

**CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
EVERTON KUSSLER JORGE**

**ESTUDO DE CASO: CORROSÃO NAS ESTRUTURAS METÁLICAS EM UMA
FÁBRICA DE FERTILIZANTES**

**CASCATEL - PR
2016**

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
EVERTON KUSSLER JORGE

**ESTUDO DE CASO: CORROSÃO NAS ESTRUTURAS METÁLICAS EM UMA
FÁBRICA DE FERTILIZANTES**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Professor Orientador: Eng. Civil Esp. Ricardo Paganin.

CASCADEL - PR
2016

DEDICATÓRIA

Dedico a minha esposa, Danielle, que de forma especial e carinhosa me deu força e coragem, me apoiando nos momentos de dificuldades. Quero dedicar também as minhas filhas, Cecylia e Alice, que embora não tivessem conhecimento disto, iluminaram de maneira especial os meus pensamentos me dando força para buscar mais conhecimentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela força em minha vida. A minha esposa por entender minha ausência durante esta longa caminhada e por estar sempre ao meu lado nos momentos mais difíceis. A minha família que sempre me apoiou e que também esteve ao meu lado desde o início desta jornada. Aos meus professores que me auxiliaram em meu trabalho e aos meus colegas de trabalho que participaram e me auxiliaram em minha pesquisa.

RESUMO

O presente trabalho faz um estudo a respeito da corrosão que é causada nas estruturas metálicas em fábricas de fertilizantes, com o objetivo de minimizar os custos com manutenções corretivas periódicas das máquinas e da estrutura do armazém, contendo dois ensaios. O primeiro ensaio é uma caracterização do ambiente seguindo os critérios da norma NBR 8800/2008, Anexo N, no qual são colocados corpos de prova de tamanhos definidos, livres de impurezas superficiais e pesados, em vários locais da indústria e, após um ano de exposição, são novamente limpos e pesados e através da perda de massa por metro quadrado é possível classificar o ambiente por meio de uma tabela disponibilizada pela norma. O segundo ensaio foi concluído em laboratório utilizando cinco corpos de prova de tamanhos já definidos limpos e pesados, cinco tipos de matérias primas, que são as mais utilizadas na fábrica. Essas amostras são mergulhadas em caixas estanques completas com fertilizantes, um corpo de prova para cada tipo de matéria prima, e semanalmente umidificada com água destilada para a aceleração do processo e, após quatro meses, são retiradas e limpas novamente e pesadas e mediante a massa inicial e massa final é possível saber qual obteve a maior perda. As amostras do material metálico serão de aço 1020, que é utilizado na fábrica, em sua estrutura como terças e vigas. No ensaio de caracterização do ambiente, obteve-se três amostras classificadas como C-4 Alta e três amostras classificadas como C-5I Muito alta industrial, ambas as classificações requerem cuidados adicionais com a estrutura, como tratamentos de superfícies internas em condutos fechados, tratamentos de fresta, tratamentos de junções a fim de evitar o acúmulo de pó e umidade, acessos para tratamentos superficiais mais frequentes entre outras medidas de controle. Para o ensaio dois, das cinco amostras produzidas obteve-se quatro tipos de oxidação diferentes, empolamento de hidrogênio, corrosão por pite ou puntiforme, Alveolar e Filiforme generalizada. A matéria prima que mais causou oxidação e obteve uma maior redução na sua massa foi a amostra um, que estava em contato direto com o KCL 00 00 60, matéria rica em potássio e com alto grau de corrosão, em apenas quatro meses retirou 3,12% de massa da amostra, enquanto o TSP 00 46 00 apresentou uma redução de apenas 1,37. Este trabalho mostra que com alguns cuidados simples é possível tomar medidas de controle sobre a estrutura visando reduzir o custo com manutenções corretivas como, por exemplo, a escolha de linhas de produção onde o fertilizante é mais agressivo, a armazenagem do produto onde não exista a presença de estrutura metálica, quando houver substituição da estrutura fazer da maneira correta, etc.

Palavras – chave: Estrutura metálica. Classificação do Ambiente. Oxidação. Fertilizantes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo Metalúrgico.....	14
Figura 2 - Corrosão uniforme em chapa de aço carbono	16
Figura 3 - Pites em tubo de aço carbono	16
Figura 4 - Corrosão intergranular	17
Figura 5 - Variação do número de oxidação.....	22
Figura 6 - Curvas representativas de velocidade de corrosão	23
Figura 7 - Esboço da fábrica de fertilizantes	29
Figura 8 - Corpos de prova puncionados.....	31
Figura 9 - Corpos de provas limpos	32
Figura 10 - Ferramenta elétrica com disco <i>Flap</i>	34
Figura 11 - Balança de precisão	35
Figura 12 - Amostras antes da limpeza	35
Figura 13 - Figura 14 - Corpos de prova da descarga	37
Figura 15 - Figura 16 - Corpos de prova mistura 2	38
Figura 17 - Figura 18 - Corpos de prova mistura 1	38
Figura 19 - Gráfico dos resultados do ensaio	40
Figura 20 - Corpos de prova marcados com punção	41
Figura 21 - corpos de prova após quatro meses de ensaio.....	41
Figura 22 - Corpo de prova KCL 00.00.60.....	42
Figura 23 - Corpo de prova FERT-UP, antes do processo de limpeza.....	43
Figura 24 - corpo de prova após a limpeza.....	44
Figura 25 - Figura 26 - Corpo de prova do SAM 21 00 00	44
Figura 27 - corpo de prova do MAP	45
Figura 28 - Corpo de prova do TSP	46
Figura 29 - Gráfico perda de massa.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de classificação de ambiente	27
Tabela 2 - Resumo do ensaio de caracterização do ambiente	36
Tabela 3 - Classificação do ambiente	39
Tabela 4 - Resumo dos resultados obtidos	42

LISTA DE FORMULAS

Equação 1 - Cálculo de perda de massa por metro quadrado	31
Equação 2 - Cálculo da porcentagem da perda de massa	33

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	11
1.1 INTRODUÇÃO.....	11
1.2 OBJETIVOS.....	12
1.2.1 Objetivo geral	12
1.2.2 Objetivos específicos.....	12
1.3 JUSTIFICATIVA	12
1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	13
1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	13
CAPÍTULO 2.....	14
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1.1 Corrosão	14
2.1.2 Formas De Corrosão.....	15
2.1.3 Mecanismos Básicos Da Corrosão	18
2.1.4 Meios Corrosivos.....	19
2.1.5 Oxidação-Redução.....	21
2.1.6 Velocidade Da Corrosão.....	22
2.1.7 Efeitos Da Corrosão	24
2.2 ESTUDOS DOS FERTILIZANTES	25
2.3 ENSAIO	26
CAPÍTULO 3.....	29
3.1 METODOLOGIA.....	29
3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa	29
3.1.2 Ensaio para a caracterização do ambiente	30
3.1.3 Identificação do produto mais nocivo ao aço dentro da fábrica de fertilizante.....	32
3.1.4 Análise dos dados	33

CAPÍTULO 4.....	34
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
4.1.1 Ensaio de caracterização do ambiente	34
4.1.1.1 Descarga rodoviária.....	36
4.1.1.2 Mistura 2.....	37
4.1.1.3 Mistura 1.....	38
4.1.1.4 Comparativos das amostras	39
4.1.2 Identificação do produto mais nocivo ao aço dentro da fábrica de fertilizante.....	40
4.1.2.1 Perda de massa do, 00 00 60 (KCL).....	42
4.1.2.2 Perda de massa do, 02 18 18 (FERT-UP)	43
4.1.2.3 Perca de massa do, 21 00 00 (SAM).....	44
4.1.2.4 Perca de massa do, 11 52 00 (MAP).....	45
4.1.2.5 Perca de massa do, 00 46 00 (TSP)	45
4.1.2.6 Comparativos do material.....	46
CAPÍTULO 5.....	48
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
CAPÍTULO 6.....	49
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, o crescimento do agronegócio no Brasil fez com que as técnicas utilizadas fossem aprimoradas, principalmente em relação aos fertilizantes utilizados com maior demanda, consequentemente, o número de fábricas aumentou, sendo muitas vezes executadas como estruturas metálicas. Os fertilizantes são compostos por elementos químicos e minerais, que ao sofrer atrito entre eles se desprendem em micro partículas que ficam em suspensão no ar. Essas partículas além de reter umidade, também conseguem aumentar a condutibilidade elétrica dos materiais, que ao entrar em contato com o metal, ocasiona oxidação acelerada (AUTOR, 2016).

A oxidação pode ser aliada ou não a esforços mecânicos, diminuindo a vida útil dos equipamentos e das estruturas metálicas, trazendo enorme prejuízo, pois a substituição do material corroído ou o tratamento para superfícies tem um custo muito elevado.

A corrosão caracteriza um dos maiores problemas em fábricas de fertilizantes, fazendo com que o custo de manutenção preventiva e corretiva se torne muito alto, geralmente estas manutenções são realizadas em tempo de baixa produção, onde são realizadas as trocas das estruturas metálicas, terças, parafusos, pinos, entre outros materiais metálicos. Desenvolver um estudo da corrosão e sua causa é fundamental para que possamos melhorar estas intervenções para melhorar a vida útil da estrutura.

A norma NBR 8800-2008, anexo N, contempla cuidados na construção de estruturas metálicas de acordo com o grau de corrosão do ambiente. Esses cuidados são em sua maioria métodos construtivos, onde visa deixar o mínimo de acúmulo de matéria prima em sua estrutura e pontos de acesso a locais onde há necessidade de manutenções periódicas.

