



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CENTRO DE TECNOLOGIA DE ALEGRETE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

CARLOS ALEXANDRE DA CONCEIÇÃO

**AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM BASES DE
UNIDADES ARMAZENADORAS DE GRÃOS DA FRONTEIRA OESTE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ALEGRETE
2011**

CARLOS ALEXANDRE DA CONCEIÇÃO

**AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM BASES DE
UNIDADES ARMazenADORAS DE GRÃOS DA FRONTEIRA OESTE**

2011

CARLOS ALEXANDRE DA CONCEIÇÃO

**AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM BASES DE
UNIDADES ARMAZENADORAS DE GRÃOS DA FRONTEIRA OESTE**

Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa (Unipampa), para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador:
Prof. Msc. André Iubeck

Co-orientador:
Prof. Dr. Rogério C. Antochaves de Lima

**ALEGRETE
2011**

Conceição, Carlos Alexandre.

Avaliação das principais manifestações patológicas em bases de unidades armazenadoras de grãos da fronteira oeste – 2011.

88 f.:ils..figs.,tabs.

Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, 2011. Orientador: Profº. MSc. André Lübeck, Co-orientador: Rogério C. Antochaves de Lima

1.Levantamento de Manifestações Patológicas em Estruturas. 2. Fundações. 3.Armazenagem Agrícola.

CARLOS ALEXANDRE DA CONCEIÇÃO

**AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM BASES DE
UNIDADES ARMAZENADORAS DE GRÃOS DA FRONTEIRA OESTE**

Trabalho de conclusão do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa (Unipampa), como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil.

Área de Concentração: Manifestações Patológicas.

Monografia defendida e aprovada em: 14 de Julho de 2011.
Banca Examinadora:

Prof. Msc. André Lübeck (Unipampa)
Orientador

Prof. Dr. Rogério C. Antochaves de Lima (Unipampa)
Co-orientador

Prof. Dr. José Mário Doleys Soares (UFSM)
Examinador Externo

Eng. Jorge Augusto Peres Moojen
Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter chegado até aqui, e ter realizado estas metas e objetivos que sempre sonhei, me dando força e saúde para que pude-se alcança-los.

À minha mãe, Maria Cecília da Conceição, pela paciência, amor e carinho, os quais fizeram a diferença em meio a dificuldades encontradas durante os anos de estudo.

A meu pai, João Carlos Dias da Conceição, que com sabedoria me aconselhou durante momentos de dificuldade que enfrentei, pois se não fosse por elas, eu não teria conseguido chegar ao fim desta jornada.

À minha noiva Natália Borges Trindade, pela paciência, companheirismo e incentivo, que deram suporte para não desistir dos meus objetivos.

Ao meu orientador, prof. André Lübeck, e co-orientador, Prof. Rogério C. Antocheves de Lima, pela paciência, dedicação e ensinamentos repassados, durante o tempo que dedicaram para que eu pudesse estar aqui realizando este sonho.

Aos meus colegas, que durante estes anos estiveram ao meu lado e sempre me auxiliaram nas aulas, trabalhos e pesquisas.

A todos os professores do curso de Engenharia Civil, que com dedicação e paciência, durante o decorrer da graduação buscar transmitir os conhecimentos necessários para poder concluir este trabalho.

Aos funcionários da Unipampa, que desde o início, trabalharam arduamente na construção desta instituição de ensino, que cresce com qualidade na busca da formação de ótimos profissionais para o mercado de trabalho.

Sem sonhos, a vida não tem brilho.
Sem metas, os sonhos não têm alicerces.
Sem prioridades, os sonhos não se tornam reais.

Sonhe, trace metas, estabeleça prioridades e corra riscos para executar seus sonhos.

Melhor é errar por tentar do que errar por omitir!

Augusto Cury

RESUMO

**Trabalho de Conclusão de Curso
Curso de Graduação de Engenharia Civil
Universidade federal do pampa**

AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM BASES DE UNIDADES ARMAZENADORAS DE GRÃOS DA FRONTEIRA OESTE

Autor: Carlos Alexandre da Conceição

Orientador: André Lübeck

Co-orientador: Rogério C. Antochaves de Lima

Este trabalho visa descrever as principais manifestações patológicas ocorrentes em bases de silos para armazenagem de grãos localizados na região da fronteira oeste do Estado do Rio Grande do Sul. Foram visitadas treze instalações de armazenagem de grãos nesta região do Estado. As instalações possuíam porte e arranjos de equipamentos próprios, mas com características comuns. Nas visitas levantou-se todas as manifestações patológicas visíveis e a partir da quantidade de ocorrências, chegou-se as mais comuns. A fim de entender o funcionamento e aparecimento das patologias realizou-se uma revisão bibliográfica acerca de instalações de armazenagem de grãos, silos de armazenagem e patologias em estruturas. Foram descritos os tipos de equipamentos mais utilizados para armazenamento de grãos, suas características e os métodos construtivos de bases de silos mais executados por engenheiros e construtores da região. Analisaram-se características de projeto, fluxograma, funcionamento e a manutenção das bases de silos. O levantamento e análise de manifestações patológicas foram realizados com o objetivo de identificar as causas mais freqüentes destes problemas, os quais podem ser as mais variadas, desde problemas construtivos, de projeto, uso ou manutenção. As principais conclusões desta pesquisa foram: que existe uma grande ocorrência de recalques, que apareceram em 62% das instalações inspecionadas, deslocamento causado por corrosão de armadura, e na união da base com a estrutura metálica, verificados em 77% e 69% das instalações, respectivamente, os agentes biológicos encontrados em 54% e fissuras e trincas que aparecem com 38%, além de outras patologias com menor incidência.

Palavras-chave: *armazenagem de grãos, manifestações patológicas, bases de silos.*

ABSTRACT

**End of Course Work
Undergraduate Civil Engineering
Federal University of Pampa**

Evaluation of main pathological manifestations in silo's bases in the western border of Rio Grande do Sul

Author: Carlos Alexandre da Conceição

Advisor: André Lübeck

Co-supervisor: Roger C. Antochaves Lima

This paper aims to describe the main events occurring in pathological bases for grain storage silos located in the border region west of Rio Grande do Sul were visited thirteen grain storage facilities in this region of the state. The port facilities had their own equipment and arrangements, but with common characteristics. Visits rose in all the pathological manifestations and visible from the number of occurrences, it was the most common. In order to understand the functioning and emergence of diseases carried out a literature review about grain storage facilities, storage silos in structures and pathologies. We describe the types of equipment most frequently used for storing grains, their characteristics and methods of construction of silos bases longer run by engineers and builders in the region. We analyzed characteristics of design, flowchart, operation and maintenance of the bases of silos. The survey and analysis of pathological manifestations were conducted with the aim of identifying the most frequent causes of these problems, which may be quite varied, ranging from construction problems, design, use or maintenance. The main conclusions of this research were: that there is a high occurrence of settlements, which appeared in 62% of facilities inspected, peeling caused by corrosion of reinforcement, and in union with the base metal structure, reached at 77% and 69%, the biological agents found in 54% and fissures and cracks that appear at 38% and other diseases with low incidence.

Keywords: *grain storage, pathological manifestations, foundations of silos.*

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.01 - Evolução da produção de arroz.</i>	<i>2</i>
<i>Figura 1.02 – Silos de uma unidade de recebimento de grãos.</i>	<i>3</i>
<i>Figura 1.03 – Aterro com material graúdo, sem compactação adequada.</i>	<i>4</i>
<i>Figura 2.01 - Fluxograma padrão de uma unidade de recebimento de grãos.</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2.02 – Leiaute de uma unidade típica.</i>	<i>8</i>
<i>Figura 2.03 - Moega para recebimento de grãos ainda descoberta.</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2.04 – Máquina de limpeza.</i>	<i>10</i>
<i>Figura 2.05 – Secador agrícola.</i>	<i>11</i>
<i>Figura 2.06 – Silos para armazenamento de grãos.</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2.07 - Silo de concreto armado.</i>	<i>13</i>
<i>Figura 2.08 - Montagem da estrutura metálica.</i>	<i>14</i>
<i>Figura 2.09 - Execução de graneleiro, com fundo V, para estocagem de soja.</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2.10 - Bases executadas no sistema radier circular.</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2.11 - Base de silo em concreto armado Viga x Laje.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3.01 - Fases do desempenho de uma estrutura durante a sua vida útil.</i>	<i>21</i>
<i>Figura 3.02 – Desempenho ao longo do tempo de uma instalação, elemento, etc. ...</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3.03 – Fluxograma para conhecimento da enfermidade – diagnóstico.</i>	<i>24</i>
<i>Figura 3.04 - Incidência das Origens das Patologias no Brasil.</i>	<i>25</i>
<i>Figura 3.05 – Lei de evolução de custos.</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3.06 – Fissuras em piso devido à movimentação térmica.</i>	<i>36</i>
<i>Figura 3.07– Desagregação do concreto devido à corrosão de armadura.</i>	<i>37</i>
<i>Figura 3.08 – Exemplo de segregação em pilar de uma edificação.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 3.09 – Exemplo de deformação na laje de um piso.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 3.10: Célula de corrosão no meio do concreto armado.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 3.11 - Laje com corrosão generalizada e expansão da seção da armadura. .</i>	<i>41</i>

<i>Figura 3.12 – Torre de Pisa, o caso mais clássico de recalque.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 4.01 – Unidade rural para armazenamento de grãos.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 4.02 – Unidade urbana para armazenamento e beneficiamento de grãos.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 4.03 – Queda de silo devido a esforço do vento.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 5.01 - Porcentagem de incidência das manifestações patológicas encontradas.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 5.02 – Laje da base do silo exposta ao sol.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 5.03 – Fissura na base do silo pela movimentação térmica.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 5.04 – Desplacamento causada pela corrosão da armadura.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 5.05 – Deficiência de projeto.</i>	<i>55</i>
<i>Figura 5.06 – Corrosão da estrutura metálica na união do concreto com a chapa. ..</i>	<i>56</i>
<i>Figura 5.07 – Corrosão da estrutura metálica na união do concreto com a chapa. ..</i>	<i>56</i>
<i>Figura 5.08 – Vegetação nas estruturas- agentes causadores de deterioração.</i>	<i>58</i>
<i>Figura 5.09 - Microorganismos agindo em conjunto com a poeira e umidade do local.</i>	<i>59</i>
<i>Figura 5.10 – Fissura de cisalhamento.</i>	<i>60</i>
<i>Figura 5.11 – Trincas e fissuras.</i>	<i>60</i>
<i>Figura 5.12 – Afundamento de base de silo.</i>	<i>62</i>
<i>Figura 5.13 – Fissuras causadas pelo recalque na base do silo.</i>	<i>62</i>
<i>Figura 5.14 – Fissuras causadas por esforço causado pelo vento.</i>	<i>64</i>
<i>Figura 5.15 – Arrancamento de um silo da sua base devido a problemas na estrutura da base.</i>	<i>64</i>

LISTA DE QUADROS

<i>Quadro 3.01 - Classificação das lesões em função da dimensão da abertura.....</i>	<i>36</i>
<i>Quadro 3.02 – Tolerâncias dimensionais para seções transversais de elementos estruturais lineares e para espessura de superfície.</i>	<i>38</i>
<i>Quadro 4.01 - Unidades visitadas nas cidades.</i>	<i>45</i>
<i>Quadro 5.01 – Unidades vistoriadas e tipo de base e silo encontrados.....</i>	<i>49</i>
<i>Quadro 5.02 – Número de unidades visitadas com enfermidades constatadas.....</i>	<i>50</i>

LISTA DE ABREVIATURAS

n. – número

p. – página

f. – folha

cap. – capítulo

v. – volume

org. – organizador

coord. – coordenador

col. – colaborador

il – Ilustrado

color - colorido

LISTA DE SIGLAS

UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa

UFMS – Universidade Federal de Santa Maria

USP – Universidade de São Paulo

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

VUP – Vida útil de projeto

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento CONAB

IRGA – Instituto Rio Grandense do Arroz

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAG - Faculdade Assis Gurgacz

UNIJUI - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

UFPR – Universidade Federal do Paraná

UEM - Universidade Estadual de Maringá

UDC - Faculdade Dinâmica de Cataratas

UFG - Universidade Federal de Goiás

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa.....	4
1.2 Objetivos	5
1.2.1 Objetivo principal.....	5
1.2.2 Objetivos secundários	5
1.3 Delimitação da pesquisa	5
1.4 Estrutura do trabalho.....	6
2 INSTALAÇÕES DE ARMAZENAGEM DE GRÃOS	7
2.1 Descrição dos itens de uma instalação de armazenagem de grãos	7
2.1.1 Recepção.....	8
2.1.2 Limpeza	9
2.1.3 secagem	10
2.1.4 Armazenagem.....	11
2.2 Classificação dos sistemas de armazenagem	12
2.2.1 Quanto ao tipo	12
2.2.2 Quanto ao método construtivo	13
2.3 Classificação das bases analisadas.....	16
2.3.1 Bases em Radier	16
2.3.2 Sistema com viga circular e laje.....	17
3. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO	19
3.1 Conceituações Relacionadas às Patologias em Edificações	19
3.2 Durabilidade e Vida útil	20
3.3 Desempenho.....	21
3.4 Manutenção	22
3.5 Patologias em estruturas de concreto armado.....	23

3.5.2 A origem das Manifestações Patológicas	25
3.5.2 Mecanismos e agentes de degradação	30
3.5.3 Principais sintomas e causas das patologias em bases	34
4 METODOLOGIA.....	44
4.1 Estrutura de análise de manifestações patológicas	44
4.2 Escolha dos locais de pesquisa	44
4.3 Levantamento de dados.....	47
4.4 Identificação das possíveis causas	48
5 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS MAIS INCIDENTES.....	49
5.1 LEVANTAMENTO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS MAIS INCIDENTES.....	49
5.2 ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS MAIS INCIDENTES	52
5.2.1 Fissurações por movimentações térmicas	52
5.2.2 Deslocamento do concreto causado pela corrosão da armadura	53
5.2.3 Deformações exageradas	54
5.2.4 Corrosões na união do concreto com a estrutura metálica	55
5.2.5 Agentes biológicos.....	57
5.2.6 Trincas e fissuras nas paredes de concreto armado	59
5.2.7 Recalques.....	61
5.2.8 Patologias causadas por esforço do vento	63
6 CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
ANEXO:.....	72

Capítulo 1

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, dispõe-se de um grande potencial agrícola, na qualidade de país de dimensões continentais, com mais de 376 milhões de hectares e clima favorável para produção de grãos, existe uma incontestável vocação para “celeiro mundial”, (WEBER, 1995). Vocação que se consolidou com a mecanização da lavoura. O país se tornou um dos maiores produtores mundiais de grãos e nesse cenário a região da fronteira oeste do Rio Grande do Sul tem um importante papel, pois é uma das maiores produtoras de arroz.

Por características de mercado, a produção de arroz necessita de um grande volume de estruturas de armazenamento entre silos e armazéns, mas a capacidade de armazenagem brasileira ainda é menor que a sua capacidade produtiva. A Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2006) recomenda que a capacidade de estocagem seja de pelo menos dois anos de produção.

Dentre as estruturas de armazenagem, os silos são considerados uma solução de grande viabilidade devido à economia de espaço físico, mão-de-obra e custo de transporte, assim como possibilidade de conservação do produto ensilado, mantendo a sua qualidade de maneira econômica. Na fronteira oeste, são as principais estruturas de armazenagem empregadas.

Segundo Calil & Cheung (2007), uma unidade armazenadora, tecnicamente projetada e bem conduzida, apresenta vantagens, como:

- Obtenção de um produto mais bem conservado, longe do ataque de insetos e ratos;
- Estocagem racional, segura e, principalmente, econômica tendo em vista que o produtor que armazena a granel comercializa também a granel, economizando, com isso, gastos significantes com sacaria e mão-de-obra ocupada para o ensacamento;
- Economia de transporte, uma vez que os preços dos fretes aumentam durante o período da safra;
- Diminuição do custo do transporte, pela eliminação de impurezas e excesso de água pela secagem;

- Formação de um estoque regulador dos preços de mercado;
- Concentração de grandes quantidades de produto em áreas relativamente pequenas;
- Proteção da indústria contra as flutuações no preço das matérias-primas;

Conforme análise e pesquisa realizada pela empresa de consultoria Carlos Cogo (2010), a intenção do governo é a de dobrar, de 15% para 30%, a capacidade total de estocagem privada em 5 anos. Atualmente, a capacidade estática de armazenamento do País, incluindo áreas públicas, é de 123 milhões de toneladas, enquanto a safra atual de grãos deve bater 147 milhões de toneladas este ano. Além de diminuir o gargalo logístico da armazenagem também possibilita que o produtor venda o seu produto quando desejar, podendo aguardar um aumento no preço do grão, conforme esta ocorrendo na região pesquisada.

