UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Daniel Sehnem

PAVILHÕES INDUSTRIAIS: PROPOSIÇÃO E VALIDAÇÃO DE MÉTODO DE INSPEÇÃO

Porto Alegre
dezembro 2014

DANIEL SEHNEM

PAVILHÕES INDUSTRIAIS: PROPOSIÇÃO E VALIDAÇÃO DE MÉTODO DE INSPEÇÃO

Trabalho de Diplomação a ser apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Ângela Gaio Graeff

Porto Alegre

dezembro 2014

DANIEL SEHNEM

PAVILHÕES INDUSTRIAIS: PROPOSIÇÃO E VALIDAÇÃO DE MÉTODO DE INSPEÇÃO

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Professora Orientadora e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 11 de dezembro de 2014

Profa. Ângela Gaio Graeff
PhD. pela University of Sheffield
Orientadora

Profa. Carin Maria Schmitt
Dra. pelo PPGA/UFRGS
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Profa. Ângela Gaio Graeff
PhD. pela University of Sheffield

Profa. Vanessa Fátima Pasa Dutra
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Mônica Regina Garcez
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a minha mãe, que sempre acreditou e me apoiou nas dificuldades através de palavras de motivação e carinho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Prof. orientadora Ângela Gaio Graeff, pela imensa contribuição para a realização deste trabalho, sempre muito disponível e atenciosa, e pela oportunidade de tamanho aprendizado.

Agradeço à Profa. Carin Schmitt pela dedicação e disponibilidade de sempre.

Ao meu pai, Lúcio, por ter me dado perfeitas condições de cursar uma faculdade tão importante, além do apoio e da confiança depositada.

À minha mãe, Marlene, que sempre acreditou na minha capacidade, que se esforçou ao máximo me apoiando e transmitindo tranquilidade, principalmente, nessa etapa.

À engenheira Paula Pigatto Casarin, pela ajuda e apoio durante toda essa etapa.

As empresas administradoras dos pavilhões, pela acessibilidade e colaboração para o desenvolvimento do trabalho.

A Deus, pela saúde e sabedoria de sempre.

Não cruze o braço diante uma dificuldade, pois o maior homem do mundo morreu de braços abertos.

Bob Marley

RESUMO

Os pavilhões industrais são estruturas constituídas, normalmente, por pré-fabricados de concreto ou aço, ou por elementos estruturais que empregam ambos os materiais. Essas estruturas têm grande importância no desenvolvimento das atividades industriais, pois, para que elas ocorram, é necessário uma grande mobilidade de funcionários e maquinários, ou seja, um grande espaço físico, o qual é proporcionado por esses pavilhões. Como o setor industrial é considerado um ambiente agressivo ou muito agressivo, esses pavilhões industriais podem ficar expostos a agentes causadores de manifestações patológicas que podem levar essas estruturas a uma perda de funcionalidade, não permintindo o desenvolvimento das atividades industriais. Devido a isso, sabendo-se que é importante manter essas estruturas em boas condições de serviço, é necessário se obter um diagnóstico rápido e preciso das anomalias presentes nessas estruturas. Tendo em vista essa preocupação, esse trabalho propõe um método de inspeção que auxilie na identificação dessas anomalias, para que se possa, consequentemente, fazer reparos ou recuperações quando necessários. O método proposto é semelhante aos utilizados em edificações residenciais e comerciais, diferenciando-se pelo ambiente agressivo e pela elevada quantidade de maquinários dos pavilhões, os quais podem ser fatores de aparecimento de manifestações patológicas mais complexas do que as ocorrentes em edificações tradicionais. Como os métodos tradicionais, as etapas deste método se dividem em levantamento de dados, na identificação da agressividade ambiental e no exame visual da estrutura. Nessa última, é realizada em paralelo uma análise de risco, em que se avalia as anomalias do pavilhão, através de uma análise qualitativa de sua gravidade, urgência e tendência de evolução. Além disso, as anomalias são ponderadas através de questionamentos relacionados sobre as condições técnicas, de uso e de manutenção da estrutura. Com isso, pode-se classificar esses problemas através de uma análise de criticidade de conservação da estrutura, ou seja, pelo risco do pavilhão industrial perder sua funcionalidade. No entanto, como essa avaliação é qualitativa, a análise sobre as condições da estrutura depende da percepção e da experiência de cada inspetor.

Palavras-chave: Pavilhões Industriais. Ambientes Agressivos. Manifestações Patológicas em Estruturas. Método de Inspeção de Estruturas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas de pesquisa 18
Figura 2 – Ancoragem de consoles por dobramento em forma de laço..... 21
Figura 3 – Barras soldadas para solidarização de rigidez da estrutura 21
Figura 4 – Cobertura de concreto em pavilhão 23
Figura 5 – Fissuras em cabeças de pilares 31
Figura 6 – Processo de corrosão em armaduras de aço 33
Figura 7 – Deterioração da estrutura devido à corrosão em armaduras de aço 35
Figura 8 – Flambagem local da mesa de um perfil de aço 36
Figura 9 – Acúmulo de umidade e resíduos em estrutura metálica 38
Figura 10 – Tabela referente à descrição do pavilhão industrial 48
Figura 11 – Tabela referente aos antecedentes do pavilhão industrial 49
Figura 12 – Proposição de um sentido para o exame visual e áreas de influência dos pórticos de um pavilhão industrial 51
Figura 13 – Curvas de máximos e mínimos 56
Figura 14 – Curvas de máximos e mínimos com a reta delimitadora 57
Figura 15 – Área administrativa do pavilhão 1 59
Figura 16 – Sentido para o exame visual e áreas de influência dos pórticos do pavilhão industrial 1 60
Figura 17 – Numeração dos elementos estruturais 61
Figura 18 – Exposição da matriz do concreto devido ao impacto 62
Figura 19 – Exposição de armadura no encontro entre a tesoura e o pilar 62
Figura 20 – Fissura nos cantos dos alvéolos das terças 63
Figura 21 – Fissura devido à má fixação de parafusos auto fixantes 63
Figura 22 – Acabamento inapropriado de tubo aliado com exposição de armadura 64
Figura 23 – Abrasão do piso industrial 64
Figura 24 – Análise de risco da área 1 do pavilhão 1 65
Figura 25 – Fissura e desplacamento do concreto devido à má fixação de parafuso auto fixante 65
Figura 26 – Análise de risco da área 2 do pavilhão 1..... 66
Figura 27 – Análise de risco da área 3 do pavilhão 1 66
Figura 28 – Exposição de armadura da terça 67
Figura 29 – Fissura de flexão na terça 67
Figura 30 – Análise de risco da área 4 do pavilhão 1 68
Figura 31 – Pilarete apoiado inapropriadamente 68

Figura 32 – Cabos de alta tensão próximos a passarela metálica 69
Figura 33 – Desnível do terreno 69
Figura 34 – Muro de contenção 70
Figura 35 – Análise de risco da área 5 do pavilhão 1 70
Figura 36 – Análises de risco das áreas 6, 7, 8, 9 e 10 do pavilhão 1 71
Figura 37 – Análise de criticidade das anomalias do pavilhão 1 72
Figura 38 – Área interna do pavilhão industrial 2 73
Figura 39 – Reforço em pilares metálicos 74
Figura 40 – Contato direto de componentes químicos com a estrutura de concreto 75
Figura 41– Sentido para o exame visual e áreas de influência dos pórticos do pavilhão industrial 2 76
Figura 42 – Numeração dos pilares de acordo com o sentindo da inspeção por área 76
Figura 43 – Abrasão do piso em conjunto com exposição de tela 77
Figura 44 – Células de flotação do pavilhão 2 78
Figura 45 – Corrosão na estrutura metálica do pavilhão 2 78
Figura 46 – Corrosão em perfil metálico e apoio inapropriado de perfil com blocos cerâmicos 79
Figura 47 – Análise de risco da área 1 do pavilhão 2 79
Figura 48 – Análise de criticidade das anomalias construtivas da área 1 do pavilhão 2 .. 80
Figura 49 – Análise de risco da área 2 do pavilhão 2 80
Figura 50 – Análise de risco da área 3 do pavilhão 2 81
Figura 51 – Análise de criticidade das anomalias da área 2 do pavilhão 2 81
Figura 52 – Análise de criticidade das anomalias da área 3 do pavilhão 2 81
Figura 53 – Corrosão do pilar e apoio inapropriado em vão de escada 82
Figura 54 – Análise de risco da área 4 do pavilhão 2 82
Figura 55 – Análise de criticidade das anomalias da área 4 do pavilhão 2 83
Figura 56 – Equipamento principal do processo de produção 83
Figura 57 – Análise de risco das áreas 5, 6 e 7 do pavilhão 2 84
Figura 58 – Análise de criticidade das anomalias da área 5 do pavilhão 2 84
Figura 59 – Análise de criticidade das anomalias das áreas 6 e 7 do pavilhão 2 85
Figura 60 – Laje em balanço deteriorada pelo ataque de agentes agressivos 85
Figura 61 – Corrosão de armaduras em viga de concreto 86
Figura 62 – Manutenção mal realizada na estrutura 87
Figura 63 – Análise de risco da área 8 do pavilhão 2 87
Figura 64 – Análise de criticidade das anomalias da área 8 do pavilhão 2 87

Figura 65 – Análise de risco das áreas 9 e 10 do pavilhão 2 88
Figura 66 – Análise de criticidade das anomalias das áreas 9 e 10 do pavilhão 2 88
Figura 67 – Impacto de empilhadeira na base do pilar 89
Figura 68 – Exposição das armaduras das vigas 90
Figura 69 – Rompimento de parte do concreto do bloco de sustentação da caldeira devido ao impacto de empilhadeira 90
Figura 70 – Corrosão e consequente desplacamento do concreto no pilar devido ao cobrimento insuficiente 91
Figura 71 – Análise de risco da área de caldeiraria do pavilhão 2 91
Figura 72 – Análise de criticidade das anomalias da área da caldeiraria do pavilhão 2 .. 92
Figura 73 – Vista geral da área do tanque de mistura 92
Figura 74 – Impacto de empilhadeira em pilar metálico em conjunto com processo corrosivo 93
Figura 75 – Corrosão em tesouras e terças metálicas 93
Figura 76 – Armadura corroída de estrutura de concreto armado 94
Figura 77 – Armadura corroída em viga de concreto armado 95
Figura 78 – Laje de concreto em contato direto com substâncias químicas 95
Figura 79 – Corrosão de armaduras e reforços metálicos 96
Figura 80 – Análise de risco da área do tanque de mistura do pavilhão 2 96
Figura 81 – Análise de criticidade das anomalias da área do tanque de pavilhão 2 97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de agressividade em estruturas de concreto 26
Tabela 2 – Cobrimento do concreto de acordo com a classe de agressividade 27
Tabela 3 – Relação água/cimento de acordo com a classe de agressividade 28
Tabela 4 – Classificação de agressividade em estruturas de aço 29
Tabela 5 – Pesos dos graus de gravidade de anomalias 52
Tabela 6 – Pesos dos graus de urgência de anomalias 52
Tabela 7 – Pesos dos graus de tendência de evolução de anomalias 52
Tabela 8 – Tabela utilizada para o *check-list* 53
Tabela 9 – Intervalos de máximos e mínimos 56

LISTA DE SIGLAS

IBAPE – Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias em Engenharia

LISTA DE SÍMBOLOS

G = peso do grau de gravidade de anomalias

U = peso do grau de urgência de anomalias

T = peso do grau de tendência de evolução de anomalias

A, B, C, D e E = ponderações obtidas por questionamentos relacionados à segurança

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15
2 DIRETRIZES DA PESQUISA 17
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA 17
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO 17
2.2.1 Objetivo principal 17
2.3 PREMISSA 17
2.4 DELIMITAÇÕES 17
2.5 LIMITAÇÕES 17
2.6 DELINEAMENTO 18
3 PAVILHÕES INDUSTRIAIS 20
3.1 TIPOS DE ESTRUTURA 20
3.1.1 Estrutura de Concreto 20
3.1.2 Estrutura de Aço 21
3.2 COBERTURAS 22
4. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS 24
4.1 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM MEIO INDUSTRIAL 25
4.1.1 Níveis de Agressividade 25
4.1.2 Estrutura de Concreto 30
4.1.2.1 Fissuras e Trincas causadas por Sobrecaragas Exageradas 30
4.1.2.2 Manifestações Patológicas causadas por Agentes Agressivos 31
4.1.2.3 Corrosão de Armaduras 33
4.1.3 Estrutura de Aço 35
4.1.3.1 Falhas Estruturais e Perda de Estabilidade 36
4.1.3.2 Corrosão de Estruturas Metálicas 37
4.1.4 Alvenarias 39
5. INSPEÇÃO EM EDIFICAÇÕES 41
5.1 NÍVEIS DE INSPEÇÃO 42
5.2 INSPEÇÃO VISUAL (NÍVEL 1) 43
6. MÉTODO DE INSPEÇÃO 46
6.1 LEVANTAMENTO DE DADOS..... 47
6.2 IDENTIFICAÇÃO DA AGRESSIVIDADE AMBIENTAL 49
6.3 EXAME VISUAL DA ESTRUTURA 50
6.3.1 Sentido do exame visual 50

6.3.2 Anotações dos sintomas visuais (*check-list*) 51
6.3.3 Classificação de anomalias 55
7 VALIDAÇÃO DO MÉTODO DE INSPEÇÃO 58
7.1 APLICAÇÃO EM PAVILHÃO 1 58
7.1.1 Descrição da estrutura 58
7.1.2 Antecedentes 59
7.1.3 Descrição do meio 60
7.1.4 Exame visual da estrutura 60
7.1.4.1 Área 1 61
7.1.4.2 Área 2 65
7.1.4.3 Área 3 66
7.1.4.4 Área 4 66
7.1.4.5 Área 5 68
7.1.4.6 Áreas 6, 7, 8, 9 e 10 71
7.1.4.7 Análise de criticidade do pavilhão 1 71
7.2 APLICAÇÃO EM PAVILHÃO 2 72
7.2.1 Descrição da estrutura 73
7.2.2 Antecedentes 74
7.2.3 Descrição do meio 74
7.2.4 Exame visual da estrutura 75
7.2.4.1 Área 1 77
7.2.4.2 Áreas 2 e 3 80
7.2.4.3 Área 4 82
7.2.4.4 Áreas 5, 6 e 7 83
7.2.4.5 Área 8 85
7.2.4.6 Áreas 9 e 10 88
7.2.4.7 Área de caldeiraria 88
7.2.4.8 Área de tanque de mistura 92
7.2.4.9 Análise de criticidade do pavilhão 2 97
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS 98
REFERÊNCIAS 101

1 INTRODUÇÃO

Com o constante crescimento dos índices da economia brasileira nos últimos anos e, consequentemente, o aumento dos investimentos no setor industrial, muitas empresas, nacionais e estrangeiras, começaram a desenvolver seus produtos no País. Para o desenvolvimento destes produtos, é necessário que exista um espaço físico, que suporte o maquinário, que armazene matéria-prima, que garanta boas condições de trabalho para seus empregados e, tudo isso, em um curto espaço de tempo. Devido a isso, por ser construído em um curto espaço de tempo e por, normalmente, suportar grandes vãos sem precisar de colunas internas, um pavilhão proporciona espaço e mobilidade necessários para o desenvolvimento de atividades industriais.

Em ambientes industriais agressivos, o processo de deterioração dos pavilhões pode ser acelerado, principalmente em indústrias que trabalham diretamente com substâncias químicas. Os gases agressivos, provenientes das atividades industriais em conjunto com a umidade relativa da região, em pouco tempo, podem ocasionar manifestações patológicas, como corrosão de perfis metálicos e fissuras em colunas de concreto armado, podendo levar a uma perda de funcionalidade precoce destas estruturas.

De acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) que trata do dimensionamento de estruturas de concreto armado, considera-se como ambientes de agressividade forte, ou muito forte, aqueles que possuem atmosfera industrial, sendo necessário para estas situações adotar critérios de dimensionamento mais rígidos em termos de durabilidade. Exemplos desta maior exigência estão relacionados com o aumento da espessura da camada de cobrimento do concreto e a utilização de concretos com uma reduzida relação água/cimento e maior consumo de cimento. Entretanto, é importante salientar que a NBR 6118 considerou os níveis de agressividade ambiental apenas na revisão realizada em 2003, sendo que as estruturas construídas anteriormente a esta revisão não estão protegidas por estes critérios mais rígidos.

Já a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008), que trata sobre projeto e execução de estruturas de aço, classifica a atmosfera industrial como sendo de alto e muito alto risco de corrosividade, sendo este o principal fator que determina o sistema

de proteção mais adequado para estruturas de aço. Semelhante ao caso das estruturas de concreto, em revisões anteriores da NBR 8800, não se classificava o risco de corrosividade nos diferentes ambientes, os considerando iguais em relação à agressividade ambiental. Portanto, pavilhões construídos anteriormente a esta revisão, podem não estar protegidos adquadamente às agressões do ambiente industrial.

Segundo Souza e Ripper (1998, p. 78), quando se verifica que uma estrutura está afetada por manifestações patológicas:

> Torna-se necessário efetuar uma vistoria detalhada e cuidadosamente planejada para que se possam determinar as reais condições da estrutura, de forma a avaliar as anomalias existentes, suas causas, providências a serem tomadas e os métodos a serem adotados para a recuperação ou o reforço.

Neste contexto, a proposta deste trabalho é, considerando a escassez de pesquisas relacionadas à inspeção e manutenção de pavilhões industriais, propor um método de inspeção e avaliação das manifestações patológicas presentes nessas estruturas e verificar, a partir de dois casos, a validade e a aplicabilidade deste método.

O presente trabalho é constituído por 8 capítulos, sendo que neste primeiro é apresentado uma visão geral do tema. No capítulo seguinte tem-se as diretrizes de pesquisa, as quais englobam a questão, objetivo principal, premissa, delimitações, limitações e delineamento. Nos capítulos 3, 4 e 5 constam a revisão bibliográfica sobre pavilhões industriais, manifestações patológicas e inspeção predial. Já no capítulo 6, tem-se a proposição do método de inspeção para pavilhões industriais, o qual é validado, no capitulo 7, através da aplicação do método em dois pavilhões industriais, sendo o primeiro constituído, basicamente, por elementos de concreto armado e o segundo por uma estrutura mista de concreto armado e aço. No último capítulo são realizadas as considerações finais sobre o trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: qual método pode ser proposto para realizar inspeções que possam colaborar no diagnóstico de manifestações patológicas em pavilhões industriais?

2.2 OBJETIVO DA PESQUISA

O objetivo principal do trabalho é a proposição de um método de inspeção de pavilhões industriais e verificação, através de uma visita a duas dessas estruturas, a validade e aplicabilidade deste método.

2.3 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que os ambientes agressivos e o tipo de utilização aceleram a deterioração de pavilhões industriais, diminuindo a vida útil dessas estruturas.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a analisar dois pavilhões industriais com estruturas de concreto armado e aço, cujas atividades industriais possam ser ou não classificadas como agressivas ou muito agressivas para essas estruturas segundo a NBR 6118:2014 e a NBR 8800:2008.

2.5 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

a) foi realizada apenas inspeção visual na estrutura, sem realizações de ensaios específicos em campo;

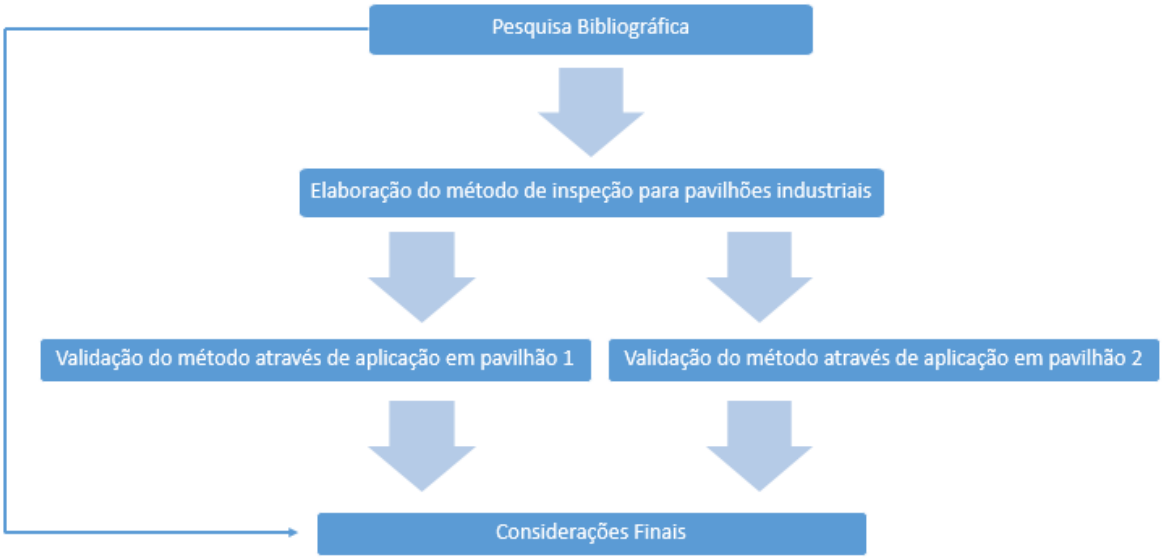
b) a aplicação da inspeção foi realizada apenas em locais seguros e de fácil acesso dos pavilhões industriais.

2.6 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

a) pesquisa bibliográfica;
b) elaboração de método de inspeção;
c) aplicação e validação do método em pavilhão industrial 1;
d) validação do método através de aplicação em pavilhão 2;
e) considerações finais.

Figura 1 – Diagrama das etapas da pesquisa



(fonte: elaborado pela autor)

Na primeira etapa do trabalho, composta pela pesquisa bibliográfica, foram realizadas consultas das mais diversas publicações a respeito de pavilhões industriais, manifestações patológicas em estruturas de concreto e aço e sobre métodos de inspeção em estruturas convencionais, a fim de obter embasamento teórico para a realização do trabalho.

Na segunda etapa do trabalho, foi **elaborado o método de inspeção,** tendo em vista avaliar os danos existentes em pavilhões industriais, de concreto e aço, de uma maneira mais precisa, a fim de se obter um diagnóstico dos mecanismos, causas e origens das manifestações patológicas ocorrentes nessas estruturas. Esse método salientou de uma forma mais aprofundada, os danos causados pelos ambientes classificados como agressivos e muito agressivos de acordo com a NBR 6118:2014 e NBR 8800:2008.

Na terceira etapa do trabalho, foi realizada **a validação do método através de aplicação em pavilhão industrial 1**, colocando-se em prática a segunda etapa do trabalho. Através de inspeção visual, anotações gerais e fotografias, foram registrados os dados necessários para se obter informações mais detalhadas das manifestações patológicas atuantes nessa estrutura. Esses registros foram realizados em zonas acessíveis e de pouca periculosidade do pavilhão de concreto armado.

Na quarta etapa do trabalho, foi realizada **a validação do método através de aplicação em pavilhão industrial 2**, sendo esta etapa semelhante à terceira. Como o método foi elaborado para abranger pavilhões industriais constituídos por estruturas de concreto e aço, a aplicação dessa etapa foi realizada em um pavilhão constituído de estruturas mistas de aço e concreto armado, já que o primeiro pavilhão era composto por estruturas de concreto.