Tendo em vista a preocupação para a aplicação correta de cuidados específicos que visam aumentar a vida útil da estrutura metálica, esta pesquisa teve como objetivo a caracterização da agressividade dos fertilizantes utilizados na fábrica, assim como a classificação da agressividade do ambiente, com base nos ensaios orientados pelo anexo N da NBR 8800 (ABNT, 2008)

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Classificar a agressividade do produto (fertilizante), assim como a agressividade do ambiente da fábrica.

1.2.2 Objetivos específicos

- Classificar a agressividade da matéria prima (fertilizante) por exposição do agente químico em laboratório;
- Classificar a agressividade do meio fabril utilizando os critérios do anexo N da NBR 8800/2008 para classificar a agressividade do ambiente.

1.3 JUSTIFICATIVA

A corrosão é um processo de deterioração do material metálico que pode ser entendida a partir de processos corrosivos. Esses processos devem ser sempre avaliados através de algumas variáveis, que determinam alguns fatores, os principais são: taxa de corrosão, porcentagem de perda, velocidade da corrosão, agressividade do meio, entre outros. Segundo Gentil (1996, pg. 31) A corrosão tem como definição, a deterioração de material, geralmente metálico, através de uma ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos. Essa deterioração que é causada pela interação físico-química entre o material e o seu meio, representa alterações indesejáveis sofridas, como por exemplo, o desgaste, variações químicas e modificações estruturais, que torna o material inadequado para o uso.

Nas fábricas de fertilizantes, consegue-se perceber que a corrosão está presente em seu meio, e a norma NBR8800-2008 contempla alguns cuidados adicionais para estruturas metálicas cujo ambiente seja muito agressivo, para isso existe um ensaio de classificação do ambiente e, de acordo com a classificação, podemos enquadrar a fábrica de fertilizantes e saberemos se há necessidade destes cuidados ou não, alguns cuidados são: A necessidade de recobrimento na parte interna de tubos, acessos nas estruturas para manutenção, formas de

fixação de peças metálicas, diminuição de lugares onde possa ter acúmulo de partículas, entre outros.

A empresa objeto do estudo gastou no último ano cerca de um milhão e duzentos mil reais com recuperação de estruturas, em tratamentos de superfícies, como pintura, jateamento e a substituição das estruturas nos casos crônicos. Esta estrutura que se encontra em funcionamento há apenas onze anos, já necessitou de várias manutenções, com tintas de recobrimento, substituição de estrutura, jateamento e limpeza, e se percebe que a vida útil da estrutura e equipamentos é relativamente baixa, comparada com outras empresas que não são do ramo do fertilizante.

Diante do exposto, verifica-se a necessidade da verificação da agressividade do meio e as orientações prescritas para que tenha-se uma melhor utilização da estrutura, evitando gastos com recuperação e manutenção.

1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Em qual característica de ambiente a fábrica de fertilizante X se encontra pela norma 8800/2008 tabela N.1, e qual o fertilizante é o mais agressiva dentre as mais utilizadas em unidades de mistura?

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi limitada à determinação do grau de agressividade do ambiente da fábrica de fertilizantes X, localizada na cidade de Cascavel - PR, através da aplicação da metodologia do anexo N da NBR 8800/2008.

Na fábrica da Yara são utilizados os fertilizantes: 11 52 00 (Map), 21 00 00 (Sam), 00 46 00 (Tsp), 00 00 60 (Kcl), 02 18 18 (Fert-up), logo, a pesquisa limita-se na classificação do grau de agressividade para o ambiente fabril que possui manipulação dos mesmos.

Limitou-se ainda a essa pesquisa a verificação dentre os fertilizantes utilizados na fábrica da Yara a definição de qual tem maior influência na corrosão da estrutura metálica.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Corrosão

De acordo com Gentil (1996, p.31) a corrosão pode ser definida como:

A corrosão tem como definição, a deterioração de material, geralmente metálico, através de uma ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos. Essa deterioração que é causada pela interação físico-química entre o material e o seu meio, representa alterações indesejáveis sofridas, como por exemplo, o desgaste, variações químicas e modificações estruturais, que torna o material inadequado para o uso. Sendo a corrosão, em geral, um processo espontâneo, está constantemente transformando os materiais metálicos de modo que a durabilidade e desempenho dos mesmos deixam de satisfazer os fins a que se destinam.

Os metais são provenientes das jazidas de minério de ferro onde são encontrados em contato com vários outros tipos de compostos, assim, os metais tendem a reagir quando entram em contato com compostos que estão no meio ambiente como líquidos, gases e partículas. Essas reações do minério geralmente são a ferrugem para o ferro e o escurecimento da prata (POLITO, 2006)

Os meios que contêm compostos com conteúdo energético inferior aos dos metais são relativamente estáveis. O produto da corrosão de um metal é bem parecido com o minério, do qual é originalmente retirado. O óxido de ferro mais comum encontrado na natureza, a hematita, Fe_2O_3 , e a ferrugem é o Fe_2O_3 hidratado, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, isto é, o metal tendendo a retornar a sua condição de estabilidade, como mostra a Figura 1, com isso o processo natural de metalurgia diminui e a corrosão aumenta (GENTIL, 1996).

Figura 1 - Processo Metalúrgico



Fonte: Gentil, (1996)

Quanto ao equilíbrio dos elétrons para o controle da corrosão Aguiar (2006, p. 21) destaca:

Ao definirmos a corrosão, já obtemos algumas pistas sob como podemos controlá-la. Afirma que para que o metal sujeito à corrosão permaneça em equilíbrio estável, faz-se necessário a cessão contínua de energia em quantidade adequada, feita através de métodos de proteção.

2.1.2 Formas De Corrosão

Existem várias dificuldades em caracterizar as formas de corrosão, e segundo Gentil (1996), em alguns processos corrosivos podem ocorrer dificuldades de se caracterizar se as cavidades formadas estão sob formas de placas, alvéolos ou pites, considerando que a importância maior é a determinação das dimensões das cavidades, a fim de se verificar a extensão do processo corrosivo. Todas as reações químicas onde consiste no ganho ou perda de elétrons do metal é uma oxidação-redução, sendo um processo de corrosão onde o metal age como redutor, cedendo elétrons, que no nosso caso é recebido pelas partículas de fertilizantes encontradas em suspensão no ambiente fabril.

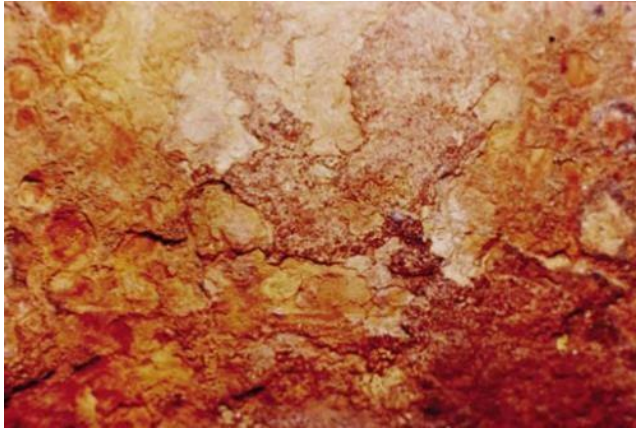
Este processo pode ocorrer em qualquer meio, desde que haja as condições necessárias para o processo de oxidação-redução. Essas reações é um modo de destruição do metal, que se espalha através de sua superfície. O processo de corrosão é considerado como reações químicas eletroquímicas ou reações heterogêneas, que se passam geralmente na superfície de separação entre o metal e o meio corrosivo (POLITO, 2006)

A corrosão ocorre em diferentes formas, e pode ser apresentada através da aparência ou forma de ataque e as diferentes causas da corrosão e seus mecanismos. Assim, pode-se ter corrosão segundo: a morfologia, as causas ou mecanismos, os fatores mecânicos, o meio corrosivo e a localização do ataque. Com a caracterização da forma da corrosão, auxilia no esclarecimento do mecanismo e na aplicação de medidas de proteção (AGUIAR, 2006).

Existem vários tipos de formas de corrosão, e segundo Gentil (1996, p. 39), as principais formas são:

- **Uniforme:** a corrosão se processa em toda a extensão da superfície, ocorrendo perda uniforme de espessura. É chamada de corrosão generalizada, mas essa terminologia não se deve ser usada só para corrosão uniforme, pois pode-se ter corrosão por pite ou alveolar generalizada, ou seja, em toda a extensão da superfície corroída (Figura 02).

Figura 2 - Corrosão uniforme em chapa de aço carbono



Fonte: Gentil, (1996)

- **Por placas:** a corrosão se localiza em regiões da superfície metálica e não em toda sua extensão, formando placas com escavações.
- **Alveolar:** a corrosão se processa na superfície metálica produzindo sulcos ou escavações semelhantes a alvéolos, apresentando fundo arredondado e profundidade geralmente menor que seu diâmetro.
- **Puntiforme ou por pite:** a corrosão se processa em pontos ou em pequenas áreas localizadas na superfície metálica, produzindo pites, que são cavidades que apresentam o fundo em forma angulosa e profundidade geralmente maior que o seu diâmetro (Figura 03).

Figura 3 - Pites em tubo de aço carbono



Fonte: Gentil, (1996)

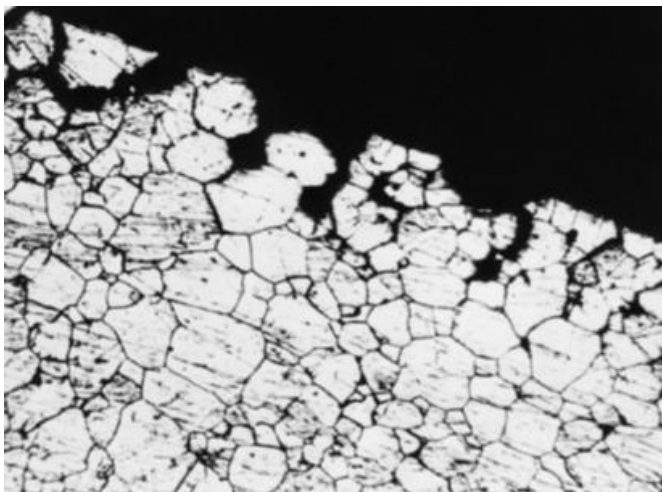
Em alguns processos corrosivos podem ocorrer dificuldades de se caracterizar se as cavidades formadas estão sob formas de placas, alvéolos ou pites. Considerando que a

importância maior é a determinação das dimensões das cavidades, a fim de se verificar a extensão do processo corrosivo (GENTIL, 1996).

