

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

Fábio da Silva Oliveira

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS:
ANÁLISE DE FISSURAS EM PASSARELAS
NO CAMPUS DO VALE/UFRGS**

Porto Alegre
julho 2013

FÁBIO DA SILVA OLIVEIRA

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS:
ANÁLISE DE FISSURAS EM PASSARELAS
NO CAMPUS DO VALE/UFRGS**

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

Orientadora: Alexandra Passuello
Coorientador: João Luiz Campagnolo

Porto Alegre
julho 2013

FÁBIO DA SILVA OLIVEIRA

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS:
ANÁLISE DE FISSURAS NAS PASSARELAS
NO CAMPUS DO VALE/UFRGS**

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

Porto Alegre, julho de 2013

Alexandra Cruz Passuello
Dra pela Università Politecnica delle Marche
Orientadora

João Luiz Campagnolo
Mestre pela Universidade
Federal do Rio Grande do Sul
Coorientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Alexandra Cruz Passuello
Dra. pela Università Politecnica delle Marche

João Luiz Campagnolo
Mestre pela Universidade Federal do Rio
Grande do Sul

Ângela Gaio Graeff
Dra. pela Universidade de Sheffield

Luciane Fonseca Caetano
Mestre pela Universidade Federal do Rio
Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Profa. Alexandra Passuello, orientadora deste trabalho, pela amizade, disponibilidade e pelo seu comprometimento empregado em todo auxílio que necessitei para desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao meu coorientador, o Mestre João Luiz Campagnolo por toda a ajuda e pelos conselhos e por sempre buscar a eficiência e instigar todos ao seu redor.

Agradeço a professora Carin Schmitt por todo o auxílio e dedicação para a construção deste trabalho.

Agradeço à toda a equipe do LEME pela ajuda durante a realização deste trabalho.

Agradeço aos meus pais, José Carlos e Anilda que sempre me apoiaram nesta etapa.

Agradeço à minha namorada Luma, por todo apoio, compreensão e incentivos durante o desenvolvimento do trabalho de conclusão.

Agradeço ao meu grande amigo Casemiro Mior Jr. pela amizade, companheirismo e por toda ajuda prestada durante a realização deste trabalho.

Agradeço a todos meus colegas pelos momentos de amizade, mas em especial, aos meus amigos Patrick Ruppenthal, Vinícius Boufleur, William Mizushima, Jean Tremarin, Felipe Rambo, Fábio Scharnberg e Anderson Rossi pela ajuda e amizade.

A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar,
não seremos capazes de resolver os problemas causados
pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.

Albert Einstein

RESUMO

Das muitas manifestações patológicas existentes na construção civil, as fissuras têm grande incidência nas edificações de concreto. Assim, neste trabalho, visa-se a análise de uma estrutura em concreto armado, a fim de identificar as possíveis causas e os processos de deterioração que propiciaram essas fissuras. Optou-se por analisar uma passarela e sua respectiva cobertura no Campus do Vale/UFRGS, através do levantamento das manifestações patológicas obtidas na realização de uma inspeção visual da estrutura. Na realização da inspeção se procurou registrar, não só as fissuras, mas também outras manifestações patológicas que pudessem auxiliar na identificação dos processos de deterioração. Também se fez o registro de manchamentos, sujidades e processos biológicos visualizados na passarela. A bibliografia indica quais os aspectos geométricos das fissuras mais comuns para determinados processos de deterioração, além de outras manifestações que tais processos de deterioração podem gerar. No entanto, para que se entendam os mecanismos de fissuração do concreto armado é necessário conhecer as propriedades físico-químicas desse material, pois existem muitas fissuras resultantes dessa interação com outras substâncias. Além do conhecimento exigido para as análises das fissuras, também é necessário estabelecer o método de inspeção, bem como os critérios a serem utilizados, para que assim se conseguisse orientar a realização da inspeção feita na passarela. Como apoio à inspeção se elaborou um *check-list* para uso em campo, a fim de se obter maior dinamismo no levantamento das manifestações patológicas. Com a conclusão do levantamento e, posteriormente do mapeamento, fez-se as análises das possíveis causas dos processos de deterioração registrados. Finalizada a etapa de análises, verificou-se a presença de fissuras por movimentações térmicas, retração plástica e, principalmente, por corrosão, contudo, as análises, também, apontaram para inúmeras manifestações patológicas, como exposições de armaduras e expulsões parciais de cobrimento. Assim, detectou-se que muitos dos processos observados na estrutura estavam relacionados com processos corrosivos, o que se supõe que sejam decorrentes das características ambientais ao qual o Campus do Vale/UFRGS está inserido.

Palavras-chave: Fissuras em Concreto Armado. Inspeção Visual de Estruturas de Concreto. Mapeamento de fissuras em estruturas de concreto armado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática das etapas do delineamento do trabalho.....	17
Figura 2 – Relação durabilidade e desempenho.....	22
Figura 3 – Fissuras por retração em lajes.....	38
Figura 4 – Fissuras por retração em vigas.....	39
Figura 5 – Fissuras por movimentação térmica em pisos externos.....	41
Figura 6 – Fissuras por flexão em pilares.....	42
Figura 7 – Fissuras por flambagem.....	42
Figura 8 – Fissuras devido à flexão.....	43
Figura 9 – Cisalhamento de vigas.....	43
Figura 10 – Vista inferior de uma laje simplesmente apoiada com fissuras por flexão....	44
Figura 11 – Vista superior de uma laje simplesmente apoiada com fissuras por flexão...	44
Figura 12 – Falta ou insuficiência de armadura negativa.....	45
Figura 13 – Vista inferior de uma laje com fissuras por deformação excessiva.....	46
Figura 14 – Campus do Vale/UFRGS.....	54
Figura 15 – Localização da passarela escolhida para inspeção.....	54
Figura 16 – (a) vista inferior da cobertura e (b) corte transversal.....	56
Figura 17 – Posição dos módulos em relação ao LEME.....	58
Figura 18 – Corte longitudinal identificando os pavimentos e a cobertura.....	58
Figura 19 – (a) croqui da planta baixa utilizada no primeiro pavimento e (b) croqui utilizado no segundo pavimento.....	59
Figura 20 – Croqui esquemático com orientações dos cortes longitudinais, transversais e vistas.....	60
Figura 21 – (a) croqui usado como corte longitudinal e (b) croqui da vista lateral.....	61
Figura 22 – Croqui utilizado nos cortes transversais.....	61
Figura 23 – (a)expulsão parcial de cobrimento e (b) lascamento por choque.....	63
Figura 24 –(a) exposição de armadura por processo de deterioração e (b) por falta de cobrimento.....	64
Figura 25 – Desgaste superficial de laje de cobertura.....	64
Figura 26 – Símbolos utilizados no mapeamento para representação das manifestações patológicas.....	65
Figura 27 – Detalhe da planilha utilizada no <i>check-list</i>	67
Figura 28 – Encaixe de duas vigas no pilar do primeiro pavimento.....	69
Figura 29 – Frequência das manifestações nos pilares do primeiro pavimento.....	69

Figura 30 – (a) expulsão parcial do cobrimento no P1E do módulo 11 e (b) P1D do módulo 25 com avançado estágio de expulsão parcial do cobrimento.....	70
Figura 31 – Fissura localizada na região de apoio da viga P1D do módulo 23.....	71
Figura 32 – (a) exposição dos estribos do P2D do módulo 9 e (b) ponto metálico corroído no P2D do módulo 11.....	72
Figura 33 – Abertura da fissura do P1E do módulo 17.....	72
Figura 34 – Gráfico com a frequência das manifestações observadas nas vigas do primeiro pavimento.....	73
Figura 35 – Mapeamento do módulo 8 do primeiro pavimento.....	74
Figura 36 – Fissuras da viga esquerda do módulo 8.....	75
Figura 37 – (a) lascamento expondo a armadura na laje da passarela módulo 8 e (b) exposição da armadura devido à quebra da laje da passarela no módulo 23.....	76
Figura 38 – Gráfico com a distribuição de manchamentos, sujidades e processos biológicos do primeiro pavimento.....	77
Figura 39 – (a) P2E e viga esquerda do módulo 13 com a superfície tomada por processo biológico e (b) lascamento da laje da passarela do módulo 18 com processo biológico	78
Figura 40 – (a) deslocamento do concreto na base do corrimão do módulo 15 e (b) processo corrosivo na base do corrimão do módulo 16.....	79
Figura 41 – Frequência das manifestações nos pilares do 2º pavimento.....	80
Figura 42 – (a) exposição da armadura de aço no P1D do módulo 11 e (b) expulsão do cobrimento na base do P2D do módulo 22.....	81
Figura 43 – Módulo 2 mapeado com fissuras por flexão na viga esquerda.....	81
Figura 44 – Fissuras na lateral da viga esquerda do módulo 14.....	82
Figura 45 – Detalhe da fissura na lateral da viga esquerda do módulo 14.....	82
Figura 46 – (a) abertura da fissura na face lateral da viga esquerda do módulo 14 e (b) abertura na face inferior da viga esquerda do módulo 26.....	83
Figura 47 – (a) presença de material orgânico na junta das vigas com o P2E do módulo 19 e (b) vegetação na viga esquerda do módulo 11.....	85
Figura 48 – Detalhe dos tubos de captação de água das calhas.....	86
Figura 49 – Manchas de sujidade na viga esquerda do módulo 13.....	86
Figura 50 – Frequência das manifestações observadas nas lajes de concreto da cobertura.....	88
Figura 51 – Distribuição dos processos de deterioração na cobertura.....	88
Figura 52 – (a) exposição da armadura por falta de cobrimento na cobertura 4 do módulo 6 e (b) exposição da armadura por corrosão da armadura na cobertura 3 do módulo 8.....	89
Figura 53 – Exposição da armadura na lateral da cobertura 1 do módulo 12.....	90
Figura 54 – Expulsão parcial do cobrimento na cobertura 4 do módulo 7.....	91

Figura 55 – Fissuras por corrosão das armaduras na cobertura 2 do módulo 1.....	91
Figura 56 – Vista geral da cobertura 3 do módulo 13.....	92
Figura 57 – Mapeamento da cobertura 1 do módulo 13 com fissuras por retração plástica.....	93
Figura 58 – Parte superior das coberturas com a posição dos parafusos.....	94
Figura 59 – Mapeamento das fissuras por movimentação térmica no módulo 2.....	94
Figura 60 – Mapeamento das fissuras por movimentação térmica no módulo 14.....	95
Figura 61 – Cobertura 1 do módulo 7 com manchamento por umidade.....	96
Figura 62 – Manchas rosas nas coberturas 2 e 3 do módulo 10.....	97
Figura 63 – Desgaste superficial na cobertura 4 do módulo 6 juntamente com a presença de processo biológico.....	97
Figura 64 – (a) acúmulo de sujeira na calha do módulo 14 e (b) presença de vegetação na calha do módulo 24.....	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Manifestações em relação à posição da viga.....	73
Tabela 2 – Manifestações observadas nas vigas do segundo pavimento.....	84
Tabela 3 – Incidência de processos biológicos e de manchamentos ou sujidades.....	84
Tabela 4 – Manchamentos e desgastes da cobertura.....	95

LISTA DE SIGLAS

IBAPE – Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia

LEME – Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	15
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	15
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	15
2.2.1 Objetivo principal	15
2.2.2 Objetivos secundários	15
2.3 PREMISA	16
2.4 DELIMITAÇÕES	16
2.5 LIMITAÇÕES	16
2.6 DELINEAMENTO	16
3 INTRODUÇÃO AO TEMA PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES E ALGUNS FATORES QUE AFETAM A DURABILIDADE DO CONCRETO.....	19
3.1 INTRODUÇÃO À PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES.....	19
3.2 COMPONENTES DO CONCRETO E SUA RELAÇÃO COM A PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES.....	22
3.2.1 O agregado na composição do concreto.....	23
3.2.2 Cimento e sua relação com as manifestações patológicas.....	24
3.2.3 Influência da água na qualidade do concreto.....	26
4 PROCESSOS DE DETERIORAÇÃO.....	29
4.1 PROCESSOS QUÍMICOS.....	30
4.2 PROCESSOS FÍSICOS.....	39
5 INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO.....	47
6 METODOLOGIA E INSPEÇÃO.....	53
6.1 DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA.....	53
6.2 MÉTODO DE INSPEÇÃO.....	57
7 LEVANTAMENTO E ANÁLISE.....	68
7.1 PRIMEIRO PAVIMENTO.....	68
7.2 SEGUNDO PAVIMENTO.....	79
7.3 COBERTURA.....	87
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	99
REFERENCIAS.....	101
APÊNDICE A – <i>CHECK-LIST</i>	103
APÊNDICE B – PLANTAS DO MAPEAMENTO.....	105

1 INTRODUÇÃO

O concreto armado é largamente empregado na construção civil, muito devido a certas características, como a facilidade de se conseguir variadas formas geométricas e o seu relativo custo de produção. Entretanto, muitos profissionais da construção civil tratam o concreto como se fosse um material extremamente resistente, quase indestrutível, o que na verdade não é. Ele é um material complexo, muito em função dos tipos de materiais e as reações químicas que são necessários para obtenção do mesmo. Deste modo, devido a essa complexidade e ao fato de muitos superestimarem sua capacidade, o concreto armado acaba por apresentar muitos processos de deterioração, os quais poderiam ser evitados. No entanto, tais fatores acabam pondo em risco sua qualidade e durabilidade.