Na quinta etapa foram elaboradas as **considerações finais** do trabalho.

3 PAVILHÕES INDUSTRIAIS

Os pavilhões, ou galpões, são bastante utilizados pelas indústrias devido à infinidade de aplicações que essas estruturas oferecem, como armazenamento de produtos e cobertura de equipamentos. Normalmente, por possuirem grandes vãos sem que se tenham pilares intermediários, essas estruturas oferecem um grande espaço físico para a mobilidade de pessoas e de maquinários, necessários para que ocorra o desenvolvimento das atividades industriais (OLIVEIRA, 2010).

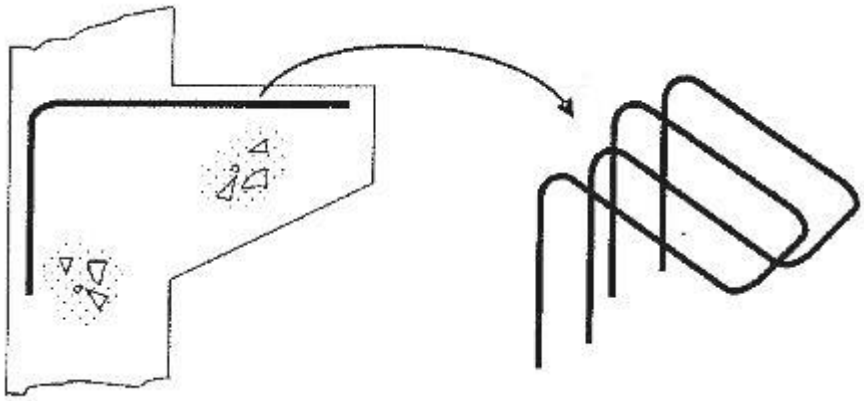
3.1 TIPOS DE ESTRUTURA

A execução de um pavilhão industrial, geralmente, é realizada em um curto espaço de tempo, já que essas estruturas são compostas por pré-fabricados. Segundo Einsfeld (2013, pg. 141), os pavilhões "[...] podem ser projetados em estrutura metálica, com as colunas apoiadas em bases de concreto, ou inteiramente construídas em concreto armado.". No entanto, de acordo com o mesmo autor, é bastante comum que as estruturas dos pavilhões sejam compostas por estruturas mistas, normalmente compostas por colunas de concreto e cobertura metálica principalmente.

3.1.1 Estrutura de Concreto

As estruturas principais dos pavilhões, independente do tipo de material utilizado, são pórticos planos, onde se tem a união de duas colunas através de uma viga. De acordo com Einsfeld (2013), nas estruturas de concreto armado, a ligação das peças para formar a estrutura principal é feita através de consoles curtos de concreto, os quais são fabricados juntamente com as colunas pré-fabricadas e funcionam como apoio para as vigas. Por ser um ponto crítico da estrutura devido ao grande esforço recebido, alguns cuidados devem ser tomados para que não haja rompimento do concreto na extremidade do console: como na ancoragem da armadura de tração, que deve ser feita através de dobramento na forma de laço, como ilustrado na figura 2, ou através de uma barra transversal soldada na extremidade.

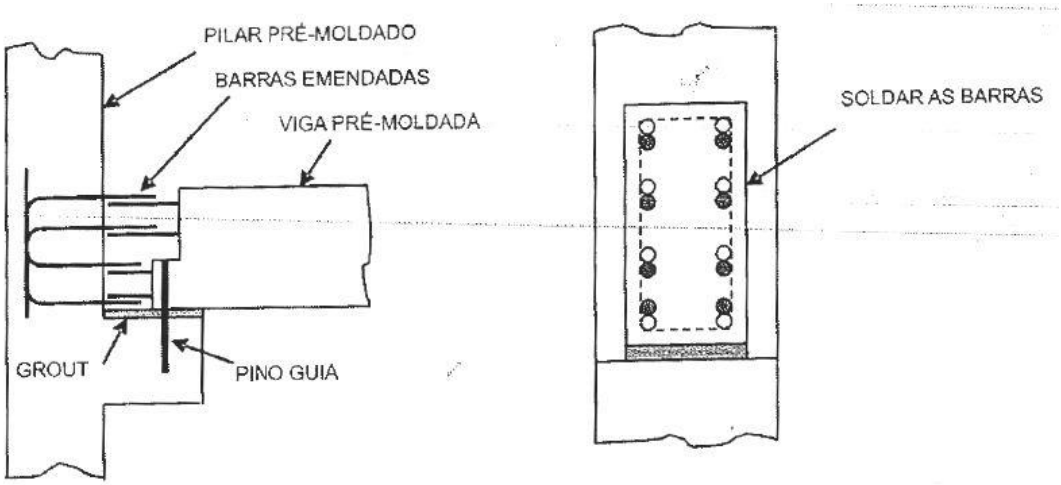
Figura 2 – Ancoragem de consoles por dobramento em forma de laço



(fonte: EINSFELD, 2013, p. 134)

Para que se garanta a rigidez da estrutura principal, podem ser utilizados insertos metálicos ou barras soldadas, como mostrado a seguir na figura 3.

Figura 3 – Barras soldadas para solidarização de rigidez da estrutura



(fonte: EINSFELD, 2013, p. 135)

3.1.2 Estrutura de Aço

Os pavilhões constituídos por estruturas de aço possuem uma maior diferenciação quanto ao tipo de estrutura, que varia de acordo com a característica desejada pelo projetista, se é a de vencer maiores vãos ou se é para ter uma estrutura mais barata por exemplo. De acordo com Bellei (1998), as colunas dos pórticos principais podem ser constituídas por perfis de alma cheia ou por treliças, da mesma forma que essas colunas podem ser ligadas por perfis de alma cheia, treliças ou tesouras.

As ligações de estruturas metálicas podem ser feitas através de conectores ou por soldas. De acordo com Pfeil e Pfeil (2010, pg. 63), “O conector é um meio de união que trabalha através de furos feitos nas chapas. Em estruturas usuais, encontram-se os seguintes tipos de conectores: rebites, parafusos comuns e parafusos de alta resistência.”.

Segundo Bellei (1998), os parafusos são aplicados em larga escala nas conexões de estruturas metálicas, pois, além de serem de rápida aplicação, não necessitam de um alto consumo de energia para serem aplicados, nem de uma mão de obra tão qualificada, como é o caso dos soldadores. No entanto, apesar dessas vantagens, alguns cuidados devem ser tomados no dimensionamento dos conectores para que não haja ruptura nessas ligações. De acordo com Pfeil e Pfeil (2010), essas rupturas podem ser ocasionadas através de colapso no conector, colapso por rasgamento da chapa ou ovalização do furo e através do colapso por tração da chapa.

Em relação a soldas, Bellei (1998, pg. 21) afirma que “A soldagem é a técnica de unir duas ou mais partes constitutivas de um todo, assegurando entre elas a continuidade do material e, em consequência, suas características mecânicas e químicas.”. Já para Castro (1999, pg. 118-119):

> As soldas são meios de ligação empregados na fabricação das estruturas, de preferência, ainda na oficina. São basicamente utilizadas na pré-montagem das estruturas. Podem estar submetidas além de tração, cisalhamento e tração combinada com cisalhamento, também a esforços de compressão, flexão e torção. Elas garantem uma união muito mais rígida e também mais econômica que as ligações parafusadas, porém requerem um controle de qualidade maior que os parafusos.

Esse controle de qualidade é realizado através de inspeções visuais por inspetor treinado, o qual verifica a dimensão da solda e defeitos que podem ter ocorrido na execução dessa ligação, como penetração inadequada, que decorrem, geralmente da insuficiência de corrente elétrica, e trincas superficiais, decorrentes de diversos fatores (PFEIL; PFEIL, 2010).

3.2 COBERTURAS

Como visto no item anterior, a cobertura de pavilhões industriais também pode ser constituída por estruturas de concreto ou por estruturas de aço. Em pavilhões constituídos somente por estruturas de concreto, como se pode ver na figura 4, as terças são apoiadas diretamente nas

vigas da estrutura principal do pavilhão. A inclinação da cobertura desses pavilhões varia de acordo com a inclinação das vigas principais dessas estruturas (OLIVEIRA, 2010).

Figura 4 – Cobertura de concreto em pavilhão

(fonte: OLIVEIRA, 2010, p. 12)

Nas coberturas de aço, da mesma forma que as estruturas principais, as terças podem ser constituídas por perfis metálicos de alma cheia ou por vigas treliçadas, as quais são apoiadas nas vigas principais da estrutura que distribuem as cargas da cobertura para as colunas. Em alguns casos, se especificado em projeto, pode-se utilizar contraventamentos nas coberturas de aço, que possuem a vantagem de serem mais leves que as estruturas de concreto. Os contraventamentos nada mais são que barras que ligam os componentes da cobertura com o objetivo de garantir a estabilidade e uma maior rigidez em caso de ações de cargas de vento e impactos laterais provocados pela ação de pontes rolantes (BELLEI, 1998).

4 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

De acordo com Helene (1992, p. 19), “A patologia pode ser entendida como a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema.”. Segundo o mesmo autor, as manifestações patológicas podem ser identificadas nas estruturas através de minuciosas e experientes observações visuais, já que essas manifestações, normalmente, têm sua própria forma de exposição, permitindo deduzir a natureza, a origem e os fenômenos envolvidos. Já Verçoza (1991), ao se referir à importância do estudo da patologia das edificações, afirma que este estudo é indispensável para a boa formação de engenheiros, arquitetos e, inclusive, funcionários de obra, pois, quando se tem o conhecimento dos possíveis danos que possam ocorrer na edificação, a probabilidade que se tenha erros nas etapas de projeto e execução de obra diminui consideravelmente.

Várias falhas podem ocorrer na etapa de projeto de uma edificação, para Souza e Ripper (1998, p. 24), “Elas podem se originar durante o estudo preliminar (lançamento da estrutura), na execução do anteprojeto, ou durante a elaboração do projeto de execução, também chamado de projeto final de engenharia.”. Segundo o mesmo autor, quando mais cedo se descobre a falha, menor as dificuldades técnicas e os custos para solucionar as manifestações patológicas geradas nessa etapa. Devido a isso, Verçoza (1991, p. 8) refere-se à importância do bom projeto, salientando que “O tempo e o custo de um projeto mais detalhado e estudado representam quase sempre enorme economia na vida útil de uma construção [...]”.

Na etapa de execução de uma edificação, geralmente, as falhas acontecem devido à baixa qualidade técnica dos trabalhadores, que, por problemas socioeconômicos, muitas vezes, não foram devidamente treinados para exercer determinadas funções na obra. Além desse fator, a falta de um controle de qualidade nos processos de produção, a má qualidade de materiais e componentes, a incapacidade profissional da equipe técnica da obra e até sabotagens, podem ser fatores importantes para que se ocorra manifestações patológicas no processo de produção (SOUZA; RIPPER, 1998).

A falta de cuidados em relação à manutenção, mesmo quando o projeto e a execução da obra não tiveram problemas, podem gerar problemas sérios na edificação. Pequenas manifestações

patológicas, quando ignoradas pelo usuário, podem se tornar manifestações patológicas muito graves e de difícil correção, como afirma Helene (1992, p. 23):

> Em geral, os problemas patológicos são evolutivos e tendem a se agravar com o passar do tempo, além de acarretarem outros problemas associados ao inicial. Por exemplo: uma fissura de momento fletor pode dar origem à corrosão de armadura; flechas excessivas em vigas e lajes podem acarretar fissuras em paredes e deslocamentos em pisos rígidos apoiados sobre os elementos fletidos.

4.1 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGIAS EM MEIO INDUSTRIAL

A corrosão de armaduras e de perfis metálicos, fissuras e degradação de estruturas de concreto armado e aço são algumas das manifestações patológicas típicas que ocorrem em edifícios industriais. Através de um diagnóstico adequado, se verificam as possíveis causas desses problemas, como por exemplo: concreto de resistência inadequada, gradientes térmicos, cargas dinâmicas não consideradas, gases e líquidos agressivos, má execução das estruturas, manutenção insuficiente ou inadequada e ausência de proteção (HELENE, 1992).

4.1.1 Níveis de agressividade

A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), referente a projeto de estruturas de concreto armado, classifica ambientes que podem, através de ações químicas e físicas, provocar uma maior deterioração das estruturas. Na tabela 1, pode-se observar essa classificação.

Tabela 1 – Classificação de agressividade em estrutura de concreto

Classe de agressividade ambiental	**Agressividade**	**Classificação geral do tipo de ambiente para efeito do projeto**	**Risco de deterioração da estrutura**
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana [a, b]	Pequeno
III	Forte	Marinha [a]	Grande
		Industrial [a, b]	
IV	Muito Forte	Industrial [a, c]	Elevado
		Respingos de maré	

[(a)] Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

[(b)] Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

[(c)] Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 17)

Classificado o ambiente, a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) adota alguns critérios de dimensionamento que aumentam a vida útil dessas estruturas como a espessura do cobrimento e a relação entre a água e o cimento no traço do concreto. Na tabela 2, fica evidente que quanto mais agressivo for o meio, maior deve ser o cobrimento, cuja função é de proteger o concreto de agentes agressivos como os cloretos, presentes na atmosfera marinha e de gases provenientes da atmosfera urbana e industrial.

Tabela 2 – Cobrimento do concreto de acordo com a classe de agressividade

Tipo de estrutura	**Componente ou elemento**	**Classe de agressividade ambiental**			
		I	**II**	**III**	**IV** [c]
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Laje [b]	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo [d]	30		40	50
Concreto Protendido [a]	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

(a) Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

(b) Para a base superior das lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

(c) Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

(d) No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 20)

Na tabela 3, verifica-se que quanto mais agressivo for o meio para as estruturas de concreto armado ou protendido, menor deve ser a relação entre água e cimento no traço de concreto e maior deve ser a sua resistência. Segundo Mehta e Monteiro (1994), quanto maior a relação entre a água e o cimento do concreto, maior é sua porosidade, que, consequentemente, deixa o concreto desprotegido dos agentes de deterioração provenientes dos ambientes mais agressivos, podendo levar essas estruturas a uma perda de funcionalidade devido às manifestações patológicas que podem ocorrer, como fraturas e corrosão de armaduras.

Tabela 3 – Relação água/cimento de acordo com a classe de agressividade

Concreto [a]	**Tipo** [b, c]	**Classe de agressividade ambiental**			
		I	**II**	**III**	**IV**
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe do concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

(a) O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

(b) CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

(c) CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 18)

A NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008), referente a projeto e execução de estruturas de aço, também classifica ambientes, como se pode ver na tabela 4, de acordo com seu nível de agressividade e de durabilidade do aço frente à corrosão. Além disso, define as categorias de corrosividade de acordo com a perda de massa ou de espessura em aço de baixo carbono ou zinco após o primeiro ano de exposição a determinados ambientes.

Tabela 4 – Classificação de agressividade em estruturas de aço

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/m²)	**Perda de espessura (µm)**	**Perda de massa (g/m²)**	**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 com baixo nível de poluição. A maior parte das áreas rurais	Edificações onde a condensação é possível, como armazéns e ginásios cobertos
C4 Alta	≤ 400 a 650	≤ 50 a 80	≤ 15 a 30	≤ 2,1 a 4,2	Áreas industriais e costeiras com salinidade moderadas	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 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: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 164)

4.1.2 Estrutura de concreto

Para Verçoza (1991, p. 67):

> Há uma infinidade de fatores que podem danificar ou destruir o concreto armado, sendo, por isso, difícil classificá-los em grupos. Assim, por exemplo, há agentes que só atacam o concreto, agentes que só atacam a armadura e agentes que danificam ambos. Essa é a forma mais simples de classificar os agentes de deterioração do concreto armado. Mas eles também poderiam ser classificados em agentes químicos, agentes físicos, agentes biológicos e agentes mecânicos.

4.1.2.1 Fissuras e Trincas causadas por Sobrecargas Exageradas

Nas etapas de projeto e de utilização da estrutura, principalmente, ocorrem fatores que, de certa forma, podem formar trincas nas estruturas de concreto ou até mesmo levar a ruína total uma edificação quando esta é submetida a sobrecargas exageradas. Na fase de concepção da estrutura, ou projeto, a escolha de um modelo estrutural inadequado, a má avaliação das cargas atuantes nas estruturas, os erros ou insuficiência nos detalhamentos, a exclusão do fator ambiente na hora da escolha de um cobrimento adequado a ser utilizado e a incorreção na interação solo-estrutura são alguns dos fatores que podem gerar sobrecargas e, consequentemente, manifestações patológicas na estrutura. Já na etapa de utilização da estrutura pelo usuário, as alterações estruturais feitas sem o devido consentimento do calculista, utilização da estrutura para outros fins que não estavam previstos no projeto e alterações nas condições do terreno, como novas escavações, por exemplo, podem ser fatores relevantes para a formação de manifestações patológicas (SOUZA; RIPPER, 1998).

Quando vigas de concreto armado estão submetidas a sobrecargas ou se não estão devidamente armadas à flexão, de acordo com Thomaz (1989, p. 50):

> As fissuras ocorrem perpendicularmente às trajetórias dos esforços principais de tração. São praticamente verticais no terço médio do vão e apresentam aberturas maiores em direção à face inferior da viga onde estão as fibras mais tracionadas. Junto aos apoios as fissuras inclinam-se aproximadamente 45º com a horizontal, devido à influência dos esforços cortantes [...].

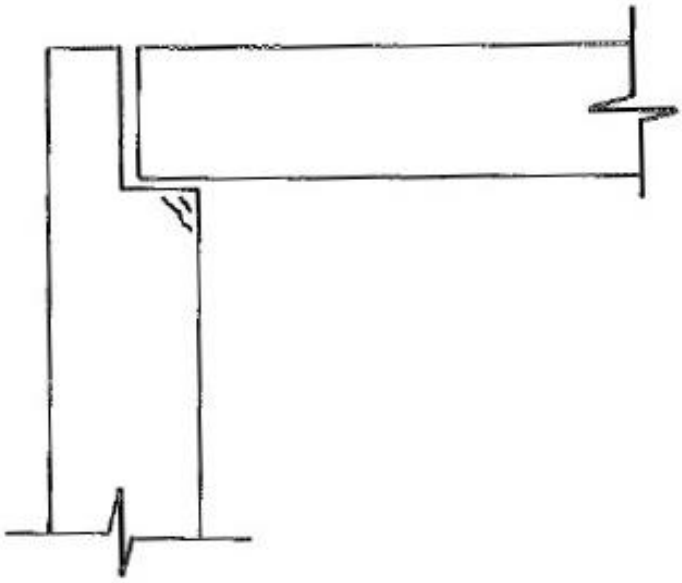
Além disso, segundo Verçoza (1991), quando há o excesso de força cortante ou se não há estribos suficientes nas vigas, as fissuras ocorrem nas extremidades das vigas, nos apoios, onde o esforço cortante é maior.

Quando os esforços em pilares são superiores a sua resistência aparecem inicialmente fissuras que segundo Thomaz (1989, p. 56-57):

> [...] em função da grande diferença entre o módulo de deformação do agregado graúdo e o módulo de deformação da argamassa intersticial, esta apresentará deformações bem mais acentuadas, criando-se superfícies de cisalhamento paralelas à direção do esforço de compressão. As fissuras verticais que se manifestam indicam, portanto, que os estribos foram subdimensionados.
>
> Podem manifestar-se também nos corpos dos pilares fissuras horizontais ou ligeiramente inclinadas. Elas são suscetíveis de ocorrer quando os pilares são solicitados à flexocompressão ou, em um caso bem mais grave, podem ser indicativas da ocorrência de flambagem.

Segundo o mesmo autor, é comum a ocorrência de fissuras ou lascamentos na cabeça de pilares pré-moldados por ser um ponto de alta concentração de tensões normais e tangenciais. O comportamento dessas fissuras pode ser observado na figura 5.

Figura 5 – Fissuras em cabeças de pilares



(fonte: THOMAZ, 1989, p. 58)

4.1.2.2 Manifestações Patológicas causadas por Agentes Agressivos

Quando os pavilhões industriais estão sujeitos a solicitações químicas durante sua vida útil, estas solicitações são as principais causas da deterioração dessas estruturas. Segundo Verçoza (1991, p. 111-112):

> As modernas indústrias, principalmente a indústria química, lançam na atmosfera um volume muito grande de substâncias agressivas ao concreto: amônia, gases de enxofre, gás carbônico, gás cloreto, etc. Isso cria em seu redor, uma área que pede concreto com tratamento preventivo. O pH dos centros industriais alcança às vezes 3,5 e 4, ou seja, é fortemente ácido. Nos meios rurais, sem poluição, o pH varia de 6,5 a 7 (alcalino). O efeito dessas substâncias presentes no ar é rápido ou demorado, dependendo da concentração dos gases, da proximidade da indústria, da aeração, do regime de chuvas, da umidade, etc. Um efeito bastante conhecido é a chamada chuva ácida.

O mesmo autor ainda salienta o nível de deterioração dentro das indústrias, pois, se para as regiões pertencentes à atmosfera industrial já se tem um elevado nível de deterioração, dentro das indústrias a agressividade é muito maior. Muitas matérias-primas que são agressivas para as edificações são utilizadas em larga escala na indústria, como o cloro, enxofre, amônio e ácidos. Exemplos desses tipos de indústrias são as de fabricação de plástico, papel e celulose, fertilizantes e de bebidas.

Souza e Ripper (1998) defendem que a poluição gerada pelos escapamentos de veículos nos grandes centros urbanos e gases ácidos liberados pelas chaminés de algumas indústrias são muito agressivos para as estruturas de concreto, pois, o dióxido de enxofre (SO_2) e o trióxido de enxofre (SO_3), pertencentes a esses gases poluidores, reagem com o vapor da água da atmosfera gerando o ácido sulfuroso e sulfúrico (H_2SO_3 e H_2SO_4). Quando chove, nessas regiões, tem-se a precipitação da chuva ácida, que é muito prejudicial ao concreto e para as armaduras, podendo gerar apodrecimento e descoloração do concreto e acelerar o processo de corrosão do aço.

Segundo Verçoza (1991), como toda a edificação, os pavilhões estão sujeitos a infiltrações e vazamentos no seu sistema de água, as quais podem ser nocivas quando entram em contato com a estrutura, ocasionando desgaste da superfície do concreto por dissolução de seus materiais. Já para Souza e Ripper (1998, p. 54), “A agressividade das águas puras é função direta da sua velocidade, da quantidade de água que atua sobre o concreto e do seu tempo de permanência (águas empoçadas).”.