- **Intragranular:** este tipo de corrosão se processa nos grãos cristalinos da rede cristalina do material metálico, o qual, pela perda de suas propriedades mecânicas poderá fraturar a menor solicitação mecânica, assim como no caso da corrosão intergranular, sendo que seus efeitos são muito mais catastróficos que o caso da corrosão intergranular.

- **Intergranular:** a corrosão se processa entre os grãos da rede cristalina do material metálico, o qual perde suas propriedades mecânicas e pode fraturar quando solicitado por esforços mecânicos, tendo-se então a corrosão sob tensão fraturante (Figura 04).

Figura 4 - Corrosão intergranular



Fonte: Gentil, (1996)

- **Filiforme:** a corrosão se processa sob a forma de finos filamentos, mas não profundos, que se propagam em diferentes direções e que não se ultrapassam, pois se admite que o produto de corrosão, apresenta carga positiva, daí a repulsão. Ocorrendo geralmente em superfícies metálicas revestidas com tintas ou com metais, ocasionando o deslocamento do revestimento.

- **Empolamento pelo hidrogênio:** o hidrogênio atômico penetra no material metálico e, como tem pequeno volume atômico, difunde-se rapidamente e, em regiões com

descontinuidades, como inclusões e vazios, ele se transforma em hidrogênio molecular, H_2 , exercendo pressão e originando a formação de bolhas.

- **Esfoliação:** a corrosão se processa de forma paralela à superfície metálica. Ocorre em chapas ou componentes extrudados que tiveram seus grãos alongados e achatados, criando condições para que inclusões ou segregações, presentes no material, sejam transformadas, devido ao trabalho mecânico, em plaquetas alongadas.

- **Em torno do cordão de solda:** forma de corrosão que se observa em torno do cordão de solda, em aços inoxidáveis não estabilizados ou com teores de carbono maiores que 0,03% e a corrosão se processa intergranularmente.

2.1.3 Mecanismos Básicos Da Corrosão

Através dos mecanismos básicos é possível indicar o material mais adequado para determinadas funções, Ferreira (2002), coloca que no estudo dos processos corrosivos devem ser sempre considerados as variáveis dependentes do material metálico, do meio corrosivo e das condições operacionais, pois o estudo conjunto dessas variáveis permitirá indicar o material mais adequado para ser utilizado em determinados equipamentos ou instalações:

Material Metálico: Para o processo de obtenção, existem na composição química impurezas, estado da superfície, tratamentos térmicos e mecânicos, forma, união de materiais e contato com outros metais;

Meio Corrosivo: Temperatura, composição química, pH, concentração, impurezas, sólidos suspensos, teor de oxigênio, pressão, sólidos suspensos;

Condições Operacionais: Condições de imersão no meio, solicitações mecânicas, movimento relativo entre material metálico e meio, meios de proteção contra a corrosão, operação contínua ou intermitente.

Tendo em vista que, verificar a compatibilidade entre o meio corrosivo e o material, há uma relação de custo benefício, consultando tabelas que apresentam taxas de corrosão, verificando as condições operacionais, relatórios de inspeções de equipamentos, que são de fundamental importância, pois é através deles que os problemas de corrosão são identificados nos equipamentos e instalações que se acham em serviço, estabelecendo o mecanismo responsável pelo processo corrosivo, procedendo à avaliação econômica (custos diretos e

indiretos), indicando medidas de proteção. Esclarecidos o mecanismo e a avaliação econômica, pode-se indicar a proteção não só eficiente, mas de adequada relação custo-benefício. “De acordo com o meio corrosivo e o material, podem ser apresentados diferentes mecanismos para os processos corrosivos” (GENTIL, 1996):

O mecanismo químico: Corrosão do material metálico, em temperaturas elevadas, por gases ou vapores e em ausência de umidade, chamada de corrosão seca, corrosão em solventes orgânicos isentos de água e corrosão de materiais não-metálicos.

O mecanismo eletroquímico: Corrosão em água ou soluções aquosas, corrosão atmosférica, corrosão no solo e corrosão em sais fundidos;

Segundo Gentil (1996), pode-se considerar que ocorrem no mecanismo eletroquímico reações químicas que envolvem transferência de carga ou elétrons através de uma interface ou eletrólito: Os casos de corrosão observada em materiais metálicos, quando em presença de eletrólitos, podendo o eletrólito estar solubilizado em água ou fundido. Já no mecanismo químico, há reações químicas diretas entre um material metálico, ou não metálico, com o meio corrosivo, não havendo geração de corrente elétrica ao contrário do mecanismo anterior. Na corrosão eletroquímica, os elétrons são cedidos em determinada região e recebidos em outra, aparecendo uma pilha de corrosão.

2.1.4 Meios Corrosivos

Gentil (1996), fala dos meios corrosivos mais comuns encontrados no meio ambiente que são a atmosfera, águas naturais, solos, produtos químicos e em menor escala alimentos, substâncias fundidas, solventes orgânicos, madeiras e plásticos. A ação corrosiva da atmosfera depende dos seguintes fatores: substâncias poluentes (partículas sólidas e gases), temperatura, umidade relativa e tempo de permanência do filme de eletrólito na superfície metálica. Sendo classificada em função de umidade na superfície metálica: seca, úmida e molhada.

De acordo com Ferreira (2002, p.37), os meios corrosivos podem ser relacionados à:

Umidade relativa - Nas condições consideradas, é expressa em porcentagem. Relação entre o teor de vapor d'água encontrado no ar e o teor máximo que pode existir no mesmo. A influência da umidade na ação corrosiva da atmosfera é acentuada.

Corrosão atmosférica úmida - Ocorre em atmosferas com umidade relativa menor do que 60%. Tem-se um fino filme de eletrólito depositado sobre a superfície metálica e a

velocidade do processo corrosivo depende da umidade relativa, poluentes atmosféricos e higroscopicidade dos produtos de corrosão.

Corrosão atmosférica seca - Com oxidação lenta do metal com formação do produto de corrosão, com o mecanismo podendo ser considerado químico. Ocorre em atmosfera isenta de umidade, sem qualquer presença de filme de eletrólito na superfície metálica.

Corrosão atmosférica molhada - A umidade relativa é próxima a 60% e ocorre condensação na superfície metálica, observando-se que a superfície fica molhada com o eletrólito como, por exemplo, chuva e névoa salina depositadas nessa superfície metálica.

Partículas sólidas - Deposição de partículas sólidas que, embora inertes ao material metálico, podem reter sobre a superfície metálica gases corrosivos existentes na atmosfera: caso de partículas de carvão que, devido ao seu alto poder de absorção, retiram, por exemplo, dióxido de enxofre da atmosfera industrial, o qual, com a umidade presente, forma ácido sulfuroso e sulfúrico.

As partículas sólidas, sob forma de poeiras, existem na atmosfera e a tornam mais corrosiva, porque se pode verificar:

Deposição de material não-metálico, como a sílica, que embora não atacando diretamente o material metálico, cria condições de aeração diferencial, ocorrendo corrosão localizada abaixo do depósito. As partes sujeitas a poeira são as mais atacadas quando estocadas sem nenhuma proteção;

Deposição de substâncias que retém umidade e são higroscópicas: aceleram o processo corrosivo, pois aumentam o tempo de permanência da água na superfície metálica. Exemplo: cloreto de cálcio e de magnésio;

Deposição de sais que são eletrólitos fortes, como sulfato de amônio e cloreto de sódio. Daí a maior corrosão de atmosferas marinhas, devido à presença da névoa salina, contendo sais com NaCl e MgCl_2 ;

Deposição de material metálico: se o material metálico depositado for de natureza química diferente daquele em que estiver depositado, poderá ocorrer formação de pilhas de eletrodos de metais diferentes, com consequente corrosão do material mais ativo;

Gases - Os gases mais frequentemente encontrados na atmosfera são: monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de enxofre, trióxido de enxofre, gás sulfídrico e amônia. A presença desses gases está ligada às atividades industriais:

Temperatura - os efeitos da temperatura são vários, mais rápidas em temperaturas elevadas. Mudanças de temperatura podem influenciar na solubilidade de

produtos de corrosão (carbonatos). Os gases são menos solúveis com a elevação da temperatura.

Águas naturais - Os materiais metálicos em contato com a água tendem a sofrer corrosão, a qual vai depender de várias substâncias que possam estar contaminando as mesmas. O caráter corrosivo da água também depende do pH, da temperatura, da velocidade e da ação mecânica.

Gases dissolvidos: Matéria orgânica de origem animal ou vegetal, Bactérias, limos e algas
Sólidos suspensos: Estão presentes das mais variadas maneiras na água e devem ser removidos para aumentar a sua qualidade. Essas partículas podem se depositar nas paredes de trocadores de calor, diminuindo a sua eficiência térmica, como também podem gerar corrosão por depósito, devido à formação de pilhas por aeração diferencial. Além de influenciarem no pH e dureza da água. Para eliminar os sólidos suspensos, deve-se proceder com a clarificação, de enxofre e gás sulfídrico.