As fissuras em concreto são manifestações patológicas muito comuns e de grande importância, pois elas podem representar respostas da estrutura a fenômenos físicos e químicos que ocorreram nas edificações. As fissuras acabam se tornando porta de entrada a agentes agressivos, tornando-o menos durável, ou seja, reduzindo sua vida útil. Além da redução da vida útil, outro fato extremamente importante, é que fissuras podem prejudicar a integridade estrutural da edificação, uma vez que as mesmas, sendo muito profundas, reduzem a rigidez da peça estrutural, não possibilitando que a estrutura tenha o desempenho mínimo para o qual foi projetada.

Considerando-se que boa parte das estruturas do Campus do Vale/UFRGS apresentam diferentes manifestações patológicas, sendo que as fissuras se destacam devido à grande incidência das mesmas, percebe-se a importância da análise. Tendo como base, que essas mesmas estruturas já possuem quase 30 anos de construção, é natural que existam certos problemas patológicos, entretanto considera-se que a falta de manutenção tenha contribuído para que esse quadro de patologias tenha se agravado. Contudo, a existência de problemas patológicos pode, também, indicar a deficiência em outras etapas construtivas, desde o projeto à fase executiva.

Segundo Souza e Ripper (1998, p. 27), “O conhecimento das origens da deterioração é indispensável, não apenas para que se possa proceder aos reparos exigidos, mas também para se garantir que, após reparada, a estrutura não volte a se deteriorar.”. Isso corrobora com a

importância do entendimento de como este problema patológico está agindo na estrutura, pois identificando-se a causa da manifestação, é possível escolher um tratamento mais eficaz.

Este trabalho tem como propósito identificar e mapear as fissuras nas passarelas e respectivas coberturas do Campus do Vale/UFRGS, buscando identificar os tipos e os motivos do surgimento dessa manifestação patológica, assim este trabalho pode contribuir na recuperação ou mesmo controle dos problemas patológicos existentes na estrutura. Aliado ao mapeamento de fissuras foi observado os processos de deterioração presentes na estrutura.

Além da introdução descrita acima, o trabalho será abordado em mais sete capítulos. No capítulo 2, constam as diretrizes da pesquisa, com o objetivo principal e objetivos secundários, premissa e delineamento da pesquisa. No terceiro capítulo, é feita uma abordagem sobre a ciência da Patologia das Construções juntamente com características físico-químicas do concreto e de seus constituintes. O capítulo 4 descreve os possíveis processos de deterioração que podem ser observados na passarela e na cobertura de concreto armado do Campus do Vale/UFRGS, sendo os processos divididos em químicos e físicos. O capítulo 5 trata da inspeção em estruturas em concreto armado, mas tendo como ênfase os processos fissuratórios, além de pequenas diferenciações sobre os tipos de inspeção.

O capítulo 6 traça o método de inspeção utilizado na avaliação das estruturas analisadas. Esse capítulo mostra os critérios adotados na inspeção e no mapeamento das manifestações patológicas. O Capítulo 7 traz todo o levantamento observado e registrado na estrutura, bem como a análise dos mesmos e, por fim, o capítulo 8 relata as considerações do trabalho, destacando os processos de maior incidência na estrutura.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

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

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: quais os possíveis processos de deterioração que deram origem as fissuras existentes nas passarelas e em suas respectivas coberturas no Campus do Vale/UFRGS?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal do trabalho é a verificação dos possíveis processos de deterioração nas passarelas e coberturas do Campus do Vale/UFRGS, através de uma inspeção visual.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) mapeamento em planta das fissuras observadas para possível recuperação;
- b) elaboração de um *check-list*, para levantamento em campo, dando apoio à inspeção visual.

2.3 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que a falta de tratamento das fissuras facilita os processos de deterioração.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a analisar uma passarela e sua respectiva cobertura de concreto armado do setor 4 do Campus do Vale/UFRGS, Porto Alegre/RS.

2.5 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) foram consideradas somente as manifestações patológicas que estejam relacionadas com fissuras nas estruturas estudadas;
- b) a inspeção visual foi feita em apenas uma passarela e em sua respectiva cobertura;
- c) devido à falta de acesso, a estrutura em seu segundo pavimento, foi inspecionada somente na sua face inferior;
- d) foi realizada apenas uma inspeção visual.

2.6 DELINEAMENTO

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

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) elaboração de ferramentas, como croquis das áreas a serem analisadas e planilhas, para uso na inspeção;
- c) inspeção visual;
- d) identificação e mapeamento das fissuras;
- e) definição dos possíveis processos de deterioração presentes em função de fissuras;
- f) considerações finais.

Na primeira etapa foi realizada a pesquisa bibliográfica, a fim de obter-se conhecimento teórico necessário para a identificação das fissuras em concreto armado e, também, dos processos de deterioração. A segunda etapa consistiu na elaboração de ferramentas de auxílio à vistoria. Foram elaborados desenhos da estrutura das passarelas e coberturas do Campus do Vale/UFRGS e planilhas que constem, de forma indicativa, os processos de deterioração e os tipos de fissuras, com o intuito de facilitar a vistoria da edificação. Como as passarelas e coberturas do Campus do Vale/UFRGS apresentam, aparentemente, um padrão construtivo que se repete, os desenhos e planilhas foram divididos por módulos.

Na etapa da inspeção, foi realizado um levantamento visual das fissuras existentes nas estruturas observadas, sendo que para isso foram utilizados croquis para registro da localização e identificação (no sentido de nomeação) das manifestações patológicas. Além de registros fotográficos, onde as planilhas também receberam os registros de informações mais detalhadas das manifestações observadas, possuindo a identificação das fotografias.

Figura 1 – Representação esquemática das etapas do delineamento do trabalho



(fonte: elaborado pelo autor)

Posteriormente à etapa da inspeção, as fissuras registradas em campo foram transcritas para plantas baixas e, caso houvesse necessidade, plantas de corte. Neste mesmo documento, foram colocadas legendas indicando os processos de deterioração que foram observados juntos a essas fissuras. Para identificação do processo de deterioração existente se utilizou dos padrões fissuratórios contidos na revisão bibliográfica. Por fim, após a realização da identificação dos tipos de fissuras e dos processos de deterioração foram elaboradas as considerações finais sobre os processos observados.

3 INTRODUÇÃO AO TEMA PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES E ALGUNS FATORES QUE AFETAM A DURABILIDADE DO CONCRETO

Neste capítulo é abordado, de forma mais ampla, o tema Patologias das Construções, com intuito de esclarecer certos conceitos e iniciar uma abordagem sobre a importância do mesmo na construção civil. Também é realizada a introdução sobre concreto, a fim de estabelecer certas características e propriedades do concreto que são importantes na compreensão de muitas manifestações patológicas.

3.1 INTRODUÇÃO A PATOLOGIAS DAS CONSTRUÇÕES

Na construção civil é comum se deparar com manifestações patológicas, podendo elas surgir durante a execução. Muitas delas em função do ritmo acelerado de execução ou mesmo de inovações exercidas na construção civil. De acordo com Souza e Ripper (1998, p. 13):

O crescimento sempre acelerado da construção civil, em alguns países e épocas, provocou a necessidade de inovações que trouxeram, em si, a aceitação implícita de maiores riscos. Aceitos estes riscos, ainda que dentro de certos limites, posto que regulamentados das mais diversas formas, a progressão do desenvolvimento tecnológico aconteceu naturalmente, e, com ela, o aumento do conhecimento sobre estruturas e materiais, em particular através do estudo e análise dos erros acontecidos, que têm resultado em deterioração precoce ou em acidentes.

A esse quadro de problemas patológicos, Thomaz (1989, p. 15) explica que da forma como a economia do Brasil se apresenta, sendo um país em desenvolvimento, as obras são executadas com velocidades cada vez maiores. Assim, aumenta-se o índice de erros de projeto ou de execução, fazendo com que muitas edificações sejam construídas atendendo os requisitos mínimos de desempenho e, em algumas vezes até abaixo do mínimo, ou com defeitos construtivos que só venham a aparecer após a mesma ser posta em uso.

Devido a isso, cada vez mais se vê necessário à introdução do conceito de Patologia no âmbito da construção civil, pois, conforme Souza e Ripper (1998, p. 14), “[...] a Patologia das Estruturas não é apenas um novo campo no aspecto da identificação e conhecimento das

anomalias, mas também no que se refere à concepção e ao projeto das estruturas, e, mais amplamente, à própria formação do engenheiro civil.”. Da mesma maneira, Verçoza (1991, p. 7), salienta a importância que todos os responsáveis pela construção de um edifício, do engenheiro responsável, passando pelo arquiteto e chegando até mesmo nos trabalhadores da construção civil, devem ter o conhecimento necessário de manifestações patológicas mais passíveis de ocorrer nas construções. Isto acontece com o intuito de prevenir os erros que possam ocorrer.

Porém, ao se tratar de concreto, deve-se compreender os riscos de deterioração que o mesmo está sujeito, pois é natural que ao longo do tempo, através de processos químicos ou físicos, o mesmo apresente uma redução de qualidade e, posteriormente, possíveis manifestações patológicas. Assim, inerente ao assunto de manifestações patológicas estão relacionados certos conceitos ao concreto, como desempenho, vida útil e durabilidade, que devem fazer parte dos hábitos da engenharia, participando de todas as etapas construtivas de uma edificação (SOUZA; RIPPER, 1998, p. 17).

Portanto, Souza e Ripper (1998, p. 17) definem desempenho como “[...] o comportamento em serviço de cada produto, ao longo da vida útil, e a sua medida relativa espelhará, sempre, o resultado do trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção.”. Sendo que Bertolini (2010, p. 20) afirma que o material que tiver recebido o ataque de algum agente agressivo presente no ambiente acabará por ter seu desempenho afetado mesmo antes de ser usado na edificação, assim a estrutura pode apresentar algum tipo de problema patológico devido a esta perda de desempenho do material.

Entretanto, junto com o conceito de desempenho, citou-se o termo vida útil, que, de acordo com Souza e Ripper (1998, p. 17), é “[...] o período durante o qual as suas propriedades permanecem acima dos limites mínimos especificados.”. Assim, na elaboração de um projeto, deve-se levar esses conceitos em conta, a fim de se projetar edificações com melhor desempenho e vida útil maior.

Tendo-se esses conceitos de desempenho e vida útil, é possível introduzir-se a ideia de durabilidade, que, segundo o *American Concrete Institute*¹ (1991 apud MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 120), é “[...] capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques

¹ AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI Manual of Concrete Practice – Part 1**. Detroit, 1991.

químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração; isto é, o concreto durável conservará a sua forma original, qualidade e capacidade de utilização quando exposto ao seu meio ambiente.”.

A durabilidade do concreto pode ser afetada por diferentes fatores, de forma que Neville (1997, p. 481-482) explica:

A durabilidade inadequada se manifesta por uma deterioração que pode ser originada por fatores externos ou por causas internas no interior do próprio concreto. As diferentes formas de ação podem ser físicas, químicas ou mecânicas. As causas de deterioração mecânica podem ser impacto [...], abrasão, erosão ou cavitação; [...]. As causas químicas de deterioração podem incluir as reações álcali-sílica e álcali-carbonato, [...]. O ataque químico externo ocorre principalmente pela ação de íons agressivos, como cloretos, sulfatos ou dióxidos de carbono e muitos líquidos e gases naturais ou industriais.