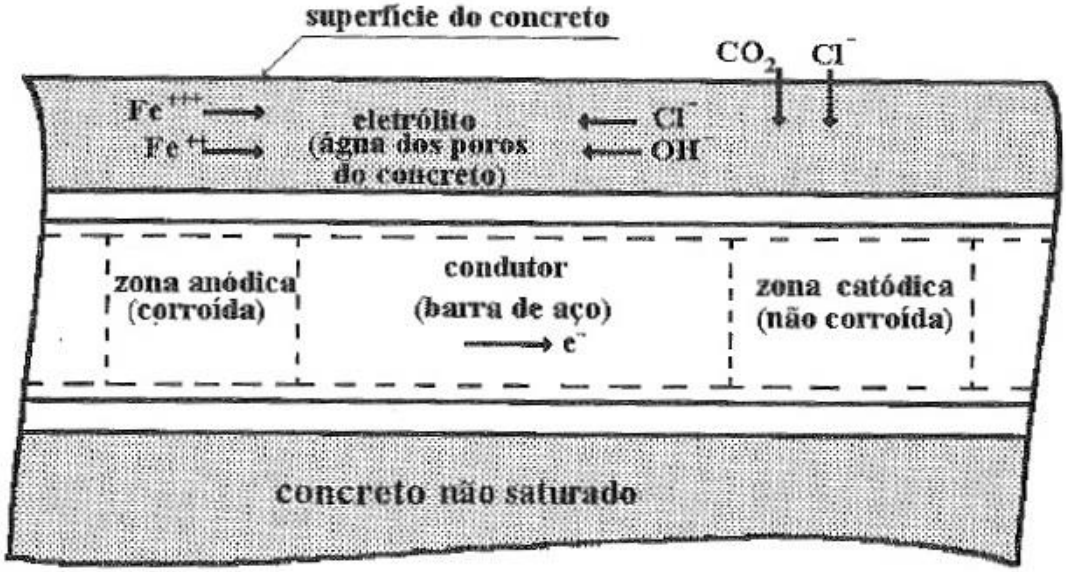
As águas contaminadas por dejetos industriais são mais prejudiciais para o concreto do que as águas puras mencionadas anteriormente, ainda mais se conterem ácidos, sulfatos, ou cloretos em sua composição. Quando contaminadas com sulfatos, estas águas podem levar o concreto à ruína, atacando-o de duas formas distintas, que depende da concentração do nível de sulfatos nessas águas. Uma dessas formas é a penetração dessas águas contaminadas por

fissuras já existentes no concreto, o qual sofre expansão, acelerando por consequência, seu processo de deterioração. Além disso, problemas estruturais sérios podem acontecer com a expansão do concreto, como o deslocamento de paredes de edificações devido a forças horizontais de uma laje em expansão. O outro tipo de ataque por águas sulfatadas se apresenta na forma de deterioração da coesão dos produtos de hidratação do cimento, levando o concreto a uma perda de sua resistência e de massa (METHA; MONTEIRO, 1994).

4.1.2.3 Corrosão de Armaduras

A corrosão de armaduras de concreto armado é um fenômeno de interação destrutiva entre as armaduras de aço com o ambiente, podendo ser de natureza química ou eletroquímica. Segundo Helene (1986), para que ocorra o processo de corrosão nas armaduras de aço, deve existir um eletrólito, que nada mais é que a solução aquosa existente no concreto, onde ocorrem os deslocamentos de íons. Além do eletrólito, deve existir uma diferença de potencial, a qual é gerada pela heterogeneidade do concreto, como, por exemplo, diferenças de umidade, aeração e concentração salinas, que desencadeiam pilhas, as quais formam zonas anódicas e catódicas ocorrendo, consequentemente, os deslocamentos dos íons. O último fator necessário para que ocorra a corrosão é a presença de oxigênio, que, reagindo com o ferro da armadura e com a umidade do eletrólito, formam a ferrugem. O processo de corrosão de armaduras ocorre de acordo com a figura 6.

Figura 6 – Processo de corrosão em armaduras de aço



(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p. 67)

O cobrimento do concreto tem uma função importante na proteção das armaduras contra corrosão, além de oferecer proteção física, impedindo o ataque de agentes agressivos das atmosferas agressivas por impermeabilidade, oferece proteção química às armaduras. A proteção química acontece porque o concreto é altamente alcalino, portanto, forma-se uma camada passivadora em torno das armaduras. A corrosão só ocorre se essa película passivadora for destruída, por esse motivo, o cobrimento do concreto tem o papel de proteger essa capa protetora de danos mecânicos e por manter sua estabilidade (HELENE, 1986).

A atmosfera industrial dos pavilhões podem conter agentes agressivos, como os cloretos, sulfatos, ácidos inorgânicos e o amônio, que aceleram o processo de corrosão das armaduras, já que esses tem a capacidade de quebrar a camada passivadora das armaduras. De acordo com Verçoza (1991), quando se tem a presença de cloretos nas estruturas de concreto armado, tem-se um risco muito grave de deterioração, pois, as reações químicas são contínuas, ou seja, são basicamente catalisadores do processo de corrosão, não sendo consumidas. Portanto, pequenas quantidades de cloreto são suficientes para causar uma grande manifestação patológica em toda a estrutura de concreto armado.

Quando a corrosão está em um nível avançado de deterioração, Verçoza (1991, p. 87) cita:

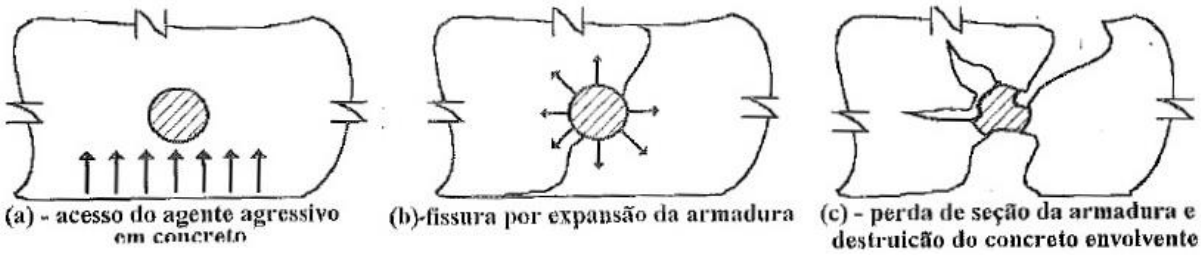
> [...] o primeiro efeito é o aparecimento de manchas na superfície do concreto. O segundo, bem mais grave, é consequência da expansão. Cada partícula de aço que enferruja aumenta de volume, pressionando o concreto e, com o tempo, o faz rebentar. É por isso que a corrosão inicial tem maiores efeitos nas quinas, onde a resistência é menor [...].

Segundo Souza e Ripper (1998, p. 68), como ilustrado na figura 7, "[...] a corrosão das armaduras é um processo que avança de sua periferia para o seu interior, havendo troca de seção de aço resistente por ferrugem.". Essa troca de seção está associada à diminuição da seção de área do aço, diminuindo, consequentemente, a resistência dessa armadura. Quando se tem essa troca de seção, Souza e Ripper (1998, p. 68) citam:

> a) perda de aderência entre o aço e o concreto, com alteração na resposta da peça estrutural às solicitações às quais está submetida;
>
> b) desagregação da camada de concreto envolvente da armadura. Tal fato acontece porque, ao oxidar-se, o ferro vai criando o óxido de ferro hidratado (Fe_2O_3 nH_2O), que, para ocupar o seu espaço, exerce uma pressão sobre o material que o confina da ordem de 15 MPa, suficiente para fraturar o concreto;
>
> c) fissuração, pela própria continuidade do sistema de desagregação do concreto. Neste caso, como em qualquer caso em que haja fissuração, o processo é

> agravado, pois o acesso direto dos agentes agressivos existentes na atmosfera multiplica e acelera a corrosão, combinando situações de ataque localizado com outras de ataque generalizado. As fissuras formadas acompanham o comprimento das armaduras.

Figura 7 – Deterioração da estrutura devido à corrosão em armaduras de aço



(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p. 68)

4.1.3 Estrutura de Aço

Tanto nas estruturas de concreto armado, quanto nas estruturas de aço, as manifestações patológicas podem acontecer nas etapas de projeto, execução e manutenção dessas estruturas. No entanto, quando se procura alguma publicação sobre estruturas metálicas, geralmente, na literatura, a ênfase dessas publicações está no dimensionamento e no cálculo das mesmas, não tendo muitas informações sobre outros aspectos importantes como arquitetura, tipos de estruturas e procedimentos executivos. O material bibliográfico existente sobre esses assuntos, principalmente sobre técnicas, procedimentos e materiais adotados para manutenção de estruturas de aço, geralmente, pode ser encontrado apenas em línguas estrangeiras, dificultando o entendimento de projetistas na etapa de concepção de um projeto em estruturas de aço (CASTRO, 1999).

Referente ao parágrafo anterior, Castro (1999, p. 11) afirma que:

> O próprio ensino universitário apresenta deficiências em relação a este assunto, pois as disciplinas relacionadas com a concepção de projetos e com a construção civil são basicamente direcionadas para as estruturas de concreto e pouca abordagem é oferecida em se tratando de estruturas de aço. Assim fica bem mais difícil se evitar a ocorrência de problemas patológicos, pois várias informações necessárias para um perfeito entendimento de tal sistema estrutural não são tão difundidos quanto aquelas relacionadas com as estruturas de concreto armado.

4.1.3.1 Falhas estruturais e perda de estabilidade

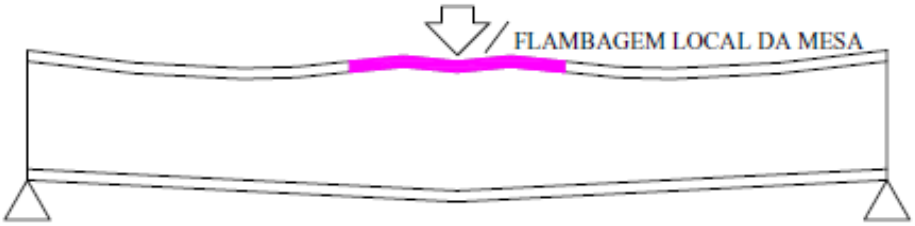
É de suma importância, ao projetar um galpão industrial, entender como as cargas e carregamentos agem na estrutura para que se possa realizar um dimensionamento correto desta, já que qualquer erro de dimensionamento pode causar, além de manifestações patológicas, o colapso da estrutura. Bellei (1998, p. 77), ao se referir a cargas e combinações de cargas, cita:

> Os galpões industriais estão sujeitos a um conjunto de cargas que atuam ora isoladamente ora em combinações umas com as outras. Estas cargas devem ser levadas em conta na elaboração do memoria de cálculo de acordo com o princípio da estática das construções.

Ainda de acordo com Bellei (1998), essas cargas podem ser de âmbito permanente, ou seja, composta pelos pesos dos perfis metálicos das colunas, vigas e coberturas e dos seus acabamentos, como as telhas e as paredes de alvenaria. Podem ser de âmbito acidental, causados por sobrecargas temporárias na estrutura, como, por exemplo, a de um operário ao subir na cobertura para fazer algum tipo de manutenção. Podem ser cargas causadas por forças horizontas e verticais de uma ponte rolante e por cargas térmicas, as quais causam dilatações nas estruturas de aço. Além das cargas de vento, que podem causar grandes solicitações e deformações nas estruturas.

Quando não for feito um estudo rigoroso das cargas e de suas combinações pelo projetista estrutural, de acordo com a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008), pode ocorrer perda de estabilidade da estrutura, originando manifestações patológicas como escoamento e flambagem local ou global dos perfis de aço, como identificados na figura 8.

Figura 8 – Flambagem local da mesa de um perfil de aço



(fonte: CASTRO, 1999, p. 129)

No entanto, além dos erros causados pela má interpretação de cargas na fase de projeto, Castro (1999) salienta que manifestações patológicas podem surgir com a ausência de elementos estruturais necessários, como os contraventamentos e os enrijecedores, com a falta de ancoragem entre os perfis de aço, através de fundações inadequadas, não resistentes aos carregamentos impostos pelo vento, pela ruína das ligações (parafusos e soldas) e pela deformabilidade excessiva devido aos esforços de flexão, de cisalhamento e de torção.

4.1.3.2 Corrosão em estruturas metálicas

O processo de corrosão em estruturas metálicas não se difere significativamente do que foi citado no item 4.1.1.4 deste trabalho, que se referiu à corrosão em armaduras de concreto armado. As diferenças entre os esses processos estão na maneira em que o aço é exposto e protegido. Nas armaduras de concreto, o aço está isolado do meio devido à proteção do cobrimento nas estruturas de concreto, onde a água, que tem função de eletrólito no processo de corrosão, está presente nos poros dessa estrutura. Já os perfis metálicos das atmosferas industriais estão expostos diretamente ao meio e, consequentemente, com a sua umidade. De acordo com Dias (1997), quando o ambiente em que os perfis metálicos estão expostos for úmido, sais e gases contidos nesses meios são dissolvidos provocando a corrosão dessas estruturas.

No entanto, Nunes e Lobo (1990, p. 12) citam que “Os meios corrosivos no campo da corrosão eletroquímica são responsáveis pelo aparecimento do eletrólito. O eletrólito é uma solução eletricamente condutora constituída de água contendo sais, ácidos ou bases, ou ainda outros líquidos como sais fundidos.”. Como já citado anteriormente, a atmosfera industrial contém agentes agressivos, como cloretos, sulfatos e ácidos inorgânicos, que são capazes de acelerar o processo de corrosão das armaduras de aço, assim pode-se afirmar que a corrosão em estruturas metálicas pode ser acelerada quando expostas ao ambiente industrial.

Como ilustrado na figura 9, muitos fatores podem levar as estruturas metálicas ao desenvolvimento de manifestações patológicas devido à corrosão, por esse motivo se devem tomar alguns cuidados na etapa de realização do projeto da estrutura, como cita Dias (1997, p. 173):

> a) evitar que peças fiquem semi-enterradas ou semi-submersas;
>
> b) prever a estrutura com furos de drenagem, em quantidade e tamanhos suficientes, para assegurar a drenagem da água;

c) as cantoneiras devem ser projetadas para permitir o livre fluxo de ar, facilitando a rápida secagem da superfície;

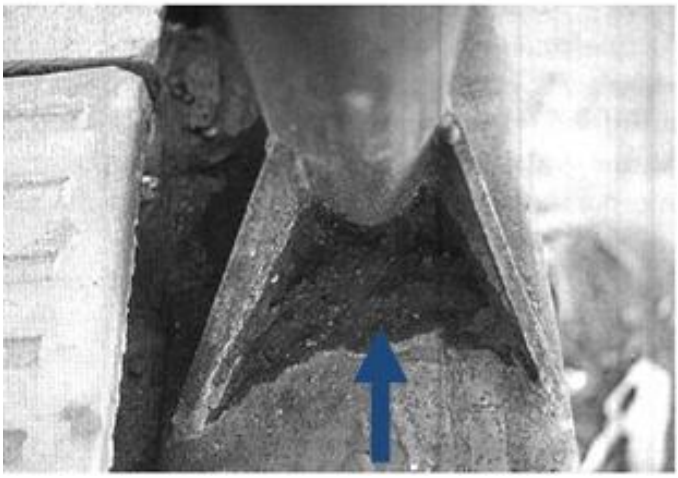
d) cuidar em que os acessos sejam facilitados e os espaços, os mais amplos possíveis, para propiciar adequada manutenção;

e) não deixar cavidades nas soldas;

f) evitar juntas sobrepostas de materiais diferentes;

g) evitar a formação de pares, por exemplo, aço em contato com cobre, bronze ou outro metal.

Figura 9 – Acúmulo de umidade e resíduos em estrutura metálica



(fonte: DIAS, 1997, p. 174)

As estruturas metálicas podem ser protegidas de diversas maneiras contra a corrosão. Um dos procedimentos mais comuns utilizados nesses ambientes agressivos é a pintura industrial, a qual, segundo Nunes e Lobo (1990, p. 36), "[...] consiste na interposição de uma película, em geral orgânica, entre o meio corrosivo e o material metálico que se quer proteger.". Todavia, Castro (1999) salienta que essas tintas, apesar de serem utilizadas para proteção do aço, também estão suscetíveis a algum tipo de patologia. Isso significa que a proteção das estruturas de aço deve ser sempre revisada periodicamente, para que não haja risco de ocorrer corrosão nessas estruturas.

Além disso, Castro (1999) define que a escolha de um bom produto é ideal para que não ocorram manifestações patológicas nessas tintas, como:

a) empolamento: formação de bolhas devido o aprisionamento de algum fluído, como ar e água;

b) calcinação ou engisamento: degradação da película de tinta devido à ação dos raios ultravioletas;

c) fendilhamento: consiste na quebra da tinta devido a perda de flexibilidade;

d) descascamento: acontece pela perda de aderência entre a película protetora e o aço;

e) enrugamento: por não ter sido feita de maneira adequada a secagem da película, ocorrem ondulações na superfície desta;

f) sangramento: ocorre manchamento da película de tinta, devido ao afloramento da tinta de fundo.

Não só a qualidade da tinta deve ser considerada para que se tenha uma boa qualidade de proteção para as estruturas metálicas. A forma como elas são executadas são de grande importância para que se tenha um bom rendimento na prevenção contra corrosão. Castro (1999, p. 78) faz algumas recomendações para a boa execução das pinturas industriais:

a) não pintar sobre superfícies sujas ou corroídas;

b) pintar somente se a umidade estiver abaixo de 85%;

c) pintar somente se a temperatura estiver acima dos 10ºC;

d) perfis expostos ao sol devem possuir esquema especial de pintura à base de primer epóxi e acabamento em poliuretano alifático. Outros esquemas de pintura devem estar protegidos com uma lona durante o transporte e armazenamento.

4.1.4 Alvenarias

Umas das manifestações patológicas mais presentes em alvenarias são as fissuras e rachaduras. Segundo Verçoza (1991, p. 38), muitas são as causas que podem originar as manifestações nessas estruturas, como:

a) erro de dimensionamento na fase de projeto, seja no cálculo das cargas, seja no cálculo da estrutura, seja nas fundações, seja na estrutura em si;

b) má utilização do prédio, tal como excesso de sobrecarga ou distribuição errada dessa sobrecarga;

c) movimentação da estrutura por variação térmica, variação no teor de umidade, retração hidráulica, deformabilidade dos materiais, alterações de origem química, etc.;

d) envelhecimento e fadiga natural dos materiais;

e) acidentes imprevistos, tais como pancadas, incêndios, explosões, alterações no solo e subsolo, etc.;

f) má execução da alvenaria.

As fissuras em paredes de alvenaria podem ser verticais, sendo estas causadas por cargas de compressão ou flexão maiores do que o suportado pela parede. Quando ocorre o rompimento de um elemento da parede (tijolo ou argamassa), ou ainda quando esta é solicitada por carregamentos de flexocompressão, têm-se fissuras horizontais localizadas. Já as cargas concentradas podem causar fissuras ao redor de onde está sendo aplicada a carga, além da ruptura de um dos elementos, pois os tijolos e a argamassa podem não resistir a esse esforço solicitado (THOMAZ, 1989).

No ambiente industrial, muitos processos de produção afetam as paredes de alvenaria de alguma forma. Um exemplo concreto disso é quando se tem um maquinário que emita energia térmica, esta pode ser a causa de manifestações patológicas nas paredes, caso essas não estejam protegidas por um isolante térmico. A umidade nesses ambientes também pode ser uma das causas do surgimento de fissuras, já que os tijolos incham em contato com a água, fissurando a parede no limite da área úmida com a área seca. A passagem de instalações hidráulicas, hidrossanitárias e elétricas também são fatores importantes que podem causar fissuras nas paredes, pois ocorre uma diferenciação de tensões entre a alvenaria e a zona de passagem das instalações, surgindo, consequentemente, esforços de cisalhamento que fissuram a estrutura (VERÇOZA, 1991).

5 INSPEÇÃO EM EDIFICAÇÕES

Todas as edificações, sendo elas residenciais, comerciais ou industriais, estão sujeitas a deteriorações ao longo de sua vida útil, ocorrendo alterações físicas e químicas nos materiais constituintes destas estruturas, levando-as à redução de durabilidade. Gomide et al. (2006, p. 64) mostram que a durabilidade das edificações está relacionada com diversos fatores, como:

> a) materiais (resistência a agentes de degradação: materiais e uso, dimensão, cor e qualidade);
>
> b) projeto (tipo de fatores a que estão submetidos os elementos);
>
> c) condições de uso (menor ou maior manutenabilidade, nível desempenho);
>
> d) manutenção (intensidade, periodicidade, se existe ou não exigências do usuário);
>
> e) atmosfera (variando conforme clima, temperatura e nível de agressividade ambiental).

No entanto, mesmo que os fatores acima, quando adequadamente utilizados, possam ser favoráveis a uma boa durabilidade, é inevitável o surgimento de manifestações patológicas na estrutura no decorrer de sua vida útil. É de suma importância que a manutenção seja realizada nas edificações para que estas não percam sua funcionalidade. Para que a manutenção garanta um desempenho satisfatório da edificação, é necessário a realização de inspeções prediais de qualidade, que garantam um bom diagnóstico das manifestações patológicas atuantes nas estruturas.

O Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias em Engenharia (2011, p. 6), ao se referir ao conceito de inspeção predial, define que esta "É a avaliação isolada ou combinada das condições técnicas, de uso e de manutenção da edificação.". Já para Gomide et al. (2006, p. 18-19), essas condições, que dão uma visão sistemática das anomalias que acontecem no edifício, podem ser definidas como:

> a) condições técnicas: levantamento de todas as anomalias construtivas do prédio, quer dos produtos, quer dos sistemas, bem como as análises de seus desempenhos;
>
> b) condições de uso: determinação das anomalias funcionais e análise do desempenho das condições de ocupação, confiabilidade da segurança e conforto (homem + meio ambiente);

c) condições de manutenção: apuração das falhas e análise da metodologia empregada, verificação dos processos de operação, suas facilidades e materiais aplicados, vantagens e desvantagens, bem como análise dos custos.

Quando se realiza uma análise de uma edificação, avaliando as condições acima citadas e, além disso, verificando esta análise junto aos projetos do prédio, pode-se obter um bom diagnóstico das manifestações patológicas ocorrentes nesta estrutura. Helene (1992, p. 22-23) cita que:

> Um bom diagnóstico se completa com algumas considerações sobre as consequências do problema no comportamento geral da estrutura, ou seja, um prognóstico da questão. De forma geral, costuma-se separar dois tipos: as que afetam as condições de segurança da estrutura (associadas ao estado limite último) e as que comprometem as condições de higiene, estética, etc., ou seja, as denominadas condições de serviço e funcionamento da construção (associadas aos estados limites de utilização.

No entanto, diagnosticar as causas de manifestações patológicas podem não ser fácil, como é o exemplo das trincas em estruturas de concreto armado, as quais Chand[1] (1979 apud THOMAZ, 1989, p. 151) explica que:

> Uma causa pode provocar diversas configurações de trincas e uma configuração pode ser representativa de diversas causas. Não raras vezes observam-se trincas originadas por uma somatória de causas, com configurações diferentes daquelas que aqui foram apresentadas. Em alguns casos, o diagnóstico correto só poderá ser elaborado a partir de consultas a especialistas, minuciosos ensaios de laboratório, revisão de projetos e mesmo instrumentação e acompanhamento de obra. Pode haver casos, contudo, em que as verdadeiras causas das trincas jamais serão determinadas com absoluta certeza.