No Rio Grande do Sul, segundo o Instituto Rio Grandense de Arroz (IRGA, 2010), a produção de arroz atingiu na safra 2008/09, uma produção de mais de 8.047.897 milhões de toneladas, ou seja, um acréscimo de 24% em relação à safra 2006/07 (figura 1.01).

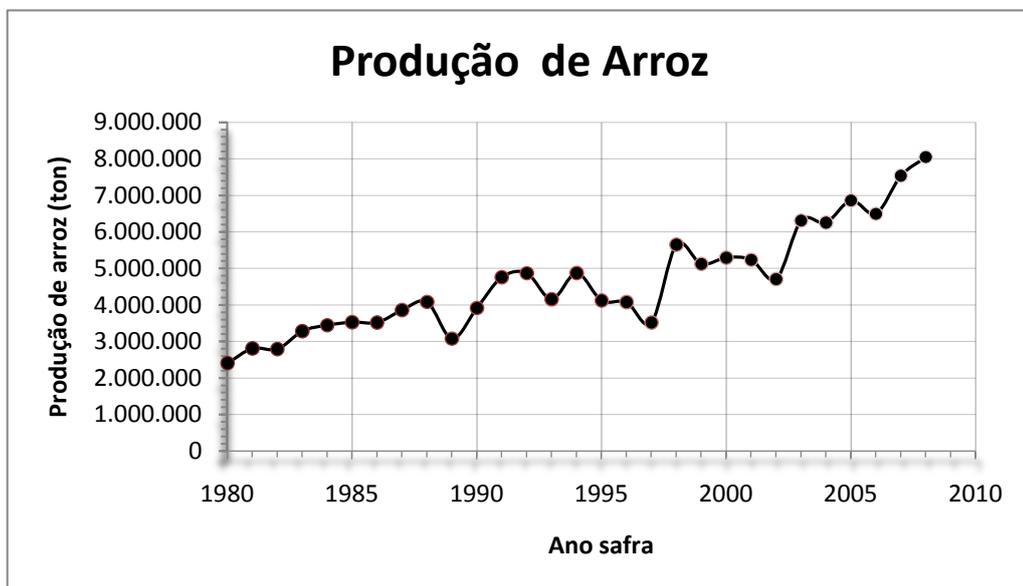


Figura 1.01 - Evolução da produção de arroz no RS.

[Fonte: IRGA, 2010].

O grão ao chegar da lavoura para a indústria (figura 1.02) vem em suas condições naturais, úmido, com impurezas e resíduos, da lavoura ou do transporte. Antes de serem acondicionados, necessitam de um pré-tratamento em estruturas

complementares, tais como prédios de recebimento, limpeza, secagem e transporte, além da aeração durante a armazenagem a fim de manter seu baixo teor de umidade.



Figura 1.02 – Silos de uma unidade de recebimento de grãos.

[Fonte: do autor, 2009].

Essas estruturas de armazenagem, assim como todas as demais construções, estão suscetíveis a anomalias que podem comprometer o seu desempenho e vida útil, a qual pode variar dependendo de fatores de projeto ou executivos, por exemplo, a durabilidade dos materiais empregados nas construções, as condições de exposição e uso, além da ocorrência de manutenção periódica.

A partir do levantamento de informações e coleta de dados sobre as condições destas estruturas, fica clara a necessidade de realizar um diagnóstico das manifestações patológicas a fim de avaliar as suas conseqüências e, caso possível, evitá-las, permitindo que perdas que hoje ocorrem, possam ser evitadas.

As fundações das estruturas de armazenagem, mais especificamente as chamadas bases de silos, também são estruturas onde as manifestações patológicas aparecem em grande quantidade e, em função das perdas econômicas que podem acarretar dentro de uma indústria agrícola, merecem ser estudadas com mais cuidado.

1.1 JUSTIFICATIVA

O tema deste trabalho está vinculado à grande ocorrência de manifestações patológicas nas instalações armazenadoras de grãos, principalmente nas bases de silo, devido a falhas de projeto, construtivas ou de manutenção, e conseqüente desempenho das construções aquém das expectativas dos usuários/proprietários.

A escolha por este tema se justifica pela deficiência de formação e preparo de profissionais nos diferentes níveis que atuam nas áreas planejamento, projeto, execução e manutenção das bases de silo, e, além disso, na identificação, diagnóstico e solução de problemas patológicos nestas estruturas.

Na figura 1.03 observa-se um exemplo da não adoção da boa técnica para execução de uma base de silo, na foto o executor está usando como aterro um material de granulometria não adequada, além de não compactar de maneira correta o material de preenchimento junto ao túnel de descarga.



Figura 1.03 – Aterro com material graúdo, sem compactação adequada.

[Fonte: do autor 2010].

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

O trabalho tem como objetivo principal realizar uma análise sobre as principais manifestações patológicas ocorrentes em bases de silo, bem como descrever as possíveis causas a elas relacionadas.

1.2.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

O trabalho tem como objetivos secundários os seguintes itens:

- Revisar os conceitos sobre desempenho, vida útil e durabilidade de edificações;
- Realizar uma pesquisa bibliográfica sobre os métodos de análise de problemas patológicos em estruturas de concreto;
- Estudar as principais manifestações patológicas passíveis de ocorrer em bases de silo;
- Avaliar algumas unidades já instaladas na região, verificando as principais manifestações patológicas presentes em bases de silo;
- Definir os tipos de patologias de maior incidência encontradas nas bases de silos inspecionadas;
- Para as patologias mais incidentes, analisar os mecanismos de ocorrência e prováveis causas.

1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O trabalho limitou-se ao levantamento de manifestações patológicas ocorridas em bases de silo de instalações de armazenagem de arroz localizadas na região da fronteira oeste do Estado do Rio Grande do Sul, que possui um clima subtropical úmido, constituído por 4 estações bem definidas, com temperaturas baixas no inverno e elevadas no verão. A variação de temperatura média no estado é de aproximadamente 18°C, conforme dados Embrapa (2010).

Devido às limitações de tempo e recurso, não é possível abranger todas as unidades armazenadoras da região da pesquisa, pois se tornaria extremamente difícil levantar todos os dados em uma região de grande extensão e com problemas

de acesso. Com isso, tornou-se necessário selecionar algumas estruturas instaladas e em fase de implantação para realizar o levantamento. Foram vistoriadas treze unidades armazenadoras localizadas em oito municípios diferentes.

A análise das manifestações patológicas realizadas está restrita ao diagnóstico, não identificando os métodos corretivos para a recuperação das estruturas, pois não se dispõe de dados sobre ajustes e recuperações feitas pelos proprietários e construtoras durante a fase de implantação e manutenção das bases e estruturas metálicas montadas.

1.4 ESTRUTURAS DO TRABALHO

O presente trabalho será baseado na avaliação de algumas unidades armazenadoras de grãos, sendo organizado em capítulos conforme a seqüência abaixo:

No capítulo 1 introduz-se a importância do tema, justificando a escolha, além dos objetivos do trabalho, a delimitação do problema em estudo e a estruturação do trabalho.

No capítulo 2, são descritos os itens de uma instalação padrão, equipamentos de armazenagem comumente instalados, além dos tipos, características e métodos construtivos utilizados em bases de silo da região.

No capítulo 3, são apresentados conceitos sobre manifestações patológicas nas estruturas, desempenho, vida útil, durabilidade, manutenção e responsabilidades sobre estruturas de concreto armado. Além disso, são descritas as principais causas, origens e mecanismos de formação das patologias, descrevendo alguns sintomas de maior ocorrência.

No capítulo 4, apresenta-se a metodologia do trabalho.

No capítulo 5, são descritas de maneira mais precisa as patologias mais presentes em bases de silos, buscando suas causas e mecanismos de ocorrência a fim de elencar as mais comuns nestas estruturas.

O capítulo 6 é o de conclusão, onde são apresentadas as considerações finais a respeito do trabalho.

Capítulo 2

2 INSTALAÇÕES DE ARMAZENAGEM DE GRÃOS

O projeto, instalação e conservação de unidades armazenadoras de grãos engloba as mais diversas áreas da engenharia, desde a agrícola, agrônômica, civil, mecânica e elétrica. Estas unidades armazenadoras destinadas a guardar e conservar os grãos nelas armazenados, em condições inalteradas de qualidade e quantidade, tem um elevado custo de implantação e necessitam de um estudo mais aprimorado para que tenham uma vida útil maior do que a constatada em unidades visitadas na região.

Segundo Milman (2002), pode-se dizer que a literatura técnica brasileira nesta área está ainda na fase embrionária, o que ainda acontece no país. Embora na área de processamento de grãos existam algumas publicações editadas em português, elas se restringem a abordar aspectos isolados do assunto, sem tecer comentários a respeito das obras civis presentes nestas indústrias. Como este trabalho foca um tipo específico destas obras, faz-se necessário a apresentação do sistema de funcionamento de uma unidade de armazenagem e beneficiamento de grãos, descrevendo seus principais equipamentos e/ou edificações.

2.1 DESCRIÇÃO DOS ITENS DE UMA INSTALAÇÃO DE ARMAZENAGEM DE GRÃOS

As instalações de recebimento de grãos destinam-se ao pré-processamento de grãos, ou seja, recepção, limpeza, secagem e armazenagem. O fluxo típico realizado pelo grão nestas indústrias é dado na figura 2.01.

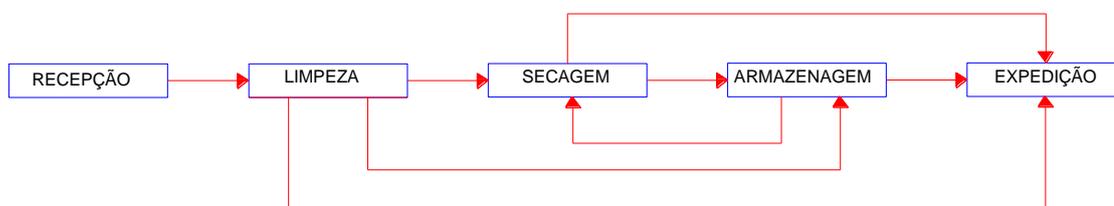


Figura 2.01 - Fluxograma padrão de uma unidade de recebimento de grãos.

[Fonte: Milman 2002].

Para realizar um melhor entendimento sobre o funcionamento de uma instalação de recebimento de grãos, torna-se necessário descrever os equipamentos comumente instalados em uma unidade típica (figura 2.02).

Na fase de projeto deste tipo de indústria fica definido o caminhamento ou fluxo que o grão fará na instalação, os equipamentos empregados durante o processo, com suas capacidades e dimensões, além das obras civis necessárias.

Após a definição do projeto metal-mecânico do fabricante dos equipamentos, a fabricante dos mesmos encaminha os projetos de base para os diferentes equipamentos. Da mesma forma, ficam definidos os demais prédios necessários para o funcionamento da indústria.

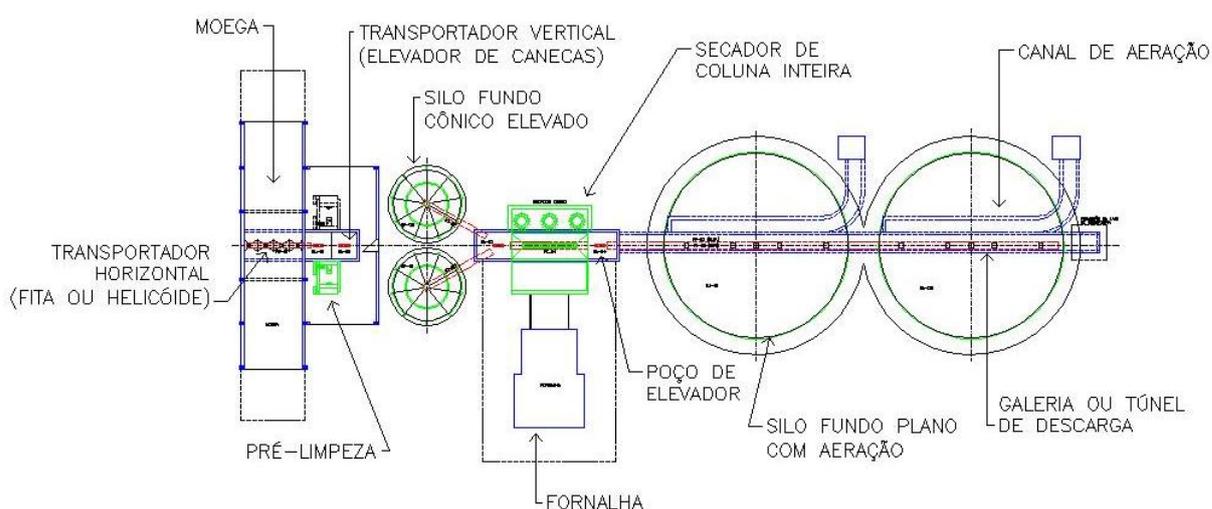


Figura 2.02 – Leiaute de uma unidade típica.

[Fonte: Lübeck, 2010].

2.1.1 RECEPÇÃO

A recepção dos grãos é feita em prédios denominados moegas, que são estruturas destinadas a receber os grãos que entram na instalação. São elementos de formato tronco-piramidal onde o grão é despejado e destinado a algum transportador que o coloca no fluxo da indústria. As moegas podem ser rodoviárias, ferroviárias ou rodo-ferroviárias.

As moegas mais comuns na região pesquisada são as moegas rodoviárias (figura 2.03) e estas podem estar adaptadas a receber apenas caminhões comuns,

caminhões basculantes ou, ainda, possuir um tombador que eleva os caminhões acelerando a descarga por gravidade.



Figura 2.03 - Moega para recebimento de grãos ainda descoberta.

[Fonte: Lübeck, 2010].

2.1.2 LIMPEZA

A operação de limpeza dos grãos se destina a redução das impurezas, ou seja, separação mecânica de outras culturas, galhos, terra, cascas, pó do produto, etc. Esta operação é importante para o processo de secagem, pois reduz o risco de incêndio e melhora a capacidade de secagem dos grãos, além claro, dos aspectos econômicos, pois um grão com impurezas tem menor valor comercial.

A figura 2.04 mostra uma máquina de limpeza de grãos, com um sistema de ventilação e um jogo de peneiras. As peneiras são telas ou chapas perfuradas que se movimentam através de um mecanismo vibratório, forçando o produto a passar pelos furos retendo as impurezas.



Figura 2.04 – Máquina de limpeza.

[Fonte: Lübeck, 2010].

As pré-limpezas são instaladas, comumente, sobre paredes de concreto a fim de dar altura suficiente para a descarga do grão.

2.1.3 SECAGEM

A operação de secagem destina-se a redução de umidade dos grãos até valores que tornem o grão inerte a fim de ser armazenado por longos períodos de tempo com manutenção de sua qualidade. Esta operação pode ser de duas maneiras: natural ou forçada (a figura 2.05 é um exemplo de forçada). Na região da fronteira oeste do RS, a secagem utilizada é a forçada onde ocorre a passagem de ar seco por meio de uma coluna de grãos. Milman (2002) conceitua a secagem como uma operação industrial, na qual se elimina por evaporação da água, ou outro líquido, que contenha no material (grão). Esse processo envolve a retirada parcial de água do produto através de transferência de água do grão para o ar.

O equipamento utilizado para a secagem do grão é chamado de secador. Existem muitos tipos e formas de secadores. Na fronteira oeste, o mais usado é o chamado de secador intermitente de coluna inteira. O equipamento nada mais é do que um grande prisma preenchido por uma estrutura no formato de grelha vertical, onde o grão fica retido e sujeito a passagem do ar. A figura 2.05 apresenta um secador em processo final de montagem.

A montagem do secador depende da execução de uma fundação e duas paredes que recebem as cargas do equipamento.



Figura 2.05 – Secador agrícola.

