atua como ânodo de sacrifício, ou seja, terá uma grande área anódica para uma pequena área catódica. (GENTIL, 2011).

Aplicando esse conceito ao tema desse trabalho, fica claro a importância de evitar a combinação de metais distintos em instalações com tubos galvanizados, especialmente em pontos de ancoragem e conexões. O uso de materiais com potenciais eletroquímicos muito diferentes pode ocasionar corrosão galvânica resultando em perda de material e comprometimento estrutural. Por exemplo, é possível ver na Figura 6 que o cobre possui um potencial de redução significativamente maior que o ferro e que o zinco, assim o uso de conexões ou parafusos de cobre em sistemas de tubos galvanizados pode provocar a deterioração acelerada do zinco, prejudicando a integridade do SCI.

Figura 6- Potencial- padrão em volts.

	<i>Reação do Eletrodo</i>	<i>Potencial-padrão de Eletrodo, V^0 (V)</i>
	$\text{Au}^{3+} + 3e^- \longrightarrow \text{Au}$	+1,420
	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^- \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	+1,229
	$\text{Pt}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Pt}$	~+1,2
	$\text{Ag}^+ + e^- \longrightarrow \text{Ag}$	+0,800
	$\text{Fe}^{3+} + e^- \longrightarrow \text{Fe}^{2+}$	+0,771
	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- \longrightarrow 4(\text{OH}^-)$	+0,401
	$\text{Cu}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Cu}$	+0,340
	$2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2$	0,000
	$\text{Pb}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Pb}$	-0,126
	$\text{Sn}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Sn}$	-0,136
	$\text{Ni}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Ni}$	-0,250
	$\text{Co}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Co}$	-0,277
	$\text{Cd}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Cd}$	-0,403
	$\text{Fe}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Fe}$	-0,440
	$\text{Cr}^{3+} + 3e^- \longrightarrow \text{Cr}$	-0,744
	$\text{Zn}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Zn}$	-0,763
	$\text{Al}^{3+} + 3e^- \longrightarrow \text{Al}$	-1,662
	$\text{Mg}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Mg}$	-2,363
	$\text{Na}^+ + e^- \longrightarrow \text{Na}$	-2,714
	$\text{K}^+ + e^- \longrightarrow \text{K}$	-2,924

Fonte: Callister, 2016

3.2.2 Métodos de aplicação

Para que o revestimento se una à parede do metal a ser protegido, existem técnicas de aplicação, onde destacam-se:

- **Cladização** (laminação a quente entre metal-base e revestimento);
- **Imersão a quente** (imersão da peça no metal fundido);
- **Metalização ou aspersão térmica** (com pistola de metalização ou aspersão);
- **Eletrodeposição** (através do processo de eletrólise);

- **Cementação** (pó metálico com fluxo controlado em alta temperatura permitindo a difusão do metal pulverizado);
- **Deposição em fase gasosa** (a peça é aquecida e passada na substância volatilizada contendo sal do metal que será usado como revestimento);
- **Deposição química** (por meio da redução de íons metálicos em solução). (GENTIL, 2011; DUTRA, 2011; ALVES, 2020)

Há dois processos que são utilizados com maior frequência para aplicação de revestimento de zinco em aço, sendo eles a imersão a quente e a eletrodeposição. A escolha do método irá depender de alguns fatores como a geometria do metal, tamanho, espessura do revestimento e aparência desejada da superfície (TOMACHUK, 2015).

A imersão a quente é um processo antigo, mas muito utilizado com os metais zinco, estanho, chumbo e alumínio pois apresentam ponto de fusão relativamente baixo (para o zinco a temperatura do metal fundido no processo é de 430°C a 470°C). A técnica consiste no banho da peça no metal fundido de revestimento, que ao ser mergulhada é formado imediatamente na superfície da peça uma camada de ferro-zinco e outra de zinco puro. No processo final o revestimento passa a ter mais resistência à degradação corrosiva, aumentando assim a vida útil do revestimento.

Em relação à espessura da proteção no processo a quente é difícil adquirir películas finas como obtidas no processo de eletrodeposição. Normalmente a espessura no processo a quente é bem maior (ALVES, 2020; TAJCHMAN, 1985). O processo de galvanização por imersão a quente é regulamentado pela NBR 6323 de 07/2016 - Galvanização por imersão a quente de produtos de aço e ferro fundido.

