

Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Victor de Oliveira Jácome

Aplicativo para monitoramento de sistemas de proteção catódica por corrente impressa utilizando dispositivos móveis

Uberaba

2018

Victor de Oliveira Jácome

Aplicativo para monitoramento de sistemas de proteção catódica por corrente impressa utilizando dispositivos móveis

Trabalho de conclusão apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, como requisito para a obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Massao Shimano.

UBERABA

2018

**Catálogo na fonte: Biblioteca da Universidade Federal do
Triângulo Mineiro**

J18a Jacome, Victor de Oliveira
Aplicativo para monitoramento de sistemas de proteção catódica por corrente impressa utilizando dispositivos móveis / Victor de Oliveira Jacome. -- 2018.
51 f. : il., fig., tab.

Dissertação (Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica)
-- Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2018
Orientador: Prof. Dr. Marcos Massao Shimano

1. Software. 2. Proteção catódica. 3. Metais - Corrosão - Prevenção. I. Shimano, Marcos Massao. II. Universidade Federal do Triângulo Mineiro. III. Título.

CDU 004.4

VICTOR DE OLIVEIRA JACOME

APLICATIVO PARA MONITORAMENTO DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO
CATÓDICA POR CORRENTE IMPRESSA UTILIZANDO DISPOSITIVOS
MÓVEIS

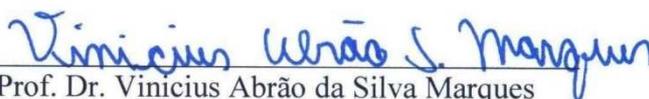
Trabalho de conclusão apresentado ao
Programa de Mestrado Profissional em
Inovação Tecnológica da Universidade Federal
do Triângulo Mineiro, como requisito para
obtenção do título de mestre.

Uberaba, 06 de dezembro de 2018

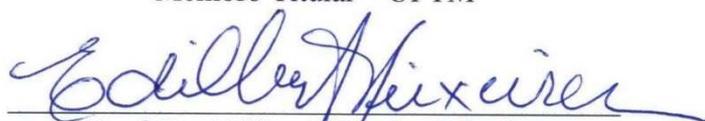
Banca Examinadora:



Prof. Dr. Marcos Massao Shimano
Orientador – PMPIT – UFTM



Prof. Dr. Vinicius Abrão da Silva Marques
Membro Titular – UFTM



Prof. Dr. Edilberto Pereira Teixeira
Membro titular – UNIUBE

AGRADECIMENTOS

Ao prof. Dr. Marcos Massao Shimano, pelo seu apoio e contribuição durante o desenvolvimento deste trabalho.

À minha família, que sempre esteve presente em todos os momentos.

À Transpetro, empresa na qual faço parte, pelo seu apoio durante o referido programa de mestrado profissional.

RESUMO

Empresas que atuam no ramo dutoviário têm cada vez mais buscado por soluções que possam aumentar a segurança e confiabilidade de seus sistemas, uma vez que acidentes envolvendo dutos podem trazer grandes danos a pessoas e ao meio ambiente. A fim de aumentar a confiabilidade de seus processos, muitas dessas empresas trabalham com técnicas especiais de combate à corrosão. Este trabalho apresenta inicialmente os principais métodos de combate à corrosão, com ênfase na proteção catódica por corrente impressa. Esta técnica é a mais utilizada na proteção de dutos enterrados por possuir uma maior flexibilidade em relação a outros métodos de proteção, já que pode ser aplicada a solos de quaisquer resistividades elétricas. Por fim, é apresentado um software desenvolvido para melhorar a confiabilidade de sistemas de proteção catódica por corrente impressa. Representando uma inovação na área, o aplicativo criado pode contribuir significativamente para um monitoramento mais eficiente de oleodutos, gasodutos e demais estruturas metálicas enterradas que estão sujeitas à corrosão. O software é de fácil utilização, traz diversos recursos interativos a respeito de sistemas protegidos catodicamente, e também possui rotinas de alarmes e notificações.

Palavras-chave: Software. Monitoramento. Proteção catódica. Dutos.

ABSTRACT

Companies in the pipeline industry are more and more looking for solutions that can increase the safety and reliability of their systems, since accidents involving pipelines can cause serious harm to people and the environment. In order to increase the reliability of their processes, many of these companies work with special anti-corrosion techniques. Initially, this paper presents the main techniques designed for corrosion prevention, focusing on cathodic protection by imposed current. By owning a great flexibility compared to other protection methods, this technique is the most used in the protection of buried pipelines, since it can be applied to all kinds of soils. Then, this paper presents a software developed to improve the reliability of cathodic protection systems. Representing an innovation in the field, the application created can significantly contribute to a more efficient monitoring of pipelines and other buried metal structures that are subject to corrosion. The software is user-friendly, brings several interactive features regarding cathodically protected systems, and also has alarm routines and notifications.

Keywords: Software. Monitoring. Cathodic protection. Pipelines.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Principais causas de vazamentos em dutos.....	19
Figura 2 – Exemplos de revestimentos.....	20
Figura 3 – Sistema de proteção catódica por proteção galvânica.....	23
Figura 4 – Sistema de proteção catódica por corrente impressa.....	24
Figura 5 – Exemplo de atuação de um sistema de corrente impressa na falha do revestimento.....	25
Figura 6 – Medição do potencial tubo/solo.....	27
Figura 7 – Diagrama de Pourbaix para o ferro a 25°C e 1 atm.....	28
Figura 8 – Áreas de importância no Diagrama de Pourbaix para o ferro.....	29
Figura 9 – Transmissão de leituras do DMR por meio de sistemas de comunicação GPRS.....	31
Figura 10 – Transmissão de leituras do DMR por meio de sistemas de comunicação via Rádio.....	31
Figura 11 – Exemplo de um supervisor de proteção catódica para desktop.....	32
Figura 12 – Exemplo de um horímetro digital.....	35
Figura 13 – Sistema de proteção catódica por corrente impressa com monitoração portátil.....	36
Figura 14 – Estrutura geral da tabela dos retificadores no banco de dados.....	38
Figura 15 – Fluxograma do aplicativo.....	39
Figura 16 – Tela de login do software desenvolvido.....	40
Figura 17 – Tela de seleção de dutos.....	41
Figura 18 – Tela dos retificadores que protegem o duto OLMG.....	42
Figura 19 – Tela principal do retificador.....	43
Figura 20 – Tela de dados adicionais do retificador.....	44
Figura 21 – Tela de notificação de problemas encontrados.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Potenciais de alguns metais medidos em relação ao eletrodo de Cu/CuSO₄..... 22

Tabela 2 – Potencial tubo/solo para determinadas resistividades elétricas..... 26

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABRACO	Associação Brasileira de Corrosão
BD	Banco de Dados
DMR	Dispositivo de Monitoração Remota
DOT	Department of Transportation
FHWA	Federal Highway Administration
GAAP	Gasoduto do Alto Paulista
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
NACE	National Association of County Engineers
OLMG	Oleoduto de Minas Gerais
PHMSA	Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration
RF	Retificador

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus celsius
$\Omega \cdot \text{cm}$	Ohms x centímetro
A	Ampere
Al	Alumínio
Cu/CuSO ₄	Cobre Sulfato de Cobre
Mg	Magnésio
pH	Potencial Hidrogeniônico
V	Volts
Zn	Zinco

SUMÁRIO¹

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1	DISPOSITIVOS MÓVEIS	16
3.2	A CORROSÃO E SEU IMPACTO NA ÁREA DE DUTOS.....	18
3.3	PROTEÇÃO DE DUTOS.....	19
3.3.1	Revestimentos de dutos	19
3.3.2	Proteção catódica	21
3.3.2.1	<i>Proteção galvânica</i>	21
3.3.2.2	<i>Proteção por corrente impressa</i>	23
3.4	MONITORAÇÃO DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO CATÓDICA.....	30
3.4.1	Principais grandezas a serem monitoradas	33
3.4.1.1	<i>Tensão de entrada</i>	33
3.4.1.2	<i>Tensão da bateria de emergência</i>	33
3.4.1.3	<i>Sensor de invasão de abrigo</i>	34
3.4.1.4	<i>Tensão de saída</i>	34
3.4.1.5	<i>Horímetro</i>	34
3.4.1.6	<i>Corrente injetada</i>	35
3.4.1.7	<i>Potencial tubo/solo</i>	35
4	METODOLOGIA	36
4.1	INFORMAÇÕES DO APLICATIVO.....	36
4.2	SISTEMA OPERACIONAL E REQUISITOS MÍNIMOS.....	37
4.3	DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE	37
4.4	UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE.....	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1	TESTES REALIZADOS.....	46
5.1.1	Testes de performance	46
5.1.2	Testes de comunicação	46

¹ Esta dissertação foi formatada de acordo com as normas da ABNT.

5.1.3	Testes de integração com o Google Maps®	47
5.1.4	Testes da câmera	47
5.2	REGISTRO DO SOFTWARE	47
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
7	REFERÊNCIAS	49
8	ANEXO A – Certificado de Registro do Software no INPI	51

1 INTRODUÇÃO

O uso de dutos para o transporte de hidrocarbonetos e derivados de petróleo tem se tornado um meio muito utilizado, devido ao seu baixo custo operacional e reduzida mão de obra especializada. De acordo com Bertaglia (2003), os transportes dutoviários são seguros e eficientes e têm evoluído cada vez mais no âmbito brasileiro. Ballou (2005) destaca que apesar de movimentar produtos de forma lenta, os dutos podem funcionar ininterruptamente, o que representa uma vantagem comparados a outros meios de transporte. Normalmente, dutos que abrangem grandes distâncias são enterrados e possuem o elemento ferro em sua composição estrutural. Porém, eles estão sujeitos a processos corrosivos, que podem ser agravados por vários fatores, tais como: solo agressivo e proteção anticorrosiva ineficiente.

A corrosão é uma das principais causas de vazamentos no transporte dutoviário, conforme levantamentos realizados pela agência PHMSA (*Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration*) no período de 2002 a 2013. Acidentes envolvendo dutos que transportam hidrocarbonetos são eventos que causam não só prejuízos econômicos, mas também danos ao meio ambiente, muitas vezes de grande impacto. Moura e Urtiga Filho (2011) concluíram que “a corrosão é responsável por grande parte dos acidentes com petróleo que vêm ocorrendo ultimamente, em especial no caso de corrosão de dutos, causando prejuízos incalculáveis ao meio ambiente”. Neste contexto, é essencial que dutos operem com segurança, por meio de técnicas especiais de proteção.

As principais técnicas para prevenção e controle de processos corrosivos de tubulações enterradas são revestimentos externos e proteção catódica. Os revestimentos são camadas aplicadas entre a superfície metálica e o meio corrosivo, que proporcionam a maior parte da proteção de uma tubulação. Porém, apenas o revestimento não garante a total proteção de uma estrutura metálica enterrada, sendo necessário utilizar métodos auxiliares em conjunto com o revestimento.

A técnica de proteção catódica atua apenas nas regiões onde o revestimento não é eficaz. Ela consiste num método de combate à corrosão, que transforma a estrutura metálica que se deseja proteger no cátodo de uma célula eletroquímica ou eletrolítica (DUTRA; NUNES, 2011). Apesar de ser impossível utilizá-la em locais

abertos para a atmosfera, ela não se restringe a estruturas enterradas, podendo ser utilizada em outros meios, tais como regiões submersas.

No Brasil, o uso da proteção catódica na indústria iniciou-se da década de 60, quando a PETROBRAS®, para proteger seus dutos submarinos e suas instalações portuárias e terrestres, investiu no desenvolvimento desta técnica de proteção (DUTRA; NUNES, 2011). O campo de aplicação da proteção catódica é vasto, porém, possui uma característica fundamental: a estrutura deve encontrar-se em contato com um eletrólito, no qual se instala o anodo ou um conjunto de anodos, por meio dos quais é provida a corrente necessária à proteção (DUTRA; NUNES, 2011). Desse modo, dentre as instalações mais comuns em que se aplica a proteção catódica, destacam-se as tubulações enterradas e as submersas, tais como oleodutos, gasodutos e adutoras (DUTRA; NUNES, 2011).