[Fonte: Lübeck, 2010]

2.1.4 ARMAZENAGEM

A armazenagem é destinada a manter os grãos conservados em condições inalteradas de qualidade por um período de tempo. Com o aumento da produção agrícola do país, é crescente a procura por sistemas de estocagem dos grãos, que tem como principais finalidades:

- Conservação da qualidade do produto em umidade, temperatura, impureza e longe de microorganismos e insetos;
- Redução dos custos relativos a transportes, pois o produto pode ser armazenado próximo a lavoura reduzindo perdas em quantidade e qualidade;
- Aumento da capacidade produtiva, pela possibilidade de manter o produto armazenado por um longo período de tempo;
- Melhor preço de comercialização, pois o produto pode ficar estocado aguardando melhores preços de comercialização.

Os elementos destinados à armazenagem (figura 2.06) de grãos são classificados quanto ao tipo de armazenagem e ao método construtivo.



Figura 2.06 – Silos para armazenamento de grãos.

[Fonte: Do autor, 2009]

2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE ARMAZENAGEM

2.2.1 QUANTO AO TIPO

As estruturas de armazenagem de grãos são divididas quanto à entidade a que pertencem, ao material estrutural empregado, pela sua forma geométrica e tipo de construção em relação ao solo.

Os dois sistemas mais usados são os silos e os galpões graneleiros. Os silos são estruturas cilíndricas executados em aço, concreto ou madeira, apoiados sobre uma base. Já os galpões, como o próprio nome diz, são prédios onde o grão fica armazenado.

Os tipos mais usados na região da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul são os silos metálicos sobre base de concreto armado. Estes se dividem em três grupos, quanto à construção em relação ao solo:

- Silos elevados ou aéreos: são caracterizados por serem construídos acima do nível do solo, podem ser os chamados silos de fundo cônico elevado e os silos de fundo plano executados sobre o solo;
- Silos subterrâneos: são aqueles em que os compartimentos para a estocagem se localizam abaixo do nível do solo. São construções mais simples que silos elevados, porém são mais suscetíveis a infiltrações de água e têm um esvaziamento mais difícil;
- Silos semi-enterrados: é um tipo intermediário entre os dois tipos anteriores;

2.2.2 QUANTO AO MÉTODO CONSTRUTIVO

Os silos podem ser de concreto armado, concreto protendido, chapas metálicas (lisas, corrugadas e trapezoidais), de madeira, alvenaria, argamassa armada, fibras, plásticas e outros materiais. Na seqüência são feitos breves comentários a respeito de cada um dos tipos:

a) Silos de Concreto armado

Os silos de concreto armado, segundo Calil & Cheung (2007) são relativamente espessos, com espessura entre 25 a 60 cm. Suas paredes são solicitadas por grandes momentos originados por restrições de apoios junto à base e variações locais de carga. Também respondem a pressão do material armazenado de uma maneira rígida, parecidas com reservatórios rígidos.

Pode ser executado em dois sistemas, o concreto armado moldado *in loco* e pré-moldado. O moldado *in loco* necessita de um sistema de fôrmas deslizantes e deve ser realizado com concreto usinado de alta resistência, tomando-se cuidado para não deixar emendas por onde possa penetrar água. Já o pré-moldado, amplamente usado no estado nos anos 80, na realidade costuma ser misto, pois depende da execução do cintamento moldado *in loco* a cada emenda de placas. A figura 2.07 mostra um silo em concreto pré-moldado de uma das unidades visitadas.

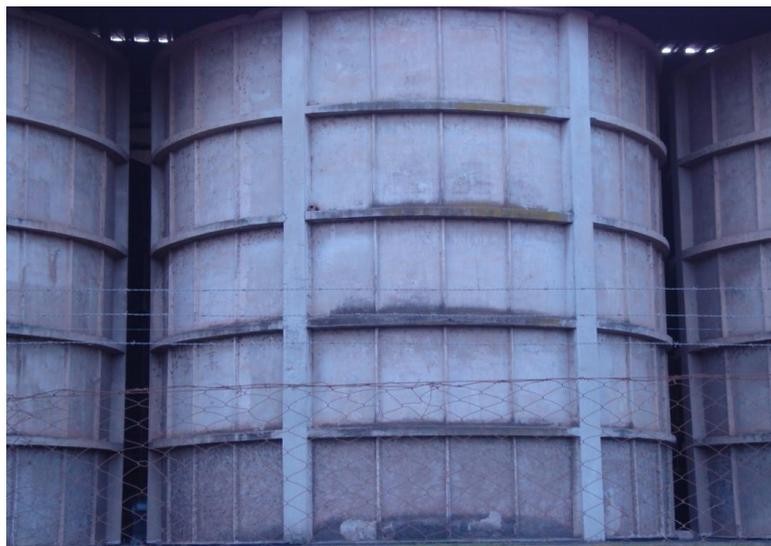


Figura 2.07 - Silo de concreto armado.

[Fonte: Do autor, 2011].

b) Silos metálicos

Segundo Calil & Cheung (2007), os silos metálicos são finas estruturas em casca. Estas estruturas, geralmente, respondem flexivelmente às altas e localizadas pressões do produto armazenado.

Estes sistemas de construção baseiam-se fundamentalmente na pré-fabricação (figura 2.08) de chapas com conformação a frio que introduzem rigidez transversal ao sistema através de funcionamento como membrana. Porém, a resistência à compressão é diminuta, o que é contrabalanceado com o enrijecimento longitudinal que é obtido por introdução de perfis longitudinais.

Na fronteira oeste do Estado do Rio Grande do Sul, a grande maioria dos silos executados atualmente, é metálica, pois tem a vantagem sobre os demais sistemas construtivos, de necessitarem de obras civis mais simples, reduzindo o tempo de execução para sua utilização.



Figura 2.08 - Montagem da estrutura metálica.

[Fonte: Do autor, 2008].

c) Silos de madeira

Os silos de madeira são geralmente estruturas de armazenagem de pequena capacidade, construídos em fazendas com a finalidade da solução para o armazenamento da produção do pequeno agricultor. Sua execução é manual e suas ligações são executadas com parafusos e pregos. A cobertura pode ser realizada com telhas de fibrocimento, alumínio, zinco, etc.

Em função da dificuldade de conservação e da possível contaminação do grão por pragas, são de uso muito restrito hoje em dia.

d) Galpão graneleiro

Os armazéns graneleiros são estruturas armazenadoras horizontais, de grande capacidade e formados por vários septos.

Historicamente, estas estruturas representam uma grande contribuição para as lavouras extensivas, que é o caso da região da Fronteira Oeste do estado do Rio grande do Sul. Os projetos deste tipo de estrutura se adaptam às condições de cada local e, por isso, são uma solução econômica para o armazenamento de grãos.

Por suas características e simplicidade de construção (figura 2.09), representam um investimento menor que a construção de silos, para uma mesma tonelagem estocada, ainda são muito utilizados, mas nesta região do estado têm sido preteridos os silos metálicos, em função do maior tempo de execução, dificuldade de aeração do grão estocado e fácil infestação por pragas.

Podem ter os seguintes tipos de fundos:

- Fundo plano com túnel e aeração;
- Fundo plano com túnel e aeração;
- Fundo V com túnel e aeração;
- Fundo semi V com túnel e aeração.



Figura 2.09 - Execução de graneleiro, com fundo V, para estocagem de soja.

[Fonte: Do autor, 2011].

Como os silos metálicos são os mais encontrados na região, faz-se necessário descrever melhor os sistemas de fundações ou bases empregados.

2.3 CLASSIFICAÇÃO DAS BASES ANALISADAS

Os silos metálicos necessitam de fundações em concreto a fim de permitir a montagem da chaparia. Estas fundações ou bases podem ter diferentes funcionamentos estruturais e distintos processos de execução, assim, são descritas na seqüência os tipos de bases mais encontrados na região.

2.3.1 BASES EM RADIER

Segundo a norma brasileira de fundações, a expressão radier deve ser usada apenas quando uma fundação superficial associada recebe todos os pilares da obra. Contudo, é comum o seu emprego para estruturas que não tenham pilares, mas contem com uma fundação em laje apoiada diretamente sobre o solo. Por exemplo, as lajes de fundação para moradias populares costumam ser denominadas como raders mesmo não havendo pilares.

O radier (figura 2.10) é uma fundação direta que engloba todas as cargas que chegam à fundação sobre uma única placa de concreto armado. Para a adoção desta solução deve-se ter um terreno com elevada resistência e baixa deformabilidade, ou seja, de alta capacidade de suporte, de maneira que o mesmo possa absorver e redistribuir os carregamentos da estrutura sem sofrer deformações excessivas. Segundo Velloso (2004), os raders devem ser adotados quando:

- As áreas das sapatas se aproximarem umas das outras, ou mesmo se interpenetrarem;
- Se desejar uniformizar os recalques (através de uma fundação associada);
- A área total das sapatas for maior que a metade da área da construção.

Segundo Lübeck (2010) as bases de silo podem ser executadas em lajes de radier em função da quase uniformidade de carga e da necessidade de uniformizar os recalques. O mesmo coloca que nesta região do estado foram executadas dezenas de bases com essa tipologia, contudo, reitera que o sucesso deste tipo de

base depende da elevada capacidade de suporte do solo de substrato e, assim, pode não ser indicada para outras regiões do Rio Grande do Sul.



Figura 2.10 - Bases executadas no sistema radier circular.

[Fonte: Lübeck, 2010].

2.3.2 SISTEMA COM VIGA CIRCULAR E LAJE

Estas bases são executadas com uma viga circular externa desligada da laje central. A viga tem por finalidade suportar e dar sustentação à estrutura metálica que envolve o silo. Já a laje central tem por função suportar o peso do grão armazenado.

Ainda sobre os carregamentos, cerca de 15% da carga total do silo é descarregada por atrito sobre as paredes, o restante é apoiado diretamente sobre a laje. Assim, este tipo de fundação também é dependente de um substrato com elevada capacidade de suporte. Na região noroeste do estado, muitas vezes são executadas lajes de fundo estaqueadas a fim de dar maior capacidade de carga ao conjunto.

A execução deste sistema (figura 2.11) deve ser realizada em etapas, iniciando pela montagem das formas, ferragem e concretagem do anel externo e só após a desforma deste, se executa a laje central. Cabe destacar que os fabricantes de silo, sugerem em seus projetos básicos que este sistema seja o adotado, pois, ao desvincular a laje de fundo da viga circular, fica garantido que recalques da primeira, não aparecerão na chaparia externa do silo, ficando, assim, sua aparência garantida.



Figura 2.11 - Base de silo em concreto armado Viga x Laje.

[Fonte: Do autor, 2010]

Capítulo 3

3. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

Conforme Helene (1992) a patologia pode ser entendida como a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema.

No estudo dos defeitos e dos sintomas patológicos das estruturas de concreto, muito se pode aprender sobre falhas de concepção, de análise, de construção e de utilização destas edificações (SOUZA & RIPPER, 1998).

Para uma correta interpretação dos problemas patológicos nas estruturas é necessária uma compreensão sobre vários conceitos e assuntos que se relacionam às patologias e serão apresentados na seqüência.

3.1 CONCEITUAÇÕES RELACIONADAS ÀS PATOLOGIAS EM EDIFICAÇÕES

Com o crescimento acelerado da construção civil, novas técnicas construtivas e inovações tecnológicas estão surgindo, e com elas a aceitação de maiores riscos pela sociedade (SOUZA & RIPPER, 1998). Com isso, torna-se necessário ampliar o acervo científico sobre aparecimento de problemas, ou seja, as manifestações patológicas (MP) em construções. Antigamente preocupava-se apenas com problemas que pudessem gerar colapso nas estruturas, sem se preocupar com aspectos sensoriais, tais como, deformações e vibrações

O termo Manifestações Patológicas, faz uma analogia à medicina, porém tratando de problemas em edificações, objetivando estudar as causas, origens, mecanismos de ocorrência, métodos preventivos e corretivos, conseqüências e suas fases nas estruturas, que ficam abaixo das expectativas das construções.

O Estudo das MP, nas estruturas não é apenas a identificação de anomalias na construção, mas sim um fator importante na concepção de projetos, e deve estar sempre presente na formação de um engenheiro civil. A necessidade de reabilitar e manter estruturas já existentes leva a avaliação, em caráter de segurança, da utilização e vida útil, como dados fundamentais.

Os problemas patológicos estão presentes na maioria das edificações, em especial nas unidades armazenadoras, seja com maior ou menor intensidade,

variando o período de aparição e/ou a forma de manifestação. (ABNT NBR 8681/1984). Segundo Lichtenstein (1985 *apud* Antonizazzi, 2008), as patologias podem apresentar-se de forma simples, sendo assim, de diagnóstico e reparo evidentes ou, então, de maneira complexa, exigindo uma análise individualizada. As formas patológicas encontradas com maior frequência são infiltrações, fissuras, corrosão da armadura, movimentações térmicas, deslocamentos ou recalques, entre outros.

Considerando os inconvenientes provocados pelo aparecimento de MP, fica clara a importância de serem evitadas ou controladas, nas várias etapas da vida útil de uma estrutura. Na busca de soluções para estes problemas, devem-se identificar as causas e mecanismos responsáveis pelo desempenho insatisfatório das construções.

3.2 DURABILIDADE E VIDA ÚTIL

A durabilidade do concreto é definida como sua capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão, ou qualquer outro processo de deterioração, isto é, o concreto durável, conservará sua forma original, qualidade e capacidade de utilização quando exposto ao meio ambiente.

Por sua vez, Del Mar (2007) conceitua a vida útil como um período de tempo durante o qual o produto pode ser utilizado sob condições satisfatórias de segurança, higiene e saúde, desde que adequadamente seja cumprido o programa de manutenção especificado, além de feitas as manutenções preventivas e corretivas necessárias.

A vida útil de um projeto (VUP) é a manifestação, previamente expressa de quanto deve durar um bem adquirido. Segundo Sabbatini (2007), pode ser avaliada através da verificação do cumprimento das exigências estabelecidas em normas brasileiras que estejam relacionadas com a durabilidade dos componentes empregados na construção do edifício, na inexistência de normas brasileiras através do cumprimento das exigências estabelecidas em normas estrangeiras específicas e coerentes com os componentes empregados na construção, por análise de campo, através de inspeção em protótipos e edificações ou pela análise dos resultados obtidos em estações de testes de durabilidade.

A VUP pode ser prolongada por ações de manutenção (figura 3.01), e caberá ao usuário realizá-la integralmente visando atingir o tempo de vida útil.

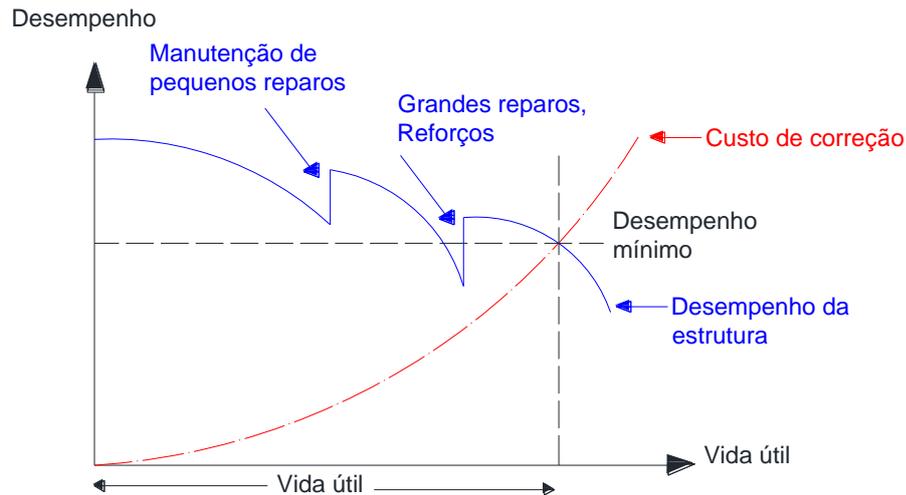


Figura 3.01 - Fases do desempenho de uma estrutura durante a sua vida útil.

[Fonte: Del Mar, Carlos Pinto, 2007].

Para correta compreensão da durabilidade e vida útil é necessário realizar uma associação entre os dois conceitos. É necessário conhecer, ou estimar, as características de deterioração do material concreto e dos sistemas estruturais constituintes da estrutura em análise, para assim poder relacionar parâmetros de durabilidade para uma construção, definindo assim a vida útil da obra. Durante a execução de cada fase de um empreendimento é necessário um planejamento e uma série de cuidados na aplicação e utilização de cada insumo e material da estrutura, a fim de obter o melhor desempenho ao longo da vida útil.

De acordo com Souza & Ripper (1998), deve-se entender que a concepção de uma construção durável implica a adoção de um conjunto de decisões e procedimentos que garantam à estrutura e aos materiais que a compõem um desempenho satisfatório ao longo da vida útil da construção.