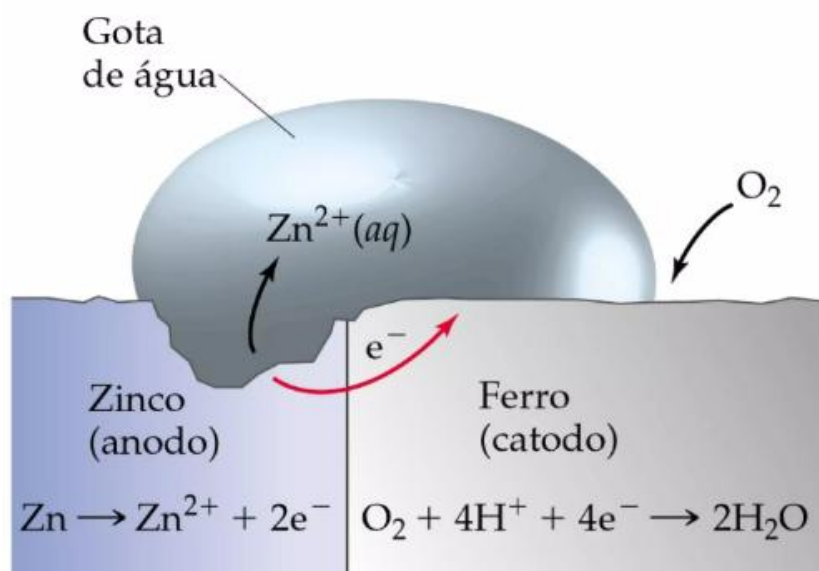
Já a eletrodeposição é um processo de revestimento metálico também muito utilizado devido sua característica que permite controle fino da espessura da camada e melhor uniformidade. É um processo de eletrólise onde no conjunto da célula eletrolítica o metal que recebe o revestimento é o cátodo (reduz os íons formando a película metálica) conectado ao polo negativo da fonte de alimentação. Já o ânodo está no polo positivo (sofre oxidação liberando íons metálicos na solução) e normalmente tem a mesma composição da película que será formada. Ambos estão em uma solução aquosa que contém íons metálicos onde será recomposto mantendo a concentração do banho. Se o ânodo for de material inerte a solução terá que ser abastecida continuamente mantendo a concentração. Nesse processo ao mesmo passo que ocorre a deposição, há também a dissociação da água em oxigênio no ânodo e hidrogênio no cátodo (ALVES, 2020; LIMA, 2020). O processo de eletrodeposição de zinco é

regulamentado pela NBR 10476 2016 - Revestimento de zinco eletro depositado sobre Ferro ou Aço.

3.2.3 Processo Eletroquímico e Mecanismos.

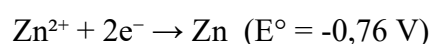
O ferro galvanizado, que nesse caso é o tubo galvanizado, utiliza dos princípios da eletroquímica fazendo com que o zinco promova proteção ao ferro mesmo que o revestimento da superfície da tubulação seja rompido (BROWN, 2005). É possível ver o mecanismo de proteção na Figura 7 com o ferro e o zinco exposto ao meio.

Figura 7- Proteção do ferro com o zinco.



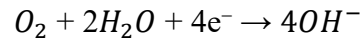
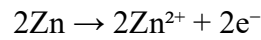
Fonte: (Brown, 2005)

Para entender é necessário verificar os potenciais padrão de redução do ferro e do Zinco que foram mostrados anteriormente na Figura 06, sendo eles (CALLISTER, 2016):

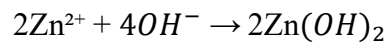
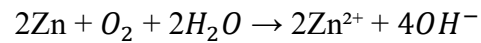


Nota-se que o valor para o potencial padrão de redução do Fe^{2+} é maior em comparação com o Zn^{2+} , ou seja, Fe^{2+} tem uma maior tendência a ser reduzido. Então mesmo que haja a ruptura da camada de zinco e o ferro seja exposto a água e oxigênio, essa diferença entre os potenciais garante que, em meio aquoso e na presença de oxigênio, o zinco funcione como ânodo da pilha eletroquímica, preservando o ferro como cátodo. (BROWN, 2005).

Nas atmosferas úmidas ocorre a oxidação do zinco na região anódica e a redução do oxigênio na região catódica, formando como produto principal o hidróxido de zinco, $Zn(OH)_2$, o que caracteriza o princípio da proteção catódica do ferro promovida pelo zinco (PANNONI, 2015). As equações das semi-reações são mostradas a seguir (CALLISTER, 2016):



Por fim, a reação global dos pares de semireações com a formação do hidróxido de zinco (CALLISTER, 2016):



A formação do hidróxido de zinco sobre a superfície do revestimento ajuda a retardar o avanço da corrosão, pois atua como uma barreira física entre o meio externo e o metal base.

4. METODOLOGIA

Nesta seção serão descritas as etapas de execução da verificação e das análises do sistema de combate a incêndio.

4.1 Instalações e sistemas.

A primeira parte deste trabalho tem como foco a inspeção na rede pressurizada e no sistema de recalque do SCI do condomínio, localizado no bairro Costa e Silva, Mossoró/RN. O edifício é composto por quatro pavimentos: o térreo, destinado à garagem, salão de festas, academia, brinquedoteca e área de lazer, e três pavimentos superiores, cada um contendo cinco apartamentos de modelos distintos. A obra foi concluída no final do ano de 2012, recebendo o AVCB no início de 2013 (ANEXO A).

O SCI do condomínio é constituído por dois tipos principais de proteção: extintores portáteis e hidrantes, além de um sistema de iluminação e sinalização de emergência. A proteção por extintores é composta por sete extintores PQS de 4 kg, um extintor PQS de 12 kg e sete extintores AP de 10 litros. A proteção por hidrantes é formada por quatro hidrantes de combate interno (um em cada pavimento) e um hidrante de fachada para uso externo.

Onde foi possível ter acesso, foi realizada uma inspeção visual completa nas tubulações da rede pressurizada de hidrantes, nos abrigos de mangueiras localizados em cada pavimento, incluindo o hidrante de fachada situado na calçada do condomínio, bem como no abrigo da bomba de recalque. A localização dos hidrantes e do sistema de recalque está detalhada nos projetos de combate a incêndio anexados (ANEXOS B e C).

Por se tratar de um estudo com foco específico no sistema de hidrantes pressurizados, é apresentada uma descrição mais detalhada do funcionamento do sistema. A rede de hidrantes é constituída por tubulações galvanizadas com diâmetro de 63 mm, sendo quatro hidrantes localizados dentro do edifício, um em cada pavimento, e um na calçada. Os registros utilizados são do tipo globo angular, com bocas expulsoras de 38 mm, instalados em abrigos metálicos. Cada abrigo possui duas mangueiras tipo 1 de 38 mm e um esguicho.