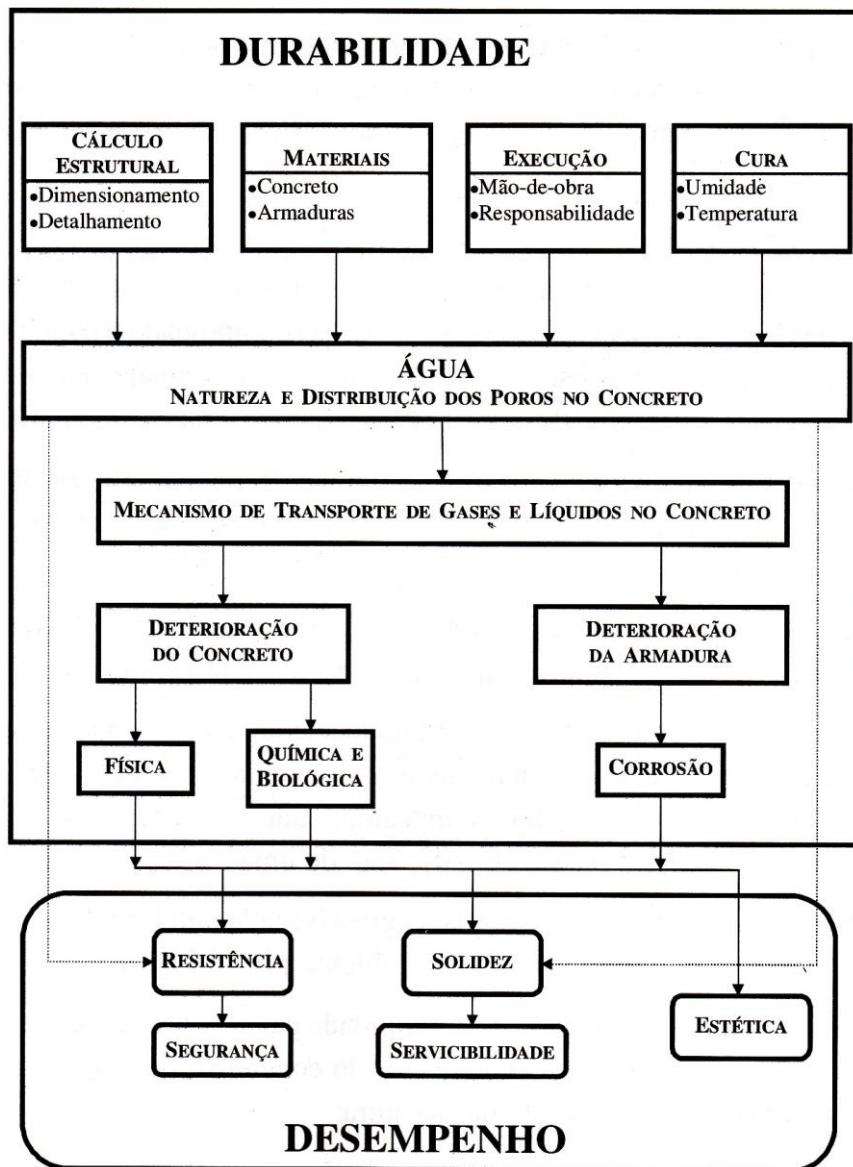
Em se tratando de durabilidade do concreto, um grande responsável por essa propriedade, que o torna durável ou não, é a água. Segundo Souza e Ripper (1998, p, 19):

Em termos de durabilidade das estruturas de concreto, e para além das questões ligadas à resistência mecânica propriamente dita, a palavra-chave relacionada ao material concreto, como pseudo sólido que é, é água.

Assim, serão a quantidade de água no concreto e a sua relação com a quantidade de ligante o elemento básico que irá reger características como densidade, compacidade, porosidade, permeabilidade, capilaridade e fissuração, além de sua resistência mecânica, que, em resumo, são os indicadores de qualidade do material, passo primeiro para a classificação de uma estrutura como durável ou não.

De tal modo, a durabilidade da estrutura de concreto vai depender de quão porosa, ou quão permeável, ela é. Sendo a estrutura muito permeável, ela permite que fluídos e gases penetrem. Sendo que a presença de fissuras nessa estrutura facilita, ainda mais, o ingresso de agentes agressivos ao interior dessa peça de concreto, o que agrava a diminuição da durabilidade (NEVILLE, 1997, p. 482, 521). Na figura 2 está expressa a relação entre durabilidade e desempenho.

Figura 2 – Relação durabilidade e desempenho



(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p. 20)

3.2 COMPONENTES DO CONCRETO E SUA RELAÇÃO COM A PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES

Certos componentes do concreto têm grande relevância na procura pela melhor qualidade do mesmo, além de, através deles, estarem presentes na formação de fissuras e de certos processos de deterioração, sendo eles, o cimento e a água. No entanto, não somente o cimento e água podem gerar problemas patológicos, os agregados também possuem significativa

importância na qualidade do concreto e na prevenção de certos processos de deterioração. Nos próximos itens são descritos algumas características sobre estes três componentes.

3.2.1 O agregado na composição do concreto

Os concretos são considerados compósitos normalmente formados por agregados graúdos, miúdos e uma pasta cimentante. Esta pasta, usualmente, é composta por cimento Portland e água. Sendo assim, certos componentes, como os agregados, em determinadas situações, podem reagir quimicamente com o próprio cimento ou com substâncias externas resultando, assim, em processos de degradação do concreto.

Mehta e Monteiro (1994, p. 240, grifo do autor) usam a seguinte definição para agregado:

[...] o termo **agregado graúdo** é usado para descrever partículas maiores que 4,8 mm (retidas na peneira n. 4), e o termo **agregado miúdo** é usado para partículas maiores do que 4,8 mm; [...]. Em geral, os agregados para concreto são areia, pedregulho e pedra britada, procedentes de jazidas naturais, e são, portanto designados como agregados naturais.

Neville (1997, p. 125) ressalta a importância dos agregados no concreto, pois estes ocupam boa parte da sua massa e, sendo eles de má qualidade, afetam propriedades importantes do concreto endurecido. Contudo, Souza e Ripper (1998, p. 90) atentam para certas propriedades dos agregados, pois alguns possuem propriedades físicas ou químicas que podem interagir com o cimento alterando as características do concreto. Amorin (2010, p. 46-47) explica que até mesmo a presença de certos minerais junto ao agregado miúdo podem produzir manchas coloridas na superfície do concreto.

Com intuito de se precaver de graves problemas patológicos relacionados aos agregados do concreto, Souza e Ripper (1998, p. 90) citam:

Uma questão a prevenir, pela gravidade dos danos que causa às estruturas, é a reação álcali-agregados, que resulta da interação entre certos componentes de alguns tipos de agregados (sílica reativa) e os hidróxidos alcalinos (sódio e potássio) libertos pelo cimento durante sua hidratação, ou ainda, vindos ao concreto pela penetração de íons de cloreto, por agressão ambiental.

Em relação a reação do álcali-agregado, Neville (1997, p. 513) cita que “A reação pode ser desagregante e se manifestar por fissuração. A abertura das fissuras pode ser desde a 0,1 mm chegando até 10 mm, em casos extremos. [...] Não obstante, as fissuras podem facilitar a

entrada de agentes agressivos.”. O processo de fissuração tem um padrão característico, que, de acordo com Mehta e Monteiro (1994, p. 163, grifo do autor), “[...] é irregular, sendo, portanto referido como **fissuras mapeadas**.”.

3.2.2 Cimento e sua relação com as manifestações patológicas

Um dos materiais de extrema importância na composição do concreto é o cimento, que é definido por Mehta e Monteiro (1994, p. 9) como “[...] um material finamente pulverizado, que sozinho não é aglomerante, mas desenvolve propriedades ligantes, como resultado da hidratação (isto é, de reações químicas entre os minerais do cimento e água).”.

O cimento tem importantíssimo papel na composição de concreto, pois a ele estão ligados importantes propriedades do concreto endurecido, além de certas manifestações patológicas relacionadas ao uso do mesmo na dosagem do concreto. O conhecimento dessas propriedades ajuda a evitar a manifestação de patologias vinculadas à quantidade de cimento presente no concreto, assim como afirma Souza e Ripper (1998, p. 84):

A estabilidade dimensional do concreto, ou seja, os fenômenos de expansão, retração e fissuração, e a resistência química do concreto, isto é, sua capacidade de resistir aos diversos agentes químicos (água do mar, salinidade do ar, poluição atmosférica, etc.) estão intimamente ligados às características físicas e químicas do cimento, tais como finura, expansibilidade, composição potencial, presença de cal livre, de óxido de magnésio, etc., e não à sua resistência mecânica.

O cimento, largamente utilizado na construção civil, é um aglomerante hidráulico tendo em sua composição silicatos e aluminatos de cálcio, os quais são obtidos na moagem do clínquer, o qual é definido, segundo Mehta e Monteiro (1994, p. 188), como “[...] nódulos de 5 a 25 mm de diâmetro de um material sinterizado, produzido quando uma mistura de matérias primas de composição pré-determinada é aquecida a altas temperaturas.”.

Considerando a maneira como é produzido o cimento Portland, através da moagem do clínquer, que é obtido através de fontes de calcário e de sílica, é compreensível que durante o processo físico-químico do cimento restem impurezas. De acordo com Mehta e Monteiro (1994, p. 188), as principais impurezas encontradas no cimento são provenientes dos materiais que servem como fontes de cálcio, como gesso, mármore ou pedras calcárias, sendo que esses materiais possuem em sua composição argila e dolomita, o que em proporções inadequadas são prejudiciais ao cimento e, conseqüentemente, ao concreto.

Souza e Ripper (1998, p. 85) ainda explicam muitas propriedades do cimento, como calor de hidratação, permeabilidade e porosidade, são resultados da determinação, através de análises laboratoriais, das proporções de silicatos e aluminatos, sendo que essas propriedades começam a serem definidas já na moagem do clínquer.

Desses compostos presentes no cimento, cada um tem características distintas e propriedades bem definidas, sendo elas descritas por Souza e Ripper (1998, p. 86) da seguinte maneira:

- a) silicato tricálcio (C_3S): ambos os silicatos C_3S e C_2S , são constituintes fundamentais do cimento Portland, por serem eles os responsáveis pela resistência mecânica da pasta. O silicato tricálcico, cuja hidratação se prolonga por alguns anos, apresenta, no entanto, um grau de hidratação bastante elevado já nas primeiras idades, sendo, por isso, o constituinte principal responsável pelas resistências iniciais do concreto. [...];
- b) silicato bicálcico (C_2S): muito embora a contribuição do silicato bicálcico na formação de resistência mecânica do cimento também seja grande, o desenvolvimento desta resistência se dá de forma mais lenta do que o C_3S , não tendo então este componente o mesmo nível de importância que o silicato tricálcico nas primeiras idades do concreto. [...];
- c) aluminato tricálcico (C_3A): este é o componente que mais rápido se hidrata, e também o que libera mais calor de hidratação (207 cal/g), principalmente nas primeiras idades. Por outro lado, dá uma contribuição muito pequena para a resistência mecânica da pasta.

Mas, também existe a presença de outros compostos importantes no cimento, assim explicado por Mehta e Monteiro (1994, p. 197, grifo do autor):

Óxido de Magnésio e Óxido de Cálcio. A origem do óxido de magnésio no cimento é usualmente a dolomita que está presente como impureza na maioria dos calcários. Uma parte de óxido de magnésio total no clínquer do cimento Portland (isto é, até 2%) pode entrar em solução sólida com os vários compostos [...]; porém, o resto ocorre como MgO cristalino, também chamado **periclásio**. A hidratação do periclásio a hidróxido de magnésio é uma reação lenta e expansiva que sob certas condições pode causar **deterioração ou imperfeições** (isto é, fissuras e expansão no concreto endurecido).

Contudo, deve-se ter atenção ao aluminato tricálcico, pois como ele é um elemento com uma velocidade de reação muito rápida, adiciona-se gipsita (ou gesso) ao cimento, a fim de reduzir essa velocidade da reação. Entretanto, ao se realizar esse procedimento corre-se o risco de futuras deteriorações no concreto decorrente de reações químicas envolvendo a gipsita (SOUZA; RIPPER, 1998, p. 86).

Assim, percebe-se que o cimento Portland já possui, em sua composição, compostos passíveis de originarem defeitos na matriz de concreto. Com isso, nota-se a importância do

conhecimento exigido para a escolha do cimento. No mercado existem diferentes tipos de cimento, entretanto, a escolha do tipo de cimento a ser usado na composição do concreto deve ser cuidadosa, pois cada tipo de cimento tem características próprias e distintas que se utilizadas de maneira indiscriminada podem favorecer a manifestação de patologias (SOUZA; RIPPER, 1998, p. 84).

Isto demonstra a importância de se ter um bom conhecimento dos materiais constituintes do concreto, pois alguns processos de deterioração podem ser iniciados através de reações químicas indesejáveis. Logo, visando-se evitar certas manifestações patológicas, deve-se conhecer os mecanismos que podem iniciar tais fenômenos. Sendo alguns deles descritos ao decorrer do trabalho.

A definição do tipo de concreto a ser usado, a fim de se ter uma edificação de boa qualidade, está relacionado com a escolha dos materiais, mas para isso é necessário compreender o comportamento e as funções dos constituintes do concreto. A escolha adequada dos materiais resulta em alto desempenho do concreto. Esta afirmação é reforçada, com base em (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 18):

As relações estrutura-propriedades no concreto ainda não estão bem desenvolvidas; todavia, é essencial um entendimento de alguns dos elementos da estrutura do concreto, antes de discutir os fatores que influenciam as propriedades importantes do concreto, tais como resistência [...], elasticidade, retração, fluência, fissuração [...], e durabilidade [...].

3.2.3 Influência da água na qualidade do concreto

Seguramente a água é um componente do concreto de grande importância, pois em função da sua presença ocorrem reações de hidratação do cimento. Entretanto, o uso em excesso ou de águas inadequadas podem resultar em concretos de má qualidade. Já, o uso de águas puras e em quantidade adequadamente dosadas contribui para concretos de boa resistência mecânica e torna-o menos suscetível a problemas patológicos (SOUZA; RIPPER, 1998, p. 92).