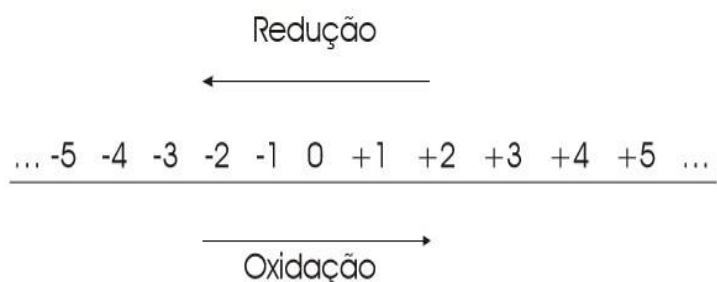
2.1.5 Oxidação-Redução

Ferreira (2002) fala que em qualquer átomo estável o número de prótons é igual ao de elétrons. Quando por um motivo qualquer os números forem diferentes, o sistema ficará eletricamente carregado. Isto caracteriza o íon. Quando houver a perda de elétrons tem-se íon positivo ou cátion, e quando houver o ganho de elétron, íon negativo ou ânion. Como os elétrons se localizam externamente ao átomo, somente haverá a formação de íon pela variação de elétrons.

No conceito mais moderno, oxidação é a perda de elétrons, ocasionando o aumento do número de oxidação; Redução por sua vez é o ganho de elétrons, ocasionando a diminuição do número de oxidação. Apresentam-se a seguir dois exemplos de oxidação e redução (GENTIL, 1996).

Pode-se também representar a oxidação e a redução através da variação do número de oxidação, conforme a Figura 05.

Figura 5 - Variação do número de oxidação



Fonte: Gentil, (1996)

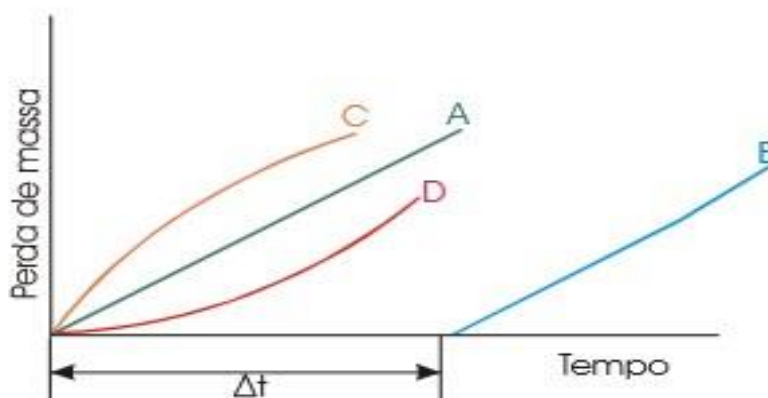
Basicamente quando se necessita de uma redução do número de elétrons, consequentemente tem-se um aumento na oxidação, ou seja, sempre que ocorre a perda de elétrons “oxidação”, também ocorre a redução, “ganho de elétrons”. A força que executa essas reações é patrocinada pelo potencial eletroquímico.

Gentil (1996) coloca que o elemento redutor existente neste processo é responsável pela redução do outro elemento e sofre oxidação, perdendo elétrons, e existe o elemento oxidante que é o responsável pela oxidação do outro elemento e sofre redução, recebendo elétrons.

2.1.6 Velocidade Da Corrosão

Para Gentil (1996), a velocidade de corrosão pode ser classificada em velocidade média e velocidade instantânea de corrosão, ambas são muito importantes no estudo da corrosão. A velocidade média nos permite estimar o tempo de vida útil de uma estrutura. Já a velocidade instantânea permitindo verificar a eficiência de um inibidor de corrosão. Podemos obter a velocidade média pela quantificação da perda de massa sofrida pelo material ou pela determinação da concentração de íons metálicos em solução durante o intervalo de tempo de exposição ao meio corrosivo. O conjunto de medições da velocidade média ocorre ao longo do tempo.

Figura 6 - Curvas representativas de velocidade de corrosão



Fonte: Gentil, (1996)

- Curva A – Velocidade de corrosão eletroquímica, onde a superfície metálica não varia, o produto da corrosão é inerte e a concentração do agente corrosivo é constante, como mostra na Figura 06.
- Curva B – Idêntica à situação anterior, porém, existe um período de indução relacionado ao tempo gasto para atravessar a película protetora.
- Curva C – Velocidade inversamente proporcional à quantidade do produto de corrosão produzido. Caracteriza produto de corrosão insolúvel e aderente à superfície metálica.
- Curva D – Velocidade com crescimento rápido caracteriza produtos de corrosão solúveis. A área anódica é crescente.

Muito raramente a corrosão tem valor constante, isto é, a velocidade média é igual à velocidade instantânea (curva A e B), por isso um valor isolado possui significado restrito.

Para medir a corrente de corrosão de um metal é medir sua velocidade de corrosão, esta corrente de corrosão é igual à corrente anódica do metal no potencial de corrosão. Entretanto, não podendo medi-la diretamente, porque no potencial de corrosão circula também uma corrente catódica, de mesmo valor e sentido contrário. Portanto, a corrente somente pode ser determinada por métodos indiretos (GENTIL, 1996).

2.1.7 Efeitos Da Corrosão

Para (CASCUDO, 1997), devemos estar atentos ao fato que grande perda de peso significa que está ocorrendo corrosão intensa. Entretanto, se a corrosão for por pite, apesar de ser intensa e perfurar rapidamente o material, a perda de peso verificada será mínima. Mas diversos fatores podem influenciar a velocidade de corrosão:

Efeito do oxigênio dissolvido – Para que a água pura, em temperatura ambiente, ataque o ferro é preciso que haja oxigênio dissolvido. A corrosão no início é rápida e tende a diminuir com a formação da camada de óxido. Esta camada funciona como barreira à difusão do oxigênio. Quando não existe oxigênio, a corrosão do aço nessas circunstâncias é desprezível. O aumento de velocidade se deve ao fato do oxigênio consumir os elétrons gerados na reação ($2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e} \rightarrow 4\text{OH}^-$).

No entanto, existe uma concentração crítica na qual a velocidade de corrosão decresce. Em água destilada esta concentração crítica é de 12ml de O_2 por litro. Esse valor aumenta na presença de sais dissolvidos, e decresce com o aumento do pH e da velocidade do eletrólito. Com o pH em torno de 10, a concentração crítica cai para 6ml de O_2 por litro.

Efeito do pH – Com o pH entre 4 e 10 a taxa de corrosão independe do pH e depende da rapidez com que o oxigênio difunde para a superfície do metal. A concentração do oxigênio, a temperatura e velocidade do eletrólito é que determinam a velocidade da reação.

Efeito da temperatura – de maneira geral o aumento de temperatura acelera a corrosão, porque diminui a polarização e a sobtensão, aumentando a condutividade do eletrólito e a velocidade de difusão de íons. Entretanto, pode retardar a corrosão, pois diminui a solubilidade do oxigênio na água.

Efeito dos sais dissolvidos – Os sais podem acelerar a reação, porque são despolarizantes, aumentam a condutividade. Entretanto, podem também retardar, porque precipitam produtos de corrosão coloidais, diminuem a solubilidade do oxigênio e tem ação apassivadora.

2.2 ESTUDOS DOS FERTILIZANTES

Para Guilherme e Lopes (2000), os fertilizantes são definidos como substâncias minerais ou orgânicas, naturais ou sintéticas, fornecedoras de um ou mais nutrientes das plantas, tem como função repor ao solo os elementos retirados em cada colheita, com a finalidade de manter ou mesmo ampliar o seu potencial produtivo. Sua participação é fundamental para o aumento do rendimento físico da agricultura, isto é, sua produtividade.

Fertilizantes de alta pureza poderão ser obtidos mesmo a partir de rochas consideradas de baixa pureza. Isso é possível pelo tratamento dado à rocha, com obtenção de concentrados apatíticos nobres e/ou ácido fosfórico de elevada pureza. Fertilizantes fosfatados totalmente acidulados produzidos a partir de matérias-primas de elevada qualidade deverão apresentar alta solubilidade em água e eficiência agrônômica equivalente, independentemente da origem da rocha (PROCHNOW, 2001).

Os macronutrientes (carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) e os micronutrientes (boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio, zinco, sódio, silício e cobalto) são elementos químicos e minerais fundamentais para a formulação do fertilizante. E a fórmula básica dos fertilizantes é o NPK, nitrogênio (N), fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O) (PROCHNOW, 2001).

As indústrias de fertilizantes produzem um número elevado de formulações comerciais de adubos. Essas são obtidas pela mistura de fertilizantes simples, geralmente granulados, sendo identificado como mistura de granulados. São comercializados também, na forma de adubos compostos granulados, quando contém no mesmo grânulo, até três macronutrientes, em geral nitrogênio, fósforo e potássio (PROCHNOW, 2001).

Os fertilizantes colocados junto aos corpos de prova são os que possuem maior variação de NPK encontrados na fábrica, que tem a necessidade de estar equilibrado, para que a planta tenha as características desejadas. Esses fertilizantes são os Map, Tsp, Sam, Kcl, Fert-up (AUTOR, 2016).

De acordo com Guilherme e Lopes (2000), a concentração do fertilizante em NPK depende do tipo de matéria prima empregada na mistura. Na sacaria dos adubos comerciais sempre constam três números separados por traços, que indicam, na ordem, a porcentagem de nitrogênio (% de N), a porcentagem de fósforo (em PPs) e a porcentagem de potássio (em KP) que as misturas contém. Exemplo: um adubo comercial de formula 5-20-10 contém: 5% de N (nitrogênio) + 20 % de P_2O_5 (fósforo) + 10 % de K_2O (potássio).