O sistema de recalque é composto por uma bomba centrífuga de 3 CV, com capacidade de vazão de 556 litros por minuto (lpm), acionada automaticamente por meio de fluxostato, ao detectar a abertura de uma ou mais válvulas de hidrante, onde o sistema é projetado para desligar automaticamente ao cessar o fluxo de água. A água que é utilizada para abastecer os apartamentos do edifício é compartilhada com o SCI, respeitando a reserva técnica de incêndio

(RTI) de 7,2 m³ para casos de emergências. Durante a inspeção foi verificado o funcionamento do sistema de recalque, o quadro de comando (QC) da bomba e a chave de fluxo de acionamento, sendo aplicadas tratativas corretivas e preventivas sempre que identificadas anomalias.

4.2 Procedimento de análise da amostra

Nos testes de disponibilidade do sistema verificou-se visualmente um grande volume de água contendo ferrugem, dando mostras claras de haver corrosão no interior do sistema.

Com o objetivo de obter evidências laboratoriais da existência de corrosão interna nas tubulações da rede pressurizada, foram coletadas amostras de água diretamente das tubulações de hidrantes. O procedimento para coleta de amostra foi realizado a partir da retirada inicial de 100 litros de água através do hidrante localizado no térreo, com o objetivo de arrastar partículas e possíveis resíduos acumulados nas tubulações. Esse volume foi depositado em um reservatório limpo, agitado manualmente para homogeneização e em seguida foi coletada uma amostra de 500 ml em recipiente de vidro, devidamente higienizado. O procedimento foi realizado quatro vezes em datas distintas.

As amostras coletadas foram encaminhadas ao laboratório para análise, onde foram realizados ensaios específicos para identificação da presença de íons férricos (Fe^{3+}) e quantificação de óxido de ferro III (Fe_2O_3), popularmente chamado de ferrugem, fortes indicadores da presença de corrosão interna nas tubulações.

4.2.1 Determinação da concentração de íons férricos (Fe^{3+})

Não era esperado a presença de íons ferrosos (Fe^{2+}), em razão da disponibilidade de oxigênio dissolvido na água do SCI, por se tratar de um reservatório compartilhado com o abastecimento do prédio, como já informado. Ainda assim, realizou-se o teste com uma solução de ferrocianeto de potássio, indicador da presença de íons Fe^{2+} , confirmando sua ausência.

Para determinação da presença de íons Fe^{3+} nas amostras, as mesmas foram submetidas ao processo de filtração simples, em papel de filtro quantitativo para retenção de sólidos finíssimos, conforme a Figura 8, e o filtrado foi submetido à análise por meio da técnica de absorção atômica. As análises foram realizadas no Laboratório de Absorção Atômica do Centro de Pesquisa em Ciências Vegetais do Semi-Árido da Ufersa.

Figura 8 - Filtração simples.

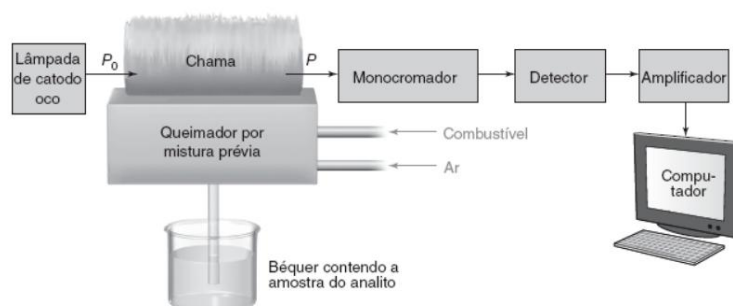


Fonte: Autoria própria, 2015.

A absorção de energia radiante por átomos neutros não excitados, em estado gasoso, é a base da Absorção Atômica. Certa espécie atômica, neutra e no estado fundamental, é capaz de absorver as radiações com comprimento de onda iguais aos que ela emite, ao ser excitada aos níveis de energia mais altos.

A espectroscopia atômica é uma técnica amplamente utilizada na química analítica para a determinação de íons em amostras. Dentre seus métodos, nesse trabalho foi utilizado a absorção atômica, onde a amostra líquida é succionada e nebulizada, sendo exposta a uma chama com temperaturas variando entre 2400 K e 3400 K. Nesse processo, o solvente é evaporado e os componentes restantes são decompostos em átomos livres. Uma lâmpada de cátodo oco emite radiação eletromagnética com um comprimento de onda específico, o mesmo que pode ser absorvido pelos átomos do analito, quando a radiação atravessa a chama parte dela é absorvida pelos átomos presentes na amostra. A quantidade de radiação absorvida é proporcional à concentração do elemento analisado. O detector registra a intensidade da radiação que não foi absorvida, permitindo a quantificação do analito com alta sensibilidade e precisão (HARRIS, 2023). A Figura 9 ilustra o princípio básico de funcionamento da técnica.

Figura 9- Princípio de funcionamento



Fonte: Harris, 2023.

O equipamento utilizado foi um Espectrofotômetro de Absorção Atômica da Shimadzu, modelo AA-7000.

4.2.2 – Determinação da concentração de óxido de ferro Fe_2O_3

Para realizar a análise quantitativa de óxido de ferro III (Fe_2O_3), as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Química Aplicada à Engenharia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). A metodologia adotada foi basicamente na extração do resíduo sólido presente nas amostras e na medição da massa de sólidos seca, a fim de determinar a concentração de ferrugem correspondente ao volume analisado de cada coleta.