3.3 DESEMPENHO

Sabe-se que o concreto, como material de construção, possui ao longo do tempo, alterações de suas propriedades físicas e químicas em função das características de seus componentes e das respostas destes às condicionantes do meio ambiente. Estes processos provocam alterações que podem comprometer o desempenho de uma estrutura, ou material, costuma-se chamar deterioração (SOUZA & RIPPER, 1998).

Entende-se por desempenho o comportamento em serviço de uma construção ou produto, ao longo de sua vida útil. O trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção, interferem diretamente neste comportamento.

Quando há intervenção através de um plano de manutenção, conforme mostrado na figura 3.02, a estrutura se recupera, voltando a seguir a linha de desempenho acima do mínimo exigido para sua utilização.

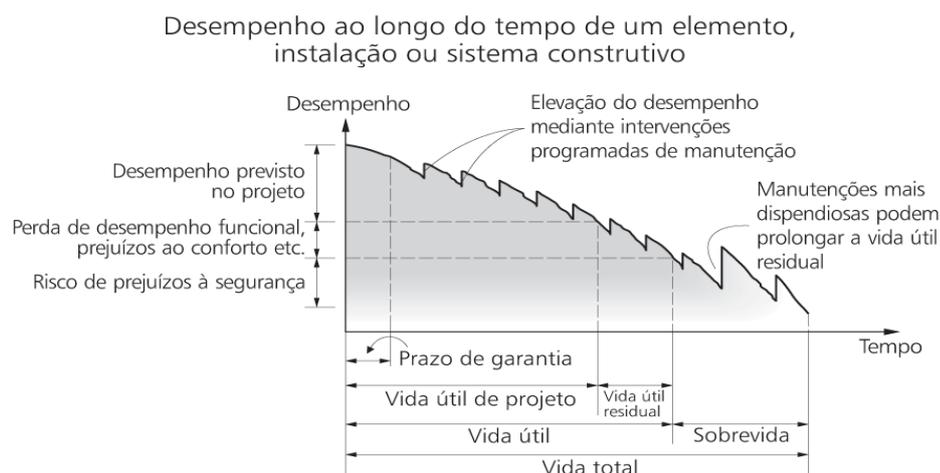


Figura 3.02 – Desempenho ao longo do tempo de uma instalação, elemento, etc.

[Fonte: Del Mar, 2008]

3.4 MANUTENÇÃO

Manutenção de uma estrutura é o conjunto de ações necessárias à garantia do seu bom desempenho ao longo do tempo, ou seja, um conjunto de rotinas que tenham por finalidade prolongamento da vida útil da obra, a um menor custo.

Para aumentar o tempo de vida útil de uma determinada estrutura é necessário seguir um programa de manutenção, que em termos de responsabilidade cabe ao usuário final, contribuindo assim para um bom desempenho, ou durabilidade da obra.

Segundo Picchi (1993) uma das maneiras de minimizar a ocorrência de patologias é a criação de um sistema de controle de qualidade em todas as etapas de uma construção, para assim poder-se mapear de maneira significativa os processos envolvidos, o que pode auxiliar em futuras avaliações corretivas.

Além da avaliação do projeto e da execução, é importante avaliar a busca pela qualidade no processo de conservação das edificações, que conforme a ABNT NBR 14037/1998, é uma das metas que nos últimos anos vem impulsionando a

introdução de significativas mudanças na construção civil. Da mesma forma que em outros ramos da construção civil, nas instalações de armazenagem pode-se buscar a elaboração de um “Manual de operação, manutenção e uso” em estruturas dentro do tema em estudo, pois aplica definições como, componentes, durabilidade, equipamentos, inspeções, manutenção, vida útil e outros.

Os custos com um ou mais sistemas de manutenção variam de acordo com a localização da obra e meio ambiente em que esta inserida. Assim, devem-se criar mecanismos de manutenção bem definidos desde a fase de projeto, de modo que seja estabelecido um trabalho que siga padrões mínimos de envolvimento do proprietário, como:

- Cadastramento das fases de manutenção;
- Inspeções periódicas;
- Inspeções condicionais;
- Serviços de limpeza;
- Reparos de pequena monta;
- Reparos de grande monta;
- Reforços, quando necessário.

3.5 PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Entendidos os conceitos quanto à durabilidade pode-se partir para o estudo das principais patologias em estruturas de concreto. Contudo, como estas são muitas, dar-se-á atenção apenas as possíveis de ocorrer em bases de silo, que são o foco deste trabalho.

Os materiais mais utilizados na construção de estruturas são o aço, a madeira e o concreto. Piancastelli (1997) salienta que no Brasil, a maioria das estruturas foi, e ainda são executadas em concreto armado. Essa tradição aliada à grande praticidade do material faz com que as bases de silo sejam em sua maioria executadas em concreto armado.

Para ser possível fazer uma análise das patologias nas estruturas, é necessário conhecer as formas de manifestações, os problemas de surgimento, os agentes desencadeadores e em que etapa da vida da estrutura foi criada a predisposição. Para realizar um correto diagnóstico do problema pode-se seguir a proposição de Piancastelli (1997) que sugere o fluxograma da figura 3.03.

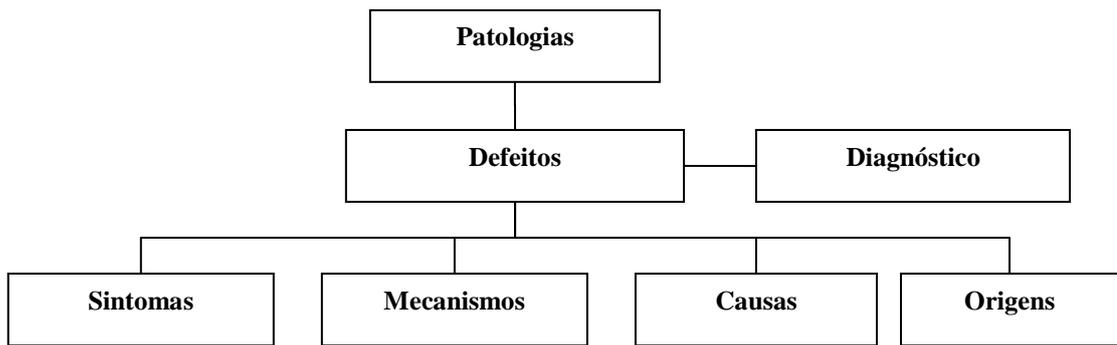


Figura 3.03 – Fluxograma para conhecimento de defeitos – diagnóstico.

[Fonte: Piancastelli,1997].

3.5.1 Diagnóstico

Diagnóstico é o entendimento de um quadro geral de fenômenos e manifestações dinâmicas (enfermidades), implicando no conhecimento dos sintomas, mecanismos, causas e origens.

Piancastelli (1997) referencia o diagnóstico como a fase mais importante do processo. Um diagnóstico errado implica em intervenções equivocadas, e ainda dificultam análises e estudos futuros.

Para melhor interpretação das manifestações patológicas é necessário o conhecimento dos fatores que podem levar as edificações à degradação e à ruína, bem como, o entendimento dos mecanismos que fazem parte deste processo e os danos já causados (SCHULER & FEIBER 2007).

O diagnóstico da situação de deterioração engloba a análise de:

- Estruturas;
- Componentes;
- Elementos integrados.

Para fazer um diagnóstico correto é necessário um aprofundado conhecimento sobre as características dos materiais e dos sistemas construtivos. Além disso, é necessário compreender o comportamento dos mesmos, sob as mais diversas situações ambientais, como umidade, presença de sais, grandes amplitudes térmicas, exposição à poluição, etc.

3.5.2 A ORIGEM DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

A origem de uma patologia está relacionada com a etapa da vida da estrutura que foi criada a predisposição para que agentes (causas) desencadeassem seu processo de formação (mecanismo).

Carmona & Marega (1998), divulgam uma estatística retratando os problemas comuns no país onde conseguiram classificar as incidências de acordo com sua origem de ocorrência. Para isso, realizaram uma análise em 527 casos, verificando a porcentagem de causas. A figura 3.04 resume a distribuição relativa das causas para o caso do Brasil.



Figura 3.04 - Incidência das Origens das Patologias no Brasil.

[Fonte: Carmona & Marega, 1998].

O concreto armado, conforme Piancastelli (1997) é um material não inerte que está sujeito a alterações, ao longo do tempo, em função de interações entre seus elementos constitutivos (cimento, areia, brita, água e aço) ou com materiais que lhe são adicionados (aditivos), além de agentes externos (ácidos, bases, sais, gases, vapores, microorganismos e outros).

O surgimento de problemas patológicos pode ter origem em qualquer fase do processo construtivo, desde o planejamento, projeto, processo executivo, administrativo, compra de materiais, execução e uso. A perfeita identificação da fase responsável é difícil, pois a patologia pode ser atribuída a uma série de fatores combinados e não apenas a um deles isoladamente.

Conforme Cavalheiro (1992, *apud* Silva 2006), existem quatro razões para o aparecimento de defeitos em estruturas:

- Evolução tecnológica dos materiais, dos sistemas construtivos, que tornam as estruturas mais flexíveis, que possibilitam o surgimento de patologias devido à maior capacidade de absorção de movimentos, sem causar colapso;
- Velocidade de construção, ou controle de qualidade inadequado ou inexistente;
- Formação deficiente de profissionais;
- Deficiência de normalização sobre o assunto e manutenção inadequada ou também inexistente.

Segundo Helene (1992), os agentes causadores das patologias podem ser vários, como: cargas, variações de umidade, variações térmicas intrínsecas e extrínsecas ao concreto, agentes biológicos, incompatibilidade dos materiais, agentes atmosféricos, entre outros.

É importante salientar que o quanto antes forem detectadas as manifestações patológicas, menor será o custo de sua terapia, evitando, assim, maiores perdas em manutenções. Segundo Sitter (1984, *apud* Helene, 1992), adiar uma terapia significa aumentar os custos numa progressão geométrica de razão igual a cinco (figura 3.05). Em indústrias onde a interrupção dos serviços gera grandes perdas econômicas, as paradas para recuperação de estruturas danificadas geram um grande transtorno.

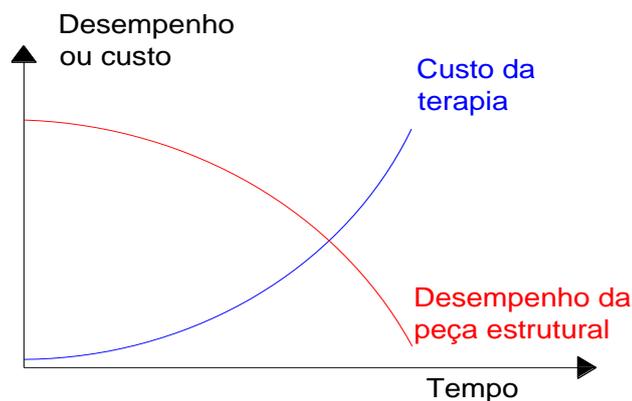


Figura 3.05 – Lei de evolução de custos.

[Fonte: Piancastelli, (SITTER, 1984 CEB-RILEM)].

Para se obter uma redução significativa de custos em uma edificação, deve-se considerar vários fatores. Para isso, é importante conhecer todas as fases de origem das enfermidades em estruturas de concreto, que podem ser:

a) Patologias na fase de projeto

Segundo Souza & Ripper (1998), são possíveis várias falhas durante a fase de concepção de uma estrutura. Elas podem se originar durante o estudo preliminar, na execução do anteprojeto, ou durante a elaboração do projeto executivo, também chamado de projeto final de engenharia. Elas apresentam dois aspectos distintos:

- I. As dificuldades técnicas e o custo para solucionar um problema patológico originado de uma falha de projeto são proporcionais à antiguidade da falha, quanto mais cedo nesta fase da construção, a falha tenha ocorrido.
- II. Uma falha ocorrida no estudo preliminar, ou de anteprojetos equivocados, que gera um problema cuja solução é muita mais complexa e onerosa, causando transtornos relacionados à utilização da obra, enquanto que falhas de projeto final são responsáveis por problemas sérios, como:
 - Elementos de projetos inadequados (escolha errada do modelo analítico, deficiência de cálculo, erro de combinações de ações, etc).
 - Falta de compatibilização entre a estrutura e a arquitetura e demais projetos civis;
 - Especificação inadequada de materiais;
 - Detalhamento insuficiente ou errado;
 - Detalhes construtivos inexecutáveis;
 - Falta de padrão de representações (convenções);
 - Erros de dimensionamento;

É comum, principalmente em grandes obras as quais envolvem muitos projetos, ocorrerem erros de compatibilidade entre os mesmos, isto é, não há uma concordância entre projetos estrutural, arquitetônico, de fundação, instalações elétricas, hidrossanitário, etc. Também pode ocorrer de projetos conterem informações erradas e/ou falhas não percebidas na sua elaboração, o que acaba conduzindo a erros (ANTONIAZZI, 2008).

b) Patologias na fase de execução

Essa fase só deve ser iniciada após o término da etapa de concepção, com a conclusão e conferência de todos os projetos da edificação, evitando assim problemas na execução causados por falhas de projeto. Mas o que se verifica é que isso raramente ocorre. E, durante essa etapa, ocorrem mudanças nos projetos sob alegação de serem necessárias simplificações construtivas, que acabam gerando erros.

Nesta fase, podem ocorrer falhas das mais diversas naturezas, associadas a causas tão diversas como a falta de condições locais de trabalho, não capacitação profissional da mão-de-obra, inexistência de controle de qualidade de execução, má qualidade de materiais, irresponsabilidade técnica e até mesmo sabotagem (SOUZA & RIPPER, 1998).

Para evitar falhas na fase de execução, é importante a presença de gestão no controle e coordenação da produção da mão-de-obra e dos materiais utilizados, gerindo a construção por meio de procedimentos padronizados, racionalizados e eficientes e eficazes.

Antoniazzi (2008) descreve a composição dos operários que trabalham em obras civis, na sua grande maioria, por pessoas de classe baixa, sem conhecimento técnico e instrução, que adquirem seu aprendizado na própria obra, baseado nas imitações e na tentativa. A baixa qualificação desta mão-de-obra aliada à vasta carga horária e baixa remuneração da classe ocasiona uma baixa produtividade e serviços mal executados, que acabam abrindo espaço para patologias.

c) Patologias devido à má qualidade ou emprego inadequado dos materiais

Com o desenvolvimento de novos materiais para a construção civil, pode ocorrer ineficiência de produtos devido a não utilização correta descrita pelo fabricante, ou emprego errado do mesmo.

A utilização de materiais de má qualidade normalmente ocorre por economia, seja ela inescrupulosa ou não.

É de vital importância, cuidados na utilização de materiais similares ou equivalentes aos especificados, pois podem ocorrer problemas por não possuírem as mesmas características necessárias para a função a desempenhar.

O emprego inadequado dos materiais ocorre geralmente por desconhecimento técnico e, às vezes, por economia, como no caso da utilização da sobra de um material em funções para as quais seu desempenho é desconhecido ou deficiente (PIANCASTELLI, 1997).

São comuns as patologias originadas na qualidade inadequada de materiais e componentes. A menor durabilidade, os erros dimensionais, a presença de agentes agressivos incorporados e a baixa resistência mecânica são apenas alguns dos muitos problemas que podem ser gerados pela baixa qualidade.

d) Patologias na fase de utilização

Conforme Souza (1988 *apud* Silva, 1996), a edificação deve ser vista como um equipamento mecânico, ou seja, para se ter bom desempenho deve ter manutenção eficiente. Em muitos casos, o proprietário, maior interessado em que a estrutura tenha bom desempenho passa a ser, por desleixo ou ignorância, o agente de desgaste agravando a deterioração em níveis mais elevados. Portanto os problemas gerados nesta etapa são basicamente causados por utilização errônea ou por falta de manutenção adequada.

O uso inadequado e/ou operação incorreta de uma edificação, geralmente, pode ser atribuída à ignorância técnica do usuário (LICHTENSTEIN, 1985). Ocorre geralmente em função de:

- Acréscimo de sobrecarga em função da utilização para fins diferentes daqueles para os quais foram projetados;
- Aumento das solicitações em função da ocorrência de cargas superiores as definidas, no projeto original;
- Alterações estruturais indevidas, em função de reformas;
- Alterações, nas reformas, de materiais de revestimento.

e) Patologias por sinistros ou causas fortuitas

Segundo Piancastelli (1997), os efeitos negativos de enchentes, incêndios, acidentes com veículos, terremotos e furacões sobre as estruturas, são, em geral, de grande amplitude. À exceção dos incêndios, os danos nos demais sinistros ocorrem basicamente em função do aumento das solicitações nas estruturas.