O papel fundamental da água na composição do concreto é fazer a hidratação dos componentes do cimento, os silicatos de cálcio. Conseqüentemente, a hidratação desses componentes gera novos compostos que resultam em características bem específicas do concreto. Mehta e Monteiro (1994, p. 198, grifo do autor) explicam que:

O cimento Portland anidro não aglomera areia e agregado graúdo; ele só adquire a propriedade adesiva quando misturado à água. Isto acontece porque a reação química do cimento com a água, comumente chamada de **hidratação do cimento** gera produtos que possuem características de pega e endurecimento.

Segundo Neville (1997, p. 33), a hidratação é dita como:

As reações que fazem com que o cimento se torne um agente ligante ocorrem na pasta de água e cimento. Em outras palavras, na presença de água, os silicatos e os aluminatos [...] formam produtos de hidratação que, com o transcorrer do tempo, dão origem a uma massa firme e resistente, a pasta de cimento endurecida.

Da hidratação do cimento resultam outros compostos que podem ser resumidos em dois compostos principais, os silicatos de cálcio hidratados e os aluminatos tricálcios. Sendo que a proporção e desenvolvimento destes compostos, durante a hidratação, vão determinar propriedades distintas ao concreto endurecido (NEVILLE, 1997, p. 34).

Dentro desse contexto, da importância da água no concreto, avalia-se a água de amassamento. Segundo Neville (1997, p. 193), “[...] a qualidade da água também tem um papel importante: impurezas contidas na água podem influenciar negativamente a resistência do concreto ou causar manchamento da sua superfície, ou, também, resultar corrosão da armadura.”. Mas, segundo Mehta e Monteiro (1994, p. 54), dificilmente a água fornecida pelas concessionárias podem causar algum problema ao concreto, pois essas águas atendem requisitos de potabilidade.

Com isso, entra-se em outro aspecto relacionado à quantidade de água presente no concreto: a trabalhabilidade. A qual Neville (1997, p. 197) explica que:

O principal fator é o teor de água da mistura, expresso em kg (ou litros) de água por metro cúbico de concreto: é prático, embora aproximado, admitir que, para um determinado tipo e granulometria de agregado, o teor de água é independente da relação água/cimento e do teor de cimento da mistura.

Pois, um problema decorrente da falta de trabalhabilidade do concreto é a adição de água durante a concretagem, assim descrito por Mehta e Monteiro (1994, p. 315):

Para concretos que requeiram elevada fluidez no momento da concretagem, o uso de aditivos redutores de água e retardadores de pega devem ser preferíveis ao lançamento de mais água ao concreto, no canteiro de obra. Essa água extra, que não foi considerada no proporcionamento do concreto tem sido, frequentemente, responsável por falhas de desempenho do concreto em relação às especificações de projeto.

Dentre os fatores relacionados com a água, Neville (1997, p. 277) ressalta o fator água/cimento, pois essa relação que determina a resistência do concreto endurecido. Em relação ao fator água/cimento, Mehta e Monteiro (1994, p. 125) explicam que de forma geral quando a relação é alta somente um pouco dessa água serve para hidratação do cimento, o restante dessa água não reage e, assim, ao evaporar, a pasta formada pela combinação do cimento com a água, acaba tendo um grande número de poros conectados, aumentando assim, a permeabilidade da pasta. Neville (1997, p. 278) corrobora com esta afirmação ao citar, “[...] que a relação água/cimento determina a porosidade da pasta de cimento endurecida em qualquer estágio de hidratação [...]”.

Sendo a porosidade um fator preocupante nas estruturas de concreto, pois afetam a qualidade do mesmo, Souza e Ripper (1998, p. 35) citam:

[...] a questão da resistência não é o ponto crucial de preocupação, já que poderá ser obtida de forma trivial, mas sim que os maiores esforços devem ser dirigidos á obtenção, por meios simples, de concretos duráveis, ou seja, de concretos com baixos índices de porosidade e permeabilidade, entendendo-se como porosidade a relação entre volume de vazios e volume total de um material. No caso do concreto – um pseudo-sólido – este parâmetro tem influência direta na sua permeabilidade e, conseqüentemente, na durabilidade das construções.

Outro ponto ao qual a água tem grande influência é sobre a retração plástica do concreto. Pois, quanto maior for à relação água/cimento, maior é a quantidade de água livre no concreto e a perda desta água para o meio, e de maneira acentuada, proporciona a retração do concreto (NEVILLE, 1997, p. 428-429). Essa perda de água resulta numa diminuição de volume, por parte do concreto fresco, assim o mesmo desenvolve fissuras horizontais, sendo estas uma manifestação patológica comum em lajes de concreto (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 359).

Um importante procedimento para mitigar efeitos de retração do concreto é a forma de fazer a cura do mesmo, ou seja, é a aplicação de uma fina camada de água na superfície do concreto, durante as primeiras idades do concreto. A cura do concreto, ao impedir a saída de água e diminuir a temperatura do concreto, contribuiu para que o mesmo não apresente esse quadro de retração, além de favorecer o aumento da qualidade do concreto endurecido (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 345).

4. PROCESSOS DE DETERIORAÇÃO

Os processos de deterioração do concreto estão muito ligados à durabilidade do mesmo, pois esses processos tendem a diminuir esta propriedade do concreto. De acordo com Neville (1997, p. 481):

É essencial que as estruturas de concreto desempenhem as funções que lhe foram atribuídas, que mantenham a resistência e a utilidade que delas se espera, durante um período de vida previsto ou, pelo menos, razoável. Portanto, o concreto deve poder suportar o processo de deterioração ao qual se supõe que venha ser submetido.

O concreto, quando em condições normais, ou seja, sendo ele bem executado e bem projetado, possui grande resistência à degradação e boas características relacionadas à resistência mecânica. Entretanto, existem inúmeros fatores, físicos e químicos, que favorecem a degradação do mesmo. Segundo Bertolini (2010, p. 31), “A degradação dos materiais é produzida pela interação físico-químico do ambiente com os materiais; essas interações podem ocorrer depois do movimento dos agentes agressivos no interior do ambiente ou do material.”.

No entanto, para que se inicie o processo de deterioração é necessário um agente de deterioração. No caso do concreto, o mais comum é a água. Mehta e Monteiro (1994, p. 121, grifo do autor) explicam que “[...] a água, que é o agente primário tanto da criação quanto da destruição de muitos materiais na natureza, é o fator central para a maioria dos problemas de durabilidade do concreto.”. Neville (1997, p. 482) cita, além da água, outros agentes:

São três os principais fluídos importantes para a durabilidade que podem ingressar no concreto: água, pura ou com íons agressivos, dióxido de carbono e oxigênio. Eles podem se deslocar através do concreto [...], mas todo deslocamento depende basicamente da estrutura da pasta de cimento hidratada.

Portanto, uma estrutura de concreto de boa qualidade, sendo ela de baixa porosidade e não apresentando fissuras acima das especificadas na NBR 6118, tende a ser mais durável, pois a mesma está menos suscetível a penetração de fluídos que possam ser agressivos. Conforme explica Bertolini (2010, p. 165-166):

Muitas vezes, as fissuras no concreto são a primeira manifestação da degradação em uso e, por isso, constituem um sinal importante na fase de inspeção das estruturas

[...]. Além disso, no caso de erros de projetos ou de realização da obra, elas podem aparecer até na fase inicial, [...]. Qualquer que seja a causa, a fissuração do concreto pode favorecer a penetração dos agentes agressivos e, assim, acelerar a evolução posterior da deterioração.

Todavia, as edificações acabam apresentando fissuras que podem ocorrer devido a processos de deterioração de origem química, caso das corrosões, ou devido a algum processo físico, como por exemplo, movimentações térmicas ou por sobrecargas excessivas. Independentemente do motivo, essas fissuras podem facilitar a manifestação de outras patologias. Nos próximos itens são abordadas certas características dos processos químicos e físicos, bem como o padrão fissuratório que essas manifestações patológicas apresentam.

4.1 PROCESSOS QUÍMICOS

A água é o grande agente causador dos processos químicos de deterioração, ainda mais quando carrega consigo uma grande concentração de íons agressivos ao interior do concreto. No entanto, mesmo não possuindo esses íons, ela pode interagir com o concreto, formando, assim, materiais expansivos (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 121). Assim, dentre os processos químicos, alguns possuem uma maior incidência, como lixiviação, reações expansivas e corrosão.

A lixiviação do concreto tem sua ocorrência mais comum em fissuras, não obstante também pode ocorrer em concretos porosos. Esse fenômeno pode resultar na retirada de materiais ou minerais não hidratados pela água de amassamento. O processo de lixiviação, o qual consiste da lavagem da matriz de concreto, normalmente resulta em eflorescências, ou manchas de resíduos, que ficam depositados na superfície do concreto, além de determinarem a perda de estanqueidade (DAL MOLIN, 1988, p. 101). Neville (1997, p. 510) ainda explica que a lixiviação pode ocorrer quando:

[...] a água percola através de concreto mal adensado ou através de fissuras, ou ainda, através de juntas mal executadas, e quando pode haver evaporação na superfície do concreto. O carbonato de cálcio formado pela reação do Ca(OH)_2 com o CO_2 é deixado na forma de um depósito branco.

De acordo com Dal Molin (1988, p. 103), a água penetra no interior da peça de concreto e a medida que este ambiente satura, o sal, ali presente, é dissolvido; assim, através da pressão hidrostática existente, essa solução é levada a superfície do concreto e conforme a água se

evapora, esse material se deposita na superfície do concreto. Contudo, Souza e Ripper (1998, p. 72) explicam que a retirada do hidróxido de cálcio, através da lixiviação, resulta na redução do pH do concreto. Essa redução do pH é extremamente prejudicial ao concreto, pois é o hidróxido de cálcio que mantém o ambiente básico, o qual tem papel fundamental na proteção das armaduras de aço contra a corrosão.

A retirada do hidróxido de cálcio e a deposição dele na superfície do concreto resultam em manchas brancas na superfície da peça, podendo se formar estalactites e estalagmites de cor esbranquiçada, sendo essa a característica marcante do processo de lixiviação do concreto (SOUZA; RIPPER, 1998, p. 72). Sendo o hidróxido de cálcio responsável pela característica alcalina do concreto, a retirada do mesmo resulta num ambiente mais próximo da neutralidade, o que torna o concreto propício a certos processos corrosivos (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 170).

Assim, a lixiviação pode facilitar a ativação de outros processos de deterioração. O concreto já endurecido possui em sua composição materiais passíveis de hidratação, no entanto, sendo eles hidratados se tornam expansivos, o que, conseqüentemente, resulta num processo fissuratório. Conforme Souza e Ripper (1998, p. 38), “O óxido de magnésio (MgO), um dos constituintes do cimento, poderá ser expansivo quando estiver na forma de periclásio, que irá se hidratar de maneira muito lenta após o endurecimento do cimento (e do concreto), resultando num aumento de volume.”.

Segundo Souza e Ripper (1998, p. 38), outro componente presente no cimento, passível de expansão, é a cal livre (CaO), a qual se torna expansiva após sua hidratação e como resultado pode gerar fissuras na superfície do concreto. A presença de cal livre no cimento se dá, segundo Mehta e Monteiro (1994, p. 197):

O mau proporcionamento das matérias primas, moagem e homogeneização inadequadas, e a temperatura ou o tempo de permanência insuficientes na zona de calcificação do forno estão entre os principais fatores que contribuem para a presença de óxido de cálcio livre ou cristalino no clínquer do cimento Portland.

Além da presença de materiais expansivos no cimento, o concreto pode estar sujeito ao ataque de sulfatos. Conforme Thomaz (1989, p. 120):

Os sulfatos poderão provir de diversas fontes, como o solo, águas contaminadas ou mesmo componentes cerâmicos constituídos por argilas com altos teores de sais solúveis. A água, por sua vez, poderá ter acesso aos componentes através de

diferentes formas: pela penetração de água de chuva em superfícies mal impermeabilizadas ou pela própria absorção da umidade resultante da ocupação da edificação (lavagem de pisos, asseio corporal, etc.).

Neville (1997, p. 507) descreve o aspecto do concreto atacado por sulfatos como, “[...] uma aparência esbranquiçada característica. A deterioração geralmente começa nos cantos e arestas seguida de uma fissuração progressiva e lascamento que reduzem o concreto a uma condição friável ou mesmo mole.”. Bertolini (2010, p. 133) cita as etapas do ataque por sulfatos:

- a) a penetração dos íons de sulfato na matriz de cimento;
- b) sua reação com o hidróxido de cálcio para formar gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$);
- c) a reação do gesso com os aluminatos para resultar em compostos expansivos como a etringita ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$).

Outro processo de deterioração, que tem origem em reações químicas, é a corrosão da armadura de aço. Sendo que, entende-se por corrosão os processos que, de alguma forma, venham a deteriorar as barras de aço presentes no concreto. Helene (1986, p. 2) define corrosão como, “[...] o ataque de natureza preponderantemente eletroquímica, que ocorre em meio aquoso. A corrosão acontece quando é formada uma película de eletrólito sobre a superfície dos fios ou barras de aço.”.