Inicialmente, foram separados e identificados quatro cadinhos com placa tipo Gooch, cada um contendo um papel de filtro quantitativo para filtração de sólidos finíssimos. A utilização do papel de filtro se deu com o intuito de garantir que todo o sólido ficasse retido no cadinho. Os cadinhos foram secos em estufa, da marca Tecnal, modelo TE-394/I, com recirculação de ar, a 105 °C, por uma hora, e resfriados em dessecador, na presença de sílica, para garantir a ausência de umidade.

Em seguida foi realizada a medição da massa de cada conjunto (cadinho + filtro) por meio de uma balança analítica Bel Mark M214Ai (capacidade de 210 g com precisão de 0,0001 g).

Posteriormente, cada amostra líquida foi devidamente homogeneizada e um volume de 100 ml foi transferido para o respectivo cadinho. A filtração foi conduzida à vácuo, com auxílio de um Kitassato e bomba de vácuo, com o objetivo de acelerar o processo de separação dos sólidos, evitando a perda de material. O mesmo procedimento foi realizado para as outras amostras, conforme ilustrado na Figura 10 e Figura 11.

Figura 10- Filtrando amostra com Kitassato.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 11- Amostras filtradas.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Após a filtração, os cadinhos contendo os resíduos sólidos retidos foram submetidos à secagem em estufa com recirculação de ar, a 105 °C, por um período de três horas. Finalizado o tempo de secagem, os cadinhos foram transferidos para um dessecador contendo sílica até atingirem a temperatura ambiente (cerca de 25 °C).

Por fim, realizou-se a pesagem final de cada cadinho, sendo determinada a massa da ferrugem contida nas amostras por meio da diferença entre as massas inicial e final. Com os valores de massa e volume das amostras conhecidos, foi possível calcular a concentração de óxido de ferro em cada amostra.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados os resultados obtidos durante o período de acompanhamento do Sistema.

5.1 Sistema de recalque – Quadro de comando (QC)

Após o incidente ocorrido, foi iniciada a verificação da rede pressurizada de hidrantes, começando pelo sistema de recalque. No dia do incêndio os moradores relataram baixa vazão, pois ao direcionarem o jato para o foco do fogo, o alcance era insuficiente, mesmo estando a poucos metros do foco. Suspeitou-se que a bomba de recalque (Figura 12) não havia funcionado, e a fluxo que saía no esguicho era gerado apenas pela coluna de água do reservatório até o segundo andar. Para verificar essa hipótese, foi realizada uma inspeção no quadro de comando (Figura 13) da bomba de recalque.

Figura 12- Bomba de recalque.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 13- Quadro de comando da bomba de recalque.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Durante a inspeção, verificou-se que o contator não estava acionando ao receber o sinal da chave de fluxo, ou seja, não chegava tensão elétrica ao motor da bomba. Após a retirada e desmontagem do componente, constatou-se que a bobina responsável pelo acionamento estava danificada e com o contato interno carbonizado, conforme mostrado na Figura 14. Foi adquirida uma bobina nova (Figura 15) e realizada a substituição.

Figura 14- Bobina danificada.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 15- Bobina nova.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Após a troca, a bomba voltou a funcionar, porém ainda apresentava intermitência no funcionamento. Prosseguindo com a investigação, foi identificado mau contato na chave de fluxo, causado pelo ressecamento do cabo elétrico. Foi realizada a substituição do cabo e do terminal (Figuras 16).

Figura 16- Chave de fluxo.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Após as correções, o sistema voltou a operar normalmente. Para otimizar o monitoramento do sistema, foram instalados sinalizadores de LED nos pavimentos: um verde, indicando o acionamento da bomba do SCI, e outro vermelho com alarme sonoro, indicando nível mínimo de segurança no reservatório de água, respeitando a reserva técnica de incêndio. A Figura 17 mostra os sinalizadores.

Figura 17- Sinalizadores instalados.



Fonte: Autoria própria, 2025.

5.2 Análise da água

5.2.1 Análise do teor de íons Fe^{3+} .

As análises de absorção atômica para determinação de íons férricos (Fe^{3+}) nas amostras apresentou a ausência dos mesmos. Além das quatro amostras coletadas, também foi analisada uma amostra da água do reservatório, a fim de verificar a presença dos referidos íons já na água do reservatório, que também apresentou resultado negativo.

Esses resultados mostram que todo o material perdido pelos tubos do SCI se encontra na forma de óxido, no interior dos mesmos.

5.2.2 Análise do teor de óxidos de Fe III - Fe_2O_3

Os resultados obtidos, assim como o aspecto de cada amostra, podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1- Massa de sólidos das amostras.

AMOSTRA	DATA	FUNIS (g)	CADINHO + SÓLIDOS (g)	SÓLIDOS (g)	AMOSTRA
1	10/10/2024	40,0809	40,1039	0,023	
2	24/11/2024	39,8201	39,8279	0,0078	
3	30/01/2025	41,465	41,482	0,017	
4	02/06/2025	41,4556	41,4583	0,0027	

Fonte: Autoria própria, 2025.

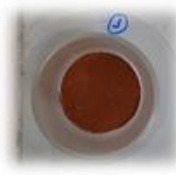
Ao observar as amostras, percebe-se uma coerência entre os valores de massa obtidos e a quantidade de material retido nos filtros. Para reforçar essa análise, foi realizado o cálculo da concentração de óxido de ferro em cada amostra. A quantificação da concentração é fundamental para qualquer estudo de natureza analítica, pois representa o quanto de soluto há presente em uma determinada quantidade de solução. Diversas unidades podem ser utilizadas para expressar essa medida, a depender do contexto e das escalas envolvidas (CHANG, 2010).