- **11 52 00 (Map)** – 11% de N (nitrogênio) + 52 % de P_2O_5 (fósforo) + 00 % de K_2O (potássio).
- **21 00 00 (Sam)** – 21% de N (nitrogênio) + 00 % de P_2O_5 (fósforo) + 00 % de K_2O (potássio).
- **00 46 00 (Tsp)** – 00% de N (nitrogênio) + 46 % de P_2O_5 (fósforo) + 00 % de K_2O (potássio).
- **00 00 60 (Kcl)** – 00% de N (nitrogênio) + 00 % de P_2O_5 (fósforo) + 60 % de K_2O (potássio).
- **02 18 18 (Fert-up)** – 02% de N (nitrogênio) + 18 % de P_2O_5 (fósforo) + 18 % de K_2O (potássio).

Pode-se dizer que o Kcl 00 00 60 é formado de quase 100% de Potássio, o Sam 21 00 00 é formado em sua maioria de Nitrogênio e o Tsp 00 46 00 de Fósforo.

2.3 ENSAIO

O ensaio tem como base a norma ABNT 8800/2008, a qual diz que para a determinação de categoria, recomenda-se a exposição de espécimes de monitoramento. A Tabela N.1 define as categorias de corrosividade em termos de perda de massa ou de espessura para espécimes-padrão feitos em aço carbono ou zinco após o primeiro um ano de exposição, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Tabela de classificação de ambiente

Categoria de corrosividade	Perda de massa por unidade de superfície/perda de espessura (após um ano de exposição)				Exemplos de ambientes típicos	
	Aço baixo-carbono		Zinco		Exterior	Interior
	Perda de massa g/m ²	Perda de espessura µm	Perda de massa g/m ²	Perda de espessura µm		
C1 Muito baixa	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	-	Edificações condicionadas para o conforto humano (residências, escritórios, lojas, escolas, hotéis)
C2 Baixa	> 10 a 200	> 1,3 a 25	> 0,7 a 5	> 0,1 a 0,7	Atmosferas com baixo nível de poluição. A maior parte das áreas rurais	Edificações onde a condensação é possível, como armazéns e ginásios cobertos
C3 Média	> 200 a 400	> 25 a 50	> 5 a 15	> 0,7 a 2,1	Atmosferas urbanas e industriais com poluição moderada por dióxido de enxofre. Áreas costeiras de baixa salinidade	Ambientes industriais com alta umidade e alguma poluição atmosférica, como lavanderias, cervejarias e laticínios
C4 Alta	> 400 a 650	> 50 a 80	> 15 a 30	> 2,1 a 4,2	Áreas industriais e costeiras com salinidade moderada	Ambientes como indústrias químicas e coberturas de piscinas
C5-I Muito alta (industrial)	> 650 a 1500	> 80 a 200	> 30 a 60	> 4,2 a 8,4	Áreas industriais com alta umidade e atmosfera agressiva	Edificações ou áreas com condensação quase que permanente e com alta poluição
C5-M Muito alta (marinha)	> 650 a 1500	> 80 a 200	> 30 a 60	> 4,2 a 8,4	Áreas costeiras e offshore com alta salinidade	Edificações ou áreas com condensação quase que permanente e com alta poluição

Fonte: ABNT 8800 (2008)

Para isso a norma NBR (8800-2008), recomenda que a escolha de um sistema adequado de proteção anti-corrosiva não é uma tarefa simples, devido à grande diversidade de sistemas disponíveis e às condições em que vão ser aplicados. O principal fator determinante nessa escolha é o tipo de ambiente em que a estrutura se encontra, devendo-se levar em conta também a durabilidade, a aparência e a necessidade de se minimizarem manutenções futuras e custos.

E a norma NBR (8800-2008), nos recomenda que o projeto das estruturas de aço deve ser feito de modo a facilitar o preparo de superfície, a pintura, a inspeção e a manutenção. A forma de uma estrutura pode influenciar sua suscetibilidade à corrosão. Assim, as estruturas devem ser projetadas de modo a não permitir que a corrosão possa se estabelecer em locais específicos, mais suscetíveis ao ataque corrosivo e, a partir daí, se espalhar para outras partes da estrutura. Recomenda-se, desse modo, que os projetistas considerem o tipo de proteção anticorrosiva já no início do projeto.

E dependendo do grau de corrosão classificado o ambiente, a norma recomenda ações para acessibilidade, tratamento de frestas, precauções para prevenir a retenção de água e sujeira, tratamento de seções fechadas ou tubulares e prevenção de corrosão galvânica.

Sobre os corpos de prova que são de aço carbono necessita de proteção contra corrosão, que se forma em meio atmosféricos e ambientes químicos, que é este caso.

A linha de aços SAE (*Society of Automotive Engineers*) é utilizada nas mais diversas aplicações e, principalmente, onde a composição química é uma característica importante.

Para POLITO (2006), os materiais da linha SAE geralmente são submetidos a processos de conformação mecânica, como usinagem, forjamento, trefilação e demais processos. Da mesma forma, também poderão sofrer processos metalúrgicos, entre eles têmpera/revenimento, cementação e outros processos.

Os corpos de prova foram retirados de pedaços não utilizados pela manutenção em reformas destas estruturas, como sobra de chapas novas, substituição de patamares, tubulações substituídas, entre outras.

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

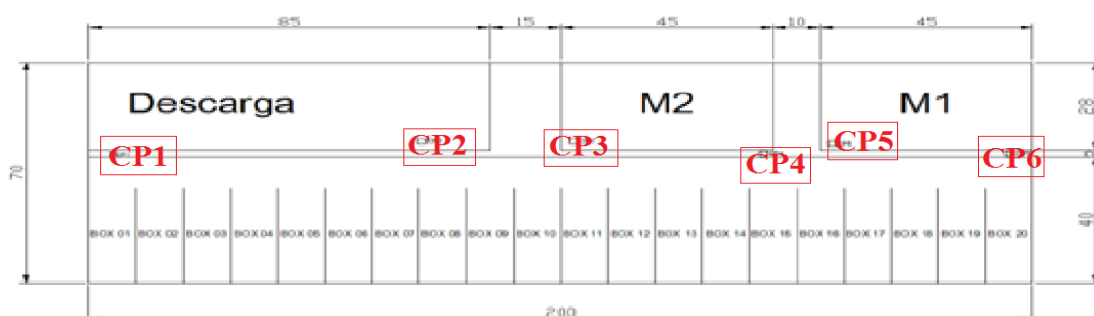
3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa

Esta pesquisa tratou de uma análise em uma fábrica de fertilizantes, localizada na cidade de Cascavel – PR, levando em consideração o ambiente agressivo e o tipo de material utilizado para a construção da edificação. A análise constituiu no levantamento da agressividade do ambiente e também na classificação do fertilizante de maior agressividade para o ambiente fabril.

Esta fábrica de fertilizantes é constituída de duas unidades misturadoras, uma descarga rodoferroviária e 20 baias de armazenagem de matéria prima, ao todo são 14000 m² de barracão sendo ele de 200x70 m, as baias têm 30 m de comprimento e 10 m de largura totalizando assim os duzentos metros do barracão. Os corpos de prova não poderiam ser colocados nas baias devido à grande movimentação de máquinas pesadas no local, então se optou pela colocação de dois corpos de prova na descarga, um próximo a porta de acesso de pessoas e o outro mais próximo ao acesso a mistura 2, mais dois corpos de prova na mistura 2. O primeiro ficou em cima da sala do comando elétrico e outro próximo ao hidrante e igualmente colocados mais duas chapas assim na mistura 1, onde ficaram distanciados mais ou menos trinta metros um corpo de prova do outro como mostra a Figura 7, um esboço da fábrica, e assim deixados por 180 dias.

O primeiro ficou em cima da sala do comando elétrico e outro próximo ao hidrante e igualmente colocados mais duas chapas assim na mistura 1, onde ficaram distanciados mais ou menos trinta metros um corpo de prova do outro como mostra a Figura 7, um esboço da fábrica, e assim deixados por 180 dias.

Figura 7 - Esboço da fábrica de fertilizantes



Fonte: Autor, (2016)

Para o segundo ensaio foi utilizado o laboratório da empresa, onde em caixas estanques foram deixadas cinco chapas metálicas submersas em cinco tipos de matérias primas diferentes, uma para cada chapa metálica. Estas caixas foram colocadas em estufas para ter um controle sob a temperatura que é de 25°C, as caixas, porém, não podem ter tampa, pois o oxigênio faz parte da hidratação do ferro quando o fenômeno da corrosão acontece. Foi determinado também um tempo de 120 dias para a retirada dos corpos de prova devido ao ambiente controlado e o fator de aceleração da corrosão em meio de laboratório.

A pesquisa foi classificada quanto à modalidade de pesquisa como sendo experimental e laboratorial, pois envolve experimentos realizados em campo e com situações controladas. Em relação aos objetivos a pesquisa foi classificada como sendo descritiva, pois foi realizada a análise dos dados coletados, buscando descrever a situação da fábrica analisada (LAKATOS, 2003).

3.1.2 Ensaio para a caracterização do ambiente segundo norma NBR 8800/2008

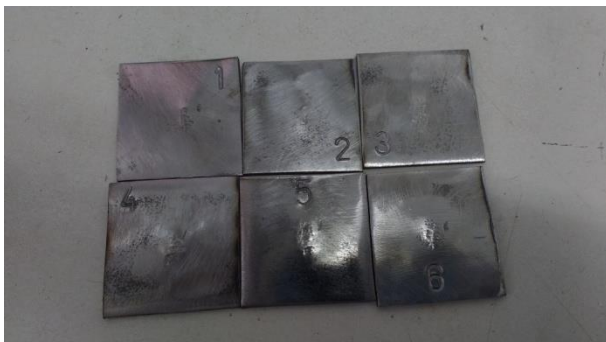
A necessidade da proteção, utilizando o revestimento se deve à corrosão ter forma descontínua, com a tendência a crescer indefinidamente até a degradação completa da estrutura metálica. Para a realização do ensaio de classificação do ambiente, inicialmente o corpo de prova foi limpo por processo mecânico para que as superfícies das amostras fossem livres de impurezas, graxas e óleos, para ter um resultado eficiente do ensaio.