Dentre os dois tipos existentes de proteção catódica, temos a proteção galvânica e a proteção catódica por corrente impressa, uma técnica que envolve a inserção de uma corrente controlada, gerada por um retificador ou outra fonte de corrente contínua, que é responsável por induzir um potencial de polarização na estrutura metálica a ser protegida (PEABODY, 2001). Quando se utiliza este tipo de técnica, é essencial que a estrutura sempre permaneça polarizada, e isso exige que os retificadores do sistema estejam sempre operantes. Sistemas de proteção catódica por corrente impressa não operantes, seja por falta de energia ou mesmo vandalismo, afetam diretamente a integridade das estruturas metálicas que estão sendo protegidas pela técnica, já que elas estarão sujeitas à corrosão.

A fim de garantir a operação ininterrupta desse tipo de sistema, algumas empresas que trabalham com dutos utilizam sistemas de monitoração remota, que consistem em ferramentas que monitoram os equipamentos utilizados em sistemas de proteção catódica e transmitem leituras realizadas em tempos pré-definidos, por meio de sistemas de comunicação sem fio, tais como a tecnologia GPRS².

O presente trabalho apresenta um software desenvolvido para dispositivos móveis, criado para aumentar a eficiência de sistemas de proteção catódica por corrente impressa monitorados através de supervisórios em desktops. O monitoramento por meio de dispositivos móveis pode reduzir consideravelmente o tempo de resposta em caso de problemas e elevar a eficiência do sistema instalado.

² General Packet Radio Service, ou Serviço de Rádio de Pacote Geral no português, é um dos protocolos de comunicação utilizados em redes de celulares.

Além disso, a posse de uma ferramenta de consulta portátil e interativa representa um avanço e inovação na área de monitoração, já que a mesma pode facilitar o trabalho de colaboradores que atuam diretamente na gestão e manutenção de sistemas de proteção catódica, permitindo consultas instantâneas e disponibilizando informações para auxiliar na localização de determinado retificador, muitas vezes instalado em locais de difícil acesso, como em zonas rurais. Ele também pode contribuir positivamente para os chamados índices de disponibilidade operacional dos retificadores, que são componentes elétricos do sistema de proteção catódica por corrente impressa.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um software para monitoramento portátil de sistemas de proteção catódica por corrente impressa em dutos que transportam hidrocarbonetos e derivados de petróleo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Aumentar a eficiência de sistemas de proteção catódica por corrente impressa monitorados através de supervisórios em desktops;
- ✓ Identificar e solucionar mais rapidamente possíveis problemas em retificadores e outros componentes do sistema;
- ✓ Auxiliar gestores e colaboradores envolvidos na operação e manutenção de sistemas de proteção catódica por corrente impressa.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordados assuntos referentes à corrosão, seu impacto na área dutoviária e conceitos relativos à proteção catódica, tais como seus critérios de proteção e formas de monitoramento. Além disso, será feito um breve relato sobre o avanço e disseminação de dispositivos móveis na atualidade.

3.1 DISPOSITIVOS MÓVEIS

A Motorola® realizava, em 1973, por meio do Dynatac 8000X®, a primeira chamada a partir de um telefone móvel. Peter Ha (2010) destaca esta marca em seu artigo na TIME³:

Dr. Martin Cooper fez o primeiro telefonema por uma rede de celular em 1973, mas demorou uma década inteira antes que o DynaTAC 8000x fosse vendido como o primeiro celular comercial em 1983. Pesava 794 gramas, possuía 33 centímetros de altura, armazenava 30 números, levava 10 horas para recarregar e custava 3.995 dólares.

Desde então, o avanço da tecnologia permitiu a inserção de inúmeros outros tipos de dispositivos móveis no mercado mundial. Siqueira (2005) comenta este avanço:

Nos últimos anos, presenciamos o surgimento de inúmeros aparelhos portáteis, como notebook, laptop, handheld e pocket PCs, com o intuito de auxiliar essa força de trabalho que chamaremos de móvel. Esses aparelhos não só nos auxiliam para a eliminação do papel nos processos comerciais, como também nos podem ajudar no gerenciamento de compromissos e contatos.

Nos dias atuais, os dispositivos móveis estão cada vez mais presentes na vida das pessoas. Em abril de 2014 o Brasil já possuía, segundo a Anatel, mais de 270 milhões de linhas de comunicação ativas, sendo São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, os estados com os maiores números de dispositivos (GLOBO, 2014). Nesse contexto, destacam os *smartphones*, ou “telefones inteligentes”, que em maio de 2018 já alcançavam 220 milhões de dispositivos ativos no Brasil, mais que um por habitante, com expectativa de crescimento para os próximos anos (FGV-EAESP,

³ A TIME é uma conhecida revista semanal americana que possui sede em Nova York (NY).

2018). Não é difícil compreender estes números, já que por meio dos *smartphones* as pessoas utilizam redes sociais, fazem transações bancárias, realizam videoconferências, se localizam via GPS (*Global Positioning System*), realizam pesquisas, navegam por *websites*, ouvem músicas, etc.

Além de entretenimento, dispositivos móveis fornecem diversas opções para o uso profissional e empresarial. Ana Nemes (2013) cita alguns aplicativos que podem ser utilizados como ferramentas de trabalho, tais como o Mind Tools, Team Viewer, Office Suite e Schedule Planner. Já o Estadão PME (2013) dá alguns exemplos de aplicativos gratuitos que auxiliam na gestão de empresas, como o BizExpense, Pai, SamCard, AppMesh e Simulador de Importação.

A busca por programas que facilitam o cotidiano das pessoas já é uma realidade e, por este motivo, as plataformas de desenvolvimento voltadas para aplicativos móveis estão sendo cada vez mais utilizadas. Já é possível encontrar aplicações que auxiliam no tratamento de doenças, ajudam pessoas com dificuldades visuais e motoras, melhoram o ensino na educação básica, auxiliam na aprendizagem de línguas estrangeiras, fornecem informações nutricionais, dentre inúmeras outras funções que agregam de alguma forma a vida das pessoas. Além das áreas citadas, aplicações móveis também podem ser utilizadas para facilitar o monitoramento de sistemas de proteção catódica, como será descrito no decorrer deste trabalho.

3.2 A CORROSÃO E SEU IMPACTO NA ÁREA DE DUTOS

Para Dutra e Nunes (2011), o termo corrosão é definido como “deterioração dos materiais pela ação do meio”. Na visão de Gentil (2011), a corrosão é definida como “deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos”. Analisando estes conceitos, percebe-se que a corrosão é um processo natural, que na maioria das vezes está relacionada a materiais metálicos. Porém, como será descrito a seguir, ela também representa grandes prejuízos econômicos e estruturais.

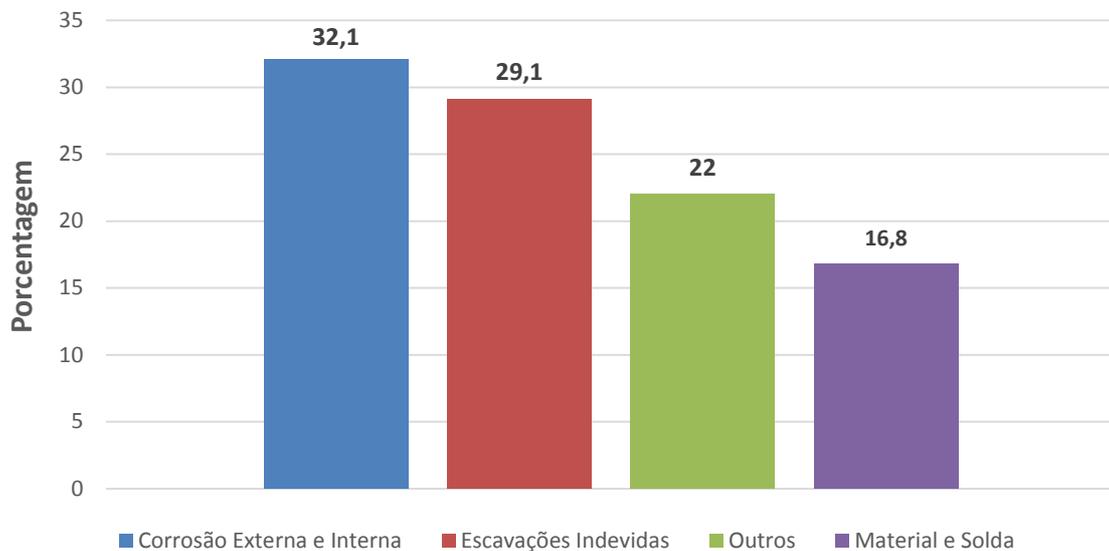
Com o crescimento da produção mundial, os custos relativos à corrosão aumentaram consideravelmente ao longo dos anos e reduzir futuros processos corrosivos passou a ser um importante item a ser considerado. Um levantamento feito pelo IZA (*Internacional Zinc Association*) em 2011 estimou que a perda por corrosão no Brasil chega a 4% do PIB brasileiro, o equivalente a 166 bilhões de reais tendo como base o PIB de 2011. Já um estudo realizado pela FHWA (*Federal Highway Administration*) no ano de 2002 indica que mais de 250 bilhões de dólares são gastos anualmente nos Estados Unidos com problemas e técnicas de controle associadas à corrosão:

Os resultados do estudo mostram que o custo anual total estimado da corrosão nos Estados Unidos é de 276 bilhões de dólares, aproximadamente 3,1% do Produto Interno Bruto americano. Revela ainda que, embora a gestão da corrosão tenha melhorado nas últimas décadas, os EUA devem encontrar mais e melhores formas de incentivar, apoiar e implementar práticas de controle de corrosão (FHWA, 2002).

Chio Lam (2015) realizou um estudo sobre os dados que são divulgados pela agência PHMSA (*Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration*), ligada ao departamento americano de transportes DOT⁴, envolvendo acidentes ocorridos em dutos operados por empresas americanas no período de 2002 a 2013. Conforme a Figura 1, é possível verificar que problemas relacionados à corrosão foram as principais causas de acidentes no levantamento realizado por Chio Lam. Estes dados reforçam a importância de se combater a corrosão quando se deseja operar dutos com segurança, uma vez que vazamentos trazem não apenas prejuízos financeiros, mas também danos ao meio ambiente.

⁴ US. Department of Transportation, ou Departamento Americano de Transportes, atua desde abril de 1967 nas áreas de logística e transportes.

Figura 1 – Principais causas de vazamentos em dutos operados por empresas americanas no período de 2002 a 2013.



Fonte: Chio Lam (2015), adaptada pelo autor

3.3 PROTEÇÃO DE DUTOS

Os métodos de proteção de dutos contra corrosão externa mais utilizados na atualidade envolvem uma combinação entre revestimentos mecânicos e uma técnica conhecida como proteção catódica, que é dividida em proteção galvânica e por corrente impressa.

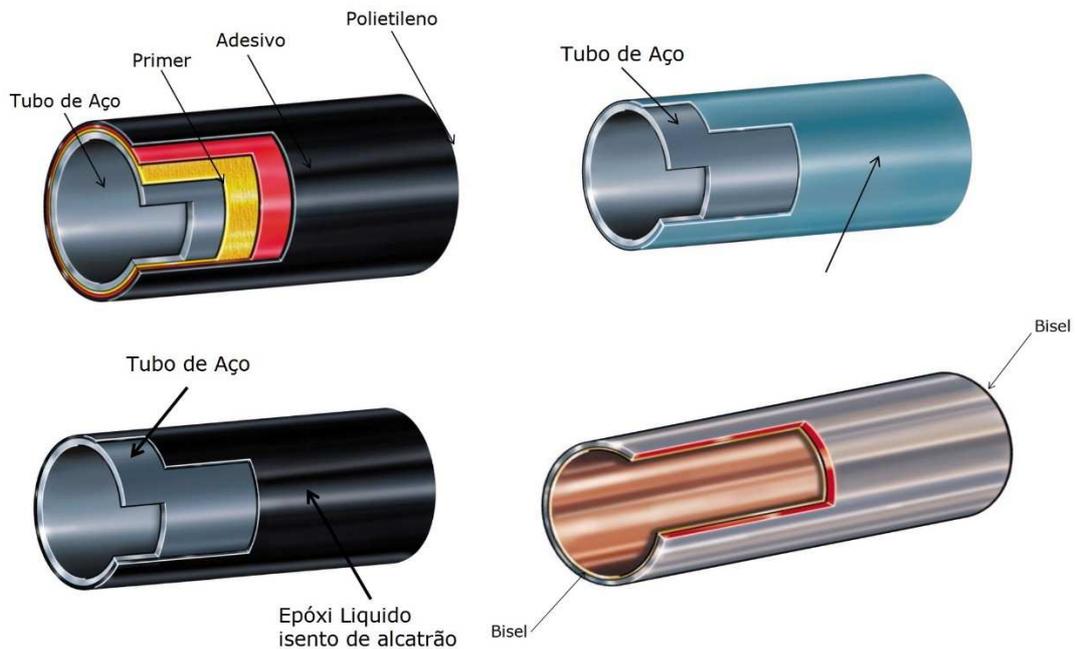
3.3.1 Revestimentos de dutos

Os revestimentos são acoplados sobre a superfície do metal, e seu principal objetivo é formar uma barreira entre o metal a ser protegido e o meio externo. Peabody (2001) reforça essa ideia ao descrever os objetivos dos revestimentos:

Normalmente, os revestimentos destinam-se a formar uma película contínua de um material eletricamente isolante sobre a superfície metálica a ser protegida. A função desse revestimento é isolar o metal do contato direto com o eletrólito (impedindo o eletrólito de entrar em contato com o metal) e interpor uma resistência elétrica tão elevada que as reações eletroquímicas não possam ocorrer facilmente.