Neste trabalho, optou-se por expressar a concentração em gramas por litro (g/L). Como o volume de cada amostra utilizada na filtração foi de 100 mL (0,1 L), a concentração foi determinada por meio da equação 1:

$$\text{concentração } \left(\frac{g}{L}\right) = \frac{\text{massa da ferrugem (g)}}{0,1 (L)} \quad (1)$$

Os valores calculados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2- Concentração das amostras.

AMOSTRA	DATA	CONCENTRAÇÃO (g/L)	AMOSTRA
1	10/10/2024	0,230	
2	24/11/2024	0,078	
3	30/01/2025	0,170	
4	02/06/2025	0,027	

Fonte: Autoria própria, 2025.

Com base nessas concentrações, foi possível estimar a taxa de corrosão da rede, expressa em gramas por dia (g/d). A taxa foi calculada com base nas concentrações de cada amostra, intervalo de dias entre amostras (1–2, 2–3 e 3–4), e considerando o volume de coleta conhecido (100 L). A seguir está a equação 2 utilizada:

$$taxa\ de\ corrosão\ \left(\frac{g}{d}\right) = \frac{concentração\ \left(\frac{g}{L}\right) \times 100\ (L)}{intervalo\ (d)} \quad (2)$$

A seguir é apresentada a ordem cronológica dos eventos que contextualizam as coletas e intervenções realizadas no sistema:

- **10/10/2024** – Coleta da amostra 1 (hidrante do térreo);
- **20/10/2024** – Teste de disponibilidade da rede (hidrante do térreo);
- **24/11/2024** – Coleta da amostra 2;
- **30/01/2025** – Coleta da amostra 3;
- **30/01/2025** – Ocorrência de furo na rede de hidrantes e bloqueio do sistema;
- **31/01/2025** – Reparação emergencial com abraçadeira e reativação do sistema;

- **02/02/2025** – Vazamento identificado no corpo da bomba de recalque, realizado bloqueio e drenagem da rede;
- **07/05/2025** – Retirada da bomba de recalque para manutenção;
- **27/05/2025** – Reinstalação da bomba e reativação do sistema;
- **02/06/2025** – Coleta da amostra 4.

Os resultados das taxas de corrosão estão apresentados na Tabela 3. A partir desses dados, é possível estimar a perda de massa da tubulação por dia no trecho que compreende desde a sucção da bomba até o hidrante do térreo, local onde as amostras foram coletadas.

Tabela 3- Taxa de corrosão.

AMOSTRAS	INTERVALO (d)	CONCENTRAÇÃO (g/L)	VOLUME TOTAL (L)	CORROSÃO (g/d)
1 e 2	34	0,078	100	0,229
2 e 3	67	0,170	100	0,254
3 e 4	5	0,027	100	0,540

Fonte: Autoria própria, 2025.

Nota-se que os valores da taxa de corrosão entre os intervalos 1–2 e 2–3 apresentam uma tendência semelhante, já o valor correspondente ao intervalo 3–4 é significativamente superior. Esse comportamento pode ser explicado pelo evento ocorrido em 02/02/2025, quando o sistema foi bloqueado e drenado.

Após essa paralisação, o sistema permaneceu inativo e sem água por 114 dias, sendo reativado apenas em 27/05/2025 com a reinstalação da bomba. A coleta da amostra 4 foi realizada em 02/06/2025, apenas cinco dias após a escorva do sistema. Esse intervalo de inatividade favoreceu o desprendimento de ferrugem acumulada nas paredes internas da tubulação, provocando um arraste de partículas maiores no momento do acionamento da bomba. Isso pode ser constatado visualmente nas imagens dos sólidos retidos após a filtração (Figura 18), onde na amostra 4, em destaque na Figura 19, observa-se a presença de sólidos maiores em meio aos mais finos.

Figura 18- Amostras filtradas.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 19- Amostra quatro filtrada.



Fonte: Autoria própria, 2025.

A presença dos grãos maiores dá fortes indícios de que os mesmos já se encontravam aderidos à parede dos tubos, em razão do tempo necessário para seu crescimento. E como após o esvaziamento do sistema, as paredes dos dutos permaneceram molhadas, até a secagem natural dos mesmos, havia eletrólito suficiente para a continuidade do processo corrosivo, justificando a quantidade de massa de óxidos desprendida e, conseqüentemente, da taxa de corrosão mais elevada calculada para esse período.

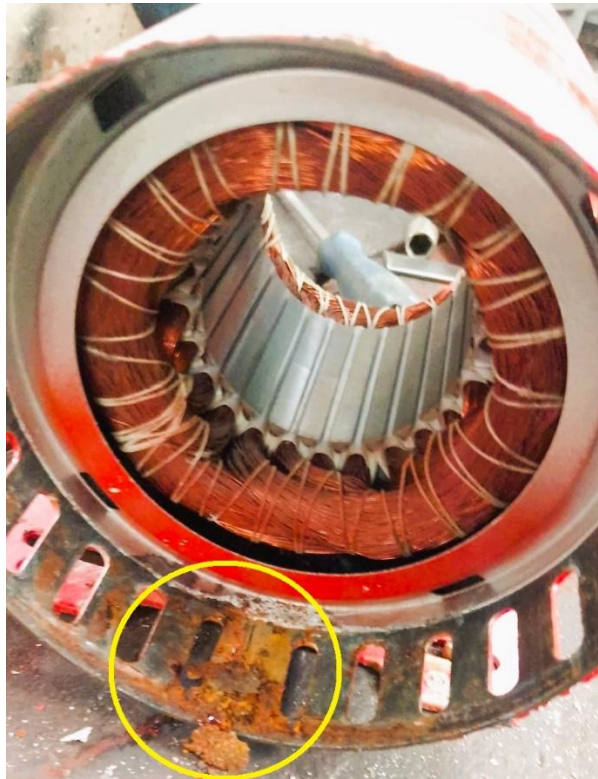
Com a análise realizada, e evidenciado que havia corrosão interna, o próximo passo foi realizar o mapeamento, identificando se a corrosão estava nas tubulações, na bomba ou no sistema como um todo.