Considerou-se como impurezas os óxidos e os produtos de corrosão já existentes nas superfícies das peças para amostras, que foram adquiridas em meio atmosférico. Para a retirada dessas impurezas foi utilizado processo mecânico, o uso de abrasivo tipo *Flap* 120 Grana disco, sete polegadas.

Este processo condiz em uma ferramenta elétrica com o abrasivo que passada sobre o corpo de prova diversas vezes, retira todas as impurezas que sejam visíveis a olho nu.

Os corpos de prova utilizados possuíam tamanho de 50mm X 50mm X 4mm e todos eles foram pesados e numerados para identificação após o período determinado. Essa identificação foi feita com punção numérico em duas das faces do corpo de prova (Figura 8).

Figura 8 - Corpos de prova puncionados



Fonte: Autor, (2016)

As amostras ficaram nos locais indicados por seis meses, estando em contato com o meio para que a oxidação seja a mais aproximada possível. Após o final do tempo previsto, as amostras foram retiradas, limpas e pesadas novamente, com o objetivo do cálculo percentual da perda de massa por metro quadrado.

Para o cálculo da perda de massa por metro quadrado, utilizou-se a Equação 1.

Equação 1 - Cálculo de perda de massa por metro quadrado

$$X * 2 = \frac{M_i}{0,0025} - \frac{M_f}{0,0025}$$

Fonte: Autor, (2016)

Onde:

X = Perda de massa (g/m²)

M_i = Massa inicial (g)

M_f = Massa final (g)

Para o cálculo de perda por massa foi necessário o cálculo da área das amostras que são de 5cm X 5cm, obtendo assim uma constante de 0,0025m², utilizada na Equação 1.

Também foi necessário multiplicar por dois o resultado final por que a norma determina um ano e o período disponível para a realização do ensaio era de apenas seis meses.

Após o cálculo da perda de massa, pode-se classificar o ambiente de acordo com a NBR 8800 – 2008, Anexo N que contempla de muito baixa C1, até a última categoria que é

muito alta (marinha) C5-M, a partir da categoria C4, são necessário medidas de controle da norma.

Deste modo foi possível caracterizar o ambiente fabril para a verificação de alguns cuidados para futuras instalações da empresa e também futuras manutenções.

3.1.3 Identificação do produto mais nocivo ao aço dentro da fábrica de fertilizante.

Para caracterizar a agressividade do fertilizante, foi realizado um ensaio de corrosão. A corrosão dos materiais metálicos é influenciada por vários fatores que modificam o ataque químico ou eletroquímico. O ensaio foi realizado em laboratório, utilizando pequenos corpos de prova para a obtenção dos resultados.

As amostras utilizadas possuem as mesmas características dos materiais utilizados nas estruturas dos equipamentos da fábrica. Foram utilizadas 5 chapas de aço 1020, com dimensões de 50mm x 100mm x 4mm. Passando pelo mesmo processo do ensaio anterior, sendo limpas, marcadas e pesadas como mostra a Figura 9.

Figura 9 - Corpos de provas limpos



Fonte: Autor, (2016)

Após a limpeza, os corpos de prova foram pesados em uma balança de precisão e colocados em caixas estanques com fertilizantes de cinco tipos diferentes, sendo 1 para cada amostra. Os corpos de prova foram umedecidos com água destilada, livre de qualquer impureza com a finalidade de evitar-se a contaminação por outros sais e para que o processo de oxirredução seja acelerado.

Estas caixas foram colocadas em estufa no laboratório a fim de não contaminar com outros tipos de fertilizantes encontrados em suspensão no ar, mas não podendo enclausurá-las, para que tenha oxigênio suficiente para não atrapalhar o processo corrosivo.

Os corpos de prova passaram por um período de quatro meses no laboratório, ficando em contato com o meio para que a oxidação seja a mais real possível. Após a retirada das amostras elas serão novamente limpas e pesadas, para fazer a comparação dos pesos e calcularmos a porcentagem de perda de massa.

Para o cálculo da porcentagem de perda de massa, utilizou-se a Equação 2.

Equação 2 - Cálculo da porcentagem da perda de massa

$$X = \frac{(M_f - M_i) \times 100}{M_i}$$

Fonte: Autor, (2016)

Onde:

X = Porcentagem de perda de massa (%)

Mi = Massa inicial (g)

Mf = Massa final (g)

Para a comparação dos corpos de prova foram utilizados cinco tipos diferentes de fertilizantes que são: 11 52 00 (Map), 21 00 00 (Sam), 00 46 00 (Tsp), 00 00 60 (Kcl), 02 18 18 (Fert-up), estes são os fertilizantes mais utilizados na fábrica, alguns são ricos em fósforo, outros em potássio ou em nitrogênio.

Este ensaio tem como intuito descobrir qual a matéria prima é a mais nociva ao aço da estrutura devido à ação do fertilizante, tendo um maior controle nos produtos que passam por estes locais.

3.1.4 Análise dos dados

Após a obtenção da perda de massa por área para o ensaio de caracterização do ambiente, pode-se classificar efetivamente o ambiente fabril em questão e indicar cuidados necessários para tal situação.

Para o ensaio das amostras em função do tipo de fertilizante, pode-se definir a porcentagem de massa perdida no processo de oxidação e, a partir daí, pode-se verificar a mistura mais agressiva e indicar cuidados para as estruturas de equipamentos e da edificação que estarão expostas ao mesmo.

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram realizados dois ensaios um para a caracterização de ambiente seguindo a norma NBR 8800-2008 e outro para o produto mais nocivo a estrutura metálica, utilizando os principais tipos de fertilizantes encontrados na fábrica.

4.1.1 Ensaio de caracterização do ambiente

Para este ensaio foram utilizados seis corpos de prova limpos por processo mecânico, utilizando abrasivo tipo *Flap* 120 Grana, disco sete polegadas acoplado em uma ferramenta rotativa como mostra a Figura 10, esta ferramenta foi passada várias vezes na superfície do corpo de prova para a retirada de todas as impurezas.

Figura 10 - Ferramenta elétrica com disco *Flap*



Fonte: Autor, (2016)

Estes corpos de prova tinham dimensões de 50mm X 50mm X 4mm e todos eles foram pesados como mostra a Figura 11. Foram também numerados para identificá-los após o período determinado que será de seis meses. Essa identificação foi feita com punção numérico em duas das faces do corpo de prova, em torno de duas horas depois da limpeza, notou-se que o processo de oxidação já estava começando e deveriam ser colocados já em seus locais definitivos até o final do ensaio.

Figura 11 - Balança de precisão



Fonte: Autor, (2016)

Os locais foram de fácil escolha, pois as unidades de misturas de fertilizantes são dotadas de um barracão com dimensões de 70m largura e 200m de comprimento contendo duas unidades de mistura e uma descarga rodoviária, onde foram deixados dois corpos de prova na unidade de mistura 1, dois corpos de prova na unidade de mistura 2 e dois corpos de prova na descarga rodoviária.

Estes locais foram definidos, pois ficam no centro dos 70 metros do barracão e passam em linha de um lado para o outro nos 200m de comprimento do barracão, onde estavam centralizadas e cobrindo a maior área possível.

Após seis meses as amostras foram retiradas dos locais para uma nova limpeza como mostra a Figura 12.

Figura 12 - Amostras antes da limpeza



Fonte: Autor, (2016)

Os corpos de prova foram limpos pelo mesmo processo anterior, com disco *Flap* 120 Grana, com a adição de escova de aço manual para a limpeza dos poros formados pela degradação do fertilizante nas amostras.

Após a limpeza eles foram pesados novamente em balança de precisão e, assim, obtidos os dados para o cálculo da massa por metro quadrado, como mostra a Tabela 2, de resumo dos resultados obtidos.

Tabela 2 - Resumo do ensaio de caracterização do ambiente

Amostra	Massa Inicial	Massa Final	Perda de Massa	Perda de Massa por g/m^2
1	54,3202	50,573	3,7472	749,44
2	52,3549	49,4893	2,8656	573,12
3	52,8977	49,9925	2,9052	581,04
4	54,0638	50,6583	3,4055	681,1
5	53,4243	50,1184	3,3059	661,18
6	51,4481	48,7283	2,7198	543,96

Fonte: Autor, (2016)

4.1.1.1 Descarga rodoviária

Na descarga rodoviária foram colocados dois corpos de prova, o número 1 e o número 2, a amostra 1 foi classificada pela norma NBR 8800/2008 como classe C-5 Muito alta industrial, que coloca a perda de massa por metro quadrado de 650 ate 1500, já o corpo de prova 2, que estava mais próximo a sala de comando da descarga classificou em C-4 alta, A diferença de classificação pode ser explicada devido ao fluxo de matéria prima estar bem mais próximo a amostra 1.

Os corpos de prova demonstraram também um tipo de corrosão uniforme generalizada, com pontos que pareciam de uma corrosão por pite também generalizada, provavelmente devido ao processo de misturas de matéria prima em suspensão no ar como mostra a Figura 13, da amostra.