5.1 NÍVEIS DE INSPEÇÃO

O Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias em Engenharia (2011, p. 7) classifica os níveis de inspeção de acordo com sua complexidade e abrangência. Não são todos os trabalhos que necessitam de uma grande sofisticação e de uma grande equipe de trabalho para que se obtenham resultados satisfatórios. Esses níveis são classificados em:

a) nível 1: consiste, basicamente, na inspeção visual, realizada por profissional habilitado, na qual se busca através na identificação de manifestações patológicas aparentes, um diagnóstico satisfatório das anomalias ocorrentes na estrutura;

[1] CHAND, S. Cracks in building and their remedial measures. **Indian Concrete Journal**, New Delhi, Oct. 1979.

b) nível 2: consiste na identificação de anomalias da estrutura através de inspeção visual e auxílio de equipamentos, que devem ser elaborados por profissionais habilitados;

c) nível 3: consiste na identificação de anomalias através de inspeção detalhada, ou seja, engloba o nível 2, em que se faz a inspeção visual com o auxílio de equipamentos, além de ensaios locais e de laboratório para se obter um diagnóstico das manifestações patológicas aparentes e ocultas ocorrentes na estrutura.

Como visto nessa classificação de níveis e através do trabalho de Andrade (1992), a inspeção detalhada não é sempre necessária para determinar a deterioração e as características das manifestações patológicas ocorrentes na estrutura. Nesse tipo de inspeção, como ocorrem ensaios laboratoriais, geralmente é necessário a utilização de um tempo maior para que se obtenha uma conclusão com relação aos resultados. Isso não acontece na inspeção visual, que, dependendo da experiência do profissional que conduz o trabalho, pode dar um bom diagnóstico das anomalias que ocorrem em uma edificação.

5.2 INSPEÇÃO VISUAL (NÍVEL 1)

De acordo com Rincón et al. (2006, p. 70, tradução nossa) esse tipo de inspeção permite ter uma ideia geral dos problemas que acontecem nas estruturas, podendo estar baseados simplesmente em uma visita prévia ou até da utilização de algumas ferramentas dependendo da complexidade do problema. Segundo os mesmos autores, as informações obtidas na inspeção visual são suficientes para que se conclua a natureza e a origem do problema.

Através da literatura de Andrade (1992, p. 52), as etapas da inspeção visual podem ser classificadas como:

a) exame visual de toda a estrutura

b) anotação de todos os sintomas visuais

c) a identificação da agressividade do ambiente

Ao se referir a exames visuais na estrutura, Cascudo (1997, p. 79) cita:

> Os métodos visuais, que geralmente se inserem em etapas de uma inspeção preliminar (visual), podem lançar mão de dispositivos como lupas, binóculos, máquinas fotográficas, fissurômetros e trenas, entre outros, e visam registrar todas as anomalias presentes nas estruturas para, a partir daí, comparando-se quadros típicos de sintomas, identificar o problema ou os problemas patológicos atuantes.

Em lugares de difícil acesso, como coberturas em pavilhões industriais, por exemplo, o uso de binóculo é essencial para que possa fazer a análise visual. Analisando elemento por elemento da estrutura, pode-se concluir se todas as problemáticas são consequências de um mesmo fator, ou se, dependendo de regiões de análise, existem outros fatores que causam essas anomalias (ANDRADE, 1992).

Um exemplo disso pode ser analisado em uma situação em que ocorre corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado e perfis metálicos na cobertura de um pavilhão industrial. Em primeira vista, sem ser feito uma análise visual da estrutura, conclusões precipitadas podem ocorrer na identificação das causas dessas anomalias, como se os fatores que desenvolvessem essas manifestações patológicas fossem os mesmos. Todavia, o mesmo fator pode causar manifestações patológicas em elementos diferentes, só que é importante fazer a análise visual para que se tenha certeza disso, pois, caso se conclua no diagnóstico que os reparos nesses elementos sejam os mesmos, as manifestações patológicas podem voltar a ocorrer, pois os elementos não foram diagnosticados corretamente.

A anotação de todos os sintomas visuais pode ser realizada através de um *check-list*, que, segundo Gomide et al. (2006, p. 35), "[...] é o documento básico do inspetor predial para efetuar as anotações das suas constatações técnicas no decorrer da vistoria. Todos os tipos de inspeção exigem a utilização de *check-list*, mormente nos casos de equipamentos e instalações com variados sistemas e componentes.". Além disso, muitas informações podem ser inseridas neste documento, como os registros fotográficos, documentos vinculados à estrutura e croquis de áreas analisadas. Enfim, o *check-list* facilita o levantamento das manifestações patológicas em campo, além de auxiliar em futuras inspeções que possam ser feitas na estrutura.

A importância da classificação do ambiente é indispensável em uma inspeção visual. Nessa etapa de trabalho, verifica-se o quanto esse ambiente é agressivo para a estrutura. Além disso, a experiência do inspetor é fundamental para essa classificação, pois deve se identificar outros fatores que colaboram para a deterioração das estruturas, como Rincón et al. (2006, p. 74, tradução nossa) citam:

> a) tipo de atmosfera (urbana, rural, marinha, industrial ou uma combinação desses tipos), estimativa da presença de contaminantes, aproximação das condições climáticas como temperatura, umidade relativa e velocidade do vento.
>
> b) tipo de águas (naturais: salubres, doces, subterrâneas, potável; despejos: residenciais ou industriais), sua composição química e eventuais contaminações que possam ocorrer.

c) tipo de terreno e solo (natural ou com relevo, ácido ou alcalino).

d) presença de agentes químicos.

6 MÉTODO DE INSPEÇÃO

O método de inspeção proposto neste trabalho é semelhante aos métodos tradicionais utilizados em edificações residenciais e comerciais. No entanto, se diferencia devido ao meio agressivo em que a maioria dos pavilhões estão expostos, além dos componentes e equipamentos que não estão contidos na listagem da norma de inspeção predial do IBAPE, como salientam Gomide et al. (2006, p. 37):

> A listagem da norma também não abrange sistemas de imóveis especiais, tais como postos de gasolina, supermercados, *shopping centers*, galpões industriais e hotéis, que possuem instalações e equipamentos específicos, tais como bombas e tanques de combustível, câmeras frigoríficas, pontes rolantes, caldeiras, etc.

As pontes rolantes, por exemplo, são muito frequentes em pavilhões industriais, já que facilitam a movimentação de materiais e maquinários presentes nas atividades industriais. Apesar destas facilidades, inspeções rotineiras devem ser realizadas na estrutura, já que as vigas de rolamento, as quais servem de apoio a essas pontes, estão sujeitas a esforços de fadiga, que podem ser um fator de ocorrência de manifestações patológicas ao longo de sua vida útil.

Como foi citado no item 4.1 deste trabalho, existem algumas diferenças entre as manifestações patológicas que podem ocorrer nas estruturas tradicionais e nos pavilhões industriais. Isso se deve porque, além do ambiente ser mais agressivo, a presença de veículos como empilhadeiras e caminhões pode causar abrasão do piso industrial devido ao intenso tráfego de cargas pesadas, bem como pode causar lascamentos, esmagamentos ou ruptura de pilares devido a impactos.

Como foi citado no item 5.1 deste trabalho, as etapas de uma inspeção visual podem ser classificadas como exame visual, identificação da agressividade ambiental e anotação dos sintomas visuais (*check-list*). Todas essas etapas estão contidas no método proposto neste trabalho para pavilhões industriais, porém, sendo divididas de formas diferentes. Isto se deve ao fato de que, aliado com a elaboração do *check-list*, será realizada uma análise de risco, na qual se poderá avaliar anomalias através de seu grau de gravidade, urgência e tendência de evolução.

6.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

Ao se realizar um exame visual da estrutura, o inspetor obtem um melhor entendimento sobre as deteriorações que um determinado pavilhão industrial pode estar submetido. Todavia, na literatura, muitos autores sugerem que se faça um levantamento de dados sobre a estrutura, a fim de entender o seu funcionamento e seus mecanismos, facilitando na identificação das anomalias.

Pode-se citar como exemplo de levantamento de dados os projetos arquitetônicos e estruturais, uma vez que, estes documentos apresentam informações importantes, como o distanciamento de pilares, cargas solicitantes e a taxa de armaduras de cada elemento estrutural, caso estes sejam de concreto armado. Com esses documentos, pode-se identificar, com mais facilidade, os fatores que levaram ao aparecimento de manifestações patológicas nos elementos estruturais, como por exemplo, uma fissura de cisalhamento de uma viga de concreto armado, que geralmente é causada pela falta ou insuficiência de armaduras transversais. Portanto, como cita Souza e Ripper (1998), a análise de documentos existentes, como projetos e memoriais de cálculo, facilita na identificação de erros na etapa de concepção e de dimensionamento das estruturas.

Além de documentos relacionados com projetos, é importante salientar que os dados provenientes de inspeções anteriores podem auxiliar na identificação de manifestações patológicas que não foram diagnosticadas corretamente. Isso pode ter acontecido por causa das poucas informações obtidas pelo inspetor em outrora, que os levaram a um diagnóstico impreciso. Devido a isso, quanto maior for o número de informações, maior é a probabilidade de se realizar uma avaliação mais precisa da estrutura. Contudo, muitas vezes, um inspetor pode se deparar com um pavilhão industrial que não possua nenhum tipo de documento com utilidade real no processo de inspeção. Com isso, as informações necessárias devem ser obtidas através de entrevistas com usuários, proprietários ou pessoas familiarizadas com as atividades do pavilhão.

No método proposto neste trabalho, antes do exame visual do pavilhão, realiza-se o preenchimento de uma tabela com a descrição da estrutura, como indicado na figura 10. No primeiro item, tem-se os dados básicos, como a data de início de construção, o tipo de atividade industrial que ocorre no pavilhão e a descrição dos elementos da estrutura. Já no segundo item, identificam-se as propriedades dos materiais existentes, como a resistência

característica do concreto à compressão e o tipo de aço utilizado. Além desses fatores, pode-se identificar os tipos de ligações dos perfis de aço, se a estrutura de concreto é protendida, se a proteção contra agentes agressivos é apropriada, entre outros.

Figura 10 – Tabela referente à descrição do pavilhão industrial

DESCRIÇÃO DO PAVILHÃO INDUSTRIAL

1) Dados da Estrutura

1.1) Data de início de construção:

1.2) Tipo de utilização da estrutura:

1.3) Descrição dos elementos da estrutura:

1.4) Croqui esquemático

2) Propriedades dos materiais

2.1) Concreto:

Componentes:
- [ ] Moldado in-loco
- [ ] Pré-Fabricado
- [ ] Armado
- [ ] Protendido

fck:
fyk:
cobrimento:

Outros:

2.2) Aço:

Componentes:
- [ ] Laminado
- [ ] Soldado
- [ ] Chapa Dobrada
- [ ] Ligação Soldada
- [ ] Ligação Parafusada/Rebitada

Tipo de Aço:
Pintura/Galvanização:

(fonte: elaborado pelo autor)

Além da descrição da estrutura, é fundamental levantar os dados sobre os seus antecedentes. Sabendo-se a data de início das atividades industriais, é possivel obter o período de exposição

do pavilhão a agentes agressivos. As anomalias existentes, durante e após construção, podem revelar os fatores que levam ao surgimento de novas manifestações patológicas.

Outra questão importante é a existência de um plano de manutenção para os pavilhões industriais. A inexistência deste plano pode levar as anomalias a um estado avançado de deterioração, ou seja, a estrutura pode estar perdendo sua funcionalidade, além de estar oferecendo riscos ao usuário. No método deste trabalho, estas etapas do levantamento de dados são realizados através da tabela apresentada na figura 11.

Figura 11 – Tabela referente aos antecedentes do pavilhão industrial

ANTECEDENTES DO PAVILHÃO INDUSTRIAL
3) Histórico da Estrutura
3.1) Data de início das atividades industriais:
3.2) Anomalias durante a construção:
3.3) Anomalias depois da construção:
3.4) Reparos e recuperações:
3.5) Plano de manutenção:

(fonte: elaborado pelo autor)

6.2 IDENTIFICAÇÃO DA AGRESSIVIDADE AMBIENTAL

Nas tabelas 1 e 4 do item 4.1.1 deste trabalho, as quais se referem aos níveis de agressividade ambiental, observa-se que para os ambientes industriais, o nível de agressividade é considerado forte ou muito forte, ou seja, o risco de deterioração da estrutura é maior que os outros ambientes. No entanto, só essa classificação não permite o entendimento dos problemas que podem ocorrer em um pavilhão industrial exposto a esses ambientes. Todavia, nas informações coletadas, anteriormente, sobre os tipos de atividades industriais que ocorrem no pavilhão, pode-se ter informações sobre a ocorrência de desprendimento de gases agressivos no meio produtivo ou se as estruturas dos pavilhões estão expostas a sulfatos e cloretos, por exemplo. Nas indústrias de celulose e papel, referindo-se às condições de exposição dos elementos estruturais, Repette e Helene (1998, p. 8) citam que:

> [...] durante os processos de cozimento, branqueamento, recuperação de efluentes e produção de papel, pisos de concreto e outros elementos estruturais são expostos a respingos, vazamentos, gases, vapores e constante imersão, entrando em contato com uma grande variedade de agentes agressivos. Não só a forma de contato com o concreto, mas também os tipos e concentrações de elementos químicos, temperatura e pH são fatores determinantes da velocidade e intensidade das deteriorações.

Portanto, quanto maior for a quantidade de dados sobre os agentes agressivos do meio industrial, melhor é o entendimento dos riscos de deterioração dos pavilhões expostos a esses ambientes.

6.3 EXAME VISUAL DA ESTRUTURA

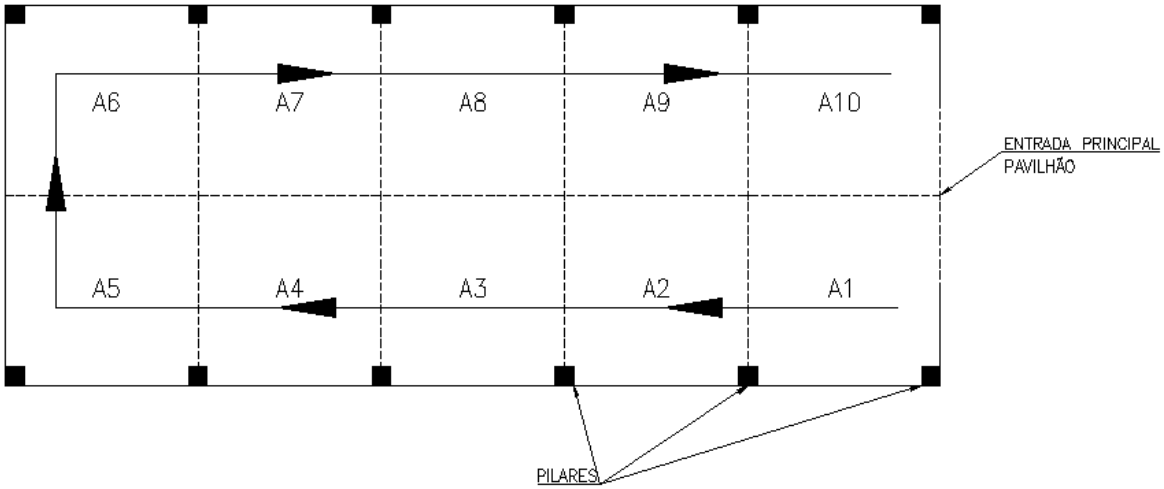
Após o levantamento de dados sobre a estrutura e de seus antecedentes e da identificação da agressividade ambiental, é necessário realizar o exame visual da estrutura. Nesse exame, como foi descrito no item 5.1 deste trabalho, considera-se a utilização de algumas ferramentas que podem auxiliar na caracterização das anomalias. Um binóculo, por exemplo, pode facilitar a identificação dessas manifestações patológicas em lugares de difícil acesso, como as coberturas, considerando o pé-direito elevado dos pavilhões. Já um fissurômetro mede a espessura das fissuras, sendo uma ferramenta de suma importância, já que quanto maior for a abertura da fissura, maior é a facilidade de agentes agressivos do meio penetrarem na estrutura, podendo levar ao surgimento de anomalias graves como a corrosão de armaduras. Uma outra ferramenta indispensável no exame visual é a máquina fotográfica, que realiza os registros necessários para que se possa avaliar de maneira mais efetiva as manifestações patológicas.

6.3.1 Sentido do exame visual

Uma das grandes dificuldades para a realização do exame visual da estrutura é causada pelas próprias atividades industriais dos pavilhões. A parada dessas atividades nem sempre é uma alternativa viável, já que isso acarretaria em uma grande perda de capital devido à falta de produção. Devido a isso, o exame visual deve ser planejado de uma forma que não atrapalhe significativamente as atividades industriais. Portanto, uma alternativa viável seria a análise da estrutura de uma só vez e de modo ordenado, evitando repetir a passagem em pontos já inspecionados. A alternativa proposta neste método é percorrer o pavilhão em um sentindo,

horário ou anti-horário, analisando os elementos delimitados por áreas de influência dos pórticos da estrutura, como ilustrado esquematicamente na figura 12.

Figura 12 – Proposição de um sentido para o exame visual e áreas de influência dos pórticos de um pavilhão industrial



(fonte: elaborado pelo autor)

O sentindo do exame visual, descrito na figura 12, foi arbitrado como horário, e as linhas tracejadas delimitam áreas de influência dos pórticos. Nessas áreas, realiza-se a inspeção dos elementos presentes, como os pilares, as vigas, terças de cobertura, paredes e piso industrial. Dessa maneira, não se tem a necessidade de parar as atividades industriais totalmente, prejudicando da menor maneira possível a produção.

6.3.2 Anotações dos sintomas visuais (*check-list)*

As anotações das anomalias devem ser realizadas de modo que o inspetor possa organizar as informações e entendê-las após a inspeção. Por isso, alguns cuidados devem ser tomados para que as informações contidas no *check-list* não sejam confundidas durante a análise das manifestações patológicas. Além disso, nesse método, é realizada uma análise de risco no decorrer da inspeção, obtendo-se, de forma qualitativa, um grau de criticidade de cada elemento com anomalia da estrutura e, consequentemente, seu grau de prioridade de intervenção. Esta análise está baseada na adaptação do método de Kepner e Tregoe realizada por Gomide et al. (2006), em que manifestações patológicas são avaliadas de acordo com o a sua gravidade, urgência e tendência de evolução (sistema GUT). Nesse sistema, realiza-se

uma multiplicação dos pesos de cada variável, classificando as manifestações patológicas de maior valor como mais crítico. Os pesos de cada variável estão descritos nas tabelas 5 a 7:

Tabela 5 – Pesos dos graus de gravidade de anomalias

Grau	**Gravidade**	**Peso**
Total	Perda de vidas humanas, do meio ambiente ou do próprio edifício	10
Alta	Ferimento de pessoas, danos ao meio ambiente ou ao edifício	8
Média	Desconfortos, deterioração do meio ambiente ou do edifício	6
Baixa	Pequenos incômodos ou pequenos prejuízos financeiros	3
Nenhuma	-	1

(fonte: GOMIDE et al., 2006, p. 52)

Tabela 6 – Pesos dos graus de urgência de anomalias

Grau	**Urgência**	**Peso**
Total	Evento em ocorrência	10
Alta	Evento prestes a acontecer	8
Média	Evento prognosticado para breve	6
Baixa	Evento prognosticado para adiante	3
Nenhuma	Evento imprevisto	1

(fonte: GOMIDE et al., 2006, p. 53)

Tabela 7 – Pesos dos graus de tendência de evolução de anomalias

Grau	**Tendência**	**Peso**
Total	Evolução imediata	10
Alta	Evolução em curto prazo	8
Média	Evolução em médio prazo	6
Baixa	Evolução prognosticado para breve	3
Nenhuma	Não vai evoluir	1

(fonte: GOMIDE et al., 2006, p. 53)

No entanto, com o desenvolvimento deste método, percebeu-se que para os pavilhões industriais, a utilização da classificação do sistema GUT poderia não ser suficiente para avaliar qualitativamente as manifestações patológicas, pois a funcionalidade dessas estruturas é diferente das edificações residenciais e comerciais, principalmente por causa da presença de maquinários pesados e da maior agressividade ambiental. Devido a isso, foram realizadas algumas ponderações relacionadas às condições técnicas, de uso e de manutenção da estrutura. Estas ponderações também consideram o fato de que o ambiente industrial pode influenciar diretamente na evolução da anomalia, e a necessidade de utilização de aparelhos sofisticados para se ter a certeza das manifestações patológicas atuantes na estrutura. Portanto, além do preenchimento da gravidade, urgência e tendência de evolução no *check-list* (sistema GUT), é necessário preencher outras colunas relacionadas a essas ponderações. Devido a essas considerações, para a realização do *check-list*, a tabela 8 deve ser utilizada:

Tabela 8 – Tabela utilizada para o *check-list*

Área ____														
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
Elemento	**Anomalia**	**G**	**U**	**T**	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**Média**	**G.E**	**Ordem**	**Obs.**	**Foto**

(fonte: elaborado pelo autor)

As colunas da tabela foram numeradas visando uma facilidade de visualização. Na primeira linha, deve ser destacada a área a qual está sendo realizada a inspeção no pavilhão industrial (de acordo com o sentido do exame visual). Na coluna 1 destaca-se qual o elemento desta área que está sujeito a anomalias. A natureza desta anomalia deve ser destacada na coluna 2. Já nas colunas 3 a 5 devem ocorrer o preenchimento da gravidade, urgência e tendência de evolução respectivamente, através dos pesos mencionados nas tabelas 5 a 7 deste trabalho. Já nas colunas 6 a 10 devem ser realizadas as ponderações, através dos seguintes questionamentos sobre a estrutura, que devem ser respondidos com “S”, para sim, ou “N” para não:

a) Existe um plano de manutenção para estrutura?

b) A anomalia presente pode ser reparada ou corrigida?

c) A anomalia presente pode ser causada pelo mau uso da estrutura?

d) É necessária uma inspeção detalhada para confirmação dessa anomalia?

e) O meio industrial pode acelerar o processo de deterioração dessa estrutura?

O valor de cada ponderação pode ser igual a 1 ou 2, sendo igual a 1 quando a resposta ao questionamento estiver a favor à segurança, como no questionamento "A", por exemplo, em que a anomalia avaliada possui um plano de manutenção. Por outro lado, o valor é igual a 2 quando a resposta for contra a segurança. Utilizando o mesmo exemplo do questionamento "A", o fato de não existir um plano de manutenção contribui para a diminuição da segurança da estrutura.