5.3 Bomba de água

Após sanadas as falhas elétricas e a análise da amostra, iniciou-se a inspeção visual e o teste operacional da bomba. Durante o teste, foi identificado vazamento entre o eixo e o corpo da bomba (Figura 20). Devido ao risco de agravamento do vazamento, optou-se pela remoção

do equipamento para manutenção. Na manutenção, foi verificada corrosão acentuada no eixo do motor (Figura 21), especificamente na área de acoplamento do selo de vedação. Essa verificação evidenciou que parte da ferrugem presente na água era proveniente da bomba, atendendo a um dos objetivos deste trabalho, que era mapear pontos de corrosão na rede pressurizada.

Figura 20- Evidência de vazamento.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 21- Eixo danificado.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Considerando o custo e a durabilidade, foi decidido pelo reparo do eixo com instalação de uma luva de aço inoxidável no local onde ocorreu a corrosão (Figura 22). Esse material é conhecido por sua alta resistência à corrosão. Algumas ligas metálicas e metais perdem sua reatividade química se tornando altamente inertes em condições específicas. Esse fenômeno é chamado de passividade, e pode ser visto em metais como o cromo, ferro, níquel, titânio e várias ligas obtidas desses metais.

Esse comportamento se dá devido a uma película de óxido muito fina e extremamente aderente à superfície do material, resultando em uma barreira de proteção contra corrosão adicional. Os aços inoxidáveis possuem uma alta resistência à corrosão em diversos meios devido a passivação. Ligas contendo pelo menos 11% de cromo, como o aço inoxidável, formam uma película protetora que reduz a formação de ferrugem (CALLISTER, 2016).

Figura 22- Eixo restaurado.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Além do reparo no eixo, foram realizadas a troca dos rolamentos, do selo mecânico, a limpeza interna e a repintura do equipamento (Figura 23), garantindo maior confiabilidade ao sistema.

Figura 23- Bomba de recalque após manutenção.



Fonte: Autoria própria, 2025.

5.4 Tubulação da rede pressurizada de hidrantes

Após as correções elétricas e mecânicas, foi iniciada a inspeção visual das tubulações. No abrigo do hidrante de recalque, observou-se corrosão na tampa. Ao abri-la, identificou-se corrosão próxima à válvula, na parte exposta do tubo (Figura 24), sugerindo ausência de proteção anticorrosiva adequada além da pintura.

Figura 24- Hidrante de recalque.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Nos hidrantes internos dos pavimentos não foram observados sinais de corrosão externa, e todas as válvulas apresentaram estanqueidade satisfatória nos testes realizados. A Figura 25 mostra o abrigo do hidrante do térreo.

Figura 25- Hidrante do térreo.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Na casa de bombas, as tubulações de sucção e descarga apresentavam boa integridade externa, com pintura preservada e garantindo proteção mecânica adequada como é mostrado na Figura 26.

Figura 26- Tubulações de descarga e sucção.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Entretanto, após nova coleta de água posterior ao reparo da bomba, ainda foi detectado um elevado teor de ferrugem na água, sugerindo corrosão interna nas tubulações. Essa hipótese

foi confirmada após um vazamento na tubulação próximo ao hidrante do quarto pavimento, em razão da perfuração do mesmo, em um evento característico do tipo "pitting corrosion" (corrosão localizada), como se observa na Figura 27.

Figura 27- Furo na tubulação.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Uma das formas de corrosão mais prejudiciais a sistemas que conduzem fluidos é a corrosão localizada, pois apesar de afetar áreas relativamente pequenas da superfície metálica, caracteriza-se por apresentar profundidade superior ao diâmetro, o que a torna ainda mais perigosa. Esse tipo de corrosão está diretamente relacionado à formação de furos e pontos de concentração de tensões, provocando fragilidade mecânica e aumentando significativamente o risco de fratura, e consequentemente de colapso da estrutura (GENTIL, 2011).

O reparo emergencial foi realizado com abraçadeira e borracha de alta resistência, conforme a Figura 28. O condomínio está programando a substituição definitiva do trecho danificado, com previsão de realização de teste hidrostático (TH), medição de espessura (ME) e inspeção detalhada do trecho removido.

Figura 28- Reparo emergencial realizado na tubulação.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Após a inspeção e a aplicação das tratativas possíveis, será implementada uma rotina mensal de testes operacionais para verificar a disponibilidade do SCI e identificar possíveis falhas de forma antecipada, mantendo o sistema sempre disponível para emergências.

6. CONCLUSÃO

A partir das análises realizadas e dos resultados obtidos, conclui-se que os objetivos deste trabalho foram alcançados. A busca foi identificar as causas do não acionamento do SCI, verificar a presença de corrosão e sempre que possível implementar soluções corretivas e preventivas.