Dutra e Nunes (2011) dividem os revestimentos em três grupos: orgânicos, inorgânicos e metálicos. Dentre os tipos mais conhecidos destacam-se a pintura industrial, revestimentos com plásticos, borrachas, asfaltos e as variações dos revestimentos à base de polietileno. Na Figura 2 temos exemplos de alguns revestimentos bastante utilizados no ramo industrial.

Figura 2 – Exemplos de revestimentos



Fonte: Tenaris (2008), adaptada pelo autor

Sabe-se, porém, que os revestimentos usados em tubulações enterradas não garantem a total proteção contra a corrosão. Eles são afetados pela umidade, danos mecânicos provenientes de montagens, possuem porosidade em algumas áreas e com o passar dos anos sua eficiência diminui. Peabody (2001) cita que raramente os revestimentos são utilizados sem técnicas de proteção catódica:

Assim, os revestimentos raramente são utilizados em dutos enterrados sem proteção catódica. A função primária de um revestimento num duto protegido catodicamente é reduzir a área superficial exposta do metal do duto, reduzindo assim a corrente necessária para proteger catodicamente o metal.

Pelos motivos citados, os revestimentos são utilizados em conjunto com a técnica de proteção catódica, sendo que esta trabalha na falha do revestimento.

3.3.2 Proteção catódica

A corrosão eletroquímica acontece sempre que se tem uma estrutura metálica em contato com um eletrólito, na qual aparecem pilhas de corrosão. Essas pilhas possuem áreas catódicas e anódicas, e a diferença de potencial existente entre essas regiões promove um fluxo de corrente, que constitui o processo de corrosão eletroquímica (DUTRA; NUNES, 2011).

A área anódica é a região que cede elétrons e sofre oxidação, ou seja, perda de massa. Sendo possível transformar toda a estrutura metálica em cátodo e alterando o anodo para outra superfície, o fluxo de corrosão deixará de existir, eliminando o processo corrosivo. Gentil (2011) define este processo da seguinte forma:

Proteger catodicamente uma estrutura significa eliminar, por processo artificial, as áreas anódicas da superfície do metal, fazendo com que toda a estrutura adquira comportamento catódico. Como consequência, o fluxo de corrente elétrica anodo/cátodo deixa de existir e a corrosão é totalmente eliminada.

Este é exatamente o objetivo da proteção catódica, que faz com que toda a estrutura a ser protegida transforme-se no cátodo de uma pilha de corrosão, removendo a corrente originada pela área anódica. Essa corrente é eliminada por meio da inserção de uma corrente de proteção, com intensidade superior à corrente de corrosão, e em sentido contrário.

Há duas maneiras de se aplicar a proteção catódica, ambas baseadas na injeção de corrente elétrica na estrutura. Elas são conhecidas como proteção galvânica e por corrente impressa.

3.3.2.1 Proteção galvânica

Na proteção catódica galvânica, a corrente elétrica é criada pela diferença de potencial entre o metal a se proteger e outro metal escolhido como anodo. Segundo Peabody (2001), a proteção catódica galvânica não elimina a corrosão, e sim a altera para os anodos galvânicos, que sofrerão perda de massa no lugar da estrutura protegida. Gentil (2011) descreve que, na proteção catódica galvânica, "o

fluxo de corrente elétrica fornecido origina-se da diferença de potencial existente entre o metal a proteger e o outro escolhido como anodo e que tem potencial mais negativo". Os metais mais utilizados como anodos de sacrifício em sistemas de proteção galvânica são o zinco (Zn), magnésio (Mg) e alumínio (Al), pois possuem baixas características de polarização anódica, ou potencial mais negativo, conforme exposto na Tabela 1.

Nesta técnica, a diferença de potencial entre anodos e estrutura metálica a ser protegida é relativamente baixa. Por este motivo, é necessário que o circuito de proteção possua baixa resistência. Essa necessidade caracteriza a limitação da proteção galvânica, sendo esta recomendada apenas para eletrólitos de baixa resistividade, em geral inferiores a 6.000 $\Omega \cdot \text{cm}$ para anodos de magnésio e 1.500 $\Omega \cdot \text{cm}$ para anodos de zinco e alumínio (DUTRA; NUNES, 2011).

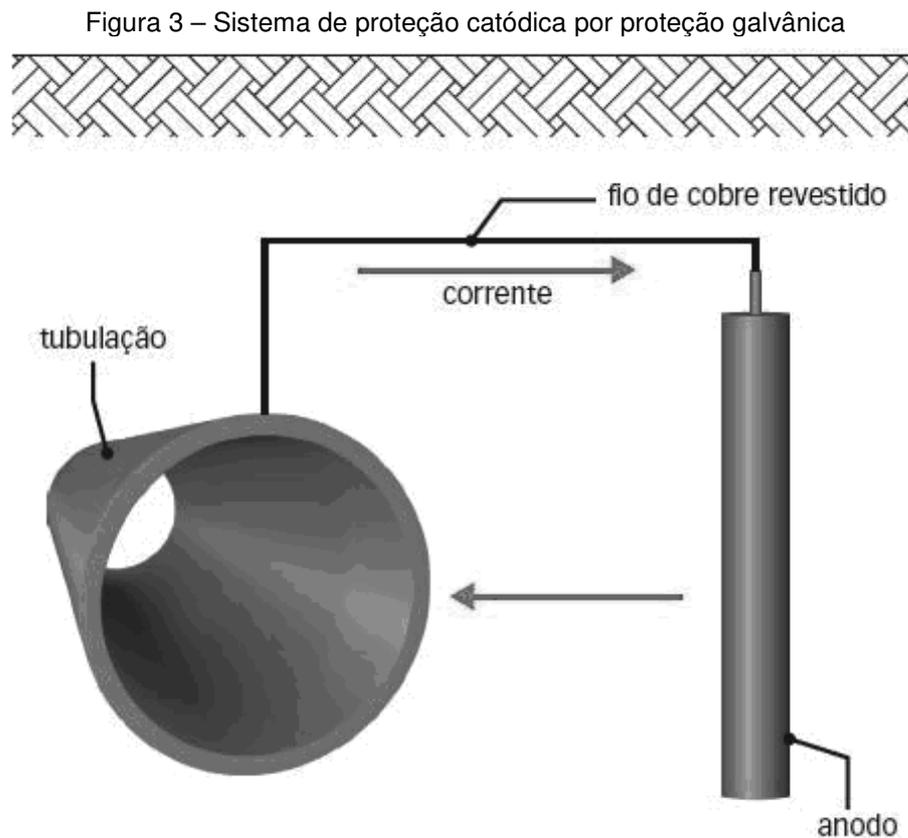
Tabela 1 – Potenciais de alguns metais medidos em relação ao eletrodo de Cu/CuSO₄.

MATERIAL	POTENCIAL (V)
Magnésio comercialmente puro	-1,75
Liga de magnésio (6% Al, 3% Zn, 0,15% Mn)	-1,60
Zinco	-1,10
Liga de alumínio (5% Zn)	-1,05
Alumínio comercialmente puro	-0,80
Aço (limpo)	-0,50 a -0,80
Aço enferrujado	-0,20 a -0,50
Ferro fundido (não-grafitizado)	-0,50
Chumbo	-0,50
Aço em concreto	-0,20
Cobre, bronze, latão	-0,21
Ferro Fundido com alto teor de silício	-0,22
Aço com carepa de laminação	-0,23
Carbono, grafite, coque	+0,30

Fonte: Gentil, 2011

Ela é aplicada, de uma maneira geral, em estruturas de pequeno porte que não exigem uma grande massa de anodos. Estruturas marítimas, tais como plataformas e embarcações, utilizam este método de proteção, pois a água do mar possui baixa resistividade.

Os sistemas galvânicos também apresentam outras desvantagens, tais como a necessidade de reposição de anodos e susceptibilidade a correntes de interferências, sendo difícil regular a corrente de proteção injetada devido ao baixo potencial dos anodos. A Figura 3 mostra, a título de exemplo, o esboço de um sistema dutoviário protegido por proteção catódica galvânica, sendo o anodo de sacrifício soldado à tubulação por meio de um fio de cobre revestido.



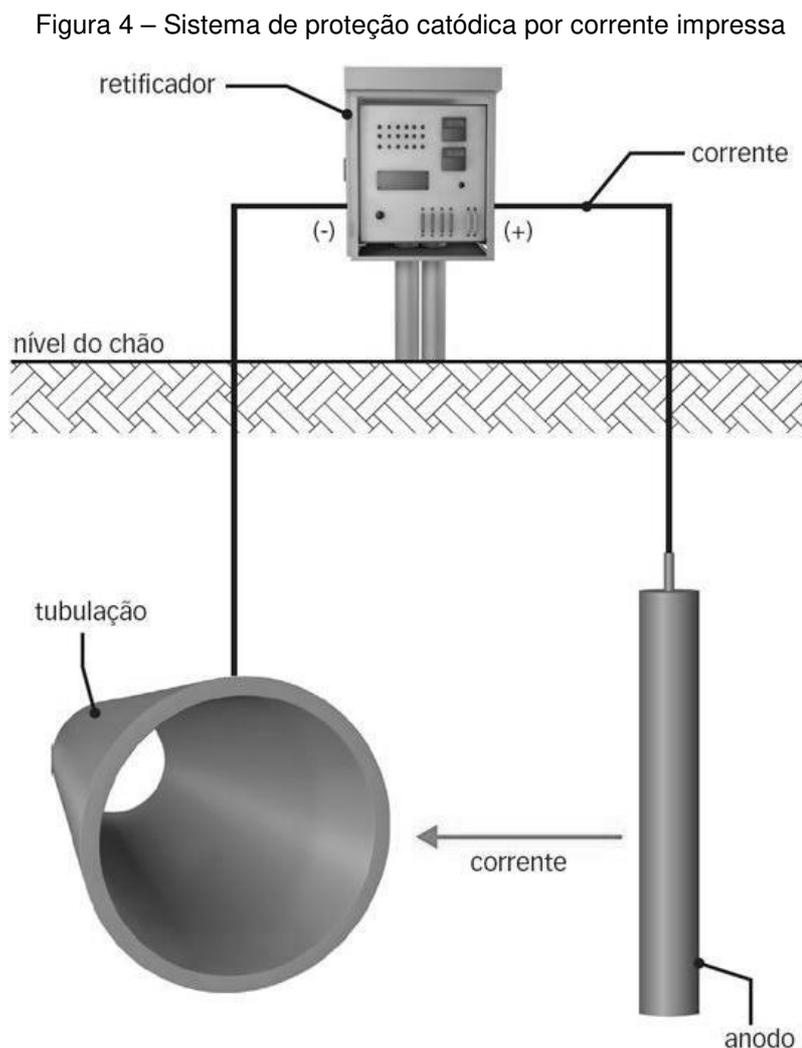
Fonte: Rodnei Corsini, 2011

3.3.2.2 Proteção por corrente impressa

Na proteção catódica por corrente impressa, a corrente de proteção tem origem na diferença de potencial provida por uma fonte de corrente contínua. A grande vantagem desta técnica consiste no fato de que fonte geradora pode ter a potência necessária para a correta proteção do sistema, podendo assim, ser aplicada em qualquer meio, mesmo naqueles cujos eletrólitos sejam de elevada resistividade elétrica (DUTRA; NUNES, 2011). As fontes de corrente contínua mais utilizadas na prática são os retificadores alimentados por corrente alternada, no qual

o terminal positivo é conectado aos anodos e o negativo à estrutura a se proteger. Porém, é possível também utilizar outras fontes, tais como termogeradores, baterias solares, baterias convencionais e geradores eólicos (DUTRA; NUNES, 2011).