Na coluna 11, destaca-se a média geométrica da gravidade, urgência e tendência de evolução, que é descrita através da fórmula 1:

$$\text{Média} = (G \times U \times T)^{1/3} \qquad \text{(fórmula 1)}$$

Onde:

G = grau de gravidade, obtido pela avaliação da terceira coluna do *check-list*

U = grau de urgência, obtido pela avaliação da quarta coluna do *check-list*

T = grau de tendência de evolução, obtido pela avaliação da quinta coluna do *check-list*

Já na coluna 12, leva-se em conta as ponderações sobre o sistema GUT, cuja proposição está descrita pela fórmula 2:

$$G.E = (G \times U \times T) \times (A + B + C + D + E) / 10 \qquad \text{(fórmula 2)}$$

Onde:

G.E = grau equivalente

G = grau de gravidade, obtido pela avaliação da terceira coluna do *check-list*

U = grau de urgência, obtido pela avaliação da quarta coluna do *check-list*

T = grau de tendência de evolução, obtido pela avaliação da quinta coluna do *check-list*

A, B, C, D e E = ponderações obtidas na sexta à décima coluna do *check-list*

A fórmula 2 levou em conta os critérios utilizados na avaliação do sistema GUT, o qual faz a multiplicação dos graus de gravidade, urgência e tendência de evolução para avaliar as manifestações patológicas, que, dependendo da avaliação realizada, podem variar de 0 a 1000. Para manter a mesma variação de resultado com o acréscimo das ponderações, cujas somas dos valores variam de 5 a 10, o resultado final deve ser dividido pela constante 10, a qual está descrito na fórmula. É importante salientar, que a soma das ponderações é diretamente proporcional ao grau equivalente, e que a concepção da fórmula segue um raciocínio empírico. Devido a isso, quanto maior for o valor da soma das ponderações, ou seja, quanto mais os questionamentos forem contra a segurança, maior é o grau equivalente.

Na coluna 13, deve ocorrer o ordenamento das anomalias que depende do valor obtido na coluna 12. O maior valor obtido é ordenado com o primeiro em ordem de prioridade de intervenção.

Na coluna 14, devem ser realizadas as observações, caso haja necessidade, sobre as colunas anteriores. Por exemplo, caso a manifestação patológica seja uma fissura ou trinca, podem ser adicionados nessa coluna os fatores que levaram ao surgimento desta anomalia, como sobrepeso, corrosão de armaduras, entre outros fatores. Nesta coluna pode também haver uma referência a croquis ou cortes realizados para um melhor mapeamento de fissuras e demais anomalias nos elementos analisados.

Já a coluna 15 é útil para organização dos registros fotográficos realizados em campo. Como, geralmente, a câmera fotográfica é utilizada com frequência, o inspetor pode confundir a ordem das fotos, mesmo porque os elementos estruturais se repetem ao longo do pavilhão. Por isso, a utilização dessa coluna é importante, para organizar os dados obtidos, podendo consultá-los de maneira mais rápida e organizada.

6.3.3 Classificação de anomalias

Realizando-se uma análise dos valores dos graus do sistema GUT e das ponderações utilizadas no *check-list*, foram obtidas curvas de máximos e mínimos, as quais delimitam quaisquer pontos obtidos na análise de risco. Como as ponderações da análise de risco podem ter apenas dois valores, essas curvas foram obtidas facilmente. Considerando como valores da abscissa a média geométrica, coluna 11, e como ordenadas os graus equivalentes, coluna 12, obteve-se, na tabela 9, os intervalos de máximos e mínimos.

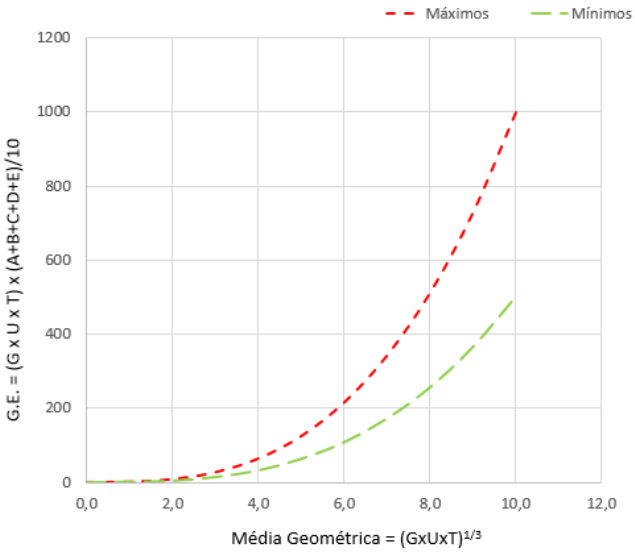
Tabela 9 – Intervalos de máximos e mínimos

Média Geométrica	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Máximos G.E.	0	1	8	27	64	125	216	343	512	729	1000
Mínimos G.E.	0	1	4	14	32	63	108	172	256	365	500

(fonte: elaborado pelo autor)

Importante salientar que os valores de máximos e mínimos foram arredondados para o número inteiro posterior para que não se obtivesse valores com vírgula. Com a utilização do *software Excel*, traçou-se curvas que delimitam os valores possíveis de ocorrer na análise de risco. Na figura 13, podem ser observadas as curvas de máximos, tracejado vermelho aberto, e mínimos, tracejado verde fechado.

Figura 13 – Curvas de máximos e mínimos

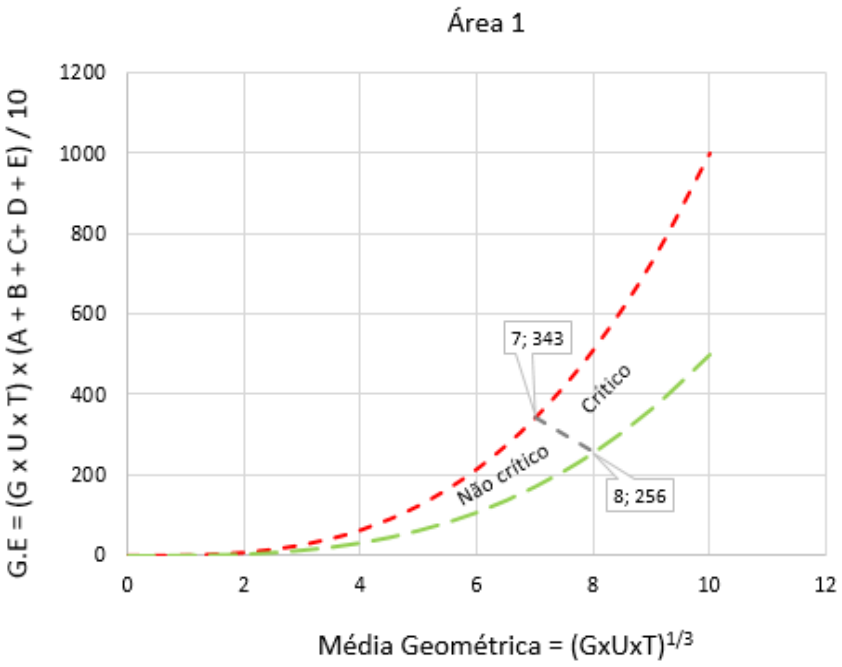


(fonte: elaborado pelo autor)

Com a delimitação das curvas, pode-se classificar os diferentes elementos dos pavilhões industriais que contenham anomalias de acordo a com sua criticidade. No entanto, como é uma classificação qualitativa, baseada em uma teoria que depende da percepção de cada inspetor sobre as manifestações patológicas atuantes na estrutura, foi traçada uma reta entre essas curvas delimitando as áreas de classificação de acordo com as especificações das tabelas 5 a 7.

Como, nessas tabelas, os graus de gravidade, urgência e tendência de evolução das anomalias são classificados como alta para um peso igual a 8, foi considerado, como um ponto limitante da análise de risco a abscissa, a média geométrica igual a 8 e o grau equivalente igual a 256, conforme resultados obtidos na tabela 9 deste trabalho para ponderações a favor da segurança. Já para o outro ponto delimitante, foi realizada uma média dos graus médios e altos de gravidade, urgência e tendência de evolução, considerando que as ponderações não são a favor da segurança. Com isso, o ponto de média geométrica igual a 7 e grau equivalente igual a 343 é delimitante. Traçando-se uma reta entre esses pontos, tem-se uma divisão da área delimitada pelas curvas de máximos e mínimos. Na figura 14, tem-se a reta delimitadora, tracejado cinza, de classificação de criticidade das anomalias.

Figura 14 – Curvas de máximos e mínimos com a reta delimitadora



(fonte: elaborado pelo autor)

Para fins do método proposto neste trabalho, os pontos pertencentes à área situada ao lado direito da reta delimitadora devem ser considerados como críticos, ou seja, merecem uma atenção especial e uma prioridade de intervenção maior do que os pontos situados à esquerda da reta.

7 VALIDAÇÃO DO MÉTODO DE INSPEÇÃO

Para obtenção da validação do método de inspeção para pavilhões industriais, duas empresas cederam seu espaço físico para que se pudesse fazer a aplicação do método. Essas empresas têm seus pavilhões situados na região metropolitana de Porto Alegre, sendo que o pavilhão 1 é constituído basicamente por estruturas de concreto armado e o pavilhão 2 por uma estrutura mista composta por concreto armado e aço.

7.1 APLICAÇÃO EM PAVILHÃO 1

Para a obtenção dos dados de descrição da estrutura, antecedentes e descrição do meio, foram utilizadas as tabelas mencionas no item 6.1 deste trabalho.

7.1.1 Descrição da estrutura

O pavilhão 1 é uma estrutura recente, construído no ano de 2007, e suas atividades estão baseadas na elaboração de artefatos mecânicos e usinagem de peças. A estrutura desse pavilhão é constituída basicamente por concreto armado, possuindo 6 pórticos principais. Além dessas características, tem-se:

a) os contraventamentos da cobertura são constituídos por tirantes de aço;

b) as paredes, apesar de não ter função estrutural, foram construídas com blocos cerâmicos maciços para facilitar a fixação de instrumentação e equipamentos;

c) as tesouras possuem um balanço de aproximadamente 3,5 metros em um de seus lados;

d) a ponte rolante resiste a cargas de até 5 toneladas;

e) os pilares dos pórticos possuem dois consoles, um para apoio das tesouras e a outra para apoio das vigas de rolamento;

f) todas as esquadrias do pavilhão são constituídas por aço;

g) existência de um muro de contenção com pilares em concreto armado e pedras de granito devido ao relevo íngreme, tendo, aproximadamente, 3 metros de altura;

h) a estrutura foi executada sem cálculo estrutural;

i) o piso industrial de concreto tem uma espessura de 15 centímetros;

j) a área administrativa do pavilhão é composta por 4 módulos de 15 m² cada, possuindo dois pavimentos;

k) a estrutura da administração é independente das estruturas do pavilhão, sendo apoiadas por tubos metálicos e tijolos de vedação.

É importante salientar que a estrutura da administração não é pré-fabricada, no entanto, todos os demais elementos são compostos por pré-moldados. A área administrativa pode ser observada através da figura 15.

Figura 15 – Área administrativa do pavilhão 1

(fonte: foto do autor)

7.1.2 Antecedentes

Assim como a data de construção, a data de início das atividades industriais ocorreu em 2007. Durante e depois da construção do pavilhão 1, de acordo com as informações de funcionários qualificados do pavilhão e através do responsável da empresa, não ocorreram. Deste modo, não houve atividades de reparação ou recuperação da estrutura. Além dessas informações, obteve-se que o plano de manutenção é inexistente, ou seja, para qualquer dano que ocorra dentro do pavilhão, deve ser contratada empresa especializada para realizar os reparos.

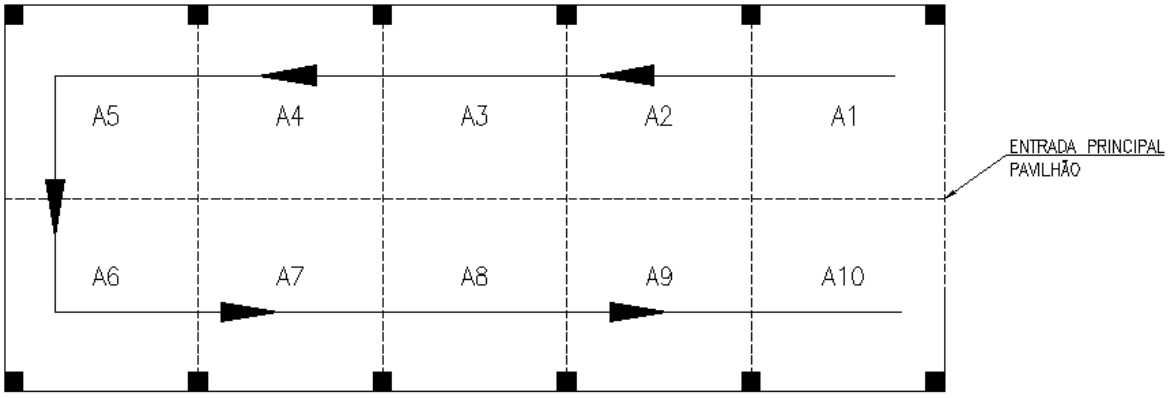
7.1.3 Descrição do meio

Apesar do item 4.1.1 deste trabalho, referente aos níveis de agressividade, classificar as áreas industriais como fortemente ou muito fortemente agressiva, o pavilhão 1 não deve ser considerado como um ambiente que contenha um alto risco de deterioração. Pois, nas atividades industriais deste pavilhão, não ocorre desprendimento de gases agressivos, ocorrendo somente desprendimento de gases de solda e da pintura de alguns equipamentos, que não são prejudiciais para a estrutura do pavilhão.

7.1.4 Exame visual da estrutura

Alguns dos documentos fornecidos pela empresa administradora do pavilhão 1 foram importantes para que se realizasse um planejamento da inspeção. Com a planta baixa da estrutura e com o conhecimento das áreas de maior atividade produtiva, definiu-se o sentindo da inspeção como anti-horário, tendo como referência a entrada principal do pavilhão. Na figura 16, podem ser observados o croquis e a divisão das áreas do pavilhão analisadas.

Figura 16 – Sentido para o exame visual e áreas de influência dos pórticos do pavilhão industrial 1

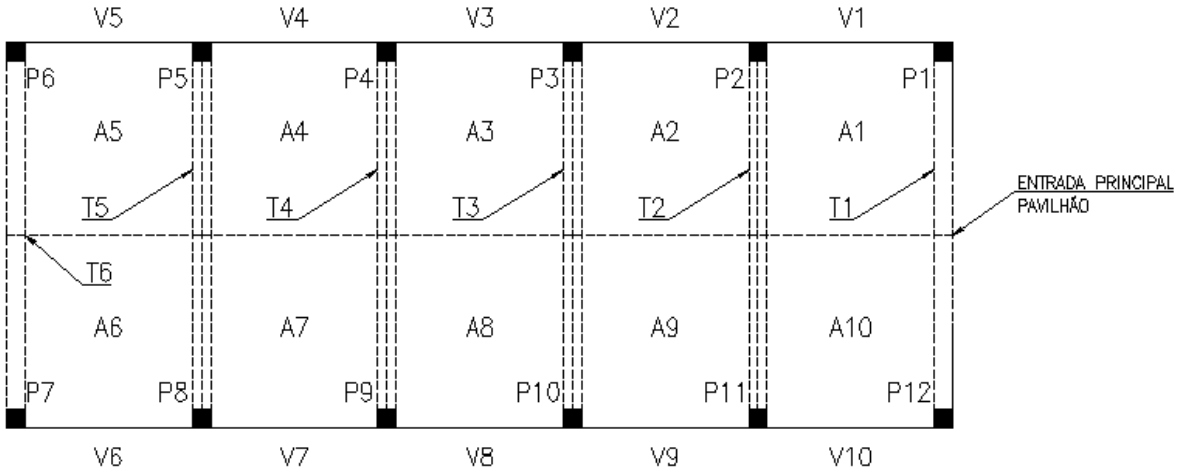


(fonte: elaborado pelo autor)

Nas áreas delimitadas pelas linhas tracejadas, pode-se observar a existência de, no máximo, dois pilares. Devido a isso, cada pilar deve ser numerado de acordo com a sua ordem em relação ao sentido de inspeção. As outras estruturas, como as tesouras, por exemplo, são numeradas do mesmo modo. Na figura 17, pode ser observada a numeração dos elementos estruturais, sendo que os identificados com um “P” são os pilares, os que estão identificados

com um “T”, são as tesouras e os que estão identificadas com “V” são trechos da viga de rolamento da ponte rolante.

Figura 17– Numeração dos elementos estruturais



(fonte: elaborado pelo autor)

As ferramentas utilizadas para realização do *check-list* foram uma máquina fotográfica, para a realização de um registro de fotos das anomalias, uma trena, caso precisasse realizar alguma medida que não estivesse especificada na planta baixa fornecida, e um *tablet* para a realização da análise de risco.

7.1.4.1 Área 1

Analisando-se a área 1 do pavilhão industrial, observou-se uma pequena exposição da matriz do concreto do pilar 1 devido ao impacto de algum tipo de veículo. Como é previsto a presença de veículos para o transporte de cargas em pavilhões industriais, essa anomalia torna-se muito comum. No entanto, como pode ser observado na figura 18, o impacto foi pequeno e não resultou em exposição de armadura, não havendo nenhum risco de evolução dessa manifestação patológica.

Figura 18 – Exposição da matriz do concreto devido ao impacto

(fonte: foto do autor)

Já no encontro entre T1 e o P1, conforme figura 19, ocorre exposição de armadura, que, provavelmente, aconteceu devido a erro de execução dos pré-fabricados. Devido a isso, na etapa da montagem, foi realizado algum desgaste na superfície das peças para que elas pudessem se encaixar. É importante salientar que em todos os encontros das tesouras com os pilares, das áreas onde estão em balanço, ocorre esse tipo de anomalia. Apesar de não existir a presença de agentes agressivos no pavilhão, como cloretos, por exemplo, a umidade do ar pode acelerar um processo de corrosão na armadura caso não ocorra algum tipo de reparo na estrutura.

Figura 19 – Exposição de armadura no encontro entre a tesoura e o pilar

(fonte: foto do autor)

Na figura 20 observa-se que as terças de concreto armado da cobertura são alveolares, havendo, em todos os trechos do pavilhão, fissuras como a que está identificada em vermelho.

A causa mais provável para o aparecimento dessas anomalias pode estar relacionada com o mal dimensionamento dessa estrutura, a qual não está resistindo adequadamente às cargas provenientes da cobertura.

Figura 20 – Fissura nos cantos dos alvéolos das terças

(fonte: foto do autor)

Em um trecho da viga de rolamento, percebe-se a existência de uma fissura inclinada, como observado na figura 21, devido à má fixação de algum parafuso auto fixante que prende o trilho da ponte rolante na viga de rolamento. Todos os trechos das vigas de rolamento do pavilhão apresentam esse tipo de anomalia, podendo evoluir devido às elevadas cargas provenientes da ponte rolante.

Figura 21 – Fissura devido à má fixação de parafusos auto fixantes

(fonte: foto do autor)

Algumas soluções inapropriadas podem ocasionar problemas maiores na estrutura caso não sejam reparadas. Um exemplo concreto disso é o que acontece na figura 22, em que, aliado com a exposição da armadura da T2, tem-se o acabamento inapropriado do tubo de queda proveniente da calha do telhado. O furo de passagem do tubo pode ocasionar a entrada de água em caso de chuva, podendo contribuir para um processo corrosivo na armadura da tesoura.

Figura 22 – Acabamento inapropriado de tubo aliado com armadura exposta

(fonte: fotos do autor)

Além das terças alveolares e das fissuras devido à má fixação dos parafusos auto fixantes do trilho da ponte rolante na viga de rolamento, outra manifestação patológica que ocorre com grande frequência é a abrasão do piso industrial. Essa anomalia ocorre devido ao trânsito de veículos e de máquinas pesadas transportadas pela ponte rolante. Com o decorrer da utilização do pavilhão e com desenvolvimento das atividades industriais, essa manifestação pode causar pequenos desconfortos devido às irregularidades e exposição da matriz do piso de concreto. Na figura 23, pode ser observada essa anomalia.

Figura 23– Abrasão do piso industrial

(fonte: foto do autor)

As anomalias da área 1 foram avaliadas automaticamente, por meio do preenchimento de uma planilha eletrônica no decorrer da inspeção, obtendo-se os resultados conforme a figura 24. Com essa avaliação pode-se afirmar que a anomalia mais crítica dessa área é a solução inapropriada devido ao mau acabamento do tubo de queda, sendo ordenada como a primeira em ordem de intervenção.

Figura 24 – Análise de risco da área 1 do pavilhão 1

Área: __1__													
Elemento	Anomalia	G	U	T	A	B	C	D	E	Média	G.E.	Ordem	Observações
T1	Armadura exposta	3	4	6	N	S	N	N	N	4,2	43	3	Encontro com o pilar
P1	Matriz exposta	1	1	1	N	S	N	N	N	1,0	1	6	Impacto de veículo
V1	Fissura	3	3	6	N	S	N	N	N	3,8	32	4	Fixação de parabolt do trilho da ponte rolante
TERÇA	Fissura	3	6	6	N	S	N	N	N	4,8	65	2	Canto dos alvéolos
T2	Armadura exposta	3	6	6	N	S	S	N	N	4,8	76	1	Umidade proveniente de acabamento
PISO	Abrasão	2	2	2	N	S	N	N	N	2,0	5	5	Utilização de equipamentos pesados

(fonte: elaborado pelo autor)

7.1.4.2 Área 2

As manifestações patológicas ocorrentes nessa área são semelhantes aos da área 1, sendo avaliadas, consequentemente, do mesmo modo. A exposição de armadura no encontro das tesouras com os pilares, na área onde estão em balanço, a fissura nos alvéolos das terças, a abrasão do piso e a fissura devido à má colocação do parafuso auto fixante são as anomalias repetidas. Nessa última, no entanto, é importante ressaltar que ocorreu escorrimento de adesivo epóxi e um pequeno desplacamento do concreto, conforme indicado na figura 25.

Figura 25 – Fissura e desplacamento do concreto devido à má fixação de parafuso auto fixante

(fonte: foto do autor)

Portanto, através da análise de risco demostrada na figura 26, conclui-se que a anomalia mais crítica dessa área é a armadura exposta no encontro entre a tesoura e o pilar.

Figura 26 – Análise de risco da área 2 do pavilhão 1

Área: __2__													
Elemento	Anomalia	G	U	T	A	B	C	D	E	Média	G.E.	Ordem	Observações
P2	Armadura exposta	3	4	6	N	S	N	N	N	4,2	43	1	Encontro com a tesoura
TERÇA	Fissura	3	3	6	N	S	N	N	N	3,8	32	2	Canto dos alvéolos
V2	Fissura	3	3	6	N	S	N	N	N	3,8	32	2	Fixação de parabolt do trilho da ponte rolante
PISO	Abrasão	2	2	2	N	S	N	N	N	2,0	5	4	Utilização de equipamentos pesados

(fonte: elaborado pelo autor)

7.1.4.3 Área 3

Na área 3 do pavilhão 1, tem-se repetição das manifestações patológicas existentes, sendo que a única diferença entre a área 2 é a não ocorrência de fissura por má fixação do parafuso auto fixante. Portanto, a manifestação patológica mais crítica, conforme indica da na figura 27, é a exposição de armadura no encontro da tesoura com o pilar.