Foi conduzida uma avaliação dos fatores que levaram à falha no funcionamento do sistema, com a identificação e correção de problemas, como a substituição da bobina do contator e o reparo da bomba de recalque. Além das correções, foram implementadas melhorias no sistema, como a instalação de sinalizadores e alarmes sonoros para indicação do nível baixo de água, contribuindo para a preservação da RTI. Também foi estabelecida uma rotina de testes de disponibilidade, que passará a fazer parte da cultura de manutenção preventiva do edifício.

As análises laboratoriais permitiram constatar a ocorrência de corrosão interna na rede de hidrantes, evidenciada pela presença de óxido de ferro Fe_2O_3 . A confirmação da perda de material nas tubulações, reforçada pelo surgimento de furo, levou à decisão da administração do condomínio de realizar reparos definitivos na rede.

Pode-se afirmar que esse estudo trouxe benefícios concretos ao condomínio, tanto no aspecto material, com a tratativa de problemas no sistema, quanto no aspecto imaterial ao promover o conhecimento técnico-científico. O conhecimento é a base para o desenvolvimento social, pois permite compreender problemas complexos da sociedade e traz solidez na interpretação de dados para soluções eficazes e sustentáveis.

Como proposta para trabalhos futuros, recomenda-se o estudo e a possível implementação de proteção catódica por meio de ânodos de sacrifício, uma técnica amplamente utilizada para retardar os efeitos da corrosão. Aliada a manutenções preventivas periódicas e a uma rotina de inspeções, essa medida pode proporcionar maior confiabilidade ao sistema e redução nos custos de manutenção.

7. REFERÊNCIAS

ALVES, Klayton Marcel Prestes; LATTMANN, Bruno Henrique. **Corrosão: princípios, análises e soluções**. Editora Intersaberes, 2020.

ATITUBOS comercial de tubos LTDA, 2025. Disponível em: <https://www.atitubos.com.br/distribuidora-tubos-galvanizados>. Acesso em: 27 de junho de 2015.

BROWN, T. L. et al. **Química, a ciência central**. 9º Ed. São Paulo: Pearson, 2005.

CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. 590p.

CHANG, Raymond. **Química geral**. 4. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2010. *E-book*. p.432.

DUTRA, Aldo Cordeiro; NUNES, Laerce de Paula. **Proteção catódica: técnica de combate à corrosão**. 5. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

HARRIS, Daniel C.; LUCY, Charles A. **Análise Química Quantitativa**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2023. *E-book*. p.561.

IBRAM Mineração do Brasil, 2020. **Processo de corrosão faz com que 30% da produção mundial de ferro e aço seja desperdiçada**. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/processo-de-corrosao-faz-com-que-30-da-producao-mundial-de-ferro-e-aco-seja-desperdicada/>. Acesso em: 17 de julho de 2025.

KOCH, Gerhardus et al. **International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies Study**. NACE INTERNATIONAL, NACE, 2016.

LIMA, Ana Luiza Lorenzen. **Estudos de eletroquímica:: reações químicas e energia**. Editora Intersaberes, 2020.

NUNES, Laerce de Paula. **Fundamentos de resistência à corrosão**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2007.

OLIVEIRA, Olga Maria Mascarenhas de Faria; SCHLÜNZEN JUNIOR, Klaus; SCHLÜNZEN, Elisa Tomoe Moriya (Orgs.). et al. **Química**. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista: Núcleo de Educação a Distância, 2013. 779 p.

PANNONI, F. D. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. 6. ed. São Paulo: Gerdau, 2015.

RODRIGUES, Angela 2025. Cano de água com ferrugem: **como identificar e resolver o problema**. Acquality. Disponível em: <https://www.acquality.com.br/blog/categorias/artigos/cano-de-agua-com-ferrugem-como-identificar-e-resolver-o-problema>. Acesso em: 10 de julho de 2015.

SERRA, Eduardo Torres. **Corrosão e proteção anticorrosiva dos metais no solo**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014.

TAJCHMAN, GERSON. **Corrosão em tubos do aço galvanizado de instalações hidráulicas domiciliares**. Revista DAE Nº 45(141): 141-7. São Paulo, 1985.

TOMACHUK, C.R.; COSTA, I. **Revestimentos de zinco sobre aços e suas aplicações**. Revista Corrosão & Proteção, Edição 59, p. 26-33. Outubro 2015.

TUBOS ABC, 2015. **Onde utilizar o tubo de aço galvanizado?**. Disponível em: https://www.tubosabc.com.br/tubos/tubo-de-aco-galvanizado/?doing_wp_cron=1754186242.2757339477539062500000#:~:text=O%20tubo%20de%20a%C3%A7o%20galvanizado%20est%C3%A1%20muito%20presente%20em%20ind%C3%BAstrias,a%C3%A7o%20que%20passaram%20pela%20galvaniza%C3%A7%C3%A3o. Acesso em: 08 de julho de 2025.

ZEUS DO BRASIL. **Tubo Galvanizado: o item essencial no Sistema de Prevenção e Combate a Incêndio, 2015**. Disponível em: <https://www.zeusdobrasil.com.br/blog/tubo-galvanizado-o-item-essencial-no-sistema-de-prevencao-e-combate-a-incendio>

ANEXO A – AVCB

ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE
SECRETARIA DE ESTADO DA SEGURANÇA PÚBLICA E DA DEFESA SOCIAL
CORPO DE BOMBEIROS MILITAR
DIRETORIA DE ENGENHARIA E OPERAÇÕES
SERVIÇO TÉCNICO DE ENGENHARIA

PROCESSO Nº 222/12P

**ATESTADO DE VISTORIA DO CORPO DE BOMBEIROS
(AVCB)**

O comandante Geral do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio Grande do Norte, de acordo com o parecer emitido pelo **SERVIÇO TÉCNICO DE ENGENHARIA** da corporação, atesta que o estabelecimento abaixo preenche as exigências das **NORMAS DE PREVENÇÃO E COMBATE A INCÊNDIO** - Lei 4.436, de 09 de dezembro de 1974, combinado com o Decreto nº 6.576, de 03 de janeiro de 1975.