Diferente dos anodos da proteção catódica galvânica, os anodos presentes na proteção por corrente impressa não possuem função de serem corroídos para a preservação de um metal mais nobre. Eles têm o objetivo de dispersar a corrente elétrica no eletrólito, e seu desgaste é relativamente baixo. Os anodos mais empregados são os de grafite, ferro-silício, ferro-silício-cromo, titânio platinizado, e titânio revestido com óxidos de metais mais nobres. A Figura 4 mostra, a título de exemplo, o esboço de um sistema dutoviário protegido por proteção catódica por corrente impressa, sendo o retificador alimentado por corrente alternada.

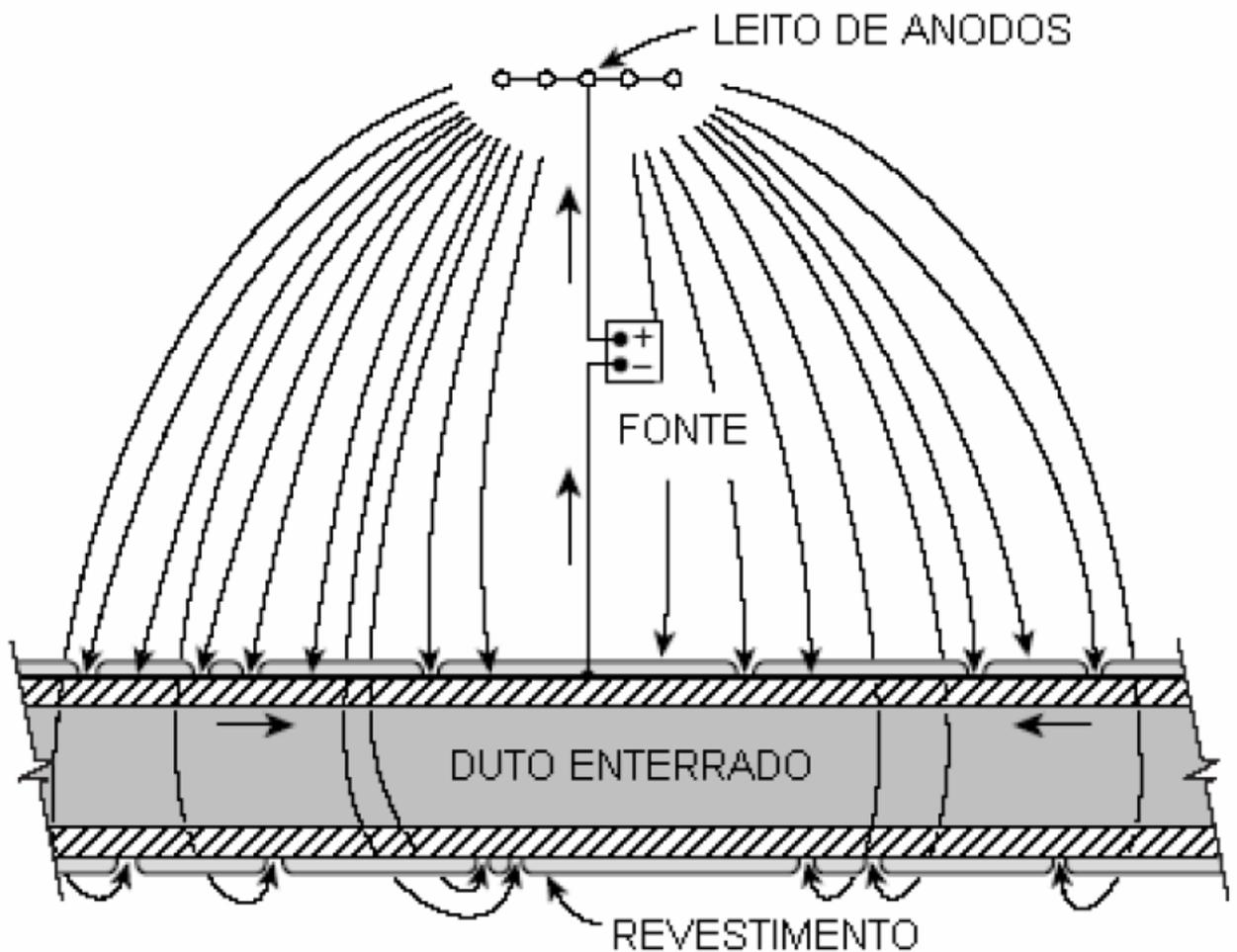


Fonte: Rodnei Corsini, 2011

Quando se utiliza o sistema de proteção catódica por corrente impressa, faz-se necessário inspecionar e realizar manutenções periódicas nos retificadores e painéis elétricos, o que não acontece no sistema de proteção galvânica, que exige baixa manutenção.

Conforme ilustrado na Figura 5, a proteção catódica atua na falha do revestimento. Apesar de possível, é inviável financeiramente proteger um duto não revestido, já que a corrente requerida para proteção seria extremamente alta. O emprego de revestimentos reduz, de forma considerável, a superfície exposta à corrosão, diminuindo a intensidade da corrente necessária para proteger a estrutura (DUTRA; NUNES, 2011).

Figura 5 – Exemplo de atuação de um sistema de corrente impressa na falha do revestimento



Fonte: Peabody, 2001

Ao se utilizar o sistema de proteção catódica por corrente impressa, é de extrema importância saber se toda a estrutura encontra-se realmente protegida contra a corrosão. Para dutos enterrados, o critério mais aceito é a utilização do potencial de polarização, também conhecido como potencial off, que depende da resistividade do solo e utiliza como referência o eletrodo de cobre/sulfato de cobre (PEABODY, 2001). Mais especificamente, para resistividades inferiores a 10.000 $\Omega\cdot\text{cm}$, se o potencial medido entre eletrodo de referência e tubulação enterrada for inferior a -0,85V, a estrutura é considerada protegida. A Tabela 2 mostra os critérios de proteção de acordo com a resistividade elétrica de determinado solo.

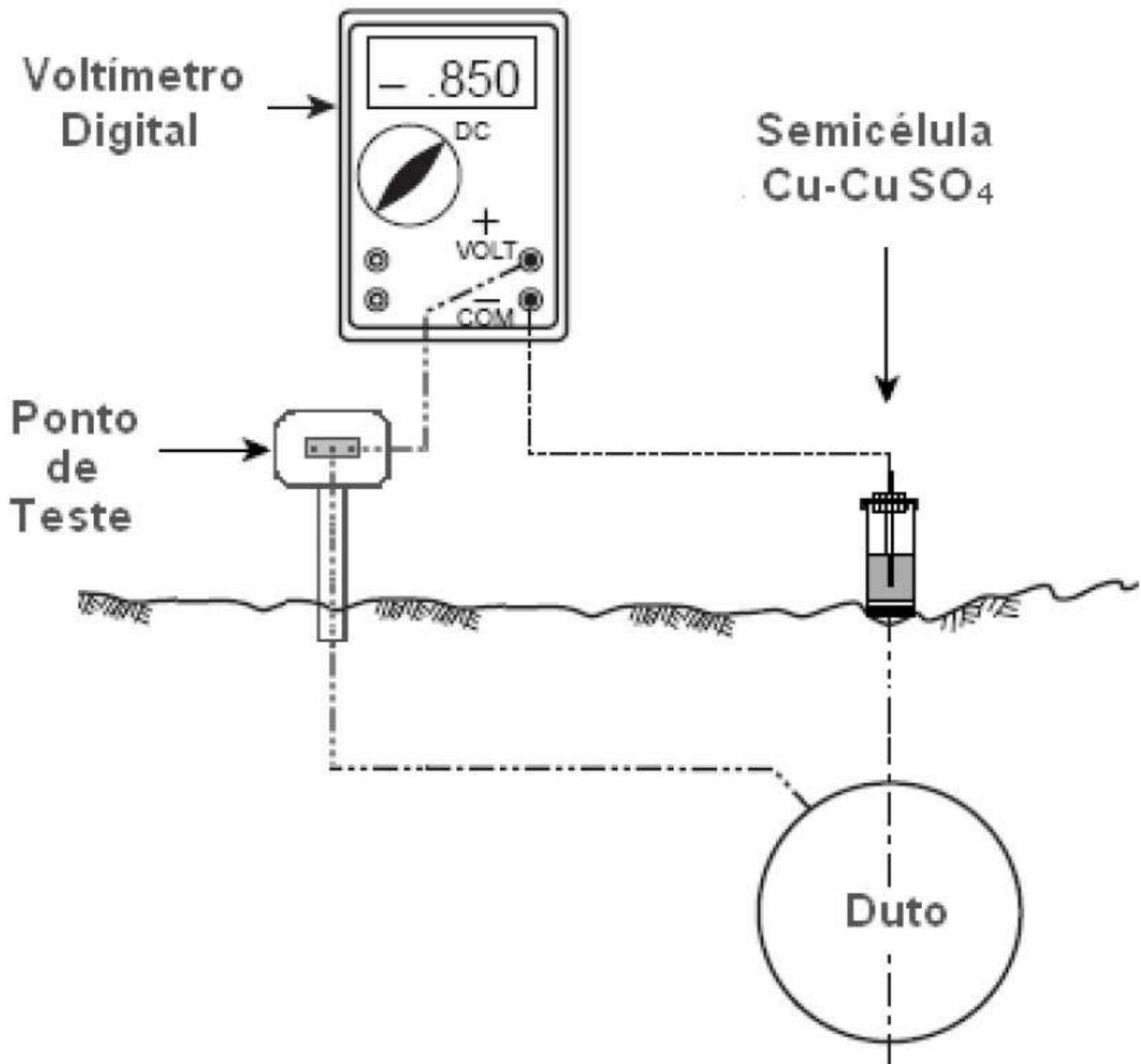
Tabela 2 – Potencial tubo/solo para determinadas resistividades elétricas

Resistividade elétrica ($\Omega\cdot\text{cm}$)	Potencial tubo/solo considerado protegido (V)
Inferior a 10.000	-0,85V
Entre 10.000 e 100.000	-0,75V
Acima de 100.000	-0,65V

Fonte: Dutra e Nunes, 2011

A medição do potencial tubo/solo é realizada com o auxílio de um voltímetro e um eletrodo de Cu/CuSO₄, também conhecido na indústria como semi-célula. O terminal positivo do multímetro é conectado a um ponto elétrico soldado na tubulação (ponto de teste) e o terminal negativo é conectado ao eletrodo de referência, conforme Figura 6. Este eletrodo deve ser instalado no solo, na região superior em que o duto se encontra.