Nos incêndios, os danos na estrutura são devidos a:

- Dilatação das peças durante sua ocorrência;
- Retração das mesmas após o término;
- Dilatação da armadura;
- Efeitos sobre o concreto;
- Efeitos sobre o aço.

f) Patologias devido à manutenção imprópria

A falta de manutenção, ou execução imprópria pode causar uma série patologias, suas origens são principalmente:

- Limpeza com a utilização de produtos agressivos ao concreto armado;
- Ausência de limpeza (depósito de fuligem, fungos, empoçamento d'água, etc.);
- Não execução de operações de manutenção de conhecimento geral (pinturas e impermeabilização);
- Ausência de inspeções periódicas para a detecção de sintomas patológicos;
- Adiamiento de operações de reparo, recuperação e reforço.

3.5.2 MECANISMOS E AGENTES DE DEGRADAÇÃO

Os mecanismos e agentes descritos na seqüência foram elaborados a partir dos trabalhos de Schuler & Feiber (2007), Lima (2009) e Lersch (2003). Para melhor diagnosticar as patologias em edificações é necessário possuir um conhecimento dos fatores que podem levá-la à degradação, bem como o entendimento dos mecanismos que fazem parte deste processo e os danos já causados.

Desse modo, é de grande importância uma compreensão sobre os agentes abaixo listados:

b) Agentes ambientais e climáticos

É o grupo de características de exposição relacionado ao ambiente natural: radiação, chuva e outras formas de água como vapor e gelo, além dos componentes do ar. Os diferentes tipos de climas propiciam diferentes tipos de patologias:

- O clima quente e úmido

A presença de água costuma acelerar os processos de deterioração dos materiais, e as altas taxas de umidade, em conjunto com o calor, propiciam o surgimento de microorganismos e a ação dos insetos;

- O clima quente e seco

Determina as grandes amplitudes térmicas, o que acaba sendo o principal fator de degradação neste clima. São impostas grandes exigências aos materiais, em relação à plasticidade e a capacidade de expansão e contração. O resultado disso é o surgimento de descontinuidades, principalmente nas superfícies dos edifícios;

- O clima frio

No clima frio os principais problemas dizem respeito à condensação de vapor de água sobre os materiais e ao congelamento da água presente no material.

- Radiação solar

A componente ultravioleta (UV) da radiação deixa os materiais desbotados e quebradiços; o aquecimento das superfícies causará a dilatação e contração, que com o passar do tempo e diminuição da plasticidade dos materiais, poderá causar descontinuidades (fissuras). Além disso, quando as superfícies são constituídas por materiais diversos, é comum que os materiais apresentem comportamentos distintos quanto à dilatação, o que novamente determinará o aparecimento de fissuras.

- Ventos

Pode colaborar com a degradação das edificações determinando a entrada de umidade, através da pressão que exerce o que acontece principalmente na chuva dirigida. O ar é constituído por diversas substâncias, existente naturalmente na composição do mesmo ou pelas atividades humanas. Alguns dos componentes do ar que podem trazer efeitos danosos para a edificação são: os óxidos de enxofre, os cloretos (sais), o pó e fuligem.

Outra possibilidade são as tormentas, onde as altas velocidades do vento resultam em grandes esforços que podem danificar ou até mesmo, destruir as estruturas.

- Água

A água é um dos principais agentes responsáveis pelo aparecimento de patologias em todos os tipos de edificações. Ela se origina de formas distintas, bem como gera diferentes tipos de patologias.

Mecanismos de deslocamento da água nos materiais:

- Vapor d'água: difusão e convecção;
- Água em estado líquido: capilaridade e forças externas.

Segundo Queruz (2007 *apud*, Müller 2010) a água pode ser vista tanto como um agente de degradação quanto como um meio para a aparição de outros agentes, mas é certamente, uma das maiores causadoras de patologias, em todos os seus estados.

c) Agentes biológicos

Biodeterioração é um conceito amplo aplicado para as mudanças indesejáveis produzidas por atividades normais de organismos vivos sobre as propriedades dos materiais. Os estudos relacionados à biodeterioração procuram auxiliar na compreensão dos fenômenos químicos e bioquímicos que levam a degradação dos materiais das edificações. Entes agentes podem ser desde:

- Microorganismos

Os principais microorganismos que agem na biodeterioração das edificações são as bactérias, os fungos, as algas e os líquens.

As bactérias e os fungos se alimentam da matéria orgânica. Sendo assim, a madeira é um dos principais pontos de ataque desses elementos.

Os fungos se reproduzem por esporos, que são levados pelo ar, ou seja, a partir de um esporo pode germinar um novo fungo.

- Vegetação

A vegetação se desenvolve onde encontra um substrato adequado ao seu crescimento. Os danos relacionados à vegetação estão relacionados ao próprio edifício e ao seu entorno. Nas duas situações a vegetação pode ter surgido de modo intencional ou não.

Um exemplo de vegetação não intencional que age diretamente sobre a edificação é aquela que cresce devido ao acúmulo de pó e matéria orgânica em reentrâncias da edificação, causando danos estruturais, desagregação no revestimento e fissuras que constituirão um caminho direto para a umidade.

- Insetos

Os insetos que mais causam danos às edificações são as formigas e os insetos Xilófagos, como carunchos e cupins.

Os mecanismos que geram degradação são diferentes para cada tipo de inseto. As formigas, por exemplo, podem formar uma rede de túneis subterrâneos, que podem vir a determinar recalques nas fundações ou afundamento nos pisos. Também incidem em outros elementos da edificação, como as regiões próximas a marcos e pisos, podendo provocar a degradação das argamassas.

- Animais de pequeno porte

Os principais animais de pequeno porte que colaboram com a degradação das edificações são os ratos, os morcegos e os pombos. Os ratos e outros roedores podem danificar as alvenarias para fazer suas tocas e ninhos, ou se alojarem junto a pequenas fendas sob a edificação. O principal perigo de degradação refere-se ao ataque aos sistemas elétricos e hidráulicos das edificações, que em colapso podem causar incêndios e inundações.

Os morcegos costumam ocupar os forros das edificações, formando ninhos nesses locais. Geram a contaminação desses espaços através de suas fezes e urina, que possui extremo mau cheiro.

As aves de uma forma geral podem ocasionar a quebra de ornamentos, o deslocamento de telhas e bloquear calhas. Os excrementos das aves além de sujar

as fachadas podem, quando em contato com a água, gerar reações químicas que provocam o manchamento permanente da superfície.

d) Agentes incidentes da natureza

Constituem fenômenos incidentais terremotos, maremotos, avalanches, erupções vulcânicas, deslizamentos de terra, ciclones, maremotos, tufões e tornados.

Os tipos de danos causados por esses agentes são devastadores, provocando a ruína imediata da edificação.

No Brasil o principal problema incidente são as inundações, que além dos problemas imediatos, como a ruína, gera problemas em longo prazo pela umidade a que os materiais são expostos. No entanto, no sul do país, são comuns as tormentas com grandes vendavais.

e) Ações do uso do homem

Os danos causados pelo homem classificam-se em cinco categorias:

- Desgaste ao uso;
- Falta de conservação preventiva;
- Intervenções indevidas;
- Desenvolvimento urbano;
- Vandalismo.

3.5.3 PRINCIPAIS SINTOMAS E CAUSAS DAS PATOLOGIAS EM BASES

Os sintomas são as manifestações patológicas das enfermidades. É a partir deles que se inicia todo o processo de averiguação das causas e origens do fenômeno, que é fundamental para fazer um diagnóstico correto.

As causas das enfermidades são os “agentes” que desencadeiam o seu processo de surgimento.

Piancastelli (1997) descreveu os sintomas e causas das principais patologias em estruturas de concreto armado, que servem como base para análise de enfermidades.

I. Fissuras

As fissuras são os sintomas mais freqüentes nas estruturas sendo suas causas, as mais diversas, e de diagnóstico difícil. Ocorrem no concreto sob ações mecânicas ou físico-químicas. Os principais indicadores das causas são relacionados quanto à abertura, a direção, espaçamento e a forma de evolução.

Dal Molin (1988) classifica as fissuras, devido à impossibilidade de ensaios em laboratório e documentos analisados, em dois grupos: fissuras devido aos materiais constituintes ou falhas construtivas, quando são abordadas as causas relativas ao assentamento plástico, dessecação superficial, retração por secagem e retração térmica externa e no segundo grupo as fissuras decorrentes de cargas estruturais.

As fissuras podem acontecer por diversas causas, tais como:

- Sobrecargas;
- Movimentação térmica;
- Retração por secagem;
- Dessecação;
- Assentamento plástico;
- Eletrodutos;
- Fundações;
- Detalhes construtivos.

Segundo Mazer (2011) na análise deste sintoma, deve-se levar em conta que nem todas as manifestações devem ser consideradas como fissuras, elas recebem uma nomenclatura específica em função da abertura que apresentam o que pode ser verificado no quadro 3.01.

TIPO DE LESÃO	ABERTURA
Fissura	até 0,5 mm
Trinca	de 0,5 mm a 1,5 mm
Rachadura	de 1,5 mm a 5 mm
Fenda	de 5 mm a 10 mm
Brecha	acima de 10 mm

Quadro 3.01 - Classificação das lesões em função da dimensão da abertura.

[Fonte: Mazer 2011].

A busca pela causa do aparecimento de fissuras normalmente está associada à peça em que estas se manifestam sua conformação e forma e dimensões. Por exemplo, as movimentações térmicas em pisos externos, representam um fator preponderante no desenvolvimento de fissuras (figura 3.06) ou destacamento do revestimento, particularmente no caso de pisos com grandes áreas, com formas muito alongadas ou com cores muito escuras (MAZER, 2011).



Figura 3.06 – Fissuras em piso devido à movimentação térmica.

[Fonte: Mazer (2010)].

II. Desagregação

A desagregação é caracterizada pela perda do poder aglomerante do cimento. Com isso, os agregados graúdos se destacam da argamassa, que posteriormente também se desfaz. A desagregação inicia-se, geralmente, com a alteração da coloração do concreto. A seguir surgem fissuras cruzadas em todas as direções, que

aumentam rapidamente de abertura, devido à expansão da pasta de cimento. Um abaulamento da superfície do concreto pode também ser observado. A desagregação do concreto pode ser provocada por:

- Ataques químicos, como o de sulfatos;
- Reação álcali-agregado;
- Águas puras (águas que evaporam e depois condensam) e as águas com pouco teor de sais (águas de chuva), que arrancam-lhe sais pelos quais são ávidas;
- Águas servidas (esgotos e resíduos industriais) em dutos e canais, em função da formação, dentre outros, do gás sulfídrico (H_2S . Bactérias. H_2SO_4);
- Micro-organismos, fungos, e outros, através de sua ação direta e suas excreções ácidas;
- Substâncias orgânicas como: gorduras animais, óleos e vinho;
- Produtos altamente alcalinos (mais raramente).

Existe também a desagregação da argamassa superficial do concreto, em função do uso de formas absorventes que retiram a água necessária para a hidratação do cimento (melhor seria, nesse caso, falar de “não agregação”).

Na figura 3.07, nota-se um exemplo de desagregação, onde a corrosão provoca o inchamento do aço presente no concreto e destruição do concreto que o envolve.



Figura 3.07– Desagregação do concreto devido à corrosão de armadura.

[Fonte: Rachid (2010, *apud* Lima, 1999)]

III. Segregação do concreto

Piancastelli (1997) define a segregação como a separação entre argamassa e a brita, podendo ocorrer durante ou logo após o lançamento do concreto. Ela pode ser provocada, entre outras causas por:

- Lançamento livre de grande altura;
- Concentração de armadura que impedem a passagem da brita;
- Vazamento da pasta da forma;
- Má dosagem do concreto;
- Uso inadequado de vibradores;

Esta patologia é de fácil percepção (figura 3.08), e suas causas estão diretamente relacionadas ao desconhecimento de normas, que se seguidas corretamente, reduziriam significativamente este problema, o qual compromete diretamente a resistência e durabilidade.

Entre estas normas podem-se citar as listadas abaixo:

- A NBR 14931 (ABNT, 2004) recomenda cuidados, quanto à altura da queda livre do concreto e dimensões da seção transversal dos elementos estruturais lineares e para espessura de elementos de superfície, para que se elimine ou reduza a segregação entre seus componentes (quadro 3.02);

Dimensões (a) cm	Tolerância (t) mm
$a \leq 60$	± 5
$120 < a \leq 250$	± 7
$61 < a \leq 120$	± 10
$a > 250$	$\pm 0,4 \% \text{ da dimensão}$

Quadro 3.02 – Tolerâncias dimensionais para seções transversais de elementos estruturais lineares e para espessura de superfície.

[Fonte: NBR 14931 ABNT, 2004].

- A NBR-6118 – dimensão máxima característica do agregado $< \frac{1}{4}$ da menor distância entre as faces das fôrmas;
- A NBR-6118 – O espaçamento mínimo livre (espaçamento) entre as faces das barras longitudinais, medido no plano da seção transversal, fora da região de emendas, deve ser igual ou superior ao maior dos seguintes valores:
 - 20 mm;

- diâmetro da barra, do feixe ou da luva;
 - 1,2 vez a dimensão máxima característica do agregado graúdo.
- Para feixes de barras, deve-se considerar o diâmetro do feixe.
- A NBR-6118 – afastamento da armadura deve ser:
 - D max. $\leq 0,833$ espaçamento horizontal;
 - D max. $\leq 2,00$ espaçamento vertical;



Figura 3.08 – Exemplo de segregação em pilar de uma edificação.

[Fonte: Thomaz, 2010].

IV. Deformações exageradas

Deslocamentos verticais de vigas e lajes acima de valores razoáveis (recomendados em cálculo de deslocamento limite pela NBR 6118/04 p. 66-70), normalmente provocados, entre outros por: cargas excessivas, subdimensionamento, desforma precoce, baixo módulo de elasticidade do concreto e incêndios (PIANCASTELLI, 1997).

Vigas e lajes deformam sob (figura 3.09) a ação do peso-próprio, das demais cargas permanentes e acidentais e mesmo sob o efeito da retração e da deformação lenta do concreto. Os componentes estruturais admitem flechas que podem não comprometer em nada sua própria estética, a estabilidade e a resistência da construção; tais flechas, entretanto, podem ser incompatíveis com a capacidade de deformação de paredes ou outros componentes que integram os edifícios (MAZER, 2011). Outro aspecto tem razão à aceitabilidade por parte do usuário, um elemento

deformado, por mais que atendendo aos requisitos de norma, causa uma má impressão nos ocupantes da edificação.

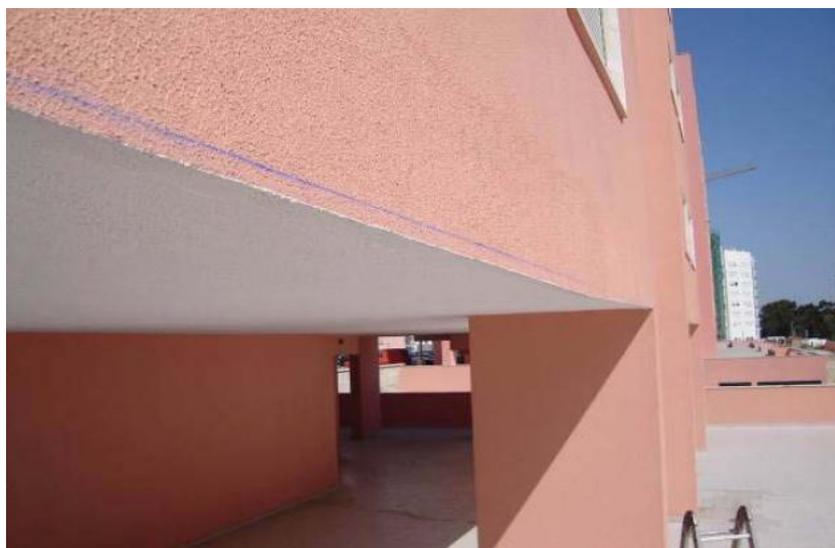


Figura 3.09 – Exemplo de deformação na laje de um piso.

[Fonte: Mesquita, 2009].