Figura 27 – Análise de risco da área 3 do pavilhão 1

Área: __3__													
Elemento	Anomalia	G	U	T	A	B	C	D	E	Média	G.E.	Ordem	Observações
P3	Armadura exposta	3	4	6	N	S	N	N	N	4,2	43	1	Encontro com a tesoura
TERÇA	Fissura	3	3	6	N	S	N	N	N	3,8	32	2	Canto dos alvéolos
PISO	Abrasão	2	2	2	N	S	N	N	N	2,0	5	3	Utilização de equipamentos pesados

(fonte: elaborado pelo autor)

7.1.4.4 Área 4

Nessa área, aliada com a fissura no alvéolo na terça, tem-se a exposição de armadura. Provavelmente, o fator que levou esse elemento a essa anomalia foram erros na etapa de montagem, em que a terça pode ter recebido algum tipo de impacto que ocasionou o rompimento do concreto e, consequentemente, a exposição da armadura. Analisando essa manifestação patológica, observa-se que a armadura ainda não se encontra em um processo corrosivo, no entanto, a tendência de evolução para uma anomalia mais agressiva é evidente. Algumas precauções devem ser tomadas para a solução desse problema. Essa manifestação patológica pode ser observada através da figura 28.

Figura 28 – Exposição de armadura da terça

(fonte: foto do autor)

Na outra terça, situada no fim do balanço da tesoura, observaram-se fissuras por flexão, as quais são ilustradas na figura 29. A causa mais provável para o aparecimento dessas fissuras é a falta ou insuficiência de armadura positiva no vão dessa terça. Tratando-se desse tipo de fissura, a manifestação patológica não é preocupante, tendo uma baixa tendência de evolução para anomalias mais críticas.

Figura 29 – Fissura de flexão na terça

(fonte: foto do autor)

As outras anomalias dessa área são idênticas às da área 3, sendo avaliadas do mesmo modo. Com isso, através da análise de risco dessa área, conforme a figura 30, a manifestação patológica que obteve maior grau equivalente é, novamente, a exposição da armadura no encontro entre a tesoura e o pilar.

Figura 30 – Análise de risco da área 4 do pavilhão 1

Área: __4__													
Elemento	Anomalia	G	U	T	A	B	C	D	E	Média	G.E.	Ordem	Observações
P4	Armadura exposta	3	4	6	N	S	N	N	N	4,2	43	1	Encontro com a tesoura
TERÇA	Fissura	3	3	6	N	S	N	N	N	3,8	32	2	Canto dos alvéolos
TERÇA	Armadura exposta	3	3	6	N	S	N	N	N	3,8	32	2	
TERÇA	Fissura	3	3	3	N	S	N	N	N	3,0	16	4	Flexão
PISO	Abrasão	2	2	2	N	S	N	N	N	2,0	5	5	Utilização de equipamentos pesados

(fonte: elaborado pelo autor)

7.1.4.5 Área 5

Muitas anomalias e soluções inapropriadas foram consideradas graves nessa área. Uma delas é o apoio inapropriado de um pilarete que sustenta grande parte da área administrativa do pavilhão, conforme ilustrado na figura 31. As tensões provenientes das solicitações do pilarete são distribuídas diretamente em uma parede com blocos de granito, não tendo nenhum tipo de contato direto com qualquer tipo de fundação. É importante salientar que toda a estrutura da área administrativa é composta por concreto armado moldado *in-loco*, provavelmente executada por profissionais não capacitados, sendo essa, provavelmente, a causa principal dessa solução construtiva.

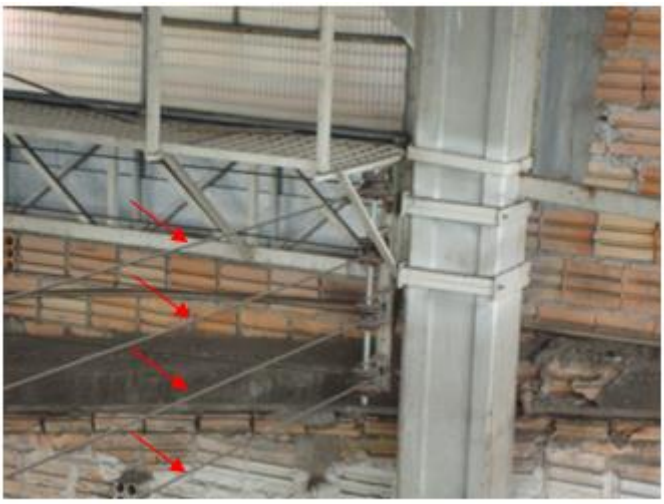
Figura 31 – Pilarete apoiado inapropriadamente

(fonte: foto do autor)

Como pode ser observado na figura 32, alguns cabos de alta tensão podem causar acidentes muito graves nesse pavilhão industrial, pois esses estão muito próximos à estrutura metálica de uma passarela de acesso dos funcionários. É importante salientar essa falha, apesar de não ter nenhum risco para a estrutura, já que pode ocorrer a eletrificação da passarela e,

consequentemente, das pessoas que nelas estiverem caso os cabos estiverem desencapados em um evento futuro.

Figura 32 – Cabos de alta tensão próximos a passarela metálica



(fonte: foto do autor)

Uma solução inapropriada importante nesse pavilhão é causada pelo desnível do terreno e, também, por falta de projeto de um muro de contenção para suportar o empuxo de terra proveniente do terreno vizinho. Na figura 33, pode ser observado esse desnível de terra, já que a garagem do vizinho, atrás das vidraças, pode ser considerada como referência.

Figura 33 – Desnível do terreno

(fonte: foto do autor)

Segundo o responsável pelo pavilhão, o nível de terra está situado na mesma linha que as cerâmicas superiores no muro de contenção, que estão indicadas com uma flecha na figura 34. Apesar de conter algumas estruturas de concreto armado, a parte superior do muro é composta por tijolos de 6 furos, que provavelmente, com o passar do tempo, não resistirão às cargas de empuxo provenientes do terreno vizinho.

Figura 34 – Muro de contenção

(fonte: foto do autor)

Algumas manifestações patológicas citadas na figura 35 se repetem de outras avaliações de risco, sendo avaliadas do mesmo modo. Pode-se observar que a anomalia mais crítica nessa área é o muro de contenção. Além disso, observa-se que as falhas citadas nessa área são mais críticas que as avaliadas anteriormente, pois possuem um grau equivalente maior que as outras.

Figura 35 – Análise de risco da área 5 do pavilhão 1

Área: __5__													
Elemento	Anomalia	G	U	T	A	B	C	D	E	Média	G.E.	Ordem	Observações
P5	Armadura exposta	3	4	6	N	S	N	N	N	4,2	43	4	Encontro com a tesoura
P6	Armadura exposta	3	4	6	N	S	N	N	N	4,2	43	4	Encontro com a tesoura
TERÇA	Fissura	3	3	6	N	S	N	N	N	3,8	32	6	Canto dos alvéolos
PASSARELA	Cabos de alta tensão	8	6	6	N	S	N	N	N	6,6	173	3	Perigo de eletrificar estrutura metálica
PAREDE	Muro de Contenção	8	8	6	N	S	S	N	N	7,3	269	1	"Blocos de granito" para sustentação do solo
PISO	Abrasão	2	2	2	N	S	N	N	N	2,0	5	7	Utilização de equipamentos pesados
PILARETE	Apoio inapropriado	8	6	6	N	S	S	N	N	6,6	202	2	Pilarete com apoio inapropriado

(fonte: elaborado pelo autor)

7.1.4.6 Áreas 6, 7, 8, 9 e 10

A inspeção nessas áreas mostrou que não existem manifestações patológicas diferentes das que já foram vistas nas outras áreas. Portanto, as análises de risco dessas áreas são muito parecidas com as análises anteriores. A área 6, da mesma maneira que a área 5, engloba o muro de contenção e a passarela metálica, que possuem falhas de grande risco para estrutura e para as pessoas presentes diariamente no pavilhão. Já as áreas 7, 8 e 9, possuem como única anomalia a abrasão do piso devido à presença de equipamentos pesados utilizados no desenvolvimento das atividades industriais. Na área 10 existem problemas com os cabos de alta tensão que estão próximos à passarela metálica. Com isso, na figura 36, estão apresentadas as análises de risco dessas áreas.

Figura 36 – Análises de risco das áreas 6, 7, 8, 9 e 10 do pavilhão 1

Área: 6													
Elemento	Anomalia	G	U	T	A	B	C	D	E	Média	G.E.	Ordem	Observações
PASSARELA	Cabos de alta tensão	8	6	6	N	S	N	N	N	6,6	173	2	Perigo de eletrificar estrutura metálica
PAREDE	Muro de Contenção	8	8	6	N	S	S	N	N	7,3	269	1	"Blocos de granito" para sustentação do solo
PISO	Abrasão	2	2	2	N	S	N	N	N	2,0	5	3	Utilização de equipamentos pesados

Área: 7													
Elemento	Anomalia	G	U	T	A	B	C	D	E	Média	G.E.	Ordem	Observações
PISO	Abrasão	2	2	2	N	S	N	N	N	2,0	5	1	Utilização de equipamentos pesados

Área: 8													
Elemento	Anomalia	G	U	T	A	B	C	D	E	Média	G.E.	Ordem	Observações
PISO	Abrasão	2	2	2	N	S	N	N	N	2,0	5	1	Utilização de equipamentos pesados

Área: 9													
Elemento	Anomalia	G	U	T	A	B	C	D	E	Média	G.E.	Ordem	Observações
PISO	Abrasão	2	2	2	N	S	N	N	N	2,0	5	1	Utilização de equipamentos pesados

Área: 10													
Elemento	Anomalia	G	U	T	A	B	C	D	E	Média	G.E.	Ordem	Observações
PASSARELA	Cabos de alta tensão	8	6	6	N	S	N	N	N	6,6	173	1	Perigo de eletrificar estrutura metálica

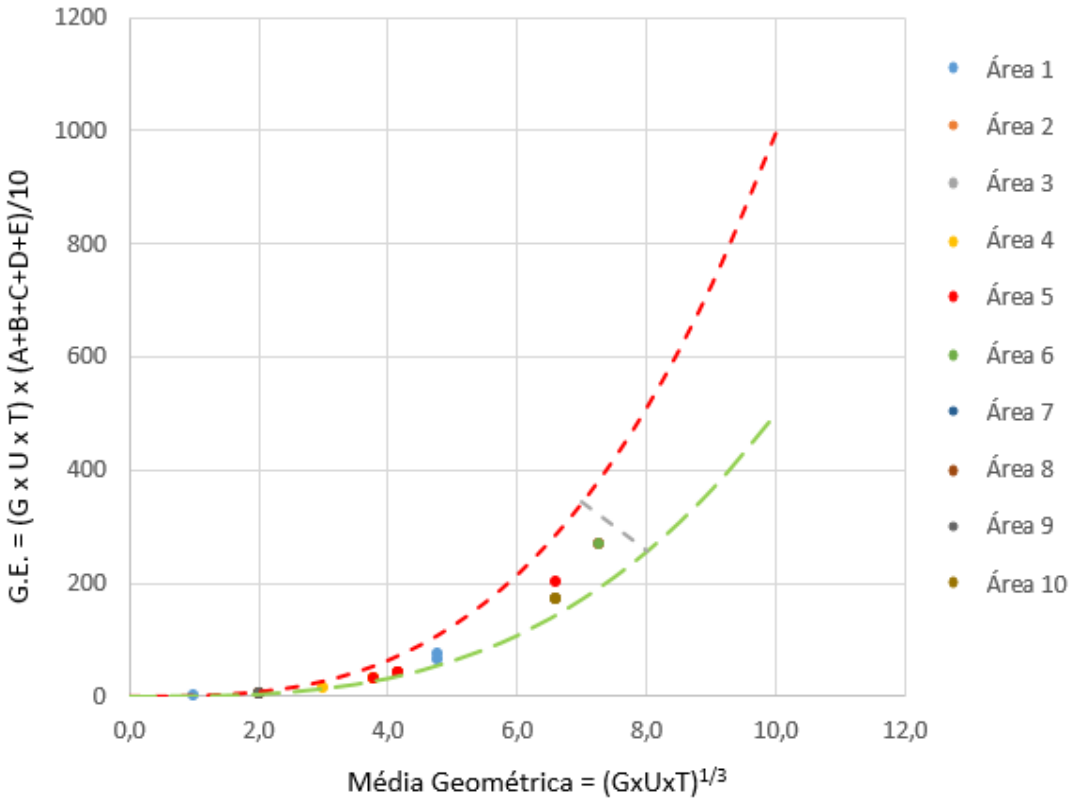
(fonte: elaborado pelo autor)

7.1.4.7 Análise de criticidade do pavilhão 1

Através dos dados obtidos no *check-list* do pavilhão, pode-se classificar as anomalias de acordo com a sua criticidade conforme o item 6.1.3.3 deste trabalho. Com isso, é possível observar, na figura 37, que nenhuma anomalia foi classificada como crítica, pois nenhum ponto do gráfico ultrapassou a reta delimitadora. Além disso, como muitos problemas acontecem repetidamente, sendo avaliados da mesma maneira, muitos pontos se repetem no gráfico, como o ponto mais perto da reta delimitadora, que se trata da falha do muro de contenção ocorrente nas áreas 5 e 6. Desta forma, através da inspeção realizada e utilizando-

se o método proposto neste trabalho, as anomalias existentes no pavilhão 1 não são classificadas como críticas. Devido a isso, não é necessário a interdição imediata do pavilhão para realização de reparos ou recuperações. Entretanto, é importante ressaltar que a estrutura demanda alguns cuidados, pois alguns desses problemas podem evoluir para manifestações patológicas mais críticas.

Figura 37 – Análise de criticidade das anomalias do pavilhão 1



(fonte: elaborado pelo autor)

7.2 APLICAÇÃO EM PAVILHÃO 2

Da mesma maneira que a aplicação no pavilhão 1, foram utilizadas as tabelas mencionadas no item 6.1 deste trabalho para o levantamento dos dados sobre a descrição da estrutura, antecedentes e descrição do meio.

7.2.1 Descrição da estrutura

A empresa 2, onde foi realizada a inspeção, é formada por um grande número de pavilhões, sendo que cada um desses desempenha funções diferentes no processo produtivo do ramo de fabricação de papeis. Entre essas estruturas, o pavilhão que foi escolhido para realização da inspeção foi aquele onde se desenvolve as atividades industriais mais agressivas, sendo denominada como setor de produção. Além desse setor, foram inspecionados anexos responsáveis pela mistura de matéria-prima e de armazenamento das caldeiras. Os elementos estruturais desses setores são compostos por concreto armado e aço. Algumas dessas estruturas foram construídas no ano de 1979, sendo ampliadas, conforme informações de pessoas que trabalham nessa empresa, em torno dos anos 90. Além dessas características, tem-se:

a) grande tráfego de empilhadeiras e caminhões;
b) os pilares, vigas e tesouras do pavilhão de produção são compostos por estruturas treliçadas de aço;
c) tem-se a presença de muitas estruturas de concreto armado e aço responsáveis por suportar cargas provenientes de tubulações e leitos e de leitos de elétrica;
d) o piso industrial é composto por grandes placas de concreto;
e) as paredes são de alvenaria, não tendo nenhuma função estrutural.

Na figura 38, pode ser observada a dimensão e alguns componentes estruturais da área interna do pavilhão 2:

Figura 38 – Área interna do pavilhão industrial 2

(fonte: foto do autor)

7.2.2 Antecedentes

As atividades industriais começaram no mesmo ano de construção do pavilhão, conforme foi citado no item 7.2.1. Durante a construção, segundo informações, não ocorreu nenhum tipo de dano na estrutura. No entanto, durante a sua utilização, manifestações patológicas como a corrosão tornaram-se frequentes nas áreas de maior atividade produtiva. Devido a isso, ocorreram reforços no pavilhão, como o que pode ser observado na figura 39, que está situado no anexo de mistura de matéria-prima do setor de produção. Pode-se observar que o pilar metálico está em processo de corrosão, além disso, esse pilar será submetido a novas cargas já que uma estrutura nova está sendo instalada no local.

Figura 39 – Reforço em pilares metálicos

(fonte: foto do autor)

Referindo-se ao plano de manutenção, essa empresa dispõe de dois funcionários que ficam, em tempo integral, tratando de problemas relacionados a serviços de pedreiro e de pintura. No entanto, não foi informado sobre a ocorrência de inspeções periódicas de avaliação das condições técnicas e de uso da estrutura por profissional qualificado.

7.2.3 Descrição do meio

No pavilhão 2 e nos seus anexos, as atividades industriais devem ser consideradas muito agressivas, pois ocorre, no processo produtivo, o desprendimento de gases com agentes agressivos para estrutura e prejudiciais à saúde dos trabalhadores. Além disso, tem-se uma elevada umidade em conjunto com respingos da matéria-prima na etapa de fabricação do

papel, que podem, com o decorrer do tempo, acelerar o processo de corrosão das estruturas de aço e concreto, levando-as ao colapso. Na figura 40, verifica-se alguns componentes químicos utilizados para a fabricação de papeis diretamente em contato com a estrutura de concreto.

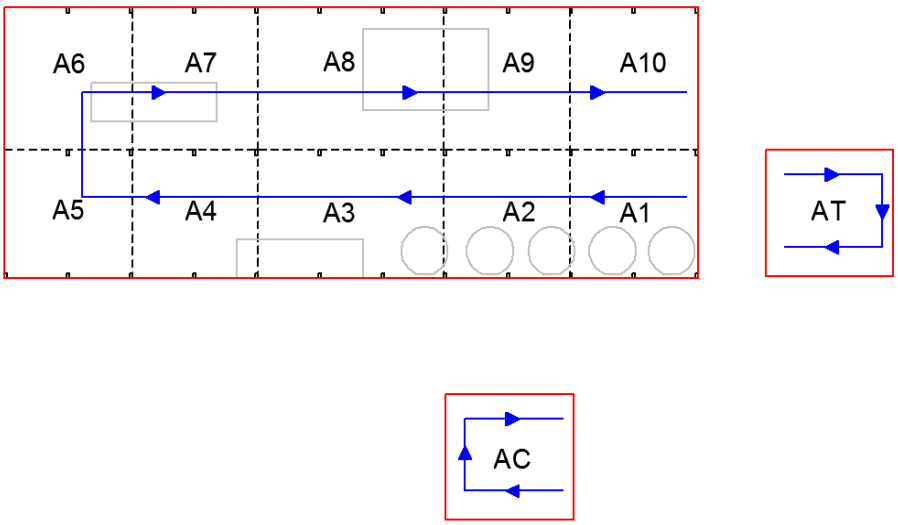
Figura 40 – Contato direto de componentes químicos com a estrutura de concreto

(fonte: foto do autor)

7.2.4 Exame visual da estrutura

Como não houve acesso imediato aos documentos do pavilhão, como, por exemplo, a planta baixa, foi necessário elaborar um croquis para que se pudesse planejar a inspeção. Foi utilizada uma trena para realizar medições na estrutura, dividindo-a de uma maneira que não atrapalhasse as atividades industriais de forma significativa. Na figura 41, tem-se o croquis do pavilhão e de seus anexos, o sentido de inspeção, destacado em azul, e as áreas delimitadas pelas retas tracejadas. Foi adotado o sentido horário para realização da inspeção. As siglas “AC” e “AT” referem-se, respectivamente, ao anexo de caldeiraria e ao anexo do tanque de mistura.

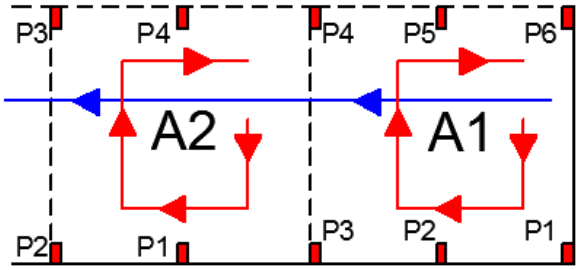
Figura 41– Sentido para o exame visual e áreas de influência dos pórticos do pavilhão industrial 2



(fonte: elaborado pelo autor)

É importante salientar que a numeração dos pilares nesse pavilhão não seguiu a mesma lógica do pavilhão 1, pois, nessa estrutura, tem-se uma quantidade muito maior de pilares, que poderia dificultar a identificação desses elementos quando se realiza o *check-list*. Para facilitar a identificação, os pilares foram numerados de acordo com o sentido da inspeção conforme ilustrado pela flecha vermelha na figura 42, ou seja, pode-se ter dois pilares numerados como P1, por exemplo, diferenciados de acordo com a sua área de abrangência. Outra diferença relacionada ao exame visual do pavilhão 1 é que, nessa inspeção, os pórticos que delimitam as áreas contêm mais do que dois pilares, que é consequência, novamente, da grande quantidade desses elementos. Além disso, os pórticos constituídos pelos pilares centrais do pavilhão foram incluídos nas áreas de menor abrangência do processo produtivo para que não se prejudicasse o desenvolvimento das atividades industriais.

Figura 42 – Numeração dos pilares de acordo com o sentindo da inspeção por área



(fonte: elaborado pelo autor)

Além da trena que já foi mencionada anteriormente, as ferramentas utilizadas para realização do *check-list* foram uma máquina fotográfica, para a realização de um registro de fotos das anomalias e um *tablet* para a realização da análise de risco.

7.2.4.1 Área 1

Devido ao grande tráfego de veículos de carga, uma manifestação patológica muito frequente nesse pavilhão é a abrasão do piso industrial. Nesse caso, em conjunto com essa manifestação patológica, tem-se a exposição da tela de aço de uma das placas que compõe o piso conforme ilustrado na figura 43. Provavelmente, o fator que levou essa placa a essa anomalia pode estar relacionado aos erros de projeto, como falhas no dimensionamento, ou execução, ainda mais por tratar-se de uma manifestação localizada na borda da placa, perto da junta, onde se tem maiores esforços. Apesar disso, a tela não se encontra em processo de corrosão, não sendo considerada uma anomalia grave.

Figura 43 – Abrasão do piso em conjunto com exposição de tela

(fonte: foto do autor)

Houve uma pequena dificuldade para a análise dos pilares P1, P2 e P3, conforme figura 44, já que as células de flotação ficavam muito perto dessas estruturas, dificultando a inspeção.

Figura 44 – Células de flotação do pavilhão 2

(fonte: foto do autor)

Já para os pilares P4, P5 e P6, ficou evidente que o processo de corrosão estava em um grau elevado. Além desses elmentos, observou-se que as vigas e as tesouras estavam na mesma situação, conforme ilustrado na figura 45. Antes da realização da inspeção, parecia que as estruturas se encontravam em um bom estado de conservação, pintadas de branco, e protegidas dos agentes agressivos provenientes do processo industrial. Porém, ao analisar mais de perto estes elementos, observou-se que toda a estrutura metálica estava corroída e coberta por resíduos provenientes da fabricação do papel. Essa anomalia, além de ser considerada grave, tende a evoluir rapidamente com o acúmulo de agentes agressivos no ambiente industrial, podendo causar o colapso total da estrutura em um futuro próximo caso não sejam tomadas medidas de recuperação da estrutura.

Figura 45 – Corrosão na estrutura metálica do pavilhão 2

(fonte: foto do autor)

A corrosão está presente, também, em perfis metálicos que são utilizados como vigas para a sustentação de cabos elétricos e de tubulações que transportam misturas do processo de fabricação do papel. Na figura 46, vê-se um perfil cuja mesa e alma encontram-se em processo corrosivo. Além disso, pode ser observado que blocos cerâmicos estão sendo utilizados de apoio de para outro perfil, constituindo uma solução inapropriada.