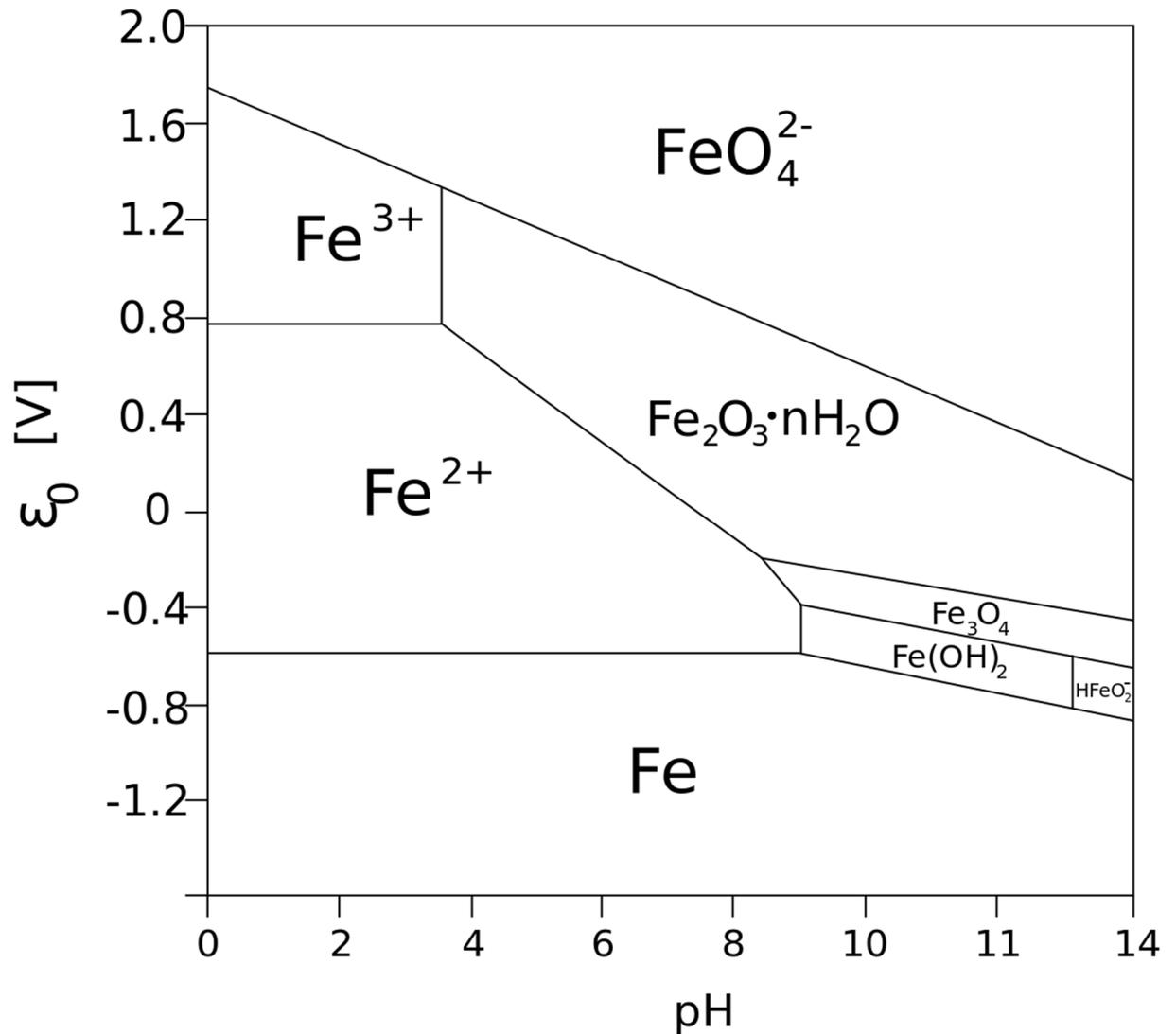
Figura 6 – Medição do potencial tubo/solo



Fonte: Peabody, 2001

Faz-se necessário, também, destacar a influência do pH no potencial medido. Existem diagramas que relacionam o potencial do ferro em função do pH do meio. Por meio desses gráficos, disponíveis nas Figuras 7 e 8, é possível prever as condições sob as quais pode-se ter corrosão, imunidade ou passivação, em determinados valores de temperatura e pressão.

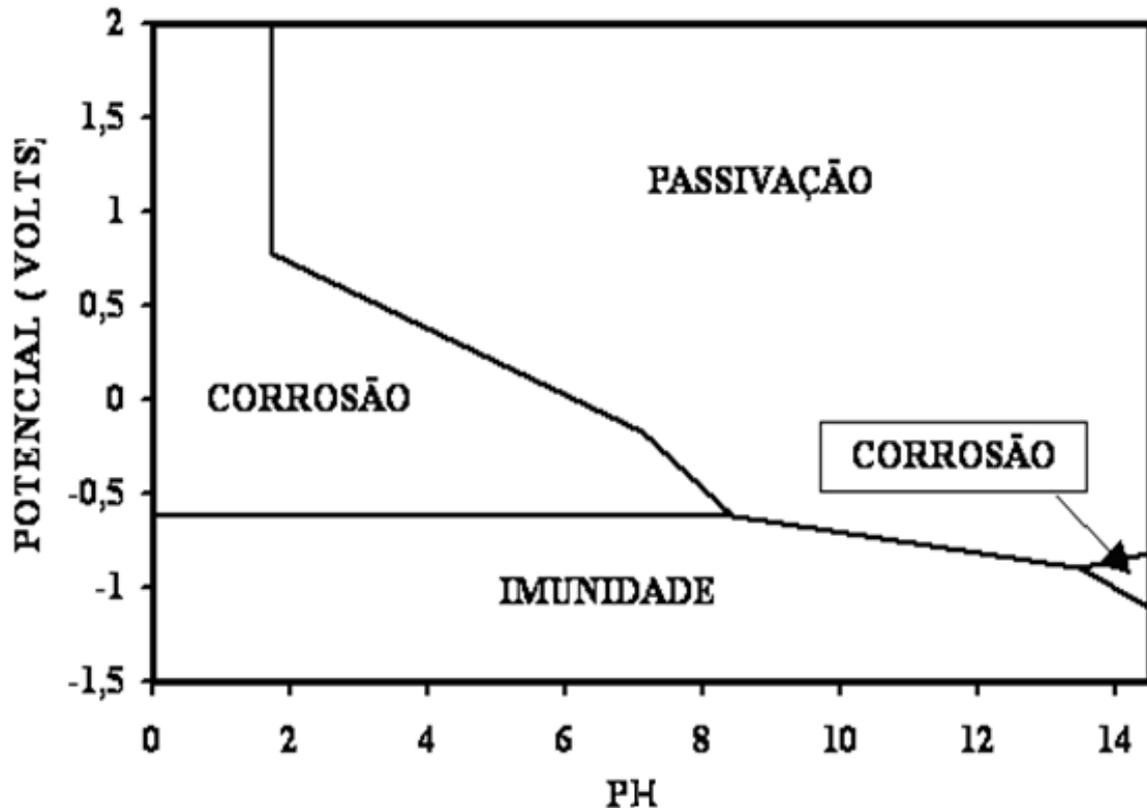
Figura 7 – Diagrama de Pourbaix para o ferro a 25°C e 1 atm



Fonte: Gentil (2011), adaptada pelo autor

Esses diagramas representam os vários equilíbrios químicos e eletroquímicos que podem existir entre o metal e o eletrólito. Como representam condições de equilíbrio, não podem ser usados para prever a velocidade de reações de corrosão (Gentil, 2011).

Figura 8 – Áreas de importância no Diagrama de Pourbaix para o ferro



Fonte: Gentil (2011), adaptada pelo autor

As Figuras 7 e 8 mostram, a título de exemplo, o diagrama do sistema ferro-água, a uma temperatura de 25°C e pressão de 1 atm. Analisando as imagens, pode-se observar diferentes áreas dentre as quais ocorrem corrosão, passivação e imunidade. Na região de corrosão, acontece a oxidação do ferro, na qual predomina a formação do íon férreo e a perda de elétrons. A área de passividade é conhecida por propiciar a formação de óxidos, que variam dependendo do meio. Caso o óxido formado seja suficientemente aderente à superfície do metal, forma-se na uma barreira que serve também como proteção anticorrosiva. A região de imunidade, caracterizada pela preservação do ferro em seu estado puro, é a área de grande interesse da proteção catódica por corrente impressa, sendo que o objetivo desta técnica é manter o potencial tubo/solo na região de imunidade.

3.4 MONITORAÇÃO DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO CATÓDICA

A monitoração de sistemas de proteção catódica por corrente impressa vem sendo cada vez mais utilizada por empresas do ramo, já que a eficiência deste tipo de sistema está diretamente ligada à disponibilidade operacional dos retificadores. A ABRACO (2007), por meio de entrevistas com especialistas, cita que:

um dos avanços mais significativos é a telemetria dos retificadores e drenagens. A eficiência dos equipamentos pode ser monitorada à distância, reduzindo o tempo de parada do equipamento, e ainda amplia o conhecimento das condições de operação dos equipamentos.

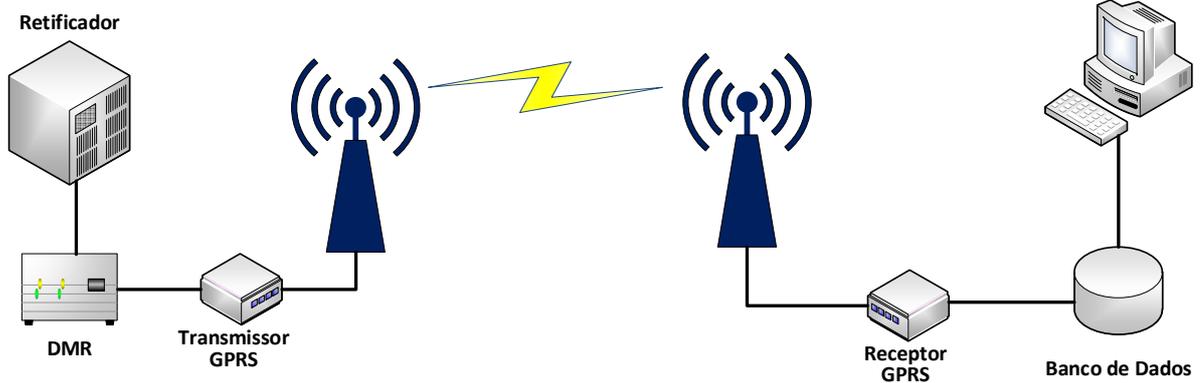
Ainda neste contexto, a mesma ABRACO (2007) comenta a respeito de projetos brasileiros na área de telemetria de sistemas de proteção catódica:

a telemetria efetuada por sistemas de automação e softwares supervisórios, objetivando o monitoramento e o controle em tempo real de uma base de dados, vai permitir que o Brasil alcance altos índices de eficiência operacional dos sistemas.

Atualmente, empresas que operam sistemas de proteção catódica podem optar pelos chamados Dispositivos de Monitoração Remota (DMR), que fazem a leitura de variáveis de sistemas de proteção catódica e transmitem os valores lidos por meio de tecnologias sem fio para um banco de dados. Se tratando da proteção de dutos enterrados, essas variáveis são grandezas lidas das fontes de corrente, na maioria das vezes retificadores.

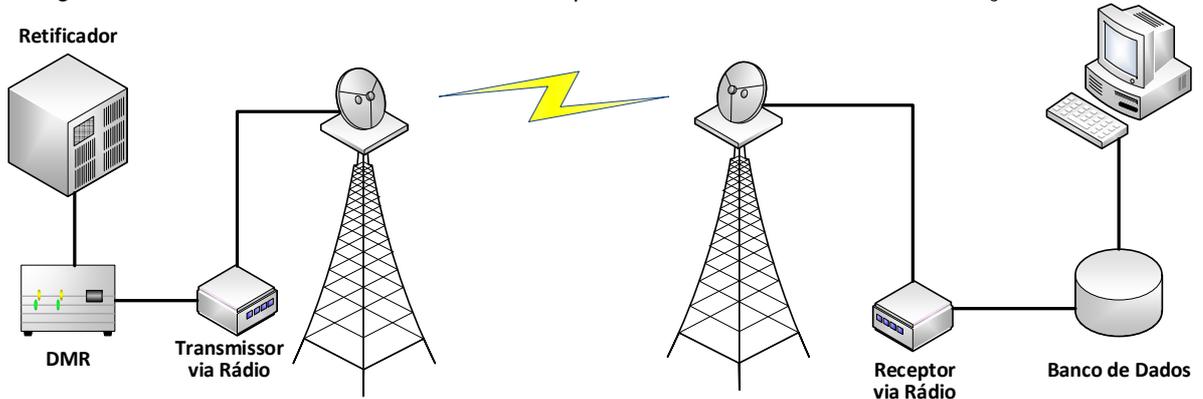
As Figuras 9 e 10 ilustram as principais formas de monitoramento. O retificador, responsável por prover a corrente de proteção do sistema de proteção catódica, é interligado ao DMR, que faz a leitura de grandezas como tensão, corrente e potencial de saída. Em seguida, os dados obtidos são transmitidos por um hardware específico, que normalmente utiliza tecnologias GPRS ou Rádio. Posteriormente, estes valores são recebidos por outro hardware, que os armazenam em um banco de dados. Nos atuais sistemas de monitoramento existentes, esse banco de dados é consultado por um microcomputador.