NOME EMPRESARIAL: _____
CNPJ/CPF: 11.587.160/0001-03
NOME DE FANTASIA: _____
LOGRADOURO: _____
MUNICÍPIO: MOSSORO
Nº _____ BAIRRO: COSTA E SILVA CEP: 59600-000
NATUREZA DE OCUPAÇÃO: RESIDENCIAL
ÁREA CONSTRUÍDA: 1.428,37 m²
PROPRIETÁRIO DO IMÓVEL: _____
CNPJ/CPF: 11.587.160/0001-03

Emissão em 9 de JANEIRO de 20 13

Válido até 8 de JANEIRO de 20 14

POR DELEGAÇÃO

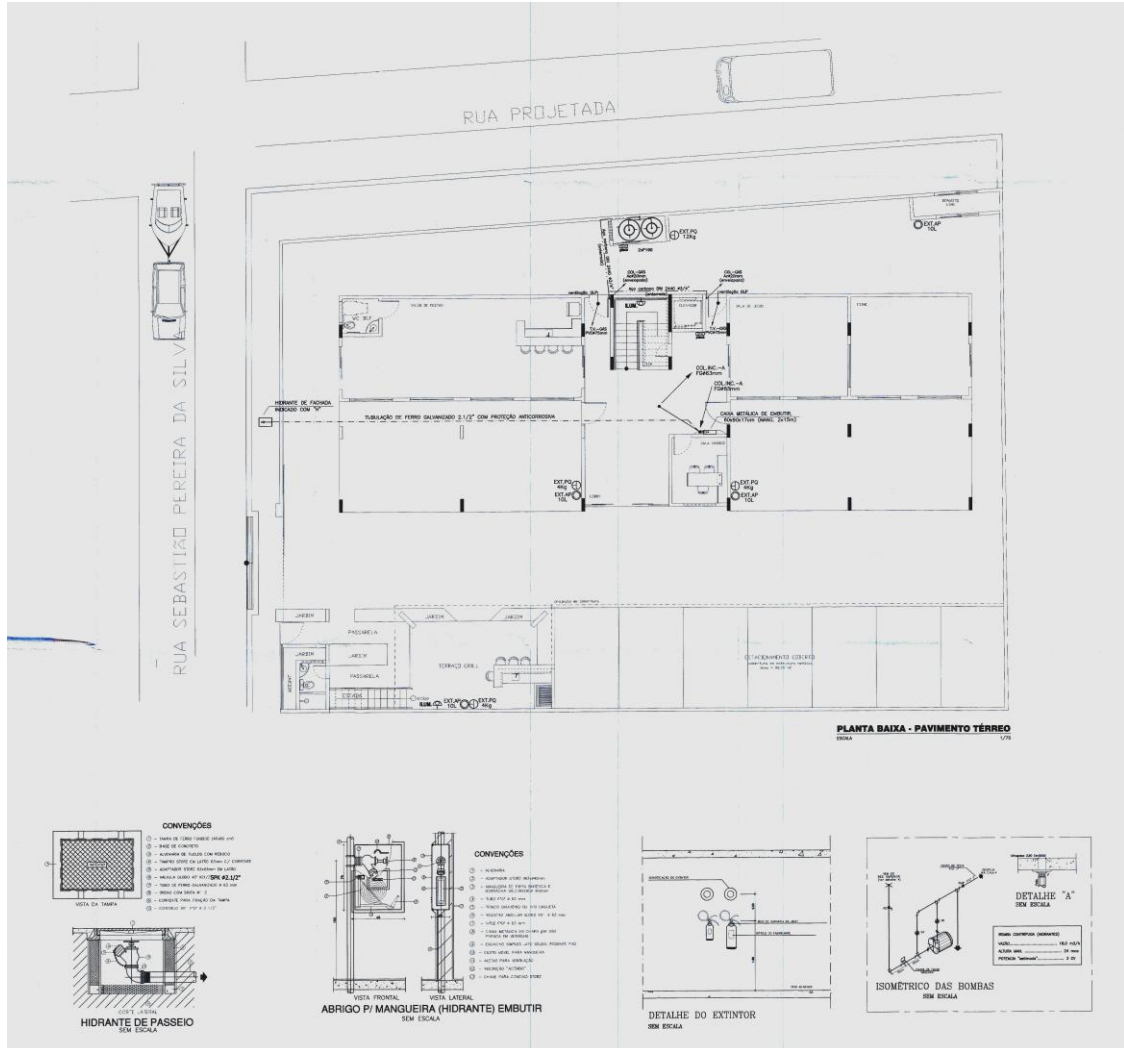
Chefe do SERTEN
FRANKLIN Araújo da Costa - Major Ed. - Mat. 114.270-2

VISTORIADOR
Demétrius Ximenes Formiga FROTA - Sd - Mat. 203.123-0

Chefe da Seção de Vistoria
GABRIEL Santos de Farias - 1º Ten BM - Mat. 196.533-6

OBS.: (Este atestado é válido por um ano, e está sujeito a ser cassado desde que a nossa fiscalização constate que suas especificações sofreram alterações).

ANEXO B - PLANTA BAIXA PAVIMENTO TÉRREO



ANEXO C – COBERTURA E ESQUEMA VERTICAL