Entretanto, para que se inicie a corrosão das armaduras é necessário que haja a destruição da película passivadora, a qual serve como proteção das barras de aço. Contudo, só a destruição da película não é o suficiente para iniciar a corrosão. É necessário, também, que existam outros fatores como: diferença de potencial (heterogeneidades), eletrólito (fase líquida do concreto) e algum metal (barra de aço) (SOUZA; RIPPER, 1998, p. 65-66).

Em relação aos fatores necessários para o processo corrosivo, Rüsç² (1975 apud HELENE, 1986, p. 2) cita outros elementos:

- a) deve existir um eletrólito;
- b) deve existir uma diferença de potencial;
- c) deve existir oxigênio;

² RÜSCH, H. **Hormigón armado y hormigón protensado**: propiedades de los materiales y procedimientos de calculo. Barcelona: Compañia Editorial Continental, 1975.

d) podem existir agentes agressivos.

Em se tratando da película passivadora, Helene (1986, p. 4) a descreve como sendo a proteção química da armadura de aço. Souza e Ripper (1998, p. 65-66) citam que a formação da película passivadora se dá através do ambiente alcalino existente no interior do concreto, mas para isso é necessário que o interior do concreto tenha um valor, na escala de pH, acima de 9, pois somente assim é garantido a alcalinidade do concreto. Entretanto, Mehta e Monteiro (1994, p. 170) citam que, “[...] o filme protetor sobre o aço é considerado estável enquanto o pH da solução permanecer acima de 11,5.”

De acordo com Mehta e Monteiro (1994, p. 170), a alcalinidade do concreto se deve ao hidróxido de cálcio, assim os autores citam:

Uma vez que os cimentos Portland hidratados contêm álcalis no fluido dos poros e aproximadamente 20 por cento do peso é constituído de hidróxido de cálcio sólido, normalmente há alcalinidade suficiente no sistema para manter o pH acima de 12. Em condições excepcionais [...], o pH do concreto na vizinhança do aço pode ser reduzido a menos de 11,5, destruindo portanto a passividade do aço e armando o palco para o processo de corrosão.

Entretanto, com a armadura despассивada e com o processo de degradação instalado, as peças de concreto armado estão sujeitos a riscos muito graves, assim como explicam Souza e Ripper (1998, p. 68):

[...] a corrosão das armaduras é um processo que avança de sua periferia para o seu interior, havendo troca de seção de aço resistente por ferrugem. Este é o primeiro aspecto patológico da corrosão, ou seja, a diminuição de capacidade resistente da armadura, por diminuição da área de aço.

Ainda, Souza e Ripper (1998, p. 68) citam outros processos de deterioração devido à corrosão:

- a) perda de aderência entre o aço e o concreto, [...];
- b) desagregação da camada de concreto envolvente da armadura. [...];
- c) fissuração, pela própria continuidade do sistema de desagregação do concreto. [...] o processo é agravado, pois o acesso direto dos agentes agressivos existentes na atmosfera multiplicam e aceleram o a corrosão [...].

Portanto, dentre os fatores que levam a destruição da camada passivadora e, conseqüentemente, à corrosão da armadura estão os processos de carbonatação e o ataque por

cloretos. Sendo que o processo de carbonatação do concreto se dá em ambientes no qual exista a concentração de dióxido de carbono (CO_2). Este entra em contato com a superfície do concreto, reduzindo a quantidade de hidróxido de cálcio do concreto e, à medida que penetra na estrutura, vai diminuindo a alcalinidade do ambiente (HELENE, 1986, p. 9).

De acordo com Souza e Ripper (1998, p. 74-75), esse fenômeno se dá da seguinte maneira:

A carbonatação, [...], resulta diretamente da ação dissolvente do anidrido carbônico (CO_2), presente no ar atmosférico, sobre o cimento hidratado, com a formação do carbonato de cálcio e a conseqüente redução do pH do concreto até valores inferiores a 9. Quanto maior for a concentração de CO_2 presente, menor será o pH, ou, por outro lado, mais espessa será a camada de concreto carbonatada.

Assim, evidencia-se que o agente causador da carbonatação é o dióxido de carbono (CO_2), sendo este um elemento com grande presença no ar atmosférico. Neville (1997, p. 496) explica que o CO_2 não é o causador da corrosão das armaduras, mas é ele quem causa a destruição da película passivante, através da redução do pH e, dessa forma retira a proteção química da armadura.

Contudo, é importante salientar que a película passivadora não é a única proteção da armadura contra os processos de corrosão. O revestimento existente no concreto também desempenha um papel similar, sendo ele, a proteção física da armadura (HELENE, 1986, p. 4). Bertolini (2010, p. 163) reforça esta ideia quando cita que, “A resistência de uma estrutura à ação dos agentes agressivos depende das propriedades do concreto e, sobretudo, da sua capacidade de bloquear sua penetração. A camada de concreto que recobre as armaduras, além disso, fornece a natural proteção contra a corrosão.”. No entanto, Souza e Ripper (1998, p. 75), explicam que a carbonatação poderia aumentar a resistência do concreto a ações mecânicas e a ataques químicos, se não penetrasse mais que a espessura do revestimento da armadura.

Caso o processo corrosivo seja, definitivamente, instalado na armadura devido à carbonatação do concreto, o mesmo apresenta certos aspectos que podem facilitar sua identificação. Segundo Johnson (1973, p. 72, tradução nossa), à medida que a armadura entra em corrosão, ela começa a produzir óxidos de ferro o que pode aumentar em até oito vezes maior o volume da armadura, conseqüentemente com esse aumento de volume se formam fissuras ao longo da armadura e, posteriormente podem resultar na expulsão do revestimento.

De acordo com Helene (1986, p. 5), fissuras geradas pela corrosão das armaduras seguem a orientação da armadura principal, ou dos estribos, quando esses não possuem o cobrimento adequado. Em determinados casos, segundo Dal Molin (1988, p. 57-58), quando a corrosão da armadura está em estágio avançado, com o aumento de volume gerado pela armadura corroída, o processo pode levar ao lasqueamento do concreto, ou seja, a expulsão do cobrimento.

Helene (1986, p. 6) cita que, “O processo é nitidamente visível, pois os produtos de corrosão têm, predominantemente, coloração vermelho-marrom-acastanhada e, sendo relativamente solúveis, ‘escorrem’ pela superfície do concreto, manchando-o.”. Assim, têm-se duas referências quanto à identificação de corrosão por carbonatação: fissuras que seguem e a orientação das armaduras e manchas de coloração avermelhada na superfície do concreto.

Já ataques por cloretos correspondem a uma manifestação patológica de grande perigo ao concreto armado, pois este pode ter o caráter de corrosão localizada, ou também conhecida como *pites*. Tanto que, este tipo de corrosão tende a corroer a armadura com uma velocidade maior do que outros tipos de corrosão (BERTOLINI, 2010, p. 49).

Bertolini (2010, p. 68) define *pites* como:

Uma forma de corrosão particularmente insidiosa, denominada por *pites* ou cavidades, ocorre sobre materiais passivos quando o filme de passividade rompe-se localmente. Ela manifesta-se quando o metal é passivo, mas no ambiente estão presentes espécies que podem romper localmente o filme protetor. Em geral, estas espécies são representadas pelos cloretos; [...].

Diferentemente da corrosão por carbonatação, a qual ataca primeiro o concreto para depois atacar a armadura, o ataque por cloretos danifica primeiro a armadura. Neville (1997, p. 556) cita que “O ataque por cloretos é diferente em que a ação principal é a corrosão do aço e, somente como consequência dessa corrosão é que se danifica o concreto em torno da armadura.”. De acordo com Mehta e Monteiro (1994, p. 171), a película passivadora pode ser destruída, mesmo com o pH do concreto, estando acima de 11,5, sendo a principal característica da corrosão por cloretos.

A presença de cloretos no ambiente é mais comum em ambientes marinhos, mas os cloretos podem estar presentes no concreto devido a outras causas, como uso de aditivos com cloretos e, mais raramente, pela decomposição de materiais orgânicos (NEVILLE, 1997, p. 559).

Entretanto, Souza e Ripper (1998, p. 38) citam outras formas de contaminação do concreto por cloretos:

Os cloretos podem ser adicionados involuntariamente ao concreto a partir da utilização de aditivos aceleradores do endurecimento, de agregados e de águas contaminadas, ou a partir de tratamentos de limpeza realizados com ácido muriático. Por outro lado, podem também penetrar no concreto ao aproveitarem-se de sua estrutura porosa.

Mesmo, sendo poucas as chances de uma estrutura de concreto conter cloretos suficientes em seu ambiente, sendo este longe de áreas marinhas ou industriais, este tipo de corrosão se caracteriza pela agressividade imposta à armadura de aço. Entretanto, é importante ressaltar que a corrosão por cloretos também se agrava devido ao fato dela não ser totalmente consumida durante a destruição da película protetora, assim rapidamente entrando em contato com a armadura (BERTOLINI, 2010, p. 68).

A identificação desse tipo de corrosão é difícil, pois a mesma não tem características bem definidas, sendo um processo silencioso. Segundo Bertolini (2010, p. 68), a corrosão por cloretos tem pequenos indícios de sua manifestação:

- a) a perfuração do componente (uma tubulação, por exemplo);
- b) a possibilidade de que pites provoquem fissuras de corrosão sob tensão [...];
- c) a alteração do aspecto da superfície metálica (por exemplo, a perda do brilho dos aços inoxidáveis).

Outro processo químico muito comum é o fenômeno de retração do concreto, o qual se deve a relação existente entre o cimento e a água. Portanto, o fator água/cimento influencia diretamente nas fissuras geradas por retração. De acordo com Verçoza (1991, p. 101):

O concreto, ao secar, diminui de volume, por diversas razões. Uma delas é a saída da água excedente (água de moldagem, porque parte da água passa a ser água de constituição) enquanto o concreto não está suficientemente endurecido. Outra é a variação de volume dos cristais formados durante a hidratação e secagem. No final, tudo é consequência da água e, por isso, costumamos chamar a essa variação de volume de retração hidráulica.

Thomaz (1989, p. 103) cita que para que haja hidratação dos componentes do cimento e a devida fluidez do concreto, um fator água/cimento de aproximadamente 0,40, já é o suficiente para alimentar as reações de hidratação. Contudo, toda a quantidade excedente ao fator a/c de 0,40, torna-se água livre no interior do concreto, tornado-o menos resistente, mediante sua

evaporação. No entanto é bom ressaltar que para a devida hidratação do cimento, um fator água/cimento de aproximadamente 0,22 já é suficiente.

De acordo com Thomaz (1989, p. 103), existem três tipos de retração:

- a) retração química: a reação química entre cimento e a água se dá com redução de volume; devido às grandes forças interiores de coesão, a água combinada quimicamente (22 a 32%) sofre uma contração de cerca de 25% de seu volume original;
- b) retração por secagem: a quantidade excedente de água, empregada na preparação do concreto ou argamassa, permanece livre no interior da massa, evaporando-se posteriormente; tal evaporação gera forças capilares equivalentes a uma compressão isotrópica da massa, produzindo a redução do seu volume;
- c) retração por carbonatação: a cal hidratada liberada nas reações de hidratação do cimento reagem com gás carbônico presente no ar, formando carbonato de cálcio; esta reação é acompanhada de uma redução de volume, gerando a chamada retração por carbonatação.

Outro tipo de retração é a plástica do concreto, o qual Souza e Ripper (1998, p. 61) explicam que:

Este é o primeiro dos casos em que a fissuração, no processo de execução de uma determinada peça estrutural, ocorre ainda antes da pega do concreto, devido à evaporação excessivamente rápida da água que foi utilizada em excesso para a feitura do material – nada a ver com o comportamento reológico próprio do concreto –, sendo que a massa, em consequência, se contrai de forma irreversível, podendo este movimento acontecer imediatamente após ao lançamento do concreto (10 minutos).

O processo de retração plástica pode ser explicado pelas absorções exageradas da água de amassamento pelas formas, pelos agregados ou mesmo por uma grande e rápida evaporação da água, o que normalmente acontece, pois o simples fato de molhar as formas resolve a absorção causada por ela. No entanto, a evaporação da água, grande responsável pela retração plástica, ocorre porque a velocidade com que a água percorre a massa de concreto até a superfície (exsudação) é menor do que a velocidade com que a água da superfície evapora. Esse fenômeno normalmente acontece em elementos estruturais nos quais a altura da seção elemento é muito menor que a superfície de contato com o ambiente (DAL MOLIN, 1988, p. 11-12).