Figura 9 – Transmissão de leituras do DMR por meio de sistemas de comunicação GPRS



Fonte: Do autor

Figura 10 – Transmissão de leituras do DMR por meio de sistemas de comunicação via Rádio

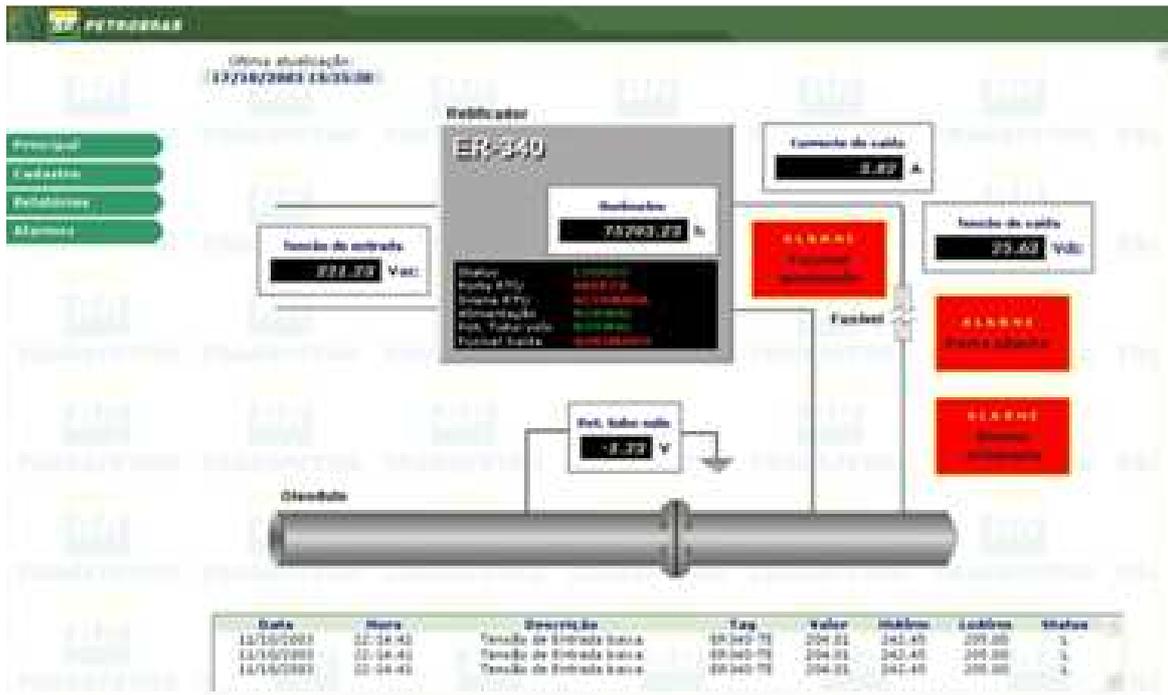


Fonte: Do autor

Peabody (2001) diz que os programas de computadores oferecem uma possibilidade para empresas que operam dutos, já que eles podem ser desenvolvidos para alertar automaticamente potenciais de proteção abaixo de níveis pré-determinados e baixa eficiência de retificadores.

Os computadores de mesa, ou desktops, são bastante utilizados em conjunto com supervisórios de sistemas de monitoração, pois representam uma importante ferramenta para gestores. Na Figura 11 temos um modelo de um supervisório para desktops utilizado em sistemas de proteção catódica por corrente impressa, contendo informações sobre tensão de entrada e saída, corrente de saída, potencial tubo/solo, monitoração do horímetro, alarme de porta aberta e alarme de queima de fusível de saída (VECTOR, 2018).

Figura 2 – Exemplo de um supervisor de proteção catódica para desktop



Fonte: Vector, 2018

Porém, apesar de muito utilizado, existem desvantagens em sistemas de monitoramento por meio de desktops, tais como a constante exigência por presença de operadores frente aos supervisórios. Problemas relacionados à vandalismo, por exemplo, raramente acontecem em horários administrativos e impactam diretamente a eficiência de sistemas de proteção catódica por corrente impressa caso não solucionados em curtos períodos de tempo.

A ideia de portabilidade traz possibilidades para área de monitoramento de sistemas de proteção catódica, pois pode favorecer, por exemplo, em rápidas soluções em caso de problemas. Caso desenvolvido, um software para dispositivos móveis poderia instantaneamente alertar colaboradores e gestores sobre possíveis anomalias nas variáveis de sistemas de proteção catódica, além de fornecer opções interativas de consultas, sendo o presente trabalho desenvolvido neste contexto.

3.4.1 Principais grandezas a serem monitoradas

A fim de garantir o correto funcionamento de sistemas de proteção catódica por corrente impressa, algumas variáveis devem ser monitoradas. Na proteção de dutos enterrados, geralmente tem-se abrigos de retificadores alimentados por corrente alternada, devido ao seu baixo custo comparados a outras fontes de proteção. Transdutores presentes nos hardwares dos Dispositivos de Monitoração Remota (DMR) fazem medições nas principais grandezas de interesse dos retificadores, que serão descritas a seguir, e as transmitem utilizando tecnologias de redes sem fio.

3.4.1.1 Tensão de entrada

Apesar de existirem retificadores alimentados por outras fontes de energia, tais como solar e eólica, na maioria das vezes eles são alimentados por tensão alternada da rede de distribuição, principalmente por critérios econômicos. Assim, uma possível falta de energia na rede da concessionária acarreta uma indisponibilidade operacional no retificador. Por este motivo, é primordial que haja uma correta monitoração na tensão de entrada do equipamento.

3.4.1.2 Tensão da bateria de emergência

Os Dispositivos de Monitoração Remota necessitam de alimentação elétrica, que na maioria das vezes é proveniente da rede de distribuição. Assim como os retificadores, eles também estão sujeitos à falta de energia, e isso pode prejudicar sua função de monitoramento. Para contornar esta situação, empresas podem optar pela utilização de baterias recarregáveis capazes de operar por curtos períodos de tempo, suficientes para permitir que o DMR cumpra o seu papel de medição e posterior transmissão da informação de problemas na tensão da concessionária. Assim, a monitoração da tensão da bateria é um importante item a ser considerado em sistemas de proteção catódica, já que a mesma indica possíveis problemas nesse mecanismo de emergência.

3.4.1.3 Sensor de invasão de abrigo

Os abrigos dos retificadores são muitas vezes instalados em regiões não habitadas, tais como áreas rurais e locais de difícil acesso. Infelizmente eles estão sujeitos a intervenções clandestinas, que prejudicam diretamente sua disponibilidade operacional. Frequentemente são instalados nesses abrigos sensores de presença, que também podem ser monitorados. Além de informar possíveis atos de vandalismo, monitorações nesses sensores permitem verificar remotamente se visitas preventivas ao equipamento foram realizadas nas datas e horários programados.

3.4.1.4 Tensão de saída

A tensão de saída dos retificadores é uma grandeza muito importante em sistemas de proteção catódica. É por meio dela que a corrente de proteção do duto é calculada, e a mesma deve estar sempre dentro de sua faixa de projeto. Por meio de monitoramentos na tensão de saída, por exemplo, é possível verificar possíveis problemas nos circuitos internos ao retificador. Logo, esta grandeza é de extrema importância na monitoração remota de sistemas de proteção catódica por corrente impressa.

3.4.1.5 Horímetro

Em sistemas de proteção catódica por corrente impressa, o horímetro é o instrumento responsável por medir o tempo operacional do retificador. Normalmente ele é utilizado como referência em possíveis cálculos de índices de disponibilidade operacional. Possíveis falhas nos retificadores, seja por falta de energia elétrica ou problemas em seus circuitos internos, afetam diretamente a tensão de saída do retificador, que é o local de alimentação do horímetro. Amplamente utilizado neste tipo de sistema, também é outro importante componente a ser monitorado.

Figura 12 – Exemplo de um horímetro digital



Fonte: S&E Instrumentos

3.4.1.6 Corrente injetada

Assim como a tensão de saída, a corrente de saída, também conhecida como corrente injetada, é uma grandeza bastante relevante em sistemas de proteção catódica. Para garantir a total proteção da estrutura metálica a ser protegida, ela deve estar dentro de seus limites de projeto. Por meio dela também é possível verificar a influência da resistividade do solo na região de interesse. Sua intensidade afeta diretamente o potencial de polarização do duto.

3.4.1.7 Potencial tubo/solo

O potencial tubo/solo, também conhecido como potencial *on*, é outra grandeza que representa a correta proteção de um duto enterrado. Ele é medido em relação a um eletrodo de referência, que normalmente está presente nos abrigos dos retificadores. Basicamente, os valores de potencial tubo/solo são comparados aos potenciais de polarização *off* do sistema e indicam, por exemplo, a necessidade de ajuste na corrente de proteção injetada. Como as demais grandezas descritas anteriormente, esse potencial também é monitorado em sistemas de proteção catódica.

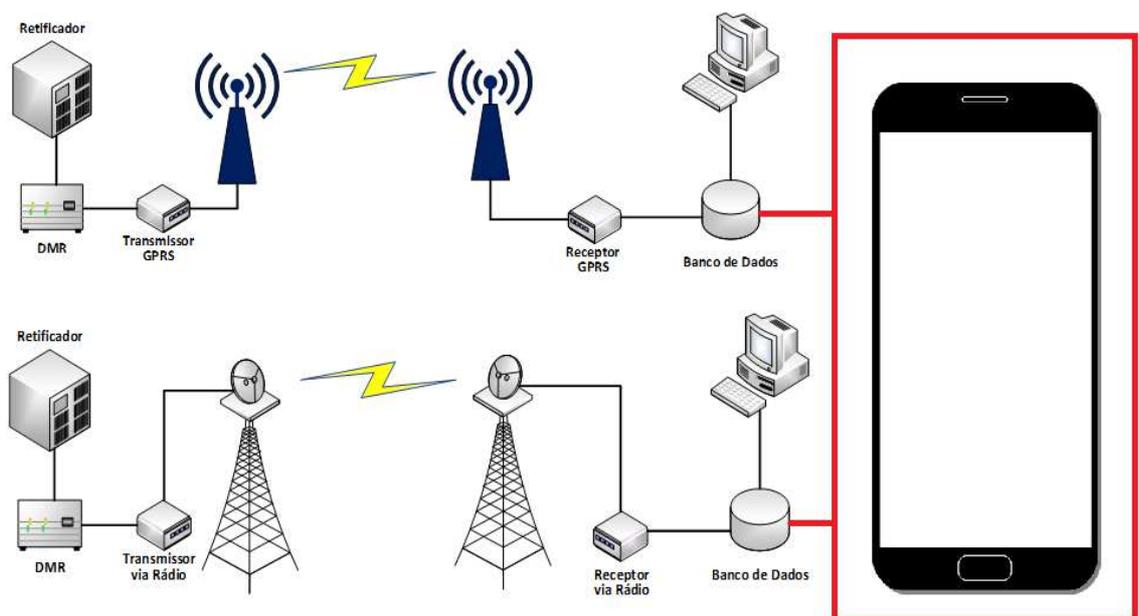
4 METODOLOGIA

Neste capítulo serão descritos assuntos referentes ao software desenvolvido, tais como plataformas de criação, utilização do aplicativo e recursos disponíveis.

4.1 INFORMAÇÕES DO APLICATIVO

O trabalho compreende na criação de um software para dispositivos móveis, que deve ser capaz de ler um banco de dados de proteção catódica pré-existente. Esse banco de dados faz parte de um sistema já operante de proteção catódica por corrente impressa, até então monitorado apenas por microcomputadores. Não há qualquer ligação direta entre o software desenvolvido e os hardwares utilizados na leitura ou transmissão dos dados do sistema, tais como DMR, transmissores e receptores. Conforme Figura 13, o aplicativo destina-se exclusivamente à sistemas de monitoramento já operantes, onde se deseja obter as vantagens da portabilidade.

Figura 13 – Sistema de proteção catódica por corrente impressa com monitoração portátil



Fonte: Do autor

4.2 SISTEMA OPERACIONAL E REQUISITOS MÍNIMOS

O sistema operacional escolhido foi o Android, por se tratar do sistema mais utilizado em dispositivos móveis, estando presente em mais de 85% dos *smartphones* em todo o mundo, segundo levantamento realizado pela Gartner recentemente (GARTNER, 2018).