Figura 13 - Figura 14 - Corpos de prova da descarga



Fonte: Autor, (2016)

4.1.1.2 Mistura 2

Para a mistura 2 foram colocados dois corpos de prova um próximo ao hidrante e outro próximo a sala de comandos elétricos, a amostra de número 4 por estar mais próxima das máquinas, como elevadores de produto, correias transportadoras e moegas para o carregamento de silos, fazendo com que os grãos dos fertilizantes fique em constante atrito, gerando uma maior quantidade de partículas em suspensão no ar, fazendo com que o desgaste do aço da estrutura seja maior.

Neste ambiente os corpos de prova sofreram uma corrosão por pite generalizada com traços de corrosão uniforme por toda a peça, A corrosão por pite são cavidades que apresentam o fundo em forma angulosa e profundidade geralmente maior que o seu diâmetro.

A amostra 4 foi classificada como C-5I, Muito alta industrial, e a amostra 3 como C-4 Alta. Figura 15, mostra os corpos de prova da mistura 2.

Figura 15 - Figura 16 - Corpos de prova mistura 2



Fonte: Autor, (2016)

4.1.1.3 Mistura 1

O ambiente da mistura 1 obteve o mesmo caso que os dois anteriores, o corpo de prova onde houve um maior fluxo de produto obteve também uma maior perda de massa da amostra que foi de 661,18 g/m² ficando classificada em C-5I, muito alta industrial, e a amostra 6 ficou com 543,96 classificada em C-4, Alta.

Na Figura 17, mostra os corpos de prova que estavam na mistura 1.

Figura 17 - Figura 18 - Corpos de prova mistura 1



Fonte Autor: (2016)

Também se obteve o mesmo tipo de corrosão dos casos anteriores, puntiforme ou por pite generalizada, com traços de corrosão uniforme por toda a peça, sendo visível a utilização de qualquer matéria-prima em qualquer linha de produção, sem considerar o desgaste da estrutura como fator para a produção.

4.1.1.4 Comparativos das amostras

Os resultados que se obteve do ensaio ficaram classificados em duas classes da tabela da norma NBR 8800/2008, três das amostras ficaram abaixo de 650 g/m², classificadas como C-4 alta e três das amostras ficaram acima de 650 g/m², classificadas como C-5I muito alta industrial, como mostra a Tabela 3.

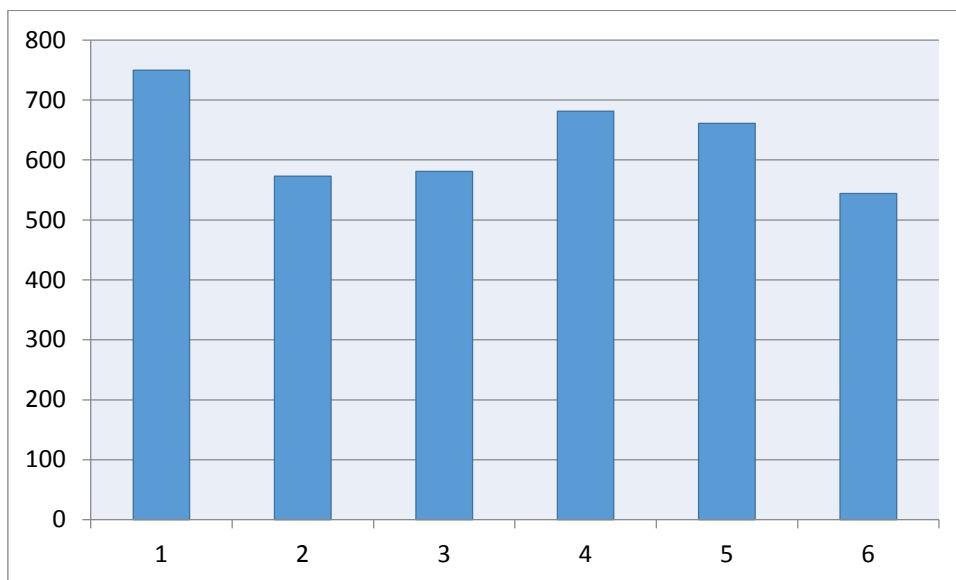
Tabela 3 - Classificação do ambiente

Amostra	Perda de Massa por g/m ²	Classificação do ambiente
1	749,44	C-5I
2	573,12	C-4
3	581,04	C-4
4	681,1	C-5I
5	661,18	C-5I
6	543,96	C-4

Fonte: Autor, (2016)

Com estes resultados podemos classificar toda a fábrica como C-5I sendo ela a pior situação encontrada no ambiente, obtendo-se uma taxa de corrosão máxima 681,1g/m² da amostra de número 4 instalada na mistura 2 e a mínima 543,96g/m² da amostra de número 6 instalado na mistura 1, como mostra o gráfico de resultado do ensaio na Figura 19.

Figura 19 - Gráfico dos resultados do ensaio



Fonte: Autor, (2016)

Esta classificação traz uma série de cuidados com a estrutura segundo a norma como tratamento de superfície interna em condutos fechados, acessos em pontos críticos onde é preciso manutenções periódicas, métodos de fixação da estrutura visando à diminuição do acúmulo de pó e o tratamento de frestas para evitar a retenção de umidade.

4.1.2 Identificação do produto mais nocivo ao aço dentro da fábrica de fertilizante.

Para caracterizar a agressividade do fertilizante, foi realizado um ensaio de corrosão. Iniciando com as chapas que passaram pelo processo de limpeza de superfície, igual a do ensaio anterior com lixa *Flap* 120 Grana disco de 7”.

Após a limpeza os corpos de prova foram pesados em uma balança de precisão e marcados com punções numéricos para facilitar a identificação dos mesmos como mostra a Figura 20. Logo depois, foram colocados em caixas com fertilizantes de cinco tipos diferentes, 11 52 00 (Map), 21 00 00 (Sam), 00 46 00 (Tsp), 00 00 60 (Kcl), 02 18 18 (Fert-up), uma para cada corpo de prova, estas caixas também foram identificadas com o nome do fertilizante e o número do corpo de prova.

Figura 20 - Corpos de prova marcados com punção



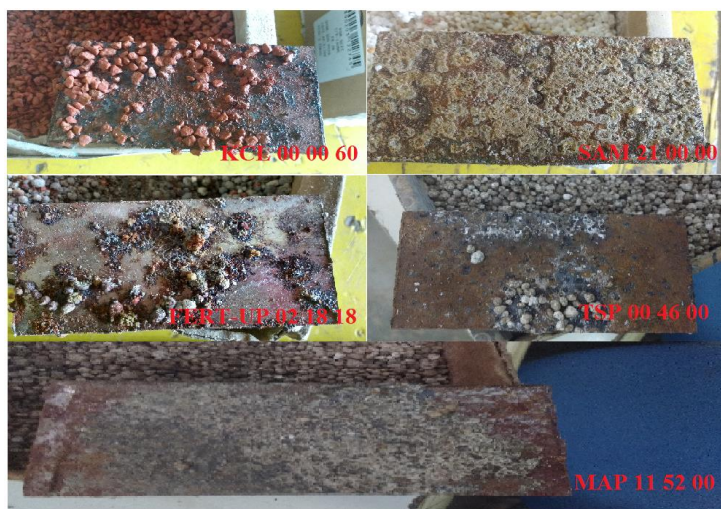
Fonte: Autor, (2016)

Estas caixas foram colocadas em uma estufa do laboratório sem a tampa para ter boa oxigenação, sendo que a adição da água era feita as segundas-feiras, de 30 ml para cada caixa para que a umidade acelerasse o processo de oxirredução.

Após quatro meses as amostras foram retiradas, limpas novamente com disco *flap*, verificou-se que nos poros das chapas ainda havia matéria oxidada, onde houve maior corrosão, optou-se então pela limpeza utilizando escova de aço manual. Após a limpeza, os corpos de prova foram pesados e, com a Equação 2, foi possível calcular a porcentagem de perda de massas e comparar com as outras cinco amostras, podendo-se verificar o fertilizante que provocou a maior perda de massa nos corpos de prova.

A Figura 21 apresenta os corpos de prova após serem retirados das caixas.

Figura 21 - corpos de prova após quatro meses de ensaio



Fonte: Autor, (2016)

Após a limpeza da matéria oxidada e a nova pesagem, pode-se então levantar a porcentagem de corrosão de cada material que será discutido nos itens a seguir. A Tabela 4 apresenta um resumo dos resultados obtidos.

Tabela 4 - Resumo dos resultados obtidos

corpo de prova	Material	Peso inicial	Peso final	Perca de massa (g)	Porcentagem de perca de massa	Grafico da perca de massa
1	KCL 00.00.60	107,545	104,1945	3,3505	3,1154%	
2	SAM 21.00.00	111,0473	108,7187	2,3286	2,0969%	
3	TSP 00.46.00	113,5897	112,0363	1,5534	1,3676%	
4	FERT-UP 02.18.18	109,6477	107,023	2,6247	2,3938%	
5	MAP 11.52.00	109,5434	107,5361	2,0073	1,8324%	

Fonte: Autor, (2016)

4.1.2.1 Perda de massa do 00 00 60 (Kcl)

Este corpo de prova foi o que perdeu mais massa em relação aos demais, teve 3,11% de perca de massa e foi o único que se obteve uma corrosão do tipo filiforme, neste caso a corrosão se processa sob a forma de finos filamentos, mas não profundos, que se propagam em diferentes direções e que não se ultrapassam, como se fossem rachaduras, pequenas trincas de baixa espessura, como mostra a Figura 22.

Figura 22 - Corpo de prova Kcl 00.00.60



Fonte: Autor, (2016)

4.1.2.2 Perda de massa do 02 18 18 (Fert-up)

Neste corpo de prova foi constatado que o tipo de corrosão sofrida foi alveolar, neste caso, se processa na superfície metálica produzindo sulcos ou escavações semelhantes a alvéolos apresentando fundo arredondado e profundidade geralmente menor que seu diâmetro e muito visível a formação destes alvéolos ainda na fase de retirada dos corpos de prova, como mostra a Figura 23.