Figura 46 – Corrosão em perfil metálico e apoio inapropriado de perfil com blocos cerâmicos

(fonte: foto do autor)

Portanto, através da análise de risco mostrada na figura 47, observa-se que a manifestação patológica com maior grau equivalente é a corrosão nos pilares P4, P5 e P6. A diferença entre essa classificação e a classificação dos pilares P1, P2 e P3 está na distância desses pilares do maquinário que produz resíduos agressivos para toda a estrutura. Ou seja, quanto mais perto os pilares estiverem desse maquinário, maior é a gravidade, urgência e tendência de evolução da corrosão.

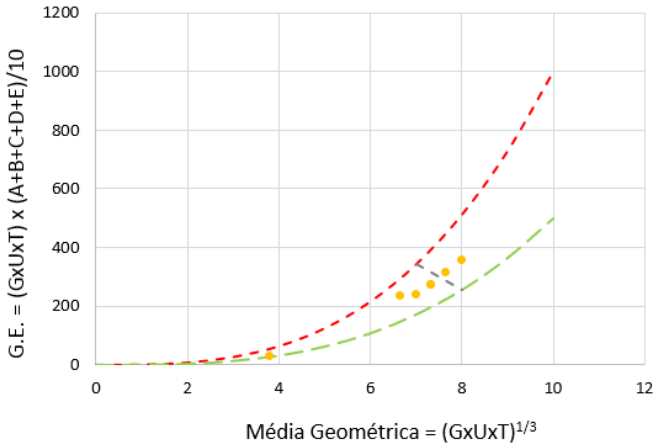
Figura 47 – Análise de risco da área 1 do pavilhão 2

Área: __1__													
Elemento	Anomalia	G	U	T	A	B	C	D	E	Média	G.E.	Ordem	Observações
Piso	Exposição tela	3	3	6	S	S	N	N	S	3,8	32	7	Passagem de empilhadeiras
Perfil I	Corrosão	7	6	7	N	S	S	N	S	6,6	235	6	Cabos de elétrica e suporte de alvenaria para apoio
P1=P2=P3	Corrosão	7	7	8	N	S	N	N	S	7,3	274	3	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
P4=P5=P6	Corrosão	8	8	8	N	S	N	N	S	8,0	358	1	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Tesouras	Corrosão	8	8	7	N	S	N	N	S	7,7	314	2	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Terças	Corrosão	7	7	7	N	S	N	N	S	7,0	240	5	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Vigas (aço)	Corrosão	8	7	7	N	S	N	N	S	7,3	274	3	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos

(fonte: elaborado pelo autor)

Distribuindo os pontos entre as curvas de máximos e mínimos da figura 48, observa-se que dois deles, correspondente à corrosão dos pilares e das tesouras, ultrapassam a reta delimitadora, sendo considerados como manifestações patológicas críticas de acordo com o método de inspeção proposto neste trabalho.

Figura 48 – Análise de criticidade das anomalias da área 1 do pavilhão 2



(fonte: elaborado pelo autor)

7.2.4.2 Áreas 2 e 3

As áreas 2 e 3 do pavilhão industrial apresentam praticamente os mesmos problemas que a área 1. A diferença está na análise de risco, pois as estruturas metálicas encontram-se mais próximas da máquina principal, ficando mais expostas aos agentes agressivos. Além disso, não se tem exposição da armadura do piso de concreto, ocorrendo somente abrasão. Com as análises de risco, figura 49 e 50, conclui-se que a anomalia que possui maior grau equivalente é, novamente, a corrosão dos pilares. Já nas figuras 51 e 52, foi realizada a análise de criticidade das anomalias das áreas 2 e 3, respectivamente.

Figura 49 – Análise de risco da área 2 do pavilhão 2

Área: __2__													
Elemento	**Anomalia**	**G**	**U**	**T**	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**Média**	**G.E.**	**Ordem**	**Observações**
Piso	Abrasão	3	3	3	S	S	N	N	S	3,0	16	6	Passagem de empilhadeiras
P1=P2	Corrosão	7	7	8	N	S	N	N	S	7,3	274	3	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
P3=P4	Corrosão	8	8	8	N	S	N	N	S	8,0	358	1	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Tesouras	Corrosão	8	8	7	N	S	N	N	S	7,7	314	2	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Terças	Corrosão	7	7	7	N	S	N	N	S	7,0	240	5	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Vigas (aço)	Corrosão	8	7	7	N	S	N	N	S	7,3	274	3	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos

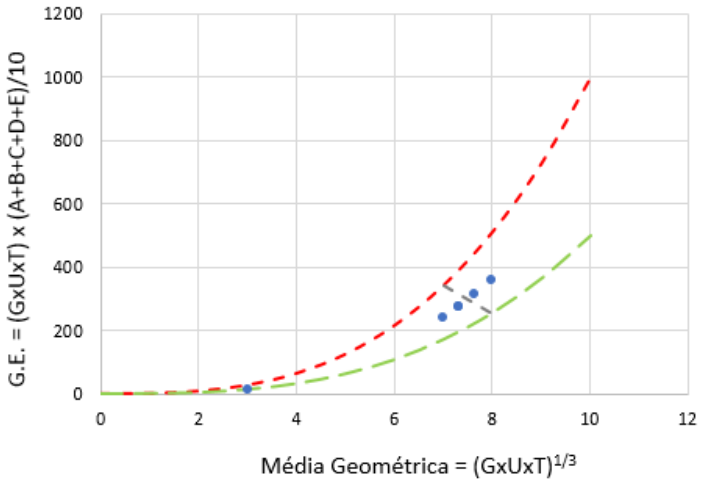
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 50 – Análise de risco da área 3 do pavilhão 2

Área: __3__													
Elemento	Anomalia	G	U	T	A	B	C	D	E	Média	G.E.	Ordem	Observações
Piso	Abrasão	3	3	3	S	S	N	N	S	3,0	16	6	Passagem de empilhadeiras
P1=P2	Corrosão	8	8	9	N	S	N	N	S	8,3	403	2	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
P3=P4	Corrosão	9	9	9	N	S	N	N	S	9,0	510	1	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Tesouras	Corrosão	8	8	9	N	S	N	N	S	8,3	403	2	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Terças	Corrosão	7	8	8	N	S	N	N	S	7,7	314	5	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Vigas (aço)	Corrosão	8	8	8	N	S	N	N	S	8,0	358	4	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos

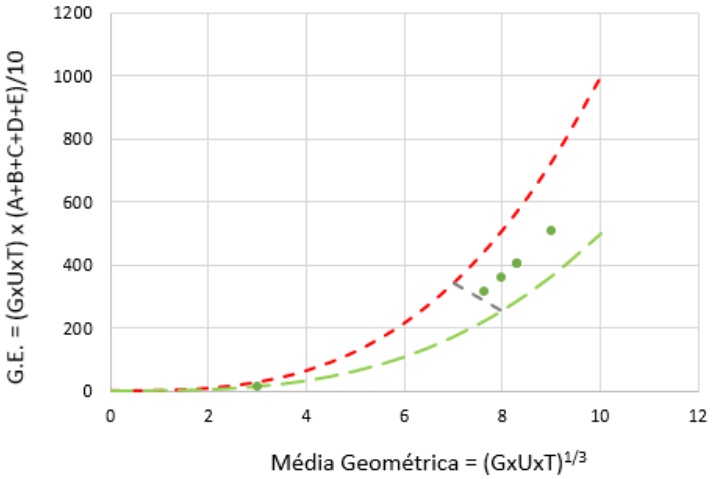
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 51 – Análise de criticidade das anomalias da área 2 do pavilhão 2



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 52 – Análise de criticidade das anomalias da área 3 do pavilhão 2



(fonte: elaborado pelo autor)

7.2.4.3 Área 4

Uma manifestação patológica em conjunto com uma solução inapropriada pode causar um grande problema para a estrutura do pavilhão. Como acontece na figura 53, em que o pilar em processo de corrosão está apoiado de forma inapropriada no vão de uma escada, a qual faz parte de uma estrutura de concreto antiga que não é mais utilizada. Esses problemas em conjunto, além de terem sido considerados muito graves, foram considerados urgentes e com uma tendência de evolução muito alta, pois, além do colapso do pilar por corrosão, pode-se ter o colapso da escada, pois, esta, provavelmente, não foi dimensionada para suportar o carregamento extra.

Figura 53 – Corrosão do pilar e apoio inapropriado em vão de escada

(fonte: foto do autor)

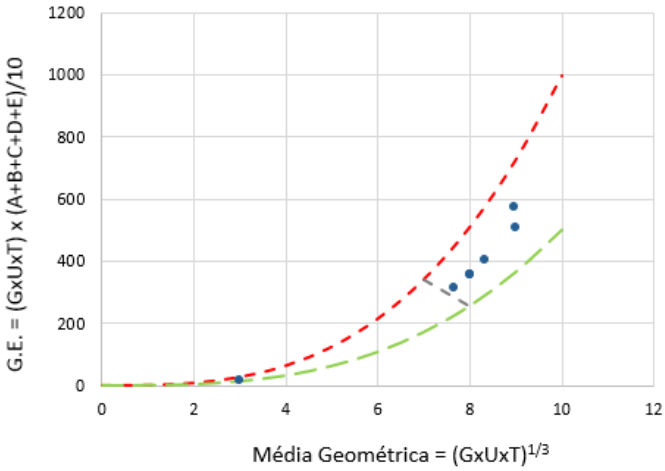
Nas figuras 54 e 55, tem-se a análise de risco dessa área do pavilhão e a distribuição dos seus pontos na curva de máximos e mínimos, respectivamente. As anomalias tendem a evoluir o seu grau equivalente de acordo com a exposição dos elementos aos gases e resíduos.

Figura 54 – Análise de risco da área 4 do pavilhão 2

Área: __4__													
Elemento	**Anomalia**	**G**	**U**	**T**	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**Média**	**G.E.**	**Ordem**	**Observações**
Piso	Abrasão	3	3	3	S	S	N	N	S	3,0	16	7	Passagem de empilhadeiras
P1	Corrosão	8	8	8	N	S	N	N	S	8,0	358	4	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
P3=P4	Corrosão	9	9	9	N	S	N	N	S	9,0	510	2	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
P2	Corrosão/Apoio	##	9	8	N	S	S	N	S	9,0	576	1	Apoio de pilar parcialmente corroído em escada
Tesouras	Corrosão	8	8	9	N	S	N	N	S	8,3	403	3	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Terças	Corrosão	7	8	8	N	S	N	N	S	7,7	314	6	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Vigas	Corrosão	8	8	8	N	S	N	N	S	8,0	358	4	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 55 – Análise de criticidade das anomalias da área 4 do pavilhão 2



(fonte: elaborado pelo autor)

7.2.4.4 Áreas 5, 6 e 7

Em conjunto com a área 4 do pavilhão, essas áreas são as que mais estão expostas aos gases provenientes do processo de fabricação de papel. Devido a isso, os coeficientes do método proposto de inspeção tendem a ser mais altos que os das outras áreas já avaliadas. O equipamento principal do processo de produção, que libera gases e resíduos sólidos, pode ser observado na figura 56.

Figura 56 – Equipamento principal do processo de produção

(fonte: foto do autor)

Apesar dos maiores valores de grau equivalente, como mostrado na figura 57, não foram encontradas outras anomalias. Nas áreas 5 e 6, tem-se acessos para salas administrativas, laboratório de análises e vestiários, que não foram inspecionados internamente devido às

atividades que ocorriam em cada local. Apesar disso, externamente, essas estruturas apresentavam boas condições. A análise da criticidade da área 5 pode ser observada na figura 58 e os da área 6 e 7 na figura 59.

Figura 57 – Análise de risco das áreas 5, 6 e 7 do pavilhão 2

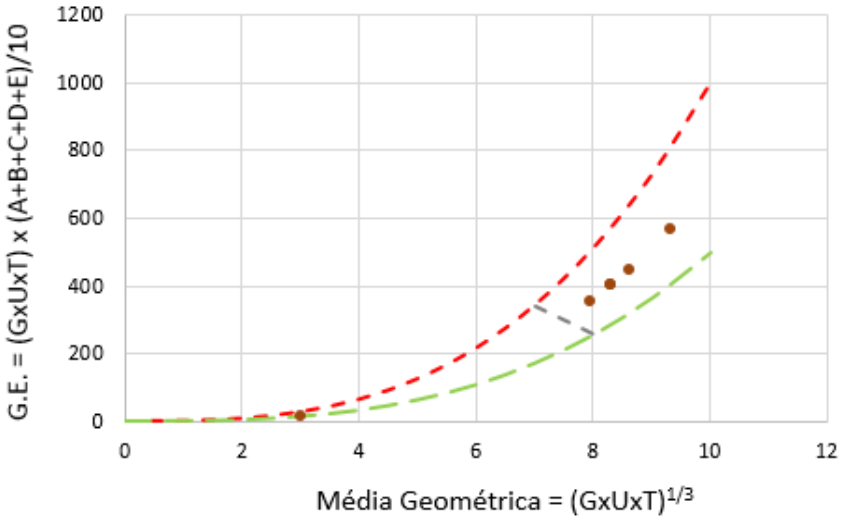
Área: __5__													
Elemento	**Anomalia**	**G**	**U**	**T**	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**Média**	**G.E.**	**Ordem**	**Observações**
Piso	Abrasão	3	3	3	S	S	N	N	S	3,0	16	6	Passagem de empilhadeiras
P1=P2=P3	Corrosão	8	8	9	N	S	N	N	S	8,3	403	3	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
P5=P6	Corrosão	9	9	10	N	S	N	N	S	9,3	567	1	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Tesouras	Corrosão	8	8	10	N	S	N	N	S	8,6	448	2	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Terças	Corrosão	7	8	9	N	S	N	N	S	8,0	353	5	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Vigas	Corrosão	8	8	9	N	S	N	N	S	8,3	403	3	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos

Área: __6__													
Elemento	**Anomalia**	**G**	**U**	**T**	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**Média**	**G.E.**	**Ordem**	**Observações**
Piso	Abrasão	3	3	3	S	S	N	N	S	3,0	16	5	Passagem de empilhadeiras
P1=P2	Corrosão	8	8	9	N	S	N	N	S	8,3	403	1	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Tesouras	Corrosão	8	8	7	N	S	N	N	S	7,7	314	2	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Terças	Corrosão	7	7	7	N	S	N	N	S	7,0	240	4	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Vigas	Corrosão	8	7	7	N	S	N	N	S	7,3	274	3	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos

Área: __7__													
Elemento	**Anomalia**	**G**	**U**	**T**	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**Média**	**G.E.**	**Ordem**	**Observações**
P1=P2	Corrosão	8	8	9	N	S	N	N	S	8,3	403	1	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Tesouras	Corrosão	8	8	7	N	S	N	N	S	7,7	314	2	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Terças	Corrosão	7	7	7	N	S	N	N	S	7,0	240	4	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Vigas	Corrosão	8	7	7	N	S	N	N	S	7,3	274	3	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos

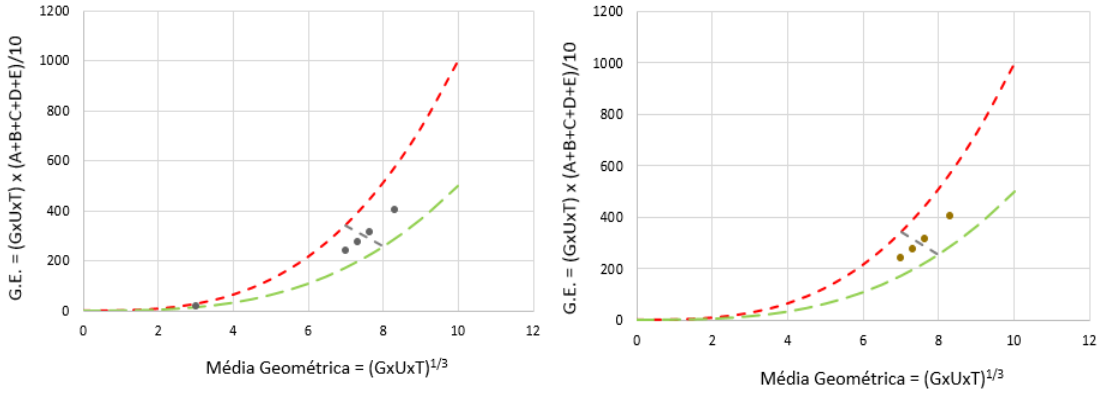
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 58 – Análise de criticidade das anomalias da área 5 do pavilhão 2



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 59 – Análise de criticidade das anomalias das áreas 6 e 7 do pavilhão 2



(fonte: elaborado pelo autor)

7.2.4.5 Área 8

Na área 8, encontram-se estruturas de concreto moldadas *in loco* que funcionam como tanques de armazenamento de matéria-prima. Nessa área, além dos gases e resíduos sólidos provenientes da máquina principal citado no item 7.2.4.4, tem-se resíduos líquidos provenientes desses tanques, que cobrem toda a estrutura com uma espécie de manta branca, altamente agressiva, desencadeando muitas anomalias como a corrosão e a lixiviação do concreto. No acesso aos tanques, já se podia observar a deterioração de um trecho de uma laje em balanço, mostrada na figura 60. O ataque químico dos agentes agressivos acelerou o processo de corrosão das armaduras, ainda mais que, aparentemente, essa laje foi projetada com um cobrimento muito pequeno, insuficiente para manter a estrutura protegida de manifestações patológicas.

Figura 60 – Laje em balanço deteriorada pelo ataque de agentes agressivos

(fonte: foto do autor)

Uma viga contida nessa área, que tem a função de suportar cargas de tubulações e cabos elétricos, sofre do mesmo problema que a laje anterior. Devido ao pequeno cobrimento e das intensas atividades industriais, conforme figura 61, as armaduras longitudinais e transversais apresentam processo de corrosão. Neste processo, como citado no item 4.1.2.3 deste trabalho, forças axiais provocam fissuração no concreto devido à expansão dos produtos de corrosão. Consequentemente, com o decorrer da corrosão, ocorre desplacamento de parte do concreto, deixando a armadura totalmente exposta aos agentes agressivos, elevando a tendência de evolução dessa manifestação patológica.

Figura 61 – Corrosão de armaduras em viga de concreto

(fonte: foto do autor)

Ainda nessa viga, apesar de não ter função estrutural tão importante como as estruturas metálicas que suportam as cargas da cobertura, as soluções inapropriadas realizadas pela "equipe de manutenção" (pedreiro e pintor) tornam os problemas dessa viga preocupantes. Além da corrosão das armaduras e do desplacamento do concreto provocadas pela corrosão, a equipe de manutenção tentou resolver, de forma equivocada, o desprendimento de um perfil metálico que estava chumbado na estrutura de concreto. Para evitar o colapso de um perfil metálico, foi realizada uma amarração através de cabos dessa estrutura com a armadura exposta da viga, conforme destacado em vermelho na figura 62.

Figura 62 – Manutenção mal realizada na estrutura

(fonte: fotos do autor)

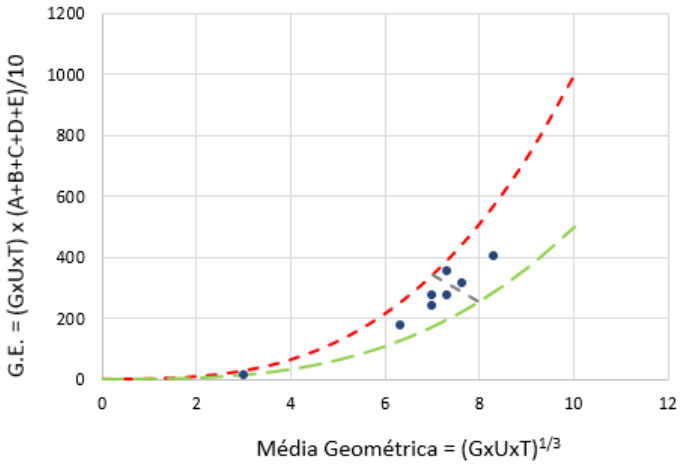
Com isso, através das anomalias analisadas nesse item e das que se repetem por todo o pavilhão, tem-se, respectivamente nas figuras 63 e 64, a análise de risco e a análise de criticidade da estrutura para a área 8.

Figura 63 – Análise de risco da área 8 do pavilhão 2

Área: __8__													
Elemento	**Anomalia**	**G**	**U**	**T**	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**Média**	**G.E.**	**Ordem**	**Observações**
Piso	Abrasão	3	3	3	S	S	N	N	S	3,0	16	8	Passagem de empilhadeiras
P1=P2	Corrosão	8	8	9	N	S	N	N	S	8,3	403	1	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Tesouras	Corrosão	8	8	7	N	S	N	N	S	7,7	314	3	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Terças	Corrosão	7	7	7	N	S	N	N	S	7,0	240	6	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Vigas	Corrosão	8	7	7	N	S	N	N	S	7,3	274	4	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Laje	Corrosão	6	6	7	N	S	N	N	S	6,3	176	7	Escada de acesso aos tanques
Viga (concreto)	Corrosão	7	7	8	N	N	S	N	S	7,3	353	2	Exposição de armadura, cobrimento insuficiente
Viga (concreto)	Manutenção	7	7	7	N	S	S	N	S	7,0	274	4	Suporte de perfil por cabo em armadura exposta

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 64 – Análise de criticidade das anomalias e da área 8 do pavilhão 2



(fonte: elaborado pelo autor)

7.2.4.6 Áreas 9 e 10

As anomalias que ocorrem nessas áreas são semelhantes aos das áreas 2 e 3 citadas no item 7.2.4.6. Através das figuras 65 e 66, conclui-se que apenas os pilares com corrosão de armaduras foram considerados críticos, pois apenas um ponto em cada gráfico ultrapassou a reta delimitadora de criticidade proposta neste trabalho.