As linguagens escolhidas foram o Java, na plataforma Android Studio, para a criação do aplicativo e a linguagem PHP para consultas no gerenciador de banco de dados MySQL. O motivo da escolha da plataforma Android Studio como base de desenvolvimento deve-se ao fato da gratuidade do software e da fácil interação com o programador.

Como requisitos mínimos para a utilização do aplicativo, o *smartphone* deve possuir o sistema operacional Android 4.0.3⁵ e tela mínima de quatro polegadas. Também é necessário que o *smartphone* a ser utilizado possua acesso à internet, mesmo que de baixa velocidade, para realizar a leitura do banco de dados do sistema de proteção catódica por corrente impressa.

4.3 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

Como há sistemas de proteção catódica por corrente impressa de diversas dimensões, com diferentes quantidades de dutos e retificadores de proteção, foi necessário criar um software modelo, que deverá ser futuramente ajustado de acordo com as características do sistema a ser monitorado.

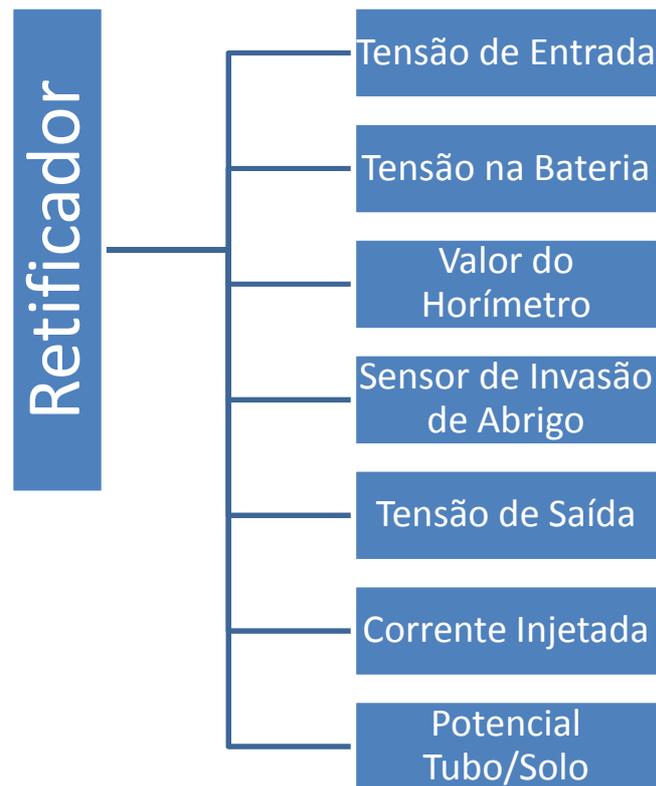
A título de exemplo para o desenvolvimento deste trabalho, foi criado um sistema de proteção catódica por corrente impressa fictício contendo dois dutos, Oleoduto de Minas Gerais e Gasoduto do Alto Paulista, cada um protegido por cinco retificadores.

Como o aplicativo depende de um banco de dados pré-existente, responsável por armazenar as grandezas lidas do sistema, foi necessário também criar um banco de dados modelo. Pela linguagem de fácil utilização e possibilidade de armazenamento gratuito em servidores web, o gerenciador de banco de dados escolhido para o desenvolvimento deste trabalho foi o MySQL, cuja estrutura geral

⁵ Também conhecido como Android "Ice Cream Sandwich", esta versão foi disponibilizada no quarto trimestre de 2011.

de tabelas dos retificadores encontra-se na Figura 14. É possível simular leituras realizadas nos retificadores simplesmente alterando manualmente as tabelas do banco de dados. Essas modificações devem ser detectadas pelo software desenvolvido.

Figura 14 – Estrutura geral da tabela dos retificadores no banco de dados



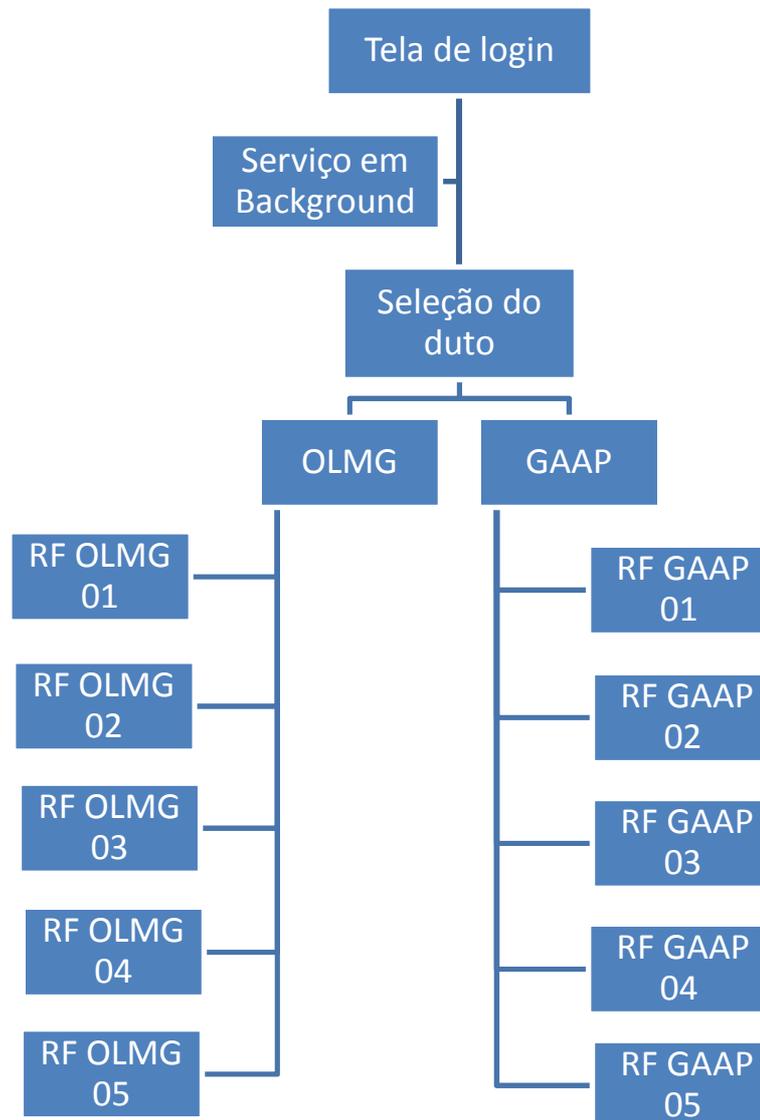
Fonte: Do autor

4.4 UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE

Conforme disponível na Figura 15⁶, o software foi criado visando uma ágil e objetiva utilização, contendo menus de fácil compreensão e componentes visuais interativos.

⁶ OLMG – Oleoduto de Minas Gerais | GAAP – Gasoduto do Alto Paulista | RF - Retificador

Figura 15 – Fluxograma do aplicativo



Fonte: Do autor

Ao acessar o ícone do programa, o usuário é direcionado para a tela de *login* disponível na Figura 16, onde deve inserir seus dados de usuário e senha previamente cadastrados. Para a privacidade do usuário, os caracteres do campo senha são trocados por símbolos na medida em que os dados são inseridos. Em caso de erro durante a tentativa de *login*, uma notificação é apresentada na tela.

Figura 16 – Tela de login do software desenvolvido



Fonte: Do autor

Na tela seguinte, disponível na Figura 17, após a correta verificação das informações do usuário, é possível escolher um determinado sistema de proteção catódica por corrente impressa, no qual conta inicialmente com dois dutos fictícios criados a título de exemplo para o desenvolvimento deste trabalho, denominados OLMG e GAAP⁷.

Em processo de *background*, é feita a primeira comunicação do software com o banco de dados externo. O resultado desta comunicação é mostrado na parte inferior da tela, contendo as indicações “Sem comunicação” em caso de falha, e o horário da última comunicação em caso de sucesso.

⁷ Oleoduto de Minas Gerais e Gasoduto do Alto Paulista.

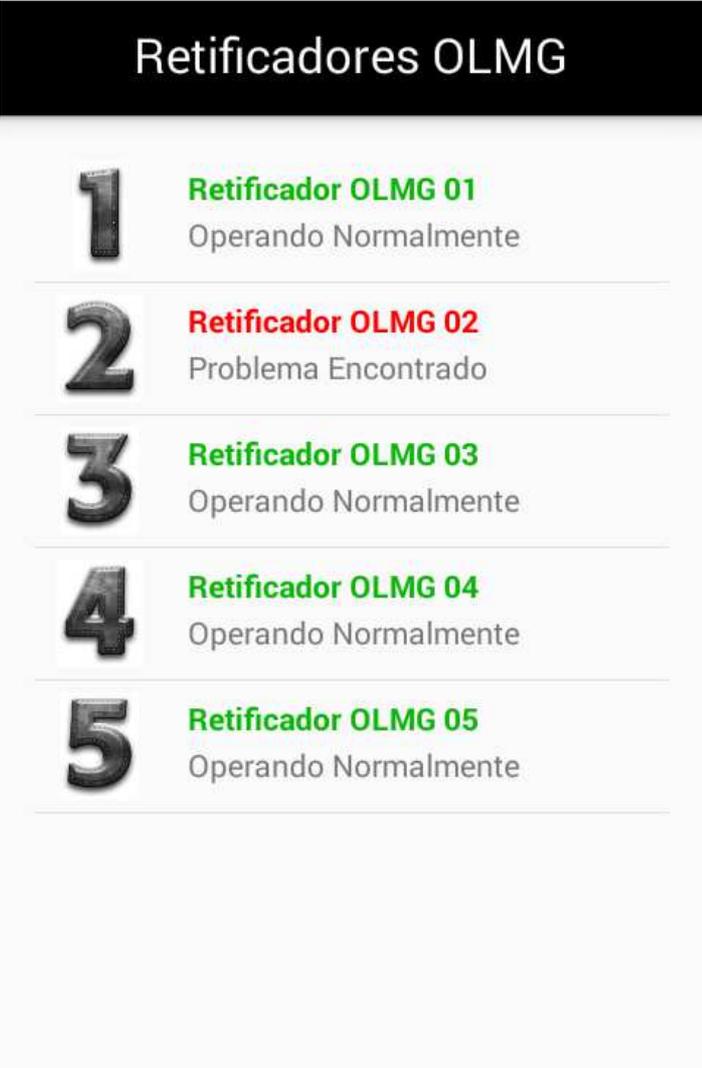
Figura 17 – Tela de seleção de dutos



Fonte: Do autor

Ao escolher o duto de sua preferência, o usuário é então redirecionado para a tela da Figura 18, onde encontrará a lista dos retificadores que protegem o duto selecionado. A título de exemplo para o desenvolvimento deste trabalho, foram criados cinco retificadores para cada um dos dois dutos existentes no programa. Os retificadores que não apresentam problemas são destacados em verde e possuem a indicação de “Operando Normalmente”, enquanto os outros possuem a cor vermelha e indicam a mensagem de “Problema Encontrado”.

Figura 18 – Tela dos retificadores que protegem o duto OLMG



The image shows a control panel titled "Retificadores OLMG" with a black header. Below the header, there is a list of five rectifiers, each with a large number (1-5) on the left, a name in green text, and a status in grey text. Rectifier 2 is highlighted in red, indicating a problem.

Retificador	Status
1 Retificador OLMG 01	Operando Normalmente
2 Retificador OLMG 02	Problema Encontrado
3 Retificador OLMG 03	Operando Normalmente
4 Retificador OLMG 04	Operando Normalmente
5 Retificador OLMG 05	Operando Normalmente

Fonte: Do autor

Ao clicar em um dos retificadores, é aberta a tela disponível na Figura 19, contendo os principais dados sobre ele, incluindo sua imagem, valores de tensão de saída, corrente injetada e potencial tubo/solo. Essas três variáveis ganham destaque na tela, pois são as principais referências de possíveis problemas no retificador. As mesmas são frequentemente atualizadas pelo software, de acordo com as leituras realizadas no banco de dados.

Figura 19 – Tela principal do retificador



Fonte: Do autor

Os valores abaixo de tolerâncias previamente estipuladas são indicados em vermelho, enquanto as demais indicações aparecem na cor verde. O usuário pode ainda utilizar a câmera do *smartphone* para atualizar a foto do retificador.