Contudo, Souza e Ripper (1998, p. 63) explicam, de forma geral, o fenômeno da retração como uma contração natural da estrutura, e as fissuras que surgem são devido à presença dos vínculos que impedem esse movimento da estrutura. Considerando-se alguns fatores

específicos, pode-se diminuir a formação desse tipo de fissura, pois conforme Thomaz (1989, p. 107):

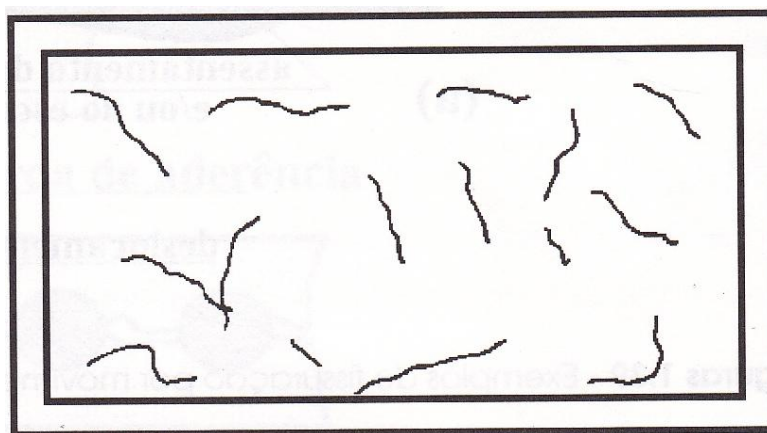
A ocorrência de fissuras de retração numa viga de concreto armado dependerá da dosagem do concreto (principalmente da relação água/cimento), das condições de adensamento (quanto mais adensado, menor a retração) e das condições de cura (a evaporação precoce da água aumentará substancialmente a retração).

As fissuras por retração, em vigas ou em lajes, de acordo com Souza e Ripper (1998, p. 64), são:

[...] no caso das vigas, as fissuras situam-se em todo o contorno da alma das mesmas, paralelas entre si, a intervalos quase regulares, podendo ocorrer em qualquer ponto do vão; no caso das lajes, formam uma figura de aspecto de mosaico, podendo ocorrer em ambas as faces da peça.

A figura 3, apresenta a possível configuração de fissuras por retração em lajes.

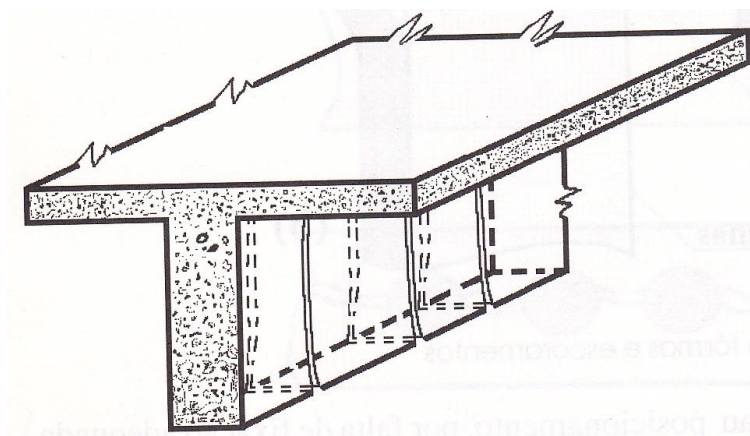
Figura 3 – Fissuras por retração em lajes



(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p. 64)

A figura 4, mostra a possível configuração de fissuras por retração em vigas.

Figura 4 – Fissuras por retração em vigas



(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p. 64)

Em relação ao processo de retração, também pode ser referenciado como um processo físico, pois o mesmo tem características tanto químicas quanto físicas. Certos fatores como a evaporação da água que influencia em fissuras por retração plástica, é puramente um processo físico, no entanto, a variação de volume gerada na reação química do cimento com água, a retração por secagem, fornece características químicas ao processo, bem como a retração por carbonatação. Assim, esse processo pode ser considerado um processo físico-químico.

4.2 PROCESSOS FÍSICOS

Diferentemente dos processos químicos, os processos físicos não possuem um agente específico como causador. No entanto, as principais causas dos processos físicos de deterioração são: variações de temperatura, insolação, vento e água. Aliados a esses processos podem ser citados, excesso de sobrecargas e deformações excessivas (SOUZA; RIPPER, 1998, p. 29, 41).

Em se tratando de água ou vento, um processo que pode ser decorrente deles, é o desgaste do concreto, o qual se dá através da incidência de um desses agentes físicos na superfície da estrutura. Entretanto, só a existência desses agentes não são suficientes para iniciar o processo na estrutura, certos fatores como turbilhamento do ar, tamanho das partículas carregadas pelo vento e dureza do concreto também devem ser avaliados (WITTKOWSKI, 2010, p. 31).

Os processos físicos possuem características e aspectos que bem definidos quanto ao seu processo fissuratório. Portanto, conhecidos esses aspectos, em que muitos seguem um padrão,

serve de auxílio na identificação dessas manifestações. Dentre as causas dos processos físicos de deterioração, ressaltam-se as movimentações térmicas, os excessos de sobrecargas e as deformações excessivas.

Em relação às movimentações térmicas, é um fenômeno natural ao qual as estruturas estão sujeitas, isto devido à exposição das mesmas as variações climáticas que todos estão submetidos. Assim, Thomaz (1989, p. 19) explica que:

Os elementos e componentes de uma construção estão sujeitos a variações de temperatura, sazonais e diárias. Essas variações repercutem numa variação dimensional dos materiais de construção (dilatação ou contração); os movimentos de dilatação e contração são restringidos pelos diversos vínculos que envolvem os elementos e componentes, desenvolvendo-se nos materiais, por este motivo, tensões que poderão provocar o aparecimento de fissuras.

As movimentações térmicas de um material estão relacionadas com as propriedades físicas do mesmo e com a intensidade da variação da temperatura; a magnitude das tensões desenvolvidas é função da intensidade da movimentação, do grau de restrição imposto pelos vínculos a esta movimentação e das propriedades elásticas do material.

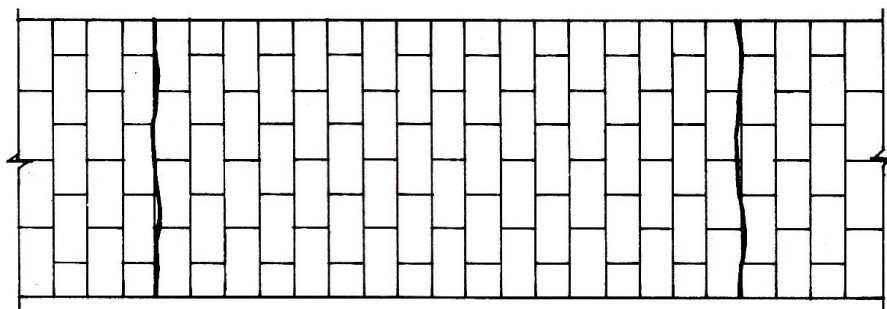
É importante que a estrutura esteja devidamente projetada para poder absorver essas tensões geradas, assim Souza e Ripper (1998, p. 53) citam que as estruturas não estão sujeitas, somente, às variações de temperatura ambientais, mas também às variações do microclima. Entendem-se como variações do microclima, as diferentes temperaturas que a estrutura pode desenvolver em faces opostas, assim, resultando, em solicitações diferenciadas à mesma peça estrutural.

Contudo, Thomaz (1989, p. 29) explica como surgem as fissuras devido às variações de temperatura:

Na fase de aquecimento o revestimento do piso (lajotas, ladrilhos, etc.) dilata-se, sendo o material solicitado à compressão, por efeito de sua vinculação com a base. Na fase de resfriamento o material é solicitado à tração, criando-se, na medida em que é ultrapassada a resistência à tração do revestimento ou da própria base, fissuras regularmente espaçadas [...].

Na figura 5, está a configuração típica de fissuras por movimentações térmicas em pisos externos.

Figura 5 – Fissuras por movimentação térmica em pisos externos



(fonte: THOMAZ, 1989, p. 29)

Outra possível fonte de formação de fissuras é o contato entre materiais de diferentes coeficientes de dilatação, o que pode gerar movimentações diferenciadas entre os materiais resultando, assim, em tensões desfavoráveis aos elementos. Até mesmo o contato entre dois elementos de concreto de diferentes idades podem provocar diferentes movimentações térmicas (JOHNSON, 1973, p. 70, tradução nossa).

No entanto, muitos desses fenômenos podem ser previstos durante a elaboração do projeto estrutural e ter seus efeitos mitigados. Outro caso em que é prevista uma situação, mas nem sempre o resultado é o esperado, é a estimativa das cargas atuantes na estrutura. Pois, mesmo com coeficientes de segurança, pode acontecer dessa estimativa não ser o suficiente para representar a carga real. Ou, também, pode ocorrer que o uso previsto pelo projetista não esteja sendo o mesmo pela parte do usuário. De acordo com Thomaz (1989, p. 45):

A atuação de sobrecargas, previstas ou não em projeto, pode produzir o fissuramento de componentes de concreto armado sem que isto implique, necessariamente, ruptura do componente ou instabilidade da estrutura; a ocorrência de fissuras num determinado componente estrutural produz uma redistribuição de tensões ao longo do componente fissurado e mesmo nos componentes vizinhos, de maneira que a solicitação externa geralmente acaba sendo absorvida de forma globalizada pela estrutura ou parte dela. [...].

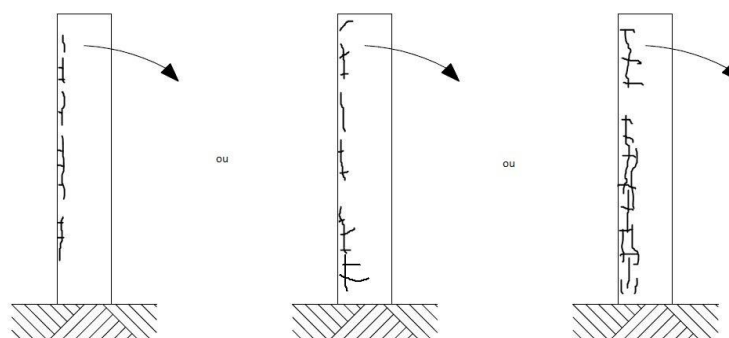
Para casos comuns de estruturas de concreto armado, os componentes fletidos são em geral dimensionados prevendo-se a fissuração do concreto na região tracionada da peça, buscando-se tão somente limitar esta fissuração em função de requisitos estéticos e/ou em função da deformabilidade e da durabilidade da estrutura.

Tendo como base que o tipo de solicitação ao qual a estrutura está sendo submetida pode gerar um padrão de fissuração específico, pois, de acordo com Verçoza (1991, p. 71), “[...] cada tipo de solicitação, quando excessiva, induz uma configuração diferente de fissuração no concreto armado. Por isso, quase sempre é possível identificar a causa de um fissuramento pelo seu simples mapeamento.”.

Assim, todos os componentes da estrutura, pilares, vigas e lajes, estão sujeitos a fissuras por sobrecargas, caso elas existam. No entanto, as configurações do fissuramento são diferentes entre os componentes da estrutura, mas de maneira geral, segundo Verçoza (1991, p. 71), “As fissuras, em concreto, iniciam onde há tração. Mesmo que a causa seja outra, tal como compressão ou cisalhamento, o fissuramento sempre serve para indicar a direção que está sendo tracionada, [...]”.

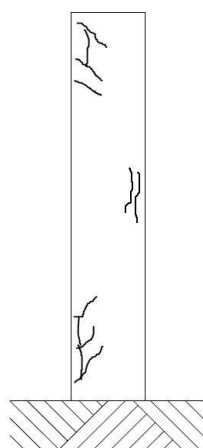
Na figura 6 apresentam-se três configurações de fissuras devido à flexão num pilar de base engastada e topo livre, indicando o surgimento de fissuras na região oposta à direção de caimento do elemento. Já na figura 7 apresenta-se as fissuras típicas por flambagem num pilar de base e topo engastados (VERÇOZA, 1991, p. 74).

Figura 6 – Fissuras por flexão em pilares



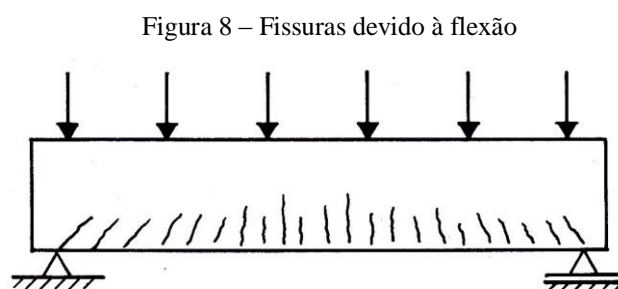
(fonte: adaptado de VERÇOZA, 1991, p. 75)

Figura 7 – Fissuras por flambagem



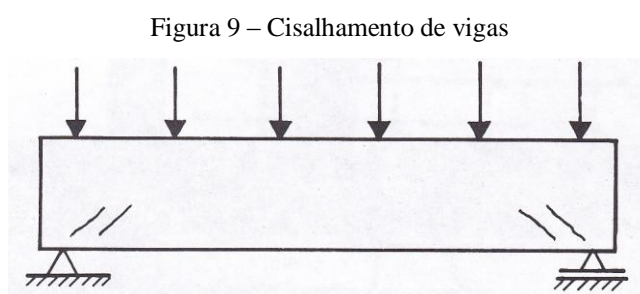
(fonte: adaptado de VERÇOZA, 1991, p. 75)

No caso de vigas, têm-se dois tipos mais comuns de fissuração, por flexão ou por cisalhamento. Thomaz (1989, p. 50) descreve como surgem as fissuras por flexão: “As fissuras ocorrem perpendicularmente às trajetórias dos esforços principais de tração. São praticamente verticais no terço médio do vão e apresentam aberturas maiores em direção à face inferior da viga onde estão as fibras mais tracionadas.”. Na figura 8, representa-se o padrão fissuratório da flexão de vigas.