V. Corrosão das armaduras

A corrosão é uma interação destrutiva de um material com o ambiente, seja por reação química, ou eletroquímica. Basicamente, são dois os processos principais de corrosão que podem sofrer as armaduras de aço para concreto armado: a oxidação e a corrosão propriamente dita. A corrosão das armaduras é um processo eletroquímico que para ocorrer necessita da presença simultânea de umidade e oxigênio (figura 3.10). O processo de corrosão ocorre quando a célula eletroquímica estabelece um processo anódico e um catódico (SOUZA & RIPPER, 1998).

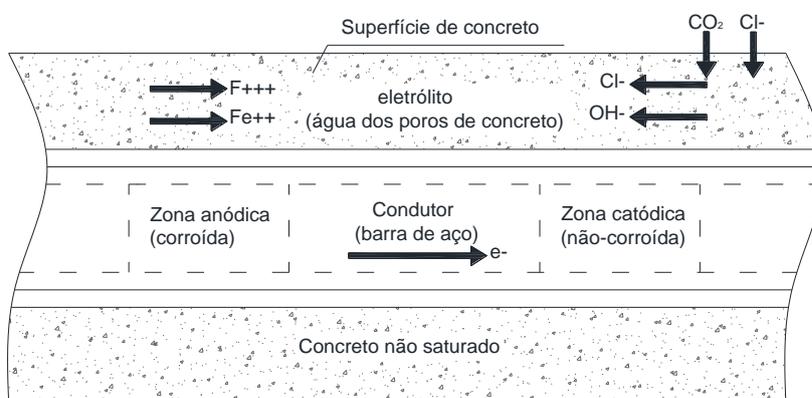


Figura 3.10: Célula de corrosão no meio do concreto armado.

[Fonte Souza & Ripper, 1998].

Outro agente causador de corrosão é existência de gás carbônico na atmosfera, juntamente com a umidade (teor ideal entre 50% a 70%), reage principalmente com $\text{Ca}(\text{OH})_2$, resultando no CaCO_3 , que reduz o PH dos poros da pasta de cimento para aproximadamente nove, destruindo a camada de passivação do óxido de ferro, desde que com a presença de oxigênio e umidade (ALVES, 2009).

As principais causas de corrosão nas armaduras de estruturas de concreto podem ser:

- Dosagem inadequada;
- Concreto muito permeável e/ou muito poroso;
- Insuficiente cobrimento de armadura;
- Execução ineficiente;
- Agentes agressivos (no ambiente e/ou na mistura);
- Umidade (infiltração).

Durante a verificação das estruturas são perceptíveis os sintomas deste tipo de patologia que vão desde o aparecimento de manchas avermelhadas ou esverdeadas na superfície da peça, fissuras, redução da seção da armadura, descolamento do concreto. Além da perda de massa resistente na armadura atingida, como os produtos da corrosão são de volume maior que o aço de origem, há surgimento de grandes esforços de tração que forçam o deslocamento do concreto de cobrimento na região afetada, expondo ainda mais as armaduras já corroídas, conforme pode ser visto na figura 3.11.



Figura 3.11 - Laje com corrosão generalizada e expansão da seção da armadura.

[Fonte: Oliveira, 2010].

VI. Recalques

A NBR6122 (ABNT, 2010) define recalque como sendo um movimento vertical descendente de um elemento estrutural. Quando o movimento for ascendente, denomina-se levantamento.

O excesso de peso, a acomodação da edificação, a baixa resistência do material ou do terreno fazem com que a peça se deforme ou afunde (figura 3.12). Toda edificação, durante a construção ou mesmo após a sua conclusão, por um determinado período de tempo, está sujeita a deslocamentos verticais, lentos, até que o equilíbrio entre o carregamento aplicado ao solo seja atingido. Em projetos mal concebidos, com erros de cálculo nas fundações, ocorrem recalques diferenciais entre os vários apoios, causando a abertura de trincas na estrutura (SOUZA & RIPPER, 1998).

Seu comportamento é afetado por inúmeros fatores que podem ser anteriores ao projeto, passando pela construção e finalizando com os efeitos de acontecimento pós-implantação, incluindo sua possível degradação (MILITITSKY, 2008).

A análise de recalques é fundamental para um bom comportamento das edificações, podendo reduzir o seu aparecimento. Esta patologia é ocasionada por diversos fatores, como:

- Alteração no estado de tensão no solo, devido à escavação próxima a edificação.
- Intersecção dos bulbos de transmissão de tensões das edificações vizinhas, ou execução de aterros, alterando os valores das tensões efetivas atuantes na área interceptada;
- Problemas devido ao processo de investigação do solo;
- Eventos pós-conclusão, que podem ser previsíveis, permitindo medidas preventivas ainda na fase de projeto, ou imprevisíveis, e acabam sendo tratados como acidentes ou problemas.



Figura 3.12 – Torre de Pisa, o caso mais clássico de recalque.

[Fonte: USP ONLINE, 2011].

Capítulo 4

4 METODOLOGIA

A fim de atingir os objetivos propostos seguiu-se a metodologia aqui descrita.

4.1 ESTRUTURA DE ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Lichtenstein (1985 *apud* Antonizazzi, 2008) propôs uma estrutura para a análise de problemas patológicos que consiste em uma seqüência de três etapas: levantamento de subsídios, diagnóstico da situação e alternativa de intervenção, para posterior decisão da conduta a ser seguida. Para a realização desta pesquisa, seguiu-se a seqüência listada abaixo:

O trabalho teve início na escolha dos locais de pesquisa e na coleta de dados, realizada por vistoria no local, para a catalogação e registro de informações referentes às manifestações patológicas encontradas nas unidades de armazenamento de grãos.

A partir das informações levantadas *in loco*, foi realizado o diagnóstico da situação, avaliando qualitativa e quantitativamente as principais patologias que ocorrem nestas estruturas.

O último passo do trabalho foi uma análise detalhada das manifestações Patológicas que mais ocorrem nas bases de silos inspecionadas. É importante que os casos, depois de analisados, sejam registrados para que, futuramente, seja possível tomar medidas preventivas para tais falhas e, assim, não sejam necessárias medidas corretivas em novas estruturas.

4.2 ESCOLHA DOS LOCAIS DE PESQUISA

A definição das cidades e instalações de armazenagem e beneficiamento de arroz que seriam inspecionadas foi realizada buscando englobar o maior número de cidades possíveis. Entretanto, devido à grande distância entre as cidades da região, não foi possível vistoriar um número maior de instalações.

Foram visitadas treze instalações de armazenagem de grãos, em oito cidades diferentes, todas com tipologias e portes diferentes. As visitas foram realizadas em

período diferentes, sendo realizadas no ano de 2009, 2010 e 2011, com o auxílio dos professores André Lübeck e Rogério C. Antochaves de Lima e o engenheiro civil Valdelírio Lübeck. O quadro 4.01 apresenta a listagem e local das unidades visitadas. Em cada uma das unidades fez-se um levantamento minucioso das patologias encontradas, fotografando, descrevendo e contando o número de vezes que cada patologia aparecia.

UNIDADES DE ARMAZENAGEM	CIDADES	Nº DE BASES DE SILO INSPECIONADAS	LOCALIZAÇÃO
1	Uruguaiiana	33	Rural
2	Uruguaiiana	10	Urbana
3	Uruguaiiana	1	Urbana
4	Alegrete	12	Rural
5	Alegrete	25	Urbana
6	Alegrete	23	Urbana
7	Alegrete	12	Urbana
8	São Gabriel	24	Urbana
9	São Borja	56	Rural
10	Maçambará	8	Rural
11	Rosário do Sul	10	Urbana
12	Dom Pedrito	20	Rural
13	Itaqui	6	Rural

Quadro 4.01 - Unidades visitadas nas cidades.

[Fonte: Do autor, 2010].

As unidades inspecionadas foram classificadas em 2 tipos, conforme a localização: as unidades rurais, que se destinam basicamente ao armazenamento dos grãos, e urbanas, que se destinam tanto ao armazenamento, como beneficiamento do produto.

A figura 4.01 exemplifica uma das unidades rurais visitada e a figura 4.02, uma urbana.



Figura 4.01 – Unidade rural para armazenamento de grãos.

[Fonte: Do autor 2011].

Como as estruturas urbanas, geralmente, estão associadas às industriais de beneficiamento (engenhos), há a necessidade de suprir a produção de maneira contínua ao longo de todo o ano, assim, estas necessitam de um maior número de silos. Por outro lado, em função do tamanho e do acréscimo de processos industriais envolvidos, estas tendem a sofrer maior desgaste e apresentar maior número de patologias.



Figura 4.02 – Unidade urbana para armazenamento e beneficiamento de grãos.

[Fonte: Do autor 2011].

4.3 LEVANTAMENTO DE DADOS

As inspeções nas bases foram realizadas tanto pela parte externa, quanto interna dos silos, onde foram fotografadas e catalogadas as manifestações encontradas.

A inspeção seguiu a metodologia sugerida por Souza & Ripper (1998), sendo dividida em três etapas básicas: levantamento de dados, análise e diagnóstico. Na etapa de levantamento de dados, foi realizada de forma minuciosa, buscando o máximo de subsídios para a análise, contando inclusive com entrevistas com os principais envolvidos no uso das estruturas.

Durante a vistoria seguiu-se uma ordem de procedimentos, no qual se realizam:

- Determinação da existência da patologia através da observação dos sintomas;
- Avaliação da sua gravidade, tendo em vista a segurança do usuário, que deve tomar as medidas cabíveis (Existiam túneis e galerias que poderiam conter riscos de vários tipos: desabamento, explosões de pó, material pontiagudo, etc...);
- Definição da extensão do quadro patológico, e, portanto, a extensão da vistoria;
- Definição da seqüência da vistoria, ou seja, a ordem de verificação das peças estruturais das estruturas armazenadoras;
- Levantamento e registro de dados utilizando os cinco sentidos;
- Levantamento e registro de dados utilizando testes e instrumentos simples;
- Registro, cuidadoso e sistemático, de dados colhidos (fotos, croquis, etc...).

A partir dos dados coletados em inspeções *in loco*, foi possível diagnosticar e mapear os principais problemas incidentes, procurando também resgatar o histórico de utilização e manutenção dos elementos inspecionados, com vistas a elucidar os pontos levantados. A figura 4.03 exemplifica uma das patologias levantada. O silo em questão foi arrancado de sua base pelo esforço do vento. A análise do caso buscou apontar se o acidente deveu-se à falha do elemento de fundação, à ruptura dos chumbadores ou o rasgamento da chapa do silo.



Figura 4.03 – Queda de silo devido a esforço do vento.

[Fonte: do autor, 2009].

A partir do levantamento puderam-se verificar quais as manifestações que mais ocorreram e para essas aprofundou-se o estudo de causas e sintomatologia.

4.4 IDENTIFICAÇÃO DAS POSSÍVEIS CAUSAS

Esta fase foi realizada a partir dos estudos bibliográficos e dados coletados nos locais pesquisados onde se tentou constatar quais eram os agentes causadores dos fenômenos patológicos.

Nessa fase, também são descritos os mecanismos de ocorrência de cada fenômeno encontrado na pesquisa.

Capítulo 5

5 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS MAIS INCIDENTES

Neste capítulo é apresentado o resultado do levantamento das manifestações patológicas mais incidentes, realizando uma análise das patologias mais frequentes apontadas.

5.1 LEVANTAMENTO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS MAIS INCIDENTES

Para melhor interpretação dos resultados, foi listado no Quadro 5.01, o método construtivo utilizado nas estruturas de armazenamento.

UNIDADES DE ARMAZENAGEM	CLASSIFICAÇÃO DA BASE	TIPO DE SILO
1	Radier	Metálico
2	Radier	Metálico
3	Radier	Metálico
	Viga circular e laje	Concreto/Metálico
4	Viga circular e laje	Metálico
5	Viga circular e laje	Concreto
6	Viga circular e laje	Concreto/Metálico
7	Viga circular e laje	Metálico
8	Viga circular e laje	Metálico
9	Viga circular e laje	Metálico
10	Viga circular e laje	Metálico
11	Viga circular e laje	Metálico
12	Viga circular e laje	Concreto/Metálico
13	Viga circular e laje	Metálico

Quadro 5.01 – Unidades vistoriadas e tipo de base e silo encontrados.

[Fonte: Do autor, 2011].

No Quadro 5.02 apresenta-se a relação de manifestações patológicas mais encontradas nas unidades inspecionadas, bem como o número de ocorrências por instalação de armazenamento de grãos que continham a enfermidade. A lista com o levantamento completo das manifestações pode ser vista no anexo.

CARACTERIZAÇÃO DO DEFEITO	ORIGEM DOS DEFEITOS	NÚMERO DE UNIDADES COM OCORRÊNCIAS
Deslocamento causado pela corrosão de armaduras	Projeto e materiais	10
Corrosão na união da base de concreto armado com estrutura metálica	Manutenção	9
Fissuras causadas pelo esforço do vento	Projeto, materiais e sinistro	5
Flechas exageradas	Projeto e execução	6
Microorganismos, vegetação, etc...	Manutenção	10
Trincas nas paredes de concreto	Projeto	2
Recalque	Projeto e execução	8
Fissuras por movimentação térmica	Projeto	7
Outros	Várias	12

Quadro 5.02 – Número de unidades visitadas com enfermidades constatadas.
[Fonte: do autor 2011].

A partir dos dados apresentados no quadro 5.02, foi possível realizar o gráfico apresentado na figura 5.01, onde aparece a porcentagem de manifestações patológicas mais incidentes, que foram constatadas nas inspeções *in loco*, realizadas durante a pesquisa nas 13 unidades.

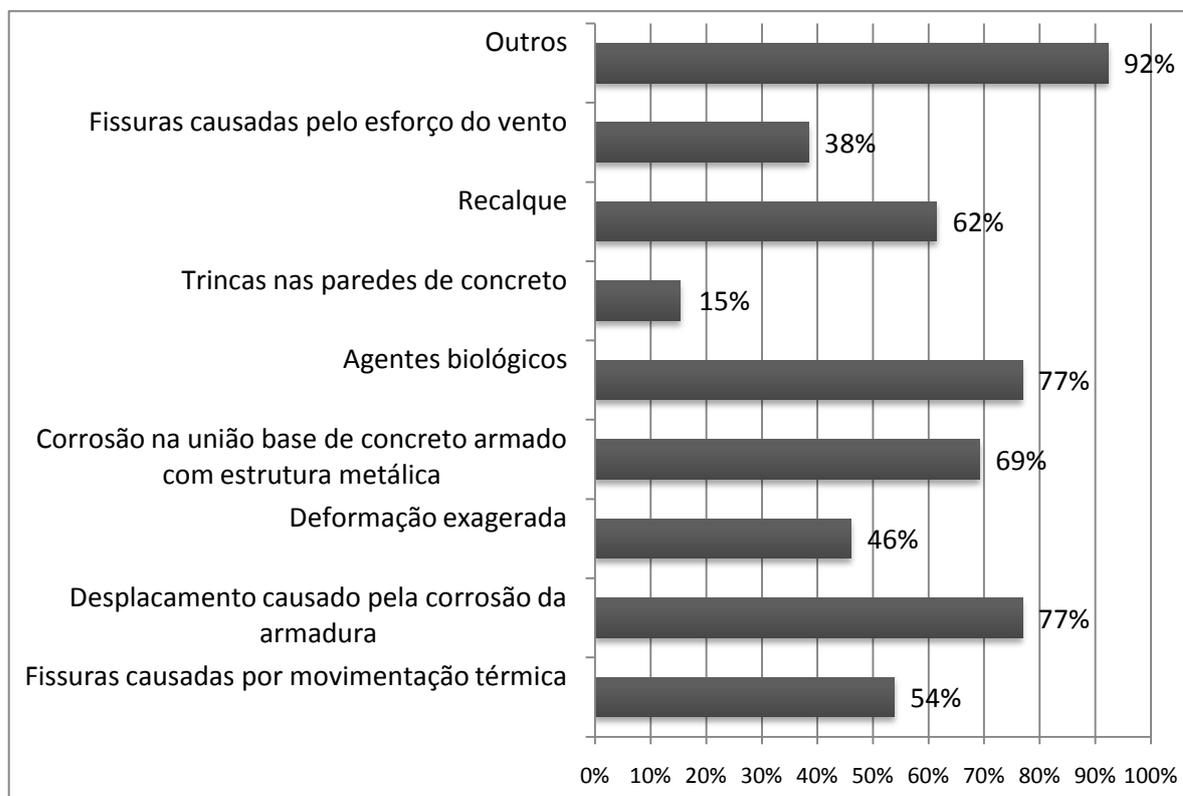


Figura 5.01 - Porcentagem de instalações com incidência das manifestações patológicas encontradas.