Na parte inferior desta mesma tela são indicadas informações de comunicação com o retificador e banco de dados. O item “Última Resposta do RF” representa o horário da última comunicação entre banco de dados e retificador, enquanto que o item “Comunicação com o BD” indica a última vez que o software conseguiu se comunicar com o banco de dados.

Ainda nesta tela, há um ícone de integração do software com o aplicativo Google Maps®, onde o usuário é redirecionado para o sistema de GPS, sendo a localização do retificador automaticamente selecionada como destino final. Esta

funcionalidade pode ajudar colaboradores que desconhecem a localização do retificador e precisam alcançá-lo por algum motivo. Por fim, existe o ícone de informações adicionais, que permite a abertura de uma nova tela contendo os demais dados do retificador que foram recebidos do banco de dados.

Nesta nova tela, que está disponível na Figura 20, o usuário pode consultar os valores de tensão de entrada, importantes para saber se há falta de energia da concessionária; tensão da bateria de emergência, responsável por manter o sistema de monitoramento operante em caso de problemas; horímetro, que permite verificar o tempo que o retificador ficou operante em determinado período; sensor de invasão de abrigo, que apresenta informações sobre possíveis intervenções clandestinas; e os valores de tensão de saída, corrente injetada e potencial tubo solo, que são as principais variáveis do retificador. Todas as variáveis são acompanhadas de um ícone ilustrativo, localizado no lado esquerdo das indicações da tela.

Figura 20 – Tela de dados adicionais do retificador



Fonte: Do autor

Além das funcionalidades citadas, foram desenvolvidos algoritmos de alarmes e notificações, utilizados na integração entre software e sistema operacional Android. Um serviço em *background* foi criado para verificar, de tempos em tempos, se há alguma variável no banco de dados que indique possíveis falhas nos retificadores do sistema. Em caso positivo, o sistema operacional alerta o usuário e o direciona ao programa, mais especificamente para a tela do retificador problemático escolhido. Este sistema de alertas suporta múltiplas notificações e também fornece uma indicação sonora para cada problema encontrado.

Caso alguma variável esteja fora das tolerâncias pré-definidas, o serviço em *background* detectará o problema e ativará os algoritmos de notificações, mesmo que o usuário esteja utilizando seu *smartphone* para outras atividades ou o *smartphone* esteja em estado de espera⁸. O resultado é mostrado na Figura 21.

Figura 21 – Tela de notificação de problemas encontrados



Fonte: Do autor

⁸ Também conhecido como modo *standby*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão descritas as informações de registro do software e os testes executados no aplicativo.

5.1 TESTES REALIZADOS

Os testes foram realizados no *smartphone* Motorola Razr D3®, lançado no primeiro semestre de 2013, cujas especificações técnicas atendem aos requisitos mínimos exigidos pelo software desenvolvido.

5.1.1 Testes de performance

Foi testada a navegação pelo software em buscas de possíveis travamentos ocasionados por algoritmos internos ao programa. A fim de simular uma situação de stress no software, foram sequencialmente inseridas várias entradas no banco de dados de todos os retificadores, objetivando a criação de diversas janelas de notificação de problemas no aplicativo, obrigando o programa a atualizar o status de vários retificadores num curto período de tempo. A resposta no aparelho testado foi satisfatória, não sendo observados travamentos que comprometessem a navegação pelo aplicativo. A atualização dos valores das variáveis no software e as trocas de cores das indicações na tela aconteceram de forma positiva, não sendo observados problemas relacionados a travamentos ou lentidões.

5.1.2 Testes de comunicação

Foi testada a comunicação entre aplicativo e banco de dados, utilizando redes Wi-Fi, 3G e EDGE. Como o aplicativo não trabalha com *downloads* de imagens, não houve maiores problemas em nenhum dos três tipos de conexão com a Internet. Na conexão tipo EDGE, houve um *delay* máximo de 105 segundos entre a inserção de valores no banco de dados e a atualização das variáveis do software, enquanto que nas demais conexões esse *delay* máximo observado foi de 55 segundos.

5.1.3 Testes de integração com o Google Maps®

A ligação existente entre o software desenvolvido e o sistema de GPS disponível no aplicativo Google Maps® foi testada e apresentou resultados satisfatórios. As coordenadas dos retificadores foram previamente inseridas no software e corretamente identificadas pelo Google Maps®, que as indicou como destino final de navegação.

5.1.4 Testes da câmera

Como o aplicativo permite a utilização da câmera para atualizar a foto de determinado retificador, este recurso também foi testado, apresentando resultados satisfatórios para todos os dez retificadores presentes no programa. O software cria na raiz do *smartphone* uma pasta chamada “Camera_SPC”, onde salva as imagens tiradas durante o uso do aplicativo.

5.2 REGISTRO DO SOFTWARE

O programa foi registrado no Instituto Nacional da Propriedade Industrial sob o número BR 51 2018 000307-9. Seu certificado de registro encontra-se no Anexo A deste trabalho e é válido por 50 anos. Ele possui abrangência internacional, sendo válido nos 175 países signatários da Convenção de Berna (INPI, 2018).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ideia do aplicativo surgiu de uma necessidade prática do autor, que atualmente vivencia dificuldades na monitoração de sistemas de proteção catódica por corrente impressa. Acreditamos que as funcionalidades presentes no software desenvolvido, principalmente as notificações e alertas de problemas, podem facilitar bastante o dia-a-dia de gestores e colaboradores que atuam diretamente neste tipo de sistema. Empresas da área de proteção catódica têm investido bastante em soluções que possam auxiliar no aumento da eficiência de seus sistemas, e o programa criado representa uma inovação que atende a esta demanda.

O aplicativo descrito neste trabalho teve como base um sistema de proteção catódica por corrente impressa fictício, e deve ser ajustado de acordo com as particularidades de cada sistema, que podem possuir diferentes quantidades de retificadores e dutos. Para o futuro, temos como meta focar na divulgação do software para empresas que atuam no ramo, a fim de lançar o aplicativo no mercado, como inovação na área de monitoração. O registro do software no Instituto Nacional da Propriedade Industrial foi de relevante importância na proteção dos direitos autorais pertinentes (ANEXO A).

7 REFERÊNCIAS

ABRACO. **Corrosão & Proteção**. Rio de Janeiro: Aporte Editorial LTDA, Ano 4 Nº 13, 2007, 34 p. Disponível em: <<http://www.abraco.org.br/src/uploads/2016/01/Revista-corrosao-e-protecao-13.pdf>>. Acesso em: agosto 2018.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 616 p.

BERTAGLIA, Paulo Roberto. **Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento**. São Paulo: Saraiva, 2003. 509 p.

CORSINI, Rodnei. **Proteção catódica**. PINI Infraestrutura Urbana, 2011. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/14/artigo257602-1.aspx>>. Acesso em: agosto 2018.

DUTRA, Aldo Cordeiro. NUNES, Laerce de Paula. **Proteção Catódica - Técnica de Combate à Corrosão**. 5. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011, 344 p.

ESTADÃO PME. **Conheça 10 aplicativos gratuitos e que podem ajudar na gestão e no sucesso do seu negócio**. 2013. Disponível em: <<http://pme.estadao.com.br/noticias/noticias,conheca-10-aplicativos-gratuitos-e-que-podem-ajudar-na-gestao-e-no-sucesso-do-seu-negocio,3521,0.htm>>. Acesso em: agosto 2018.

FGV-EAESP. **Pesquisa Anual do Uso de TI nas Empresas**. GVcia, 2018. Disponível em: <<https://eaesp.fgv.br/sites/eaesp.fgv.br/files/pesti2018gvciappt.pdf>>. Acesso em: agosto 2018.

FHWA. **Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States**. NACE International, 2002. Disponível em: <<https://www.nace.org/uploadedFiles/Publications/ccsupp.pdf>>. Acesso em: agosto 2018.

GARTNER. **Gartner Says Worldwide Sales of Smartphones Recorded First Ever Decline During the Fourth Quarter of 2017**. 2018. Disponível em: <<https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-02-22-gartner-says-worldwide-sales-of-smartphones-recorded-first-ever-decline-during-the-fourth-quarter-of-2017>>. Acesso em: agosto 2018.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 359 p.

GLOBO. **Brasil chegou a 273,58 milhões de telefones celulares em março**. Portal G1, 2014. Disponível em: <<http://glo.bo/1hpL0ke>>. Acesso em: agosto 2018.

HA, Peter. **Motorola DynaTAC 8000x**. TIME Magazine, 2010. Disponível em: <http://content.time.com/time/specials/packages/article/0,28804,2023689_2023708_2023656,00.html>. Acesso em: agosto 2018.

INPI. **Perguntas frequentes - Programa de computador**. 2018. Disponível em: <<http://www.inpi.gov.br/servicos/perguntas-frequentes-paginas-internas/perguntas-frequentes-programa-de-computador>>. Acesso em agosto 2018.

IZA. **Aplicações Internacionais da Galvanização Contra a Corrosão em Pontes e Viadutos**. ICZ, 2011. Disponível em: <<http://www.icz.org.br/upfiles/arquivos/apresentacoes/Bridges-Brazil-2013.pdf>>. Acesso em: agosto 2018.

LAM, Chio. **Statistical Analyses of Historical Pipeline Incident Data with Application to the Risk Assessment of Onshore Natural Gas Transmission Pipelines**. Western University, 2015. Disponível em: <<http://ir.lib.uwo.ca/cgi/viewcontent.cgi?article=4525&context=etd>>. Acesso em: agosto 2018.

MOURA, J.P. de; URTIGA FILHO, S.L. **Análise de crimes ambientais provenientes de derramamentos por corrosão em dutos e sua relação com o licenciamento ambiental nas atividades de exploração e produção de petróleo onshore**. 2011. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2011_2/CrimesAmbientais/index.htm>. Acesso em: agosto 2018.

NEMES, Ana. **Dez aplicativos para uso corporativo**. TECMUNDO, 2013. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/android/35103-10-apps-para-uso-corporativo.htm>>. Acesso em: agosto 2018.

PEABODY, A. W. **Control of Pipeline Corrosion**. 2. ed. Houston, Texas: NACE International, 2001, 347 p.

PHMSA. **Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration - Data & Statistics**. Disponível em: <<https://www.phmsa.dot.gov/pipeline/library/data-stats>>. Acesso em: agosto 2018.

SIQUEIRA, José Roberto. **Programação do Pocket PC com Embedded Visual Basic**. São Paulo: Novatec editora, 2005.

S&E Instrumentos. **Horímetros Digitais**. Disponível em: <<https://www.seinstrumentos.com.br/horimetros.html>>. Acesso em: agosto 2018.

TENARIS. **Tubo de Aço e Revestimentos**. 2008. Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM141/Conte%FAdos/tenaris_confab_FABRICA_O_COM%20COSTURA.PDF>. Acesso em: agosto 2018.

VECTOR, Engenharia e Sistemas de Automação. **Oleodutos, Terminais e Piers da Petrobras contam com Sistemas de Proteção Catódica da Vector**. Disponível em: <<http://www.vector.com.br/site/?p=212>>. Acesso em: agosto 2018.

8 ANEXO A – Certificado de Registro do Software no INPI



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
Ministério Da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

Diretoria de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados

Certificado de Registro de Programas de Computador

Processo nº: BR 51 2018 000307-9

O Instituto Nacional da Propriedade Industrial expede o presente certificado de Registro de Programas de Computador, válido por 50 anos a partir de 1º de janeiro subsequente à data de Publicação: 20 de outubro de 2017, em conformidade com o parágrafo 2º, artigo 2º da Lei Nº 9.609, de 19 de Fevereiro de 1998.

Título: **Software para monitoramento de sistemas de proteção catódica por corrente impressa utilizando dispositivos móveis**

Data de Criação: 01 de abril de 2017

Data de publicação: 20 de outubro de 2017

Titular(es): UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO

Autor(es): MARCOS MASSAO SHIMANO
/ VICTOR DE OLIVEIRA JACOME

Linguagem: JAVA, MYSQL, PHP

Campo de Aplicação: 02

Tipo Programa: AP-01

Algoritmo Hash: SHA-512

Resumo Digital:

8D365C45B46220E0246B38024777D0F79DFFB496C08921E9D752DDF2619BD66F74A7BAD9F90F02
FE43695F6F2BA05FA28A80B90DD0425637D4CCB9D4D4E8F3CD

Expedido em: 20 de março de 2018

Aprovado por Julio Cesar Castelo Branco Reis Moreira