(fonte: THOMAZ, 1989, p. 50)

Sobre vigas com fissuras devido ao cisalhamento, Thomaz (1989, p. 50) cita que, “[...] vigas deficientemente armadas ao cisalhamento, ou mesmo no caso de ancoragem deficiente das armaduras, podem surgir inicialmente apenas às fissuras inclinadas nas proximidades do apoio [...]”. Sendo este tipo de problema patológico muito perigoso, pois o mesmo possui a ruptura do tipo frágil. Na figura 9, representa-se o padrão fissuratório da flexão em cisalhamento.

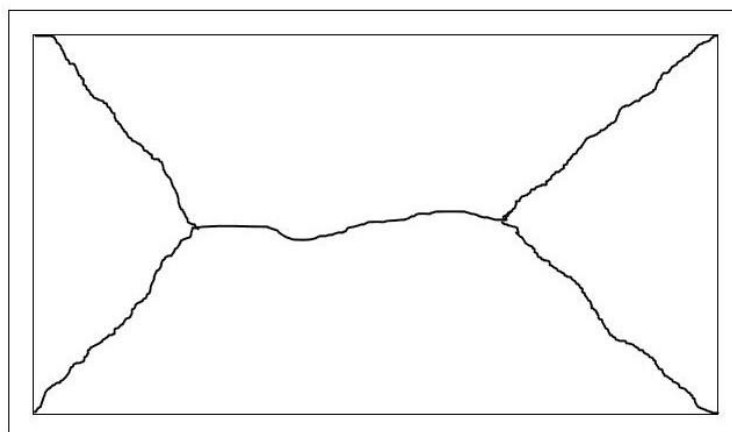


(fonte: THOMAZ, 1989, p. 51)

Em se tratando de lajes, Thomaz (1989, p. 54) explica que “O aspecto das fissuras varia conforme as condições de contorno da laje (apoio livre ou engastado), a relação entre comprimento e largura, o tipo de armação e a natureza e intensidade da solicitação.”. Dal

Molin (1988, p. 76) atenta que os momentos gerados nos cantos de lajes que vencem vãos muito compridos podem gerar fissuras inclinadas em sua face inferior. Esse tipo de fissura geralmente tende do canto da laje para seu centro, marcando o que poderia ser a diagonal da laje. As figuras 10 e 11, mostram as vistas superior e inferior de fissuras por flexão em lajes simplesmente apoiadas.

Figura 10 – Vista inferior de uma laje simplesmente apoiada com fissuras por flexão



(fonte: THOMAZ, 1989, p. 55)

Figura 11 – Vista superior de uma laje simplesmente apoiada com fissuras por flexão

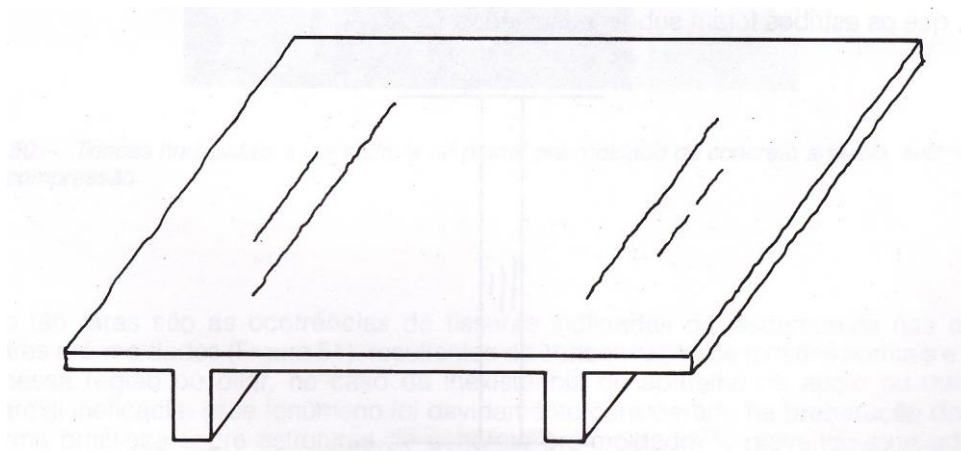


(fonte: THOMAZ, 1989, p. 55)

Outro tipo de fissura comum em lajes é decorrente de erros relacionados à armadura negativa. Segundo Verçoza (1991, p. 84), “[...] as trincas formam linhas retas na face superior,

paralelas, acompanhando as vigas [...]. O defeito é a falta ou insuficiência de armadura negativa na laje. É um defeito fundamental, geralmente de difícil solução.” Thomaz (1989, p. 54) complementa explicando que esse tipo de fissura “[...] pode surgir quando não existe ferragem negativa entre painéis de lajes construtivamente contínuas, porém projetadas como simplesmente apoiadas; as trincas surgem na face superior da laje, acompanhando o seu contorno [...]”. Na figura 12, fissuras devidas à falta ou insuficiência de armadura negativa.

Figura 12 – Falta ou insuficiência de armadura negativa



(fonte: THOMAZ, 1989, p. 55)

As estruturas de concreto armado, principalmente vigas e lajes, submetidas a certos carregamentos, sofrem deformações, as quais são aceitáveis e até previstas. Essas deformações são naturais aos elementos rígidos da estrutura, como lajes e vigas, pois à medida que se avança com o carregamento dessas peças, as mesmas iniciam o processo de deformação (THOMAZ, 1989, p. 69).

Contudo, as deformações são resultados de um avanço tecnológico relacionado ao concreto armado. Cada vez mais, compreende-se o funcionamento dos mecanismos intermoleculares do cimento, fabricando-se, assim, cimentos de melhor qualidade. Aliado a esse fato, os *softwares* estão cada vez mais apurados, o que permite o dimensionamento de peças mais esbeltas, conseqüentemente, mais deformáveis (THOMAZ, 1989, p. 69).

Sendo, as deformações da estrutura, como efeito esperado pelo projetista, Verçoza (1991, p. 86) cita certos aspectos importantes a serem considerados:

Muitas vezes o concreto pode flexionar sem o aparecimento de fissuras visíveis, Essas fissuras, no entanto, existem, mas ficam muito distribuídas em microfissuras, invisíveis a olho nu.

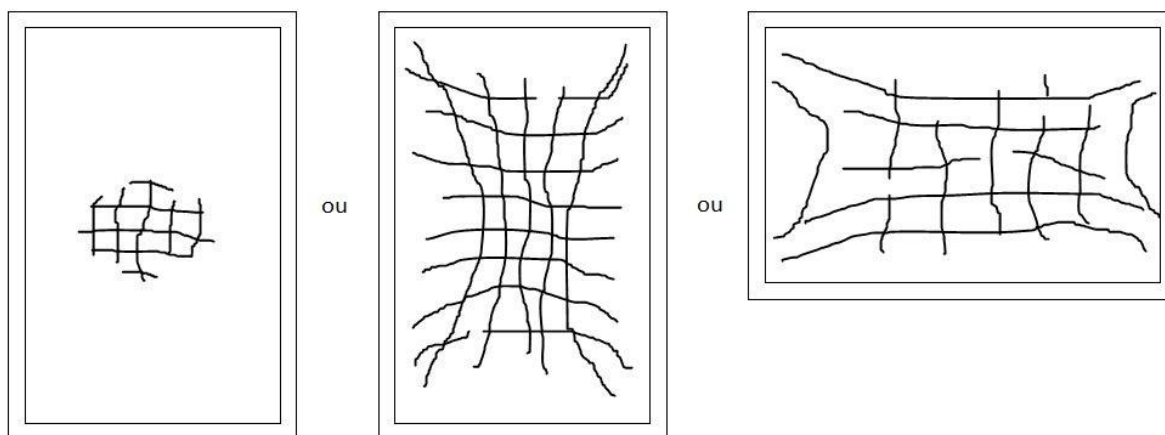
Assim sendo, as deformações excessivas, além do mau aspecto, são o princípio de formação de fissuras maiores, [...]. E principalmente são o sinal de que alguma coisa vai mal. Os limites admissíveis são aqueles dados nas Normas [...].

Verçoza (1991, p. 83) explica o aparecimento das fissuras em lajes com deformações excessivas:

Lajes armadas em duas direções (retangulares ou quadradas), quando excessivamente flexionadas apresentam fissuras que, geralmente, começam no centro, perpendiculares às direções da armadura, pela face inferior [...]. Essas linhas vão depois se curvando em direção aos vértices.

A figura 13 apresenta a vista inferior de uma laje com o processo de fissuração por deformação excessiva.

Figura 13 – Vista inferior de uma laje com fissuras por deformação excessiva



(fonte: VERÇOZA, 1991, p. 84)

Esses são alguns casos de processos físicos que levam ao surgimento de fissuras numa edificação, no entanto são inúmeros os fatores que podem gerar um processo fissuratório. As estruturas são diretamente afetadas por processos externos a elas, como variações climáticas, detalhes construtivos e processos de execução, entre outros, assim qualquer um desses eventos pode influenciar a formação de fissuras.

5 INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO

A inspeção de uma estrutura tem por finalidade avaliar ou mesmo levantar informações sobre determinado fato ou evento. A NBR 5674 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012a, p. 2) define inspeção como sendo o ato de avaliação de uma estrutura, analisando a estrutura como um todo, bem como as partes que a constituem. No entanto, Gomide et al. (2009, p. 112) explica que a inspeção é a avaliação técnica que tem por finalidade aferir condições de uso ou manutenção, além de ter como objetivo final a melhoria da qualidade da edificação.

Em se tratando da inspeção de estrutura, ela tem caráter fundamental durante o processo de avaliação das manifestações patológicas, pois é a partir da inspeção que se inicia o diagnóstico de uma estrutura. Segundo Bertolini (2010, p. 284), é através da verificação que importantes aspectos da estrutura, como estado de conservação, riscos relacionados à estrutura e processos de deterioração, que a edificação começa a ser diagnosticada.

Durante a verificação da estrutura, para que se tenha uma eficácia maior e melhor uso dos recursos, a inspeção pode ser separada em duas etapas, sendo a primeira uma inspeção preliminar e a segunda a inspeção detalhada. Nesta divisão entre inspeção preliminar e detalhada, a inspeção preliminar tem como características uma avaliação visual e, se necessário for, alguns ensaios. Já a inspeção detalhada tem por caráter uma avaliação muito mais aprofundada, com ensaios mais completos, a fim de se avaliar a extensão da manifestação patológica na estrutura (ANDRADE, 1992, p. 51).

Bertolini (2010, p. 285-286) atenta para importância da inspeção visual da estrutura, e quais os itens que se podem ser observados:

Durante a inspeção, deve-se determinar o tipo e a extensão dos danos sofridos pela obra. Para cada fenômeno observado, pode-se extrair a frequência, a extensão e a posição das áreas envolvidas, também em relação ao ambiente (por exemplo, se o dano é interno ou externo) e às condições microclimáticas (por exemplo, protegido/não protegido) e estruturais (por exemplo, ao longo do lado interno ou do lado externo de elementos fletidos). Comparando os fenômenos observados na obra com as informações sobre a estrutura e o ambiente, pode-se, geralmente, especificar as possíveis causas de degradação e formular um plano de inspeção da estrutura.

Ainda, de acordo com Bertolini (2010, p. 285-286), o fato de se inspecionar visualmente a estrutura favorece a compreensão de fatores ambientais aos quais a estrutura está exposta, acumulando, assim, informações fundamentais para a identificação das causas das manifestações patológicas. No entanto, segundo Pêsoa (2008, p. 46), é ressalva que a inspeção deve ser feita por profissional habilitado, o qual tenha condições de observar e fazer os registros necessários da manifestação observada para uma melhor avaliação da estrutura.

No que se diz respeito a inspeções, o Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (2011, p. 7) elaborou a Norma de Inspeção Predial de São Paulo aonde, dentro de vários assuntos abordados, sugere-se três níveis de inspeção, sendo elas divididas através do grau de complexidade. Os três níveis são:

- a) nível 1: refere-se a uma inspeção mais simples, praticamente visual, sem uso ou pouco uso de ensaios, mas sendo realizado por um profissional habilitado;
- b) nível 2: está relacionado a um nível de complexidade maior, podendo envolver uma equipe de profissionais além da realização de ensaios para identificação das anomalias;
- c) nível 3: tem as mesmas características do nível 2, mas com a adição de auditorias técnicas, sendo um etapa mais elaborada e muito mais complexa.

Visando a melhor caracterização da inspeção em estruturas, Souza e Ripper (1998, p. 79) explicam que a inspeção pode ser dividida em três partes: levantamento de dados, análise e diagnóstico. Entretanto, Lichtenstein³ (1985 apud THOMAZ, 1989, p. 151-152), traz uma divisão ligeiramente diferente:

- a) levantamento de subsídios: acumular e organizar as informações necessárias e suficientes para o entendimento dos fenômenos;
- b) diagnóstico da situação: entender os fenômenos, identificando as múltiplas relações de causa e efeito que normalmente caracterizam um problema patológico;
- c) definição de conduta: prescrever a solução do problema, especificando todos os insumos necessários, e prever a real eficiência da solução proposta.