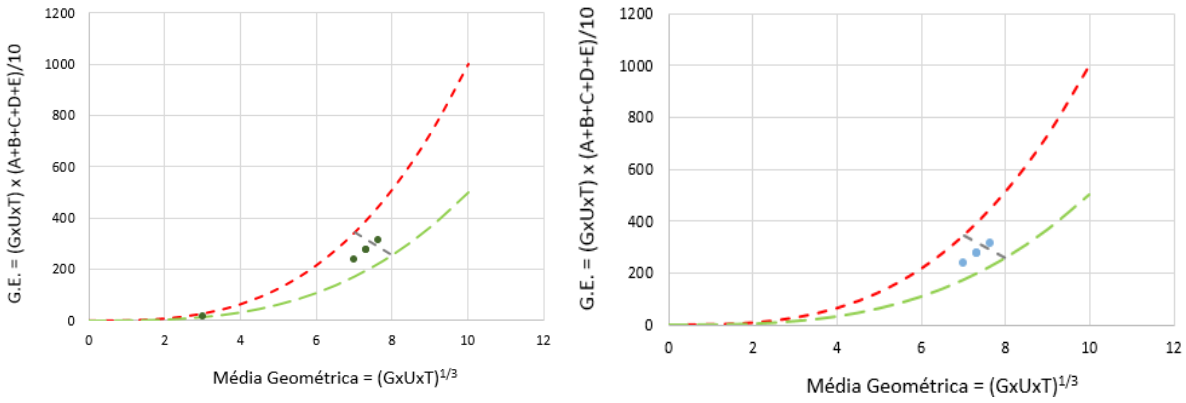
Figura 65 – Análise de risco das áreas 9 e 10 do pavilhão 2

Área: 9													
Elemento	Anomalia	G	U	T	A	B	C	D	E	Média	G.E.	Ordem	Observações
Piso	Abrasão	3	3	3	S	S	N	N	S	3,0	16	5	Passagem de empilhadeiras
P1=P2	Corrosão	7	7	8	N	S	N	N	S	7,3	274	2	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Tesouras	Corrosão	8	8	7	N	S	N	N	S	7,7	314	1	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Terças	Corrosão	7	7	7	N	S	N	N	S	7,0	240	4	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Vigas	Corrosão	8	7	7	N	S	N	N	S	7,3	274	2	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos

Área: 10													
Elemento	Anomalia	G	U	T	A	B	C	D	E	Média	G.E.	Ordem	Observações
P1=P2	Corrosão	7	7	8	N	S	N	N	S	7,3	274	2	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Tesouras	Corrosão	8	8	7	N	S	N	N	S	7,7	314	1	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Terças	Corrosão	7	7	7	N	S	N	N	S	7,0	240	4	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Vigas	Corrosão	8	7	7	N	S	N	N	S	7,3	274	2	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 66 – Análise de criticidade das anomalias e das áreas 9 e 10 do pavilhão 2



(fonte: elaborado pelo autor)

7.2.4.7 Área de caldeiraria

Como a caldeiraria é uma área anexa do setor de produção, é importante realizar a inspeção nesse local, pois qualquer problema que ocorra nessa estrutura afeta diretamente o desenvolvimento das atividades industriais. A composição básica dos elementos estruturais desta área é o concreto armado, os quais estão submetidos a um intenso ataque químico, energia térmica emitida pelas caldeiras, e a fadiga de tubulações.

No começo da inspeção dessa área já se percebia algumas manifestações patológicas causadas pelo elevado tráfego de empilhadeiras, como pode ser observado na figura 67, em que ocorre um grande desplacamento de concreto devido ao impacto desses veículos. Com isso, apesar de não ter ocorrido a exposição da armadura do pilar, houve uma perda significativa do cobrimento, aumentando o risco da evolução da anomalia para corrosão de armaduras, já que o ambiente de todo o pavilhão é considerado muito agressivo.

Figura 67 – Impacto de empilhadeira na base do pilar

(fonte: foto do autor)

Esse pilar, em conjunto com outros elementos estruturais deste tipo, é responsável pela absorção de parte da carga proveniente de um reservatório de água de 10.000 litros. As vigas que ligam esses pilares encontram-se bastante desgastadas devido ao ataque químico desse ambiente agressivo, o qual provocou a exposição das armaduras das vigas. Como as estruturas dessa área foram construídas por volta dos anos 70, provavelmente esses elementos foram dimensionados com um cobrimento menor do que é sugerido pela atual NBR 6118/2014, apresentado na tabela 2 deste trabalho. Na figura 68, pode ser observada a exposição das armaduras em conjunto com o desplacamento de parte do cobrimento das vigas. É de suma importância que se faça uma recuperação dessa estrutura, já que a armadura encontra-se exposta aos agentes agressivos da indústria de papel, podendo levar a um agravamento desta manifestação e a um consequente problema estrutural.

Figura 68 – Exposição das armaduras das vigas

(fonte: foto do autor)

Já na figura 69, pode ser observado um bloco de sustentação de uma caldeira bastante comprometido por causa do impacto de empilhadeiras. Além disso, o risco da armadura estar em um processo de corrosão devido ao ambiente úmido, quente e agressivo é muito alto. Por isso, como durante o processo de corrosão a ferrugem se acumula no entorno das barras de armadura, aumentando a seção transversal em um primeiro momento, e assim provocando forças axiais dentro do bloco que podem causar desplacamento do concreto, é importante fazer reparos para que a estrutura não perca totalmente sua funcionalidade. Isso poderia causar prejuízos financeiros para empresa devido à possibilidade de perda de um equipamento essencial no processo produtivo.

Figura 69 – Rompimento de parte do concreto do bloco de sustentação da caldeira devido ao impacto de empilhadeira

(fonte: foto do autor)

Pode-se concluir que o principal problema da área da caldeiraria é a falta de cobrimento dos elementos de concreto armado. Por esse motivo, percebe-se em vários pontos a ocorrência de corrosão de armaduras e desplacamento de camadas de concreto. Isto pode ser observado na figura 70, onde um pilar na fachada desse anexo está em um processo avançado de deterioração.

Figura 70 – Corrosão e consequente desplacamento do concreto no pilar devido ao cobrimento insuficiente

(fonte: foto do autor)

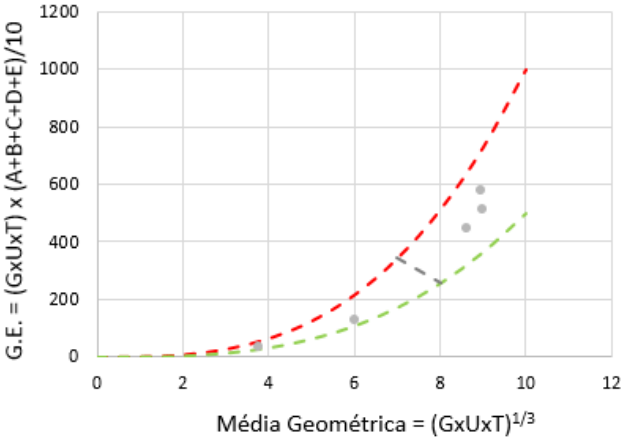
Como a estrutura desta área é relativamente mais antiga do que as outras, e a manutenção em todo o pavilhão é inexistente, pode-se concluir, de acordo com a análise de risco proposta nesse trabalho, apresentada na figura 71, que as manifestações patológicas ocorrentes nessa estrutura são críticas. Percebe-se, ainda, que a maioria das anomalias ultrapassa a reta delimitadora de criticidade, conforme a figura 72.

Figura 71 – Análise de risco da área de caldeiraria do pavilhão 2

Área: __Caldeiraria__													
Elemento	**Anomalia**	**G**	**U**	**T**	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**Média**	**G.E.**	**Ordem**	**Observações**
Pilares	Armadura exposta	##	8	8	N	S	N	N	S	8,6	448	3	Todos os pilares, indicios de corrosão
Pilar (cx. d'água)	Impacto	6	6	6	S	S	N	N	S	6,0	130	4	Impacto por batida de empilhadeira
Piso	Abrasão	3	3	6	S	S	N	N	S	3,8	32	5	Passagem de empilhadeiras
Bloco	Desplacamento	8	#	9	N	N	N	N	S	9,0	576	1	Sobrecarga e impacto de veículos
Vigas (cx. d'água)	Corrosão	9	9	9	N	S	N	N	S	9,0	510	2	Armadura exposta e corroída c/sobrecarga 10000 L

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 72 – Análise de criticidade das anomalias da área da caldeiraria do pavilhão 2



(fonte: elaborado pelo autor)

7.2.4.8 Área de tanque de mistura

Da mesma forma que a caldeiraria, a área de tanque de mistura é um setor anexo de produção, sendo de grande importância realizar a inspeção das condições técnicas e de uso desse local. A estrutura desse setor é composta por elementos de aço, abrangendo os pilares, vigas e tesouras que sustentam a cobertura e por elementos de concreto armado, abrangendo a estrutura que suporta os equipamentos necessários para a realização da mistura de matéria prima. A área analisada será a que está ilustrada pela figura 73.

Figura 73 – Vista geral da área do tanque de mistura

(fonte: foto do autor)

Como em todas as áreas do setor de produção ocorre um elevado tráfego de empilhadeiras, alguns pilares metálicos são constantemente amassados pelo impacto desses veículos. Na figura 74, pode-se observar esse problema, em conjunto com um princípio de corrosão nos

perfis metálicos que constitui esse pilar. Apesar disso, essas anomalias não são consideradas graves, no entanto, como esse pilar está próximo de um tanque de mistura, que libera gases agressivos, a tendência de evolução pode ser considerada alta.

Figura 74 – Impacto de empilhadeira em pilar metálico em conjunto com processo corrosivo

(fonte: foto do autor)

Apesar do pilar mencionado acima estar em um processo inicial de corrosão, outros elementos estruturais desta área apresentam estado avançado de corrosão, como os elementos metálicos da cobertura da figura 75. Consequentemente, essa manifestação patológica pode ser considerada urgente e grave, pois pode ocasionar o ferimento de pessoas situadas nessa área, caso a estrutura venha a colapsar parcialmente ou totalmente, e um grande prejuízo financeiro com a perda de equipamentos situados nessa área, que são importantes no processo industrial.

Figura 75 – Corrosão em tesouras e terças metálicas

(fonte: foto do autor)

Na figura 76, tem-se uma estrutura de concreto armado, que sustenta um equipamento auxiliar do tanque de mistura desta área, cuja armadura encontra-se em processo de corrosão. Assim como observado no pilar de aço mostrado na figura 74, ocorreu um impacto de uma empilhadeira que causou desplacamento de uma parte do concreto, expondo a armadura do local. Como não ocorreu nenhuma manutenção nessa anomalia e por estar perto de substâncias agressivas do processo de mistura de matérias-primas da fabricação do papel, a armadura entrou em processo de corrosão, que é um problema muito sério que pode causar a perda de funcionalidade dessa estrutura se não for adequadamente tratada.

Figura 76 – Armadura corroída de estrutura de concreto armado

(fonte: fotos do autor)

No acesso ao tanque, figura 77, pode-se observar muitos resíduos provenientes da mistura de substâncias do processo de produção, além da exposição de grande parte da armadura da viga que sustenta uma laje onde se encontra alguns equipamentos do processo industrial. Devido ao contato direto da viga com essas substâncias do processo de produção, e considerando o cobrimento inadequado, a tendência de evolução dessa armadura para uma corrosão é muito alta.

Figura 77 – Armadura corroída em viga de concreto armado

(fonte: fotos do autor)

Na parte superior da laje localizada próxima ao tanque de mistura, observou-se uma grande quantidade de um líquido violeta, cuja composição química não foi informada, mas que em conjunto com um pó branco constituído por hidróxido de sódio é responsável, por proporcionar um tom mais azulado ao papel. Resíduos da mistura dessas duas substâncias ficam em contato direto com a laje de concreto, como pode se observar na figura 78.

Figura 78 – Laje de concreto em contato direto com substâncias químicas

(fonte: fotos do autor)

Apesar do contato direto dessas substâncias, aparentemente, essa laje não apresentava manifestações patológicas graves. No entanto, ao observar a parte inferior das vigas que sustentam essa laje, conforme mostra a figura 79, percebeu-se que a mistura dos resíduos já tinha penetrado na estrutura de concreto armado, provocando um processo grave de corrosão de armadura, além da corrosão dos perfis metálicos, que, em outrora, foi utilizado com reforço dessa estrutura.

Figura 79 – Corrosão de armaduras e reforços metálicos

(fonte: foto do autor)

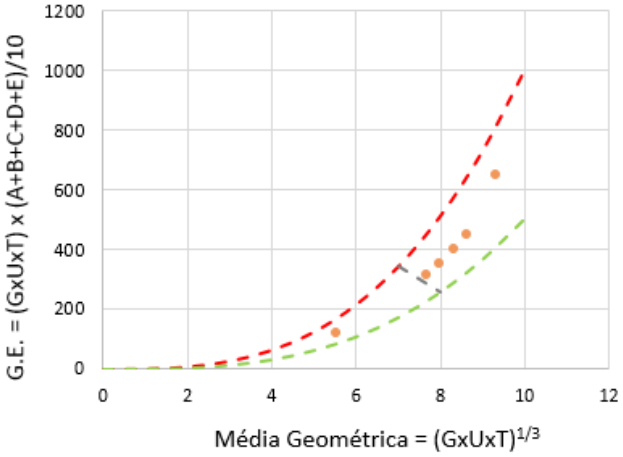
A presença de agentes agressivos nesta área é muito grande, intensificando as anomalias ocorrentes na estrutura. A corrosão está presente, praticamente, em todos os elementos estruturais, como está descrito na análise de risco na figura 80. Pode-se observar que a viga da figura 79 encontra-se em um estado crítico de deterioração devido ao ataque químico, sendo dificilmente recuperada. Através da análise de criticidade dessa área, mostrada na figura 81, observa-se que a maioria das manifestações patológicas ocorrentes foi considerada crítica, ou seja, é necessária a realização de uma intervenção imediata para que sejam realizados os reparos e recuperações nesses elementos estruturais.

Figura 80 – Análise de risco da área do tanque de mistura do pavilhão 2

Área: __Tanque de mistura__													
Elemento	**Anomalia**	**G**	**U**	**T**	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**Média**	**G.E.**	**Ordem**	**Observações**
Pilar (aço)	Impacto/Corrosão	4	6	7	N	S	N	N	S	5,5	118	6	Impacto por batida de empilhadeira
Tesouras	Corrosão	8	9	8	N	S	N	N	S	8,3	403	3	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Terças	Corrosão	7	9	8	N	S	N	N	S	8,0	353	4	Parcialmente corroída, exposição direta com resíduos
Pilar (tanque)	Corrosão	7	8	8	N	S	N	N	S	7,7	314	5	Exposição de armadura, desplacamento do concreto
Viga (tanque)	Corrosão	9	9	10	N	N	N	N	S	9,3	648	1	Exposição de armadura, apoio laje tanque
Perfis (reforço)	Corrosão	8	8	10	N	S	N	N	S	8,6	448	2	Reforço a estrutura do tanque

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 81 – Análise de criticidade das anomalias da área do tanque de pavilhão 2



(fonte: elaborado pelo autor)

7.2.4.9 Análise de criticidade do pavilhão 2

A análise de criticidade do pavilhão 1 foi realizada através de um gráfico com o conjunto de todas as anomalias atuantes nessa estrutura, pois tratava-se de um pavilhão menor e com poucas manifestações patológicas, como já mostrado anteriormente na figura 37. No entanto, como a área do pavilhão 2 é muito maior que a do pavilhão 1, contendo, também, um maior número de problemas, foi necessário realizar a análise de criticidade de cada área individualmente, pois muitos pontos se repetiriam no gráfico, dificultando a análise do pavilhão como um todo.

Observando-se as análises de criticidade de cada área, pode-se concluir, através da avaliação realizada em campo, que pelo menos um ponto em cada gráfico ultrapassa a reta delimitadora de criticidade. Ou seja, o pavilhão 2, como um todo, encontra-se em um estado crítico de deterioração, sendo necessário sua interdição para que seja realizada uma manutenção corretiva, visando a recuperação de toda estrutura. Caso essa não seja realizada, apesar de não necessariamente significar o colapso imediato da estrutura, tem-se o risco de ocorrer acidentes graves, com ferimentos de pessoas e perdas totais da estrutura, já que a estrutura está continuamente sendo exposta aos agentes agressivos provenientes das atividades industriais.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido à elevada competitividade entre as empresas e a busca pelo maior faturamento no setor industrial, percebe-se que em muitos casos estas empresas não dão a importância necessária ao setor de manutenção de edificações, que manteria seus patrimônios em um melhor estado de conservação. Ao contrário, percebe-se que a importância é dada, exclusivamente, aos setores de produção, responsáveis pelos seus lucros. Geralmente, as empresas administradoras de pavilhões industriais acreditam que manter funcionários não habilitados para serviços de recuperação estrutural (como pedreiros e pintores, por exemplo) para resolver as anomalias é o suficiente. No entanto, algumas manifestações patológicas graves que envolvem ataque de agentes agressivos, como os sulfatos e cloretos, que podem levar os pavilhões industriais a uma perda de funcionalidade, não são resolvidos por serviços desses profissionais, sendo no máximo disfarçados através de pinturas e rebocos para manter uma boa aparência de uma estrutura que na realidade está “doente”.

O método de inspeção proposto neste trabalho visou facilitar a identificação de anomalias em pavilhões industriais compostos por elementos de concreto armado ou aço, em um ambiente onde as atividades, a princípio, não podem ser interrompidas para a realização de melhorias na estrutura. A parada na produção pode gerar uma grande perda no faturamento da empresa. Desta maneira, quanto menos tempo a inspeção durar, melhor será para empresa. A avaliação das manifestações patológicas em áreas de influência, delimitadas por pórticos classificados pelo inspetor, permite uma única passagem deste nessas áreas, visando diminuir ao máximo os possíveis transtornos no desenvolvimento das atividades industriais.

Sobre a classificação dos ambientes dos pavilhões, ocorreram algumas dificuldades no desenvolvimento deste trabalho. Segundo a NBR 6118/2014, por exemplo, os ambientes industriais são classificados como fortemente e muito fortemente agressivos. Porém, para o caso do pavilhão industrial 1, o ambiente não ocasiona um risco elevado de deterioração da estrutura, pois não ocorre emissão de gases ou de outras substâncias agressivas. Por isso, um melhor esclarecimento da norma seria válido, principalmente para a classificação forte de agressividade ambiental, relacionando os tipos de atividades industriais com os riscos de deterioração da estrutura. Todavia, para a classificação de agressividade muito forte, a

indústria de papel é citada pela NBR 6118/2014, facilitando a classificação ambiental do pavilhão 2.

A análise de risco e a análise de criticidade propostas neste trabalho levam em conta uma avaliação qualitativa das anomalias de um pavilhão industrial, classificando-as de acordo com a gravidade, urgência e tendência de evolução através das adequações do sistema GUT de Kepner e Tregoe realizadas por Gomide et al (2006). Além disso, as ponderações realizadas nesse método, referentes às condições técnicas, de uso e de manutenção da estrutura, visam diferenciar o modo como é realizado a inspeção em pavilhões industriais e em edificações residenciais e comerciais. Isso ocorre porque as funcionalidades dessas estruturas são muito diferentes, ocorrendo problemas como a corrosão e abrasão do piso industrial, que se diferenciam devido à agressividade ambiental e da elevada presença de maquinários nos pavilhões. É importante salientar, ainda, que as análises de risco e de criticidade propostas nesse método de inspeção variam de acordo com a percepção das anomalias e da experiência de cada instrutor. Desta maneira, entende-se que as avaliações somente devem ser realizadas por profissionais habilitados para tanto.

A validação do método de inspeção foi realizada através de sua aplicação em dois pavilhões industriais. No pavilhão 1, através das informações preliminares obtidas por informações de funcionários qualificados do pavilhão, tudo indicava que ocorreria manifestações patológicas críticas em toda a estrutura, pois esta foi executada sem um projeto estrutural. No entanto, encontraram-se apenas pequenos problemas, os quais, através do método proposto, não foram classificados como críticos. Já no pavilhão 2, encontrou-se uma estrutura muito deteriorada devido aos ataques químicos dos agentes agressivos da indústria de papel. Além da falta de proteção das estruturas de aço, pois não ocorre manutenção para garantir a proteção desses elementos, que seria um tratamento com pintura anticorrosivas, os projetos dessas estruturas foram baseados em normas antigas, as quais não salientavam a importância da proteção dos elementos estruturais aos agentes agressivos. Com isso, as estruturas de concreto armado que foram moldadas no local, foram executadas com um cobrimento muito pequeno, que não é suficiente para proteger quimicamente e fisicamente as armaduras desses elementos. Portanto, essa estrutura pode ser considerada em estado crítico de conservação, ou seja, tem-se um grande risco de perda de funcionalidade de todas as áreas analisadas nesse pavilhão, que se agravará caso não seja realizada uma interdição e recuperação de toda a estrutura.

O método de inspeção proposto para pavilhões industriais pode ser considerado válido, pois permitiu verificar os pavilhões de forma organizada e rápida sem influenciar significativamente nas atividades industriais. Além disso, através da aplicação deste método, foi possível obter uma classificação das condições de conservação das estruturas. É importante salientar que, com pequenas modificações no método, podem ser realizadas inspeções em outros imóveis especiais, como supermercados, postos de gasolina e *shopping centers*, os quais, da mesma forma que os pavilhões, possuem poucas referências de métodos de inspeção na literatura. Portanto, uma sugestão de trabalho futuro seria a de propor um método de inspeção para obras especiais, como as citadas anteriormente. Além disso, poderia ser proposto um plano de intervenção para a realização de reparos ou recuperações nos pavilhões inspecionados, complementando este trabalho, pois este se limitou a investigar e a avaliar as anomalias nessas estruturas.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. del C. P. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras.** 1.ed. São Paulo: Pini, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800:** projeto de estruturas de aço e de estruturas de mistas de aço e concreto em edifícios: procedimento. Rio de Janeiro, 2008

_____. **NBR 6118:** projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

BELLEI, I. H. **Edifícios Industriais em Aço:** projeto e cálculo. 2. ed. rev. São Paulo: Pini, 1998.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto:** inspeção e técnicas eletroquímicas. 1 ed. São Paulo: Pini; Goiânia, GO: Editora UFG, 1997

CASTRO, E. M. C. de. **Patologia dos Edifícios em Estrutura Metálica.** 1999. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999.

DIAS, L. A. M. **Estrutura de Aço:** conceitos, ténicas e linguagem. 9. ed. São Paulo: Zigurate, 1997.

EINSFELD, R. A. **Estruturas de Concreto para Instalações Industriais.** São Paulo: Pini, 2013.

GOMIDE, T. L. F.; PUJADAS, F. Z. A.; FAGUNDES NETO, J. C. P.; **Técnicas de inspeção e manutenção predial.** 1. ed. São Paulo: Pini, 2006.

HELENE, P. R. L. **Corrosão em Armaduras para Concreto Armado.** São Paulo: Pini, 1986.

_____. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto.** 2. ed. São Paulo: Pini, 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA. **Norma de inspeção predial de São Paulo.** São Paulo, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto:** estrutura, propriedade e materiais. 1. ed. São Paulo: Pini, 1994.

NUNES, L. de P.; LOBO, A. C. O. **Pintura industrial na proteção anticorrosiva.** 1 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, Petrobrás, 1990.

OLIVEIRA, N. M. M. de. **Analise Comparativa de Soluções em Betão, Aço e Madeira para Pavilhões.** 2010. 212 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2010.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Aço:** dimensionamento prático de acordo com a NBR 8000:2008. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

REPETTE, W. L; HELENE, P. R. L. **Proteção do concreto:** uma necessidade em indústrias de celulose e papel. São Paulo: EPUSP, 1998. Boletim Técnico PCC n. 204.

RINCÓN, O. T. de; CARRUYO, A. R. de; ANDRADE, C.; HELENE, P; DÍAZ, I. Ed. **Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión em Estructuras de Hormigón Armado.** 4ta. ed. Maracaibo: CYTED Red DURAR, 2006.

SOUZA, V. C. M. de; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço das estruturas de concreto.** 1. ed. São Paulo: Pini, 1998.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios:** causas, prevenção e recuperação. 1 ed. São Paulo: Pini, 1989.

VERÇOZA, E. J. **Patologia das Edificações.** 1. ed. Porto Alegre: Sagra, 1991.