[Fonte: Do autor, 2011].

Observa-se na figura 5.01, que existe uma grande ocorrência de recalques, que apareceram em 62% das instalações inspecionadas, e podem ter ocorrido por erros tanto na fase de projeto, execução e utilização das estruturas. Um item importante de ressaltar na fase de projeto é a análise do solo, pois a maior ocorrência destas patológicas acontece por problemas de interação solo-estrutura.

O deslocamento causado por corrosão de armadura, e na união da base com a estrutura metálica que foi constatada em 77% e 69% das edificações, respectivamente. Estes ocorrem por diversos motivos, que vem desde a fase de projeto até a manutenção ineficaz das bases. Essas patologias são comuns nesta região que possui um clima úmido, abundante em chuvas e com forte incidência de ventos durante todas as estações do ano.

Os agentes biológicos em 54% das instalações inspecionadas são comumente encontrados, pois essas estruturas acumulam muito pó, restos de sementes e umidade, que é um ambiente ideal pra crescimento fungos, bactérias, vegetação, além da presença de roedores e outras pragas.

As fissuras e trincas que aparecem com 38% e 15%, respectivamente, são causadas principalmente por falhas de projeto, pois não tiveram cuidados especiais com situações de sinistro ou aumento de esforço concentrado em regiões específicas.

Existem outras patologias que foram constatadas nas instalações, mas como o foco da pesquisa é descrever as que mais ocorrem, não serão descritas no próximo capítulo.

5.2 ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS MAIS INCIDENTES

A partir do levantamento é feita uma análise das patologias mais freqüentes apontadas na pesquisa. As mais encontradas foram: recalques, fissurações, fatores biológicos (fungos e plantas), corrosão das armaduras das bases e na união da estrutura metálica com a base de concreto armado, erros de dimensionamento e arrancamento pelo vento.

5.2.1 FISSURAÇÕES POR MOVIMENTAÇÕES TÉRMICAS

As bases analisadas, que constaram com este tipo de problema (figuras 5.02 e 5.03) foram às construídas no sistema de radier circular, muito usadas nesta região do estado. As bases são caracterizadas por uma laje plana, com espessura variável entre 15 e 30 cm, mas com a superfície superior em um mesmo nível.

As fissuras observadas apresentam configuração radial, partindo do chumbador de fixação da estrutura metálica e estendendo-se até a borda da laje.

Souza & Ripper (1998), descrevem este tipo de fissuração por movimentações térmicas como a instauração de diferentes estados de tensões em diferentes seções da estrutura criando um estado de sobretensão gerado por contração e dilatação térmica, essas geram fissuras e deformações nas peças. O aparecimento destas fissuras gera uma junta de concretagem não prevista, pelo deslocamento lateral na placa de concreto (dilatação e contração).

O fenômeno da movimentação térmica nos materiais da base está relacionado com as propriedades físicas dos mesmos e com a intensidade da variação da temperatura, principalmente, referente à forte incidência solar durante o verão, que pode variar em até 20°C. Além disso, as fissuras também podem surgir por movimentações diferenciadas entre componentes da estrutura, pois na ligação entre os materiais constituintes no sistema, ou seja, estrutura metálica e base de concreto armado existem chumbadores metálicos que fixam o silo na base.

No presente caso, atribui-se a patologia à extensa área exposta à insolação direta, já que o radier estende-se para além do contorno da chapa. Percebeu-se que as fissuras são espaçadas de maneira aproximadamente uniforme e aparecem normalmente na face voltada para o oeste, onde o sol é mais intenso no verão da região em estudo.



Figura 5.02 – Laje da base do silo exposta ao sol.

[Fonte: Do autor 2011].



Figura 5.03 – Fissura na base do silo pela movimentação térmica.

[Fonte: Do autor, 2011].

5.2.2 DESPLACAMENTO DO CONCRETO CAUSADO PELA CORROSÃO DA ARMADURA

Conforme Ripper & Souza (1998), a corrosão pode ser definida com a destruição de um material por meio de reações químicas ou eletroquímicas não proposítadas que começam na superfície do sólido.

Na maioria das estruturas analisadas, percebeu-se um deslocamento da camada de concreto (figura 5.04) que está envolta na armadura do anel exterior da base do silo. A explicação para o deslocamento é dada pelo fenômeno de oxidação do aço que cria um óxido de ferro hidratado ($\text{Fe}_2\text{O}_3\text{nH}_2\text{O}$), que ao expandir-se exerce

uma pressão sobre a cobertura de concreto. Esta expansão do aço pode significar um aumento de até 10 vezes o volume original, o que gera tensões capazes de vencer a resistência à tração do concreto que acaba por deslocar, deixando a armadura exposta.

A partir da análise, constatou-se que os locais possuem elevada umidade por estar abaixo do nível do solo e pouca insolação. Além disso, não possui qualquer impermeabilização que proteja o elemento. O deslocamento permite verificar que o cobrimento das armaduras não é o recomendado, Apesar de muito simples de identificar, depois de instaurado o processo corrosivo, sua reversão é muito difícil. O melhor é tomar medidas que impeçam a sua ocorrência.



Figura 5.04 – Deslocamento causada pela corrosão da armadura.

[Fonte: Do autor, 2011].

5.2.3 DEFORMAÇÕES EXAGERADAS

Em algumas bases de silos executadas com viga circular e laje, observou-se na laje de fundo do silo, no trecho que vence o vão do túnel de descarga, deformações muito acima dos limites estabelecidos na NBR 6118 (2003). A estrutura apresentada na figura 5.05 é a de deformações mais perceptíveis. Não é difícil concluir que o problema decorre de subdimensionamento, seja por erro nos carregamentos, o que não é aceitável, pois os carregamentos são fornecidos pelo fabricante do silo, seja por erro no dimensionamento estrutural. Outra possibilidade é a do executor não ter usado as espessuras de concreto especificadas ou as

armaduras que constavam no projeto o que eximiria o projetista. Infelizmente não teve-se acesso aos projetos das bases analisadas.

A razão de estas deformações terem sido constatadas apenas em bases com sistema de viga circular e laje porque estas são executadas sem solidarização da viga com a laje, deixando esta livre para deformar.

A estrutura da figura 5.05 necessita de reparo urgente, haja vista de estar seriamente fissurada e com esmagamento do concreto na parte superior da laje. Deformações elevadas como a observada apontam a proximidade da ruína, o que poderia resultar em graves perdas econômicas, ou tragédias maiores, com perdas de vidas.



Figura 5.05 – Deficiência de projeto.

[Fonte: Do autor, 2010].

5.2.4 CORROSÕES NA UNIÃO DO CONCRETO COM A ESTRUTURA METÁLICA

A união de dois materiais diferentes, ou seja, o conjunto base concreto armado e estrutura metálica, necessita de uma manutenção e cuidados que evitem a deterioração das chapas do silo. Conforme analisado em várias unidades de armazenagem, principalmente as executadas sobre bases do sistema radier, as estruturas metálicas encontravam-se bastante corroídas (figuras 5.06 e 5.07), a causa principal desta patologia é a falta de manutenção e conservação. Segundo Ripper e Souza (1998) a corrosão em chumbadores e outras peças metálicas embutidas têm o processo de corrosão acelerado, quando não são devidamente protegidas com óleos ou produtos anti-corrosivos. Nestas bases, comumente não é garantido um caimento da água das chuvas para longe do contato com a chapa,

ficando a proteção da mesma, garantida apenas pela pintura asfáltica, mas em alguns casos nem mesmo isso é realizado, o que invariavelmente resulta em corrosão da chapa.

Assim, em estruturas mais antigas são encontrados diversos pontos de apodrecimento da chapa. Estes pontos podem servir como porta de acesso para a água ao interior do silo, levando umidade ao grão, podendo resultar em perda do produto armazenado.



Figura 5.06 – Corrosão da estrutura metálica na união do concreto com a chapa.

[Fonte: Do autor, 2011].



Figura 5.07 – Corrosão da estrutura metálica na união do concreto com a chapa.

[Fonte: Do autor, 2011].

5.2.5 AGENTES BIOLÓGICOS

As manifestações patológicas causadas por ações biológicas requerem cuidado, pois além de deterioração e desagregação das estruturas, podem afetar a qualidade e integridade do produto armazenado, o qual necessita ser mantido longe de umidade e microorganismos que podem causar a perda parcial ou total dos grãos.

Por agentes biológicos entendem-se o crescimento de vegetação e demais microorganismos, mas as suas ações são diferentes.

I. Vegetação

Durante o período da safra, é comum caírem sementes de arroz, que se acumulam e germinam ao redor da união da base do silo com a estrutura metálica (figura 5.08). Esta patologia é de causa não intencional, pois essas plantas crescem devido ao acúmulo de pó e umidade que se acumulam pela falta de manutenção do local.

O crescimento de vegetação tem efeito duplo, já que além da deterioração e da degradação da base, causados pelo crescimento das raízes das plantas nas fissuras e juntas de dilatação, causam a corrosão das chapas metálicas pela permanência da umidade junto à base do silo.

Ripper e Souza (1998) descrevem uma grande preocupação com este tipo de manifestação patológica, que se deve pela capacidade de expansão das raízes de plantas, que ao crescerem podem aumentar as fissuras existentes, podendo criar condições favoráveis, para que microorganismos possam desenvolver-se consideravelmente num curto período de tempo e venham a prejudicar ou causar a perda do produto.



Figura 5.08 – Vegetação nas estruturas- agentes causadores de deterioração.

[Fonte: Do autor, 2011].

II. Microorganismos

Este tipo de patologia é inevitável em todos os tipos de edificações, não protegidas e expostas ao tempo, e seu aparecimento pode levar a degradação química porque segregam e excretam substâncias que atacam a superfície (MEDEIROS, 2010). Tais patologias são fáceis de evitar e difíceis e caras de remediar.

As principais causas do aparecimento deste tipo de patologia são a ausência de um substrato impermeabilizado no local, umidade excessiva e condições meteorológicas inadequadas da região, que possui grande variação climática, clima úmido e ventos fortes.

A base de silo visualizada na figura 5.09, não possui calçada, ficando a viga em contato direto com o solo, assim, forma-se uma camada de líquens e fungos que produzem uma coloração diferente, piorando a aparência, além de uma variedade de ácidos orgânicos e inorgânicos que podem desmineralizar o concreto, além de acumular umidade causando corrosão da armadura, (PALERMO *et al* 1997, *apud* HAUSENSTEIN, 2009).



Figura 5.09 - Microorganismos agindo em conjunto com a poeira e umidade do local.

[Fonte: do autor, 2011].

5.2.6 TRINCAS E FISSURAS NAS PAREDES DE CONCRETO ARMADO

Segundo Thomaz (2001), as fissuras verticais nos silos circulares de concreto armado com septos transversais são causadas geralmente pelo enchimento do silo com peso específico maior que o previsto no projeto. Além disso, no caso de carregamento de uma só célula, o modelo estrutural de cálculo pode não ter considerado a deslocabilidade horizontal dos pilares. Na região estudada, onde predomina a monocultura do arroz, a primeira possibilidade não tende a ser a causadora das fissuras observadas, pois o produto armazenado é sempre mesmo. Da mesma forma que a solução comumente empregada é a de cilindros independentes, sem contato entre silos vizinhos.

Com o avanço dos programas computacionais de cálculo, pode-se através de modelos finitos tridimensionais, realizar-se uma correta análise destas estruturas, o que não era possível antigamente, onde os modelos empregados eram simplificados. Assim, é possível avaliar as diversas hipóteses de carregamento, os efeitos dinâmicos na carga e descarga do grão e demais situações que a estrutura pode estar sujeita. As trincas em elementos estruturais, como as paredes de silo (figuras 5.10 e 5.11), são importantes, pois:

- Servem de aviso para um eventual problema estrutural ou de estado perigoso;
- Indicam o comprometimento da estanqueidade da edificação;
- Causam constrangimento psicológico aos usuários da estrutura.

Na figura 5.10, além das fissuras verticais, apresenta-se fissuras em 45° que caracterizam cisalhamento na parede de concreto do silo, é causada por uma soma de dois efeitos:

- A força de tração devido à flexão da parede do silo, causado pelo esforço gerado pelo peso do grão;
- A força de tração de fendilhamento da biela gerada pela pretensão das vigas, no plano da parede.

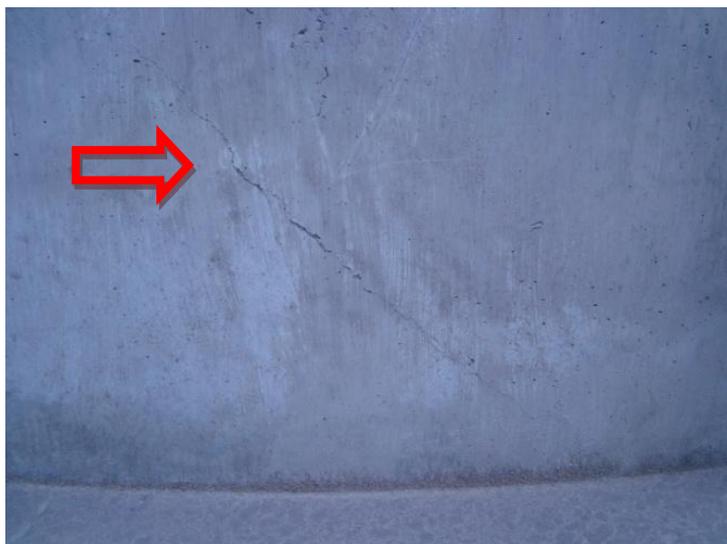


Figura 5.10 – Fissura por insuficiência estrutural.

[Fonte: Do autor, 2011].



Figura 5.11 – Trincas em silo de concreto.

[Fonte: Do autor, 2011].

Mais uma vez, esbarra-se na não disponibilidade dos projetos das estruturas para correto diagnóstico das causas das patologias, contudo, Thomaz (2001) cita um caso onde silos de concreto apresentavam configuração de fissuras semelhante à visualizada nos levantamentos, e concluiu que a causa estava na estimativa para menos dos carregamentos, principalmente, pela não consideração dos efeitos dinâmicos de carga e descarga, além da possibilidade de carregamento excêntrico de um silo.

5.2.7 RECALQUES

Os recalques de fundação são decorrência da insuficiente capacidade de suporte do solo que recebe os carregamentos (ALVES, 2009). No caso de uma base de silo, onde os carregamentos do grão são distribuídos de maneira quase uniforme sobre a laje de fundo, o bulbo de tensões atinge grandes profundidades, tanto maiores, quanto maior o diâmetro do silo.

A preparação do solo para receber os carregamentos da base é etapa primordial para o bom funcionamento do conjunto solo-estrutura. Mesmo em solos, com elevada capacidade de suporte, para execução da base, é necessário remover a camada orgânica superficial e recompor o terreno com aterro em camadas compactadas. As patologias por recalques observadas devem-se ao não preparo ou preparo incorreto do solo.

A base do silo (figura 5.12) inspecionada sofreu grande inclinação, causando recalque da estrutura. Conforme inspeção no local foi possível constatar que não houve remoção do solo natural, apenas a camada orgânica mais superficial foi retirada. Em função do afundamento global do silo, apresentando um comportamento de corpo-rígido, é provável que exista uma região de menor resistência do solo na região onde houve afundamento. Provavelmente o projetista da estrutura não contava com informações suficientes sobre o solo no local e, caso contasse, não se considerou durante a execução as medidas necessárias.



Figura 5.12 – Afundamento de base de silo.

[Fonte: Do autor, 2011].

Outras estruturas visitadas também apresentam patologias em função da baixa capacidade de suporte do solo. A figura 5.13 aponta um dos casos onde se descobriu que o aterro foi realizado apenas com entulho de obra e sem a devida compactação.

O recalque da base neste caso é lento, porém contínuo, não tendo ainda estabilizado. Os relatos do pessoal encarregado da planta apontam que não houve controle das espessuras das camadas de aterro, além do emprego de equipamentos inadequados para compactação.



Figura 5.13 – Fissuras causadas pelo recalque na base do silo.

[Fonte: Do autor, 2011].

Ambas as estruturas são de difícil recuperação, pois depois de deslocadas, qualquer medida para seu reposicionamento é de custo muito elevado. A opção por mantê-las deformadas, fazendo apenas recuperações pontuais em fissuras e regiões de empoçamento pode não ser suficiente, o que pode causar degradação da estrutura.