Figura 23 - Corpo de prova Fert-up, antes do processo de limpeza



Fonte: Autor, (2016)

Após a limpeza e a realização dos cálculos observou-se que este corpo de prova foi o que obteve a segunda maior perda de massa, pois os sulcos formados pela corrosão foi bastante profundos neste corpo de prova e atingiram profundidades consideradas na peça, como mostra a Figura 11 com apenas quatro meses.

Figura 24 - corpo de prova após a limpeza



Fonte: Autor, (2016)

4.1.2.3 Perca de massa do, 21 00 00 (Sam)

Com base nos estudos realizados, este produto era para ser o que mais traria dano ao metal do corpo de prova, pois ele é produzido tendo como base o nitrogênio e um dos tipos de corrosão onde é mais desgastante para a estrutura, que é a corrosão por empoamento de hidrogênio, que é quando o hidrogênio atômico penetra no material metálico e, como tem pequeno volume atômico, difunde-se rapidamente e, em regiões com descontinuidades, como inclusões e vazios, ele se transforma em hidrogênio molecular, H_2 , exercendo pressão e originando a formação de bolhas.

Neste caso o hidrogênio não conseguiu penetrar no metal, originando uma corrosão superficial do corpo de prova, como é possível verificar na Figura 25.

Figura 25 - Figura 26 - Corpo de prova do Sam 21 00 00



Fonte: Autor, (2016)

Este material obteve apenas 2,0969% de perda de massa ficando abaixo do Fert-up com 2,3937% e do KCl, 3,1154%, que foi o primeiro colocado em perda de massa neste ensaio.

4.1.2.4 Perca de massa do, 11 52 00 (Map)

Com a utilização do Map no ensaio, obteve uma perda de massa de 1,8325% sendo ela a segunda que menos causou corrosão no metal, ela também teve uma corrosão por toda extensão superficial da peça, assim como a do Sam, que apresentou uma corrosão por empolamento de hidrogênio no Map, que também ocorreu este tipo de corrosão.

O Map ficou abaixo do Sam porque ele tem 11 % de hidrogênio na composição e o Sam 21% de hidrogênio, percebendo também que o fósforo não tem tanta influência nas taxas de corrosão vistas por este ensaio.

A figura 27 a seguir mostra o corpo de prova que ficou em contato com o Map.

Figura 27 - corpo de prova do Map



Figura: Autor, (2016)

4.1.2.5 Perca de massa do, 00 46 00 (Tsp)

O Tsp obteve a menor perda de massa dos produtos analisados neste ensaio, com 1,3675, porém o tipo de corrosão formado no corpo de prova é pite ou puntiforme, a corrosão se processa em pontos ou em pequenas áreas localizadas na superfície metálica produzindo pites, que são cavidades que apresentam o fundo em forma angulosa e profundidade geralmente maior que o seu diâmetro, como mostra a figura 28.

Figura 28 - Corpo de prova do Tsp



Fonte: Autor, (2016)

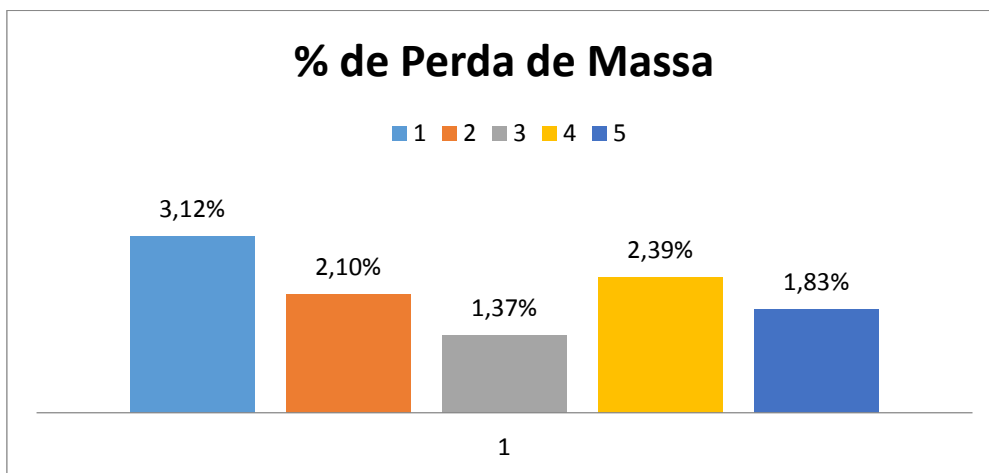
Com este ensaio observou-se que as matérias primas ricas em fósforo são as que menos agriem o metal como, por exemplo, o do TSP que contém aproximadamente 46% de fósforo e o MAP com 52% e mais 11% de hidrogênio, que ficou em segundo que menos agride o metal.

4.1.2.6 Comparativos do material

Com os resultados obtidos pode-se dizer que a matéria prima que mais causa dano à estrutura metálica é o Kcl fertilizante rico em potássio, ele forma filiformes por toda a extensão da peça. Estes filiformes são caminhos com uma profundidade elevada, que são como trincas na superfície onde o material fica armazenado, ficando ainda mais difícil a prevenção desta estrutura.

O material que menos oferta risco ao metal é o fósforo, basicamente o Tsp, que tem em sua base aproximadamente 100% na sua composição. Já o Sam, que tem em sua composição o nitrogênio, fica em meio aos dois citados acima. O resumo dos resultados é apresentado no gráfico da Figura 29.

Figura 29 - Gráfico perda de massa



Fonte: Autor, (2016)

Sendo o número 1 Kcl, o 2 Sam, 3 Tsp, Fert-up, e o 5 Map.

Pode se dizer também que para cada tipo de material base dos fertilizantes foi obtido um tipo diferente de corrosão, pois de cinco corpos de prova que foram coletados dados, obteve-se quatro tipos diferentes de corrosão o Kcl obteve uma corrosão filiforme, o Sam obteve uma corrosão de empolamento de hidrogênio, o Tsp por pite ou puntiforme, e o Map e o Fert-up foi uma corrosão uniforme devido ao fato que em sua composição a uma variedade entre as três matérias utilizadas no fertilizante.

Com estes resultados e possível selecionar o silo que vai armazenar este produto se ele esta em condições de receber este produto ou não e priorizar a utilização dos silos e maquinários que estão em condições melhores para as linhas mais críticas.

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho desenvolveu um estudo para tentar entender o processo corrosivo das fábricas de fertilizantes, tendo como objetivo classificar o meio em que o aço se encontra e qual a matéria prima mais nociva ao aço dentre as utilizadas nas fábricas de fertilizantes.

O ambiente foi classificado como C-5I muito alta industrial onde o resultado foi de 3 amostras nesta categoria justamente as que ficam próximo a maior movimentação de matéria prima, e 3 amostras em categoria abaixo que é C-4 alta que também necessita de cuidados adicionais citados na norma.

Para o ensaio de matéria prima mais agressiva o que se obteve uma maior porcentagem de corrosão foi o Kcl 00 00 60, fertilizante que utiliza em sua base quase 100% de potássio e causando um tipo de corrosão chamada de filiformes que são cominhos ocasionados pela corrosão por toda a extensão da peça as deixando cada vez mais vulneráveis à ação do fertilizantes.

Neste ensaio observou-se também que dos cinco tipos de fertilizantes mais utilizados, quatro obtivemos resultados de diferentes tipos de corrosão, como a corrosão por Pite ou Puntiforme, corrosão por Empolamento de Hidrogênio, Alveolar e Filiforme.

Com os resultados coletados deste ensaio foi possível concluir que é possível aumentar a vida útil dos equipamentos sem dispor de recursos financeiros muito altos, mais com planejamento no manuseio destes produtos, conscientização da importância da camada de recobrimento na estrutura, engastes apropriados, evitar locais onde há acúmulo de pó, entre outros.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Dentre os trabalhos que podem ser feitos a partir deste tema, pode-se citar:

- Fazer um comparativo de métodos de prevenção eficazes para os ambientes apresentados;
- Fazer um comparativo do tipo de aço que pode ser utilizado com maior desempenho;
- Fazer um comparativo entre os corpos de prova sem a camada de recobrimento e com a camada de recobrimento, para todos os tipos de fertilizantes utilizados na fábrica.
- Realização da técnica com outros materiais para teste de eletrodo sacrifício da estrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR JOSÉ EDUARDO **Avaliação dos ensaios de durabilidade do concreto Armado a partir de estruturas duráveis.** Dissertação Pós-Graduação 2006.

ARAÚJO, DANYELLE MEDEIROS. **Estudo da corrosão em aço carbono 1020.** Dissertação Pós-Graduação 2010.

Associação Brasileira Normas Técnicas ABNT-NBR/8800-2008 Projeto de estrutura de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. RJ:2008.

FERREIRA, LUIZ ANTONIO. **Química Aplicada, Corrosão.** Curitiba – PR, 2002.

GENTIL, VICENTE. **Corrosão.** 3 .ed. Rio de Janeiro, 1996.

GUILHERME, L.R.G; LOPES, A.S. **Uso Eficiente De Fertilizantes E Corretivos Agrícolas.** São Paulo – Sp 2000.

LAKATOS, M. E; MARCONI, A.M. **Fundamentos de metodologia científica.** São Paulo – SP, 2003.

POLITO, GIULLIANO. **Corrosão Em Estruturas De Concreto Armado: Causas, Mecanismos, Prevenção E Recuperação.** Belo Horizonte MG, 2006.

PROCHNOW L.I.; **Fertilizantes fosfatados: algumas crenças e alguns fatos científicos.** Scientia Agrícola, v.58, p.165-170, 2001.