5.2.8 PATOLOGIAS CAUSADAS POR ESFORÇO DO VENTO

Algumas bases de silos analisadas, conforme figuras 5.14 e 5.15, possuem fissuras ocasionadas por esforços de arrancamento gerados pelo vento. As fissuras são localizadas junto aos chumbadores de fixação da estrutura metálica, pois estes são os responsáveis por transmitir à base os esforços de tração que ocorrem na estrutura.

Avaliando os carregamentos apresentados pelos fabricantes de silo verifica-se uma inconsistência nos dados fornecidos. Todos os fabricantes pesquisados apresentam a velocidade básica de vento para fornecimento dos carregamentos ao projetista da fundação de 120 km/h, velocidade abaixo da especificada pela NBR 6123 (1988) para esta região do país, que é de 162 km/h.

A incapacidade da base em resistir às cargas de vento pode então ser devido a essas cargas inferiores às normas ou a erros de dimensionamento do projetista da base. Contudo, cabe destacar que não foram registrados nos últimos anos tormentas com velocidades de vento superiores aos 120 km/h, assim, a segunda possibilidade é a mais provável.

Blessmann (2001) após examinar acidentes causados pelo vento chegou à conclusão de que quanto à resistência, em geral o problema é de falta de ancoragem, podendo acontecer na estrutura ou ainda na fundação. Em alguns casos, porém, o problema é de dimensionamento insuficiente, fundações inadequadas, que não tem o peso ou profundidade necessária, entre outros.

Por fim, após a análise destas ocorrências, constatou-se o comprometimento do elemento de ancoragem (chumbador) devido a sua plastificação ou do concreto na região de ligação, devido à elevada fissuração. Assim, o elemento estrutural não tem mais condições de resistir a estes carregamentos de tração e a base acaba por ser condenada.



Figura 5.14 – Fissuras causadas por esforço causado pelo vento.

[Fonte: Do autor, 2009].



Figura 5.15 – Arrancamento de um silo da sua base devido a problemas na estrutura da base.

[Fonte: Do autor, 2009].

Capítulo 6

6 CONCLUSÕES

Sabe-se que a agricultura é, historicamente, uma das principais bases da economia do Brasil. O investimento em ampliação da capacidade de armazenagem é necessário para acompanhar o desenvolvimento do setor agrícola. No Rio Grande do Sul, responsável por cerca de 70% da produção orizícola do país, necessita-se também do aumento da capacidade de estocagem em função das características das propriedades produtoras e do mercado do arroz.

Para suprir esta necessidade, engenheiros são solicitados para elaborar projetos e acompanhar ou executar obras de silos e armazéns, sendo que grande parte destes profissionais não possuem conhecimento suficiente sobre armazenamento de grãos, o que acaba gerando erros grosseiros, que podem gerar custos desnecessários e/ou inviabilizar a utilização destas estruturas de armazenamento e conservação de grãos. Assim, este trabalho visava dar mais subsídios a estes profissionais, mesmo que analisando apenas uma pequena parte do problema.

É importante salientar que as patologias podem ocorrer em todos os tipos de estruturas, mesmo quando bem projetadas e construídas, pois todos os materiais têm um tempo de vida útil e com o passar do tempo sofrem deterioração. Deste modo, percebe-se a necessidade de um bom plano de manutenção, além de um projeto bem elaborado e uma execução criteriosa. No entanto, nada disto foi observado nas unidades inspecionadas, o que muitas vezes, implica num trabalho de recuperação e reforço para evitar a inutilização dos silos.

Como pôde ser visto, algumas bases encontram-se em elevado grau de degradação, necessitando de manutenção corretiva, de maneira a garantir que o seu desempenho e vida útil possam ser garantidos. Isto é grave, pois o custo de aquisição e construção destas estruturas é alto.

Para este trabalho, procurou-se com o auxílio de referências bibliográficas, aprimorar o conhecimento sobre instalações de recebimento de grãos, descrevendo seus equipamentos, finalidades e classificação dos tipos de silos e bases mais usuais na região, além de buscar subsídios para fundamentar a classificação e

análise das principais patologias encontradas. Para tal, buscou-se a conceituação de vida útil, durabilidade e desempenho a fim de dar parâmetros para as análises.

Como o foco do trabalho eram as patologias em bases de silo, na revisão bibliográfica, buscou-se descrever as principais patologias citadas em bibliografias a respeito de concreto armado, com o intuito de permitir que nas vistorias realizadas, fosse possível identificá-las e buscar suas razões de ocorrência.

Da visita a treze unidades armazenadoras de grãos da região, constatou-se que as patologias mais incidentes foram: fissuração por movimentação térmica, deslocamento por corrosão, deformações exageradas, corrosão na união base chapa do silo, agentes biológicos, trincas estruturais e arrancamento pelo vento. Apesar de terem sido encontradas outras patologias, estas eram casos isolados e não receberam destaque no trabalho.

A fissuração por movimentação térmica deve-se a grande extensão exposta ao sol poente das bases em radier, onde não foi observada a presença de juntas de dilatação para dar alívio às tensões. O deslocamento por corrosão foi comum nas bases realizadas em viga, onde pelo pouco cobrimento e ausência de proteção superficial, as armaduras acabam corroendo e deslocando o concreto. Já as deformações exageradas, principalmente nas lajes de cobertura dos túneis, são resultado de subdimensionamentos.

A umidade na região de encontro chapa-base do silo desencadeia outras duas das patologias mais encontradas que são as corrosões da chapa no contato com o silo, causando o apodrecimento da chapa naquela região, e a proliferação de vegetação e demais microorganismos. A presença de qualquer uma das duas em ponto tão próxima ao grão é perigosa, pois pode contaminar ou estragar o produto. Nos silos de concreto, foram observadas fissuras com conformações que indicam subdimensionamento, mais especificamente, erro na consideração dos carregamentos, que no caso de silos são dinâmicos na carga e descarga, e/ou excêntricos devido a uma carga desuniforme. A última patologia mais incidente são os danos estruturais causados pelo vento. Sendo que a região sul do país é atingida constantemente por temporais, é inadmissível que ocorra o subdimensionamento da base, da ancoragem ou do próprio silo. Nos pontos observados, as estruturas precisaram ser desativadas e substituídas.

Por fim, esta pesquisa permitiu verificar que mesmo com o avanço da tecnologia empregada no armazenamento de grãos, ainda é necessário muito

avanço na qualificação da mão-de-obra empregada na execução e manutenção destes sistemas e maior qualificação dos profissionais responsáveis pelos projetos e pela execução, haja vista a crescente demanda de profissionais nesse setor. Também se verificou a necessidade de um acompanhamento, pois na maioria das unidades visitadas não existe manutenção periódica que, sabidamente, poderia evitar perdas e aumentar o desempenho e vida útil das bases e estruturas metálicas dos silos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. R. **Levantamento das Manifestações Patológicas em Fundações e Estruturas nas Edificações, com até dez anos de Idade no Estado de Goiás –** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. UFG. Goiás, 2009.

LIMA, A. R. C. **Manifestações Patológicas.** Disciplina de Construção Civil II. Curso de Graduação em Engenharia Civil. UNIPAMPA. Alegrete, 2009. Não publicado.

ANTONIAZZI, P. J. **Patologia das Construções: Abordagem e Diagnóstico.** 2008. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Engenharia Civil. UFSM. Santa Maria, 2008.

BLESSMANN, J. **Acidentes Causados pelo Vento – 4º Edição –** Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS, 2001.

CALIL, C. JR; NASCIMENTO, J. W. B.; ARAÚJO, E. C. **Silos Metálicos Multicelulares.** Ed. EESC/USP. São Carlos. 2007.

CALIL C. J. e CHEUNG A. B. **Silos: Pressões, Fluxo, Recomendações para o Projeto e Exemplos de Cálculo.** USP/EESC/SET. São Carlos, 2007. P. 232.

COGO C. - **Capacidade Estática de Armazenamento do País.** Consultoria Agra econômica. Site. Disponível em: <<http://www.carloscogo.com.br>>. Acessado em: 13 mai. 2011.

CARMONA F. A; MAREGA A. **Retrospectiva de La Patologia em El Brasil: Estudio Estadístico.** In: Trabajo Apresentados em La Jornada Español e Portuques sobre Estructuras y Materiales. Madrid, 1988. Anais: Madrid: CEDEX/ICcET-1988, P. 99-124.

CONAB - **Companhia Nacional de Abastecimento.** Site. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acessado em: 02 out. 2010.

DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em Estruturas de Concreto Armado – Análise das manifestações Típicas e Levantamento de casos Ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. UFRGS. Porto Alegre, 1988. P. 220.

DEL MAR, C. P. **Falhas, Responsabilidades e Garantias na Construção Civil -** São Paulo: Pini, 2007.

EMBRAPA - **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.** Arquivos publicados. Site. Disponível em < <http://www.embrapa.br/imprensa/noticias>>. Acesso em: 10 abr. 2011.

GEOTEMAH – COPPE/UFRJ – **Patologia do solo estabilizado.** Site. Disponível em: < www.habitare.org.br/pdf/publicacoes >. Acessado em: 13 jun. 2011.

HAUENSTEIN C. A. **Análises Microbiológicas de Amostras de Concreto Deteriorado da Estação de Tratamento de Esgoto 3**. Beira-Rio. Trabalho de Conclusão do Curso. Graduação em Engenharia Ambiental. UDC. Foz do Iguaçu, 2009.

HELENE. P, **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1992. P.213

IRGA - **Instituto Rio Grandense do Arroz**. Arquivos publicados. Site. Disponível em <www.irga.rs.gov.br/arquivos>. Acesso em: 05 out. 2010.

JUNIOR C. C.; Cheung, A. B. **Silos: pressões, fluxo, recomendações para o projeto e exemplo de cálculo**. _____. Ed. USP/EESC/SET. São Carlos, 2007.

LANZA P. H. A. **Simulação dos processos de secagem e aeração de milho e soja em silos**. Trabalho de conclusão de curso. Graduação em Engenharia Agrícola. UEM. Cidade Gaúcha, 2009.

LERSCH I. M. **Contribuição para Identificação dos Principais Fatores e Mecanismos de Degradação em Edifícios do Patrimônio Cultural de Porto Alegre**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. UFRGS. Porto Alegre, 2003.

LÜBECK, A. (2010). **Concreto Armado II**. Disciplina de Concreto Armado II. Curso de Graduação em Engenharia Civil. UNIPAMPA. Alegrete, 2010. Não publicado.

MAZER, W. **Diagnóstico das patologias – Apostila do Curso de Especialização em Patologia das Construções**. Depto Acad. De Eng. Civil - UFTPR. Curitiba - PR, 2011.

MEDEIROS B. L. **Estruturas Subterrâneas de Concreto: Levantamento de manifestações patológicas na região Metropolitana de Curitiba e Análise de sistema de Reparo**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. UFPr. Curitiba, 2005.

MILMAN, J. M. **Equipamentos para Pré-processamento de grãos**, Ed. UFPel, Pelotas, 2002.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, C. N.; SCHNAID, F. **Patologia das Fundações**. Ed. Pini. São Paulo, 2008.

MÜLLER S. R. **Histórico do Campus e as Patologias das Fachadas dos Prédios voltados para a Avenida Roraima - UFSM**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. UFSM. Santa Maria, 2010.

PIANCASTELLI, E. M. - **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado** - Ed. Depto. Estruturas da UFMG - 1997 - 160p. - Apostila para Curso de Extensão.

PICCHI, Flávio Augusto. **Sistemas da Qualidade**: uso em empresas de construção de edifícios. Tese, Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana. São Paulo: USP, 1993. 462 p.

REBELLO Y. C. P. **Fundações: Guia prático de projeto, execução e dimensionamento** – São Paulo, 2008.

SABBATINI, F. H. - **Sugestões para a Conceituação da Durabilidade e Vida Útil**. FHS Consultoria e Engenharia, reunião 2007. Disponível em: <www.cobracon.org.br/sugestoes/Aspectos_de_Durabilidade_e_Vida_Util>. Acesso em: 16 jul. 2011.

SCHULER, D. e FEIBER S. D. (2010). **Preservação de Edificações Históricas**. Disciplina de Técnicas Retrospectivas. Curso de Arquitetura e Urbanismo - FAG. Paraná, 2010. Não publicado.

SILVA, S. N. **Caracterização das Manifestações Patológicas Presentes em Fachadas de Edificações Multipavimentados da cidade de Ijuí/RS**. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Civil. UNIJUI. Ijuí, 2006.

SITTER, apud HELENE Paulo R. L. **Lei de evolução de custos**. São Paulo. PINI. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1992.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**, Ed. Pini. São Paulo, 1998.

STRESSER, R. - **PROBLEMAS ESTRUTURAIS E OPERACIONAIS NO CONTROLE DE INSETOS** - Site. Disponível em <www.tecnigran.com.br>. Acesso em: 02 maio 2011.

THOMAZ, E. C. S. **Tipos de Fissuras**. Apostila com exemplos de casos reais de fissuração (Causas, Soluções e Observação). São Paulo, 2001. 449 p., il. color

THOMAZ E. **Apostila de Patologias do Concreto**. Pesquisador Catac – IPT. São Paulo, 2010. Não publicado

VELLOSO, D. A.; LOPES F. R. **Fundações, volume 1: Critérios de projeto: Investigação de subsolo: Fundações superficiais** – São Paulo, 2004.

WEBER, E. A. **Armazenagem Agrícola**. Ed. Editora e Gráfica La Salle, Porto Alegre, 1995.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5674/80. **Manutenção de Edificações – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14037. **Manual de Operação, uso e manutenção das edificações – Conteúdo e recomendações para a elaboração e apresentação**:. Rio de Janeiro, 1998.

_____. NBR 6118. **Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 6122. **Projeto e Execução de Fundações**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 6123. **Forças Devido ao Vento em Edificações**. Rio de Janeiro, 1990.

_____. NBR 8681. **Ações e Segurança nas Estruturas - Procedimentos**. Rio de Janeiro, 1990.

_____. NBR 14931. **Execução de Estruturas de Concreto – Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2004.

_____.
Figura extraída de: LINDENBERG, H. N. de **Estruturas: Conceitos Fundamentais e Históricos**. Escola Politécnica/USP. São Paulo, 1999. Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações. Disponível em: <[http://www.lmc.ep.usp.br / people/hlinde/ Estruturas/ deslocamento.htm](http://www.lmc.ep.usp.br/people/hlinde/Estruturas/deslocamento.htm)>. Acesso em: 21 jun. 2011.

_____.
Figura extraída de: OLIVEIRA L. B. de **Disciplina de Razão e Ser das Manifestações Patológicas**. FAU/USP. São Paulo, 2010. Departamento de Tecnologia da Arquitetura. Disponível em: <http://www.fau.usp.br/cursos/graduacao/ arq_urbanismo/disciplinas/aut0139/Slides/Slides_3.pdf>. Acesso em 18 ago. 2011.

_____.
Figura extraída de: DEBORA F. de **Disciplina de Patologia das Construções**. FAG. São Paulo, 2010. Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <<http://www.fag.edu.br/professores/lefrachid/PATOLOGIA/Aula%205-%20criptoflorencia.pdf>>. Acesso em 18 ago. 2011.

_____.
Figuras extraídas de: LÜBECK A. **Obras Civis em Instalações de Armazenagem de Grãos**. Palestra na Semana Acadêmica – Campus Alegrete. Engenharia Civil. UNIPAMPA. Alegrete, 2010. Não publicado.

ANEXO A:

Manifestações patológicas verificadas nas vistorias													
Descrição	Obras												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Deslocamento causado pela corrosão de armaduras	X	X	X	X		X			X				X
Corrosão na união base concreto/estrutura metálica	X		X	X	X	X	X	X			X	X	X
Fissuras causadas pelo esforço do vento				X			X	X		X	X		X
Deslocamentos exageradas	X		X	X	X	X			X		X	X	X
Microorganismos, vegetação, etc...	X		X		X	X		X	X	X	X	X	X
Trincas nas paredes de concreto	X					X							
Recalque	X	X		X	X	X	X		X	X			
Fissuras por movimentação térmica						X			X	X	X	X	
Segregação	X										X		
Eflorescência													X
Permeabilidade		X			X					X			
Perda de aderência entre concretos							X						
Porosidade							X						X
Erosão e Desgaste	X			X		X							X
Fissura por vibração				X								X	
Manchas			X					X					X