Assim sendo, o levantamento de dados, segundo Bertolini (2010, p. 285), corresponde a coleta das mais diversas informações sobre a edificação. Durante a coleta de dados se deve

³ LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das construções**: procedimento para formulação do diagnóstico de falhas e definição da conduta adequada à recuperação de edificações. 1985. 191 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.

buscar informações variadas, como histórico da construção, informações sobre materiais utilizados, ocorrência de acidentes, agressividade ambiental e reparos feitos na estrutura. Enfim, deve-se coletar todos subsídios que possam auxiliar o diagnóstico da estrutura. Durante o levantamento de dados, Barbosa (2007, p. 10), sugere que seja feito um registro fotográfico bem detalhado, além de sugerir que seja feito o levantamento de histórico da estrutura, através de relatos orais ou através de análises dos projetos da estrutura e, se disponível, de registros feitos durante a execução da obra.

Assim, durante o levantamento de dados é importante que essas informações sejam registradas servindo como um cadastro da estrutura inspecionada. Pois, conforme a NBR 9452 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012b, p. 1), que trata de vistorias de pontes e viadutos, cita o termo vistoria cadastral, a qual sugere a realização de uma vistoria, a qual tem por finalidade o levantamento e o registro de informações sobre a estrutura. A NBR 9452, durante seu texto, ainda sugere inúmeras características a serem registradas, como características da superestrutura, concepção estrutural, falhas observadas, características individuais dos elementos estruturais, estado de fissuração com mapeamento, entre outros.

Em se tratando do mapeamento, Souza e Ripper (1998, p. 238) explicam que o mesmo se trata de um registro normalmente gráfico das anomalias existentes na estrutura. Esse mapeamento geralmente é registrado na planta de formas da estrutura, sendo este desenho esquemático, sem cotas e, se necessário, plantas de corte para elucidar a anomalia registrada. Para uma boa caracterização, em planta, das manifestações patológicas é importante utilizar uma simbologia gráfica no mapeamento.

Já a etapa de análise tem por finalidade a compreensão dos problemas patológicos, o que a torna uma etapa de trabalho minucioso, e de caráter investigativo, sempre se buscando os reais motivos por trás das manifestações patológicas. Um diagnóstico de boa qualidade está diretamente relacionado às etapas de levantamento de dados e análise, sendo ele dependente das informações obtidas nas etapas anteriores (SOUZA; RIPPER, 1998, p. 79, 81).

Uma informação importante que deve ser fundamentada após as etapas de levantamento, análise e diagnóstico, é a classificação da estrutura avaliada e, com intuito de auxiliar a decisão do avaliador, o Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (2011, p. 12-13), dentro da Norma de Inspeção Predial de São Paulo, elaborou critérios em relação ao

grau de risco apresentado pela estrutura, tendo como base o risco oferecido ao usuário, ao meio ambiente e ao patrimônio. Eles são descritos a seguir:

- a) mínimo: vinculado às questões estéticas da estrutura e ao aspecto desagradável ao usuário sem comprometer a estrutura;
- b) médio ou regular: quando a deterioração pode comprometer a utilização e/ou desempenho da estrutura;
- c) crítico: risco de perda de integridade estrutural, podendo colocar em risco a segurança dos usuários, além de prejudicar a utilização e a funcionalidade da estrutura e, também, grandes prejuízos ao meio ambiente.

Dentro das etapas de levantamento e análises, as fissuras são manifestações patológicas com caráter diferenciado, pois representam informações importantes do ponto de vista do comportamento da estrutura, pois, de acordo com Thomaz (1989, p. 15):

[...] particularmente importante é o problema das trincas, devido a três aspectos fundamentais: o aviso de um eventual estado perigoso para a estrutura, o comprometimento do desempenho da obra em serviço (estanqueidade à água, durabilidade, isolamento acústica, etc.), e o constrangimento psicológico que a fissuração do edifício exerce sobre seus usuários.

De acordo com Bertolini (2010, p. 288), as fissuras representam manifestações típicas dos processos de degradação do concreto e possuem importância diferenciada, pois representam evidências sobre o tipo de degradação a qual está submetida. Assim, as fissuras contribuem para o avaliador como sendo, uma espécie, de orientação sobre a causa do processo de deterioração.

No entanto, Souza e Ripper (1998, p. 57) atentam que:

[...] a caracterização da fissuração como deficiência estrutural dependerá sempre da origem, intensidade e magnitude do quadro de fissuração existente, posto que o concreto, por ser material com baixa resistência à tração, fissurará por natureza, sempre que as tensões trativas, que podem ser instaladas pelos mais diversos motivos, superarem a sua resistência última à tração.

A presença desta manifestação patológica, muitas vezes, deve-se a falta de comunicação entre os responsáveis pelos projetos de execução, pois de acordo com Thomaz (1989, p. 16), “Incompatibilidade entre projetos de arquitetura, estrutura e fundações normalmente conduzem a tensões que sobrepõem a resistência dos materiais em seções particularmente desfavoráveis, originando problemas de fissuras.”. No entanto, Dal Molin (1988, p. 1) cita outros fatores que desencadeiam as fissuras:

Atualmente, este quadro vem se agravando pelo excessivo aproveitamento das resistências dos materiais, bem como pelo uso de uma mão de obra de qualificação inferior. Além disso, a incidência dessas lesões está relacionada com o baixo nível do controle da qualidade realizado em cada uma das etapas do processo da construção civil (planejamento, projeto, materiais, execução e uso) e, também, com a falta de compatibilidade entre as mesmas.

Thomaz (1989, p. 17) destaca que muitos problemas patológicos, em especial as fissuras, poderiam ser mitigados caso houvesse mais registros e publicações de erros cometidos durante os processos de concepção e de construção. O que ressalta a importância de se ter um melhor entrosamento entre as etapas de elaboração de uma edificação.

Dado ao fato que muitos fenômenos físicos ou químicos podem gerar um determinado processo fissuratório, é importante conhecer os padrões típicos das fissuras para que haja qualidade na inspeção. Souza e Ripper (1998, p. 57) explicam a relevância de se conhecer os tipos de fissuras:

[...] um processo de fissuração pode, quando anômalo, instalar-se em uma estrutura como consequência da atuação das mais diversas causas, [...], e, para que se consiga identificar com precisão causa(s) e efeito, é necessário desenvolver análises consistentes, que incluam a mais correta determinação da configuração das fissuras, [...].

Assim, a identificação da causa de uma fissura corresponde a uma etapa difícil e complicada, pois uma fissura pode ser originada por mais de um fator. Entretanto, esta etapa é fundamental para a escolha do procedimento a ser adotado na recuperação da fissura. De acordo com Souza e Ripper (1998, p. 78):

Ao se verificar que uma estrutura de concreto armado ou protendido está ‘doente’, isto é, que apresenta problemas patológicos, torna-se necessário efetuar uma vistoria detalhada e cuidadosamente planejada para que se possa determinar as reais condições da estrutura, de forma a avaliar as anomalias existentes, suas causas, providências a serem tomadas e os métodos a serem adotados para a recuperação ou o reforço.

Em se tratando do diagnóstico específico de fissuras, o *Building Research Establishment*⁴ (1978 apud THOMAZ, 1989, p. 152-153) indica as etapas a seguir:

- a) incidência, configuração, comprimento, abertura e localização da trinca;
- b) idade aproximada da trinca, do edifício e época em que foi construído;

⁴ BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. **Wall cladding defects and their diagnosis**. Garston: BREPress, 1978. Digest 217.

- c) se a mesma aprofunda-se por toda a espessura do componente trincado;
- d) se trinca semelhante aparece em componente paralelo ou perpendicular àquele em exame;
- e) se trinca semelhante aparece em pavimentos contíguos;
- f) se trinca semelhante aparece em edifício vizinho;
- g) se o aparecimento da trinca é intermitente ou se sua abertura varia sazonalmente;
- h) se a trinca já foi reparada anteriormente;
- i) se ocorreu alguma modificação profunda nas cercanias da obra;
- j) se no entorno da trinca aparecem outras manifestações patológicas, como umidade, descolamentos, manchas de ferrugem e de bolor, eflorescências, etc.;
- l) se nas proximidades da trinca existem tubulações ou eletrodutos embutidos;
- m) se existem na obra caixilhos comprimidos;
- n) se as trincas manifestam-se preferencialmente em alguma das fachadas da obra;
- o) se existem deslocamentos relativos (para fora ou para dentro) na superfície do componente trincado;
- p) se a abertura da trinca é constante ou se ocorre estreitamento numa dada direção;
- q) se a trinca é acompanhada por escamações indicativas de cisalhamento;
- r) se está ocorrendo condensação ou penetração de água da chuva para o interior do edifício;
- s) se o edifício está sendo corretamente utilizado.

Thomaz (1989, p. 156) ressalta, ainda, o cuidado que se deve ter em relação às conclusões sobre as causas de um processo fissuratório, pois, a fim de não se cometer enganos, as manifestações devem ser visualizadas dos mais diferentes ângulos. Contudo, não se deve ter dúvidas sobre as causas, assim, quando necessário, deve-se utilizar de recursos, como pequenas demolições, ensaios semi-destrutivos e ensaios não destrutivos, para se sanar qualquer dúvida.

6 METODOLOGIA DA INSPEÇÃO

Neste capítulo são apresentadas as características construtivas da estrutura, bem como, os critérios adotados na inspeção. Primeiramente, há a descrição da estrutura e, logo após, é explicado o desenvolvimento da inspeção, ou seja, a metodologia da pesquisa.

6.1 DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA

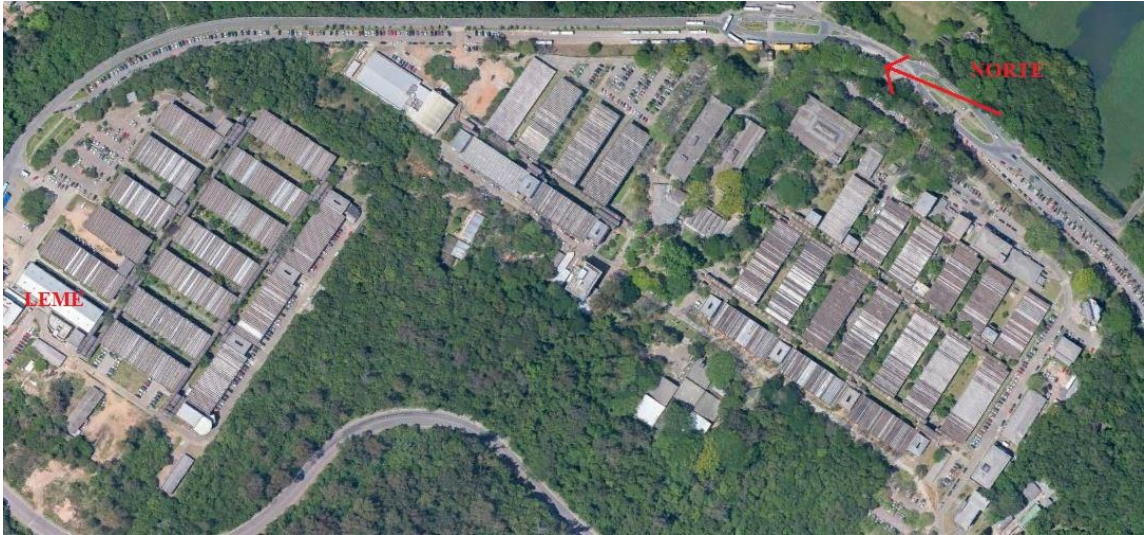
Inicialmente, buscou-se uma passarela e cobertura em concreto armado no Campus do Vale/UFRGS que pudesse ser considerada como uma estrutura padrão, assim ela poderia fornecer, de forma satisfatória, dados que representassem o estado de deterioração das outras passarelas. Assim, as manifestações patológicas existentes na passarela localizada próximo ao Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (Prédio 43436 – setor 4), prédio utilizado como referência, representam, de forma amostral, as outras passarelas do Campus do Vale/UFRGS. Para escolha dessa estrutura, primeiramente, percorreu-se as outras passarelas, observando-as e analisando a estrutura como todo, e não somente, seus elementos estruturais individualmente.

Todas as passarelas e coberturas do Campus do Vale, independente do grau de degradação, apresentam algum tipo de deterioração e, como elas se destinam ao uso tanto dos alunos quanto dos professores e funcionários da faculdade, é importante que se tenha um registro e a localização dos elementos estruturais mais degradados. Tendo esse tipo de informação, torna-se possível a elaboração de intervenções mais precisas quando há a necessidade de efetuar algum tipo de manutenção. Assim, a escolha dessa passarela também fornece referência para possíveis análises das outras passarelas com suas respectivas coberturas.

Além desta estrutura representar o estado de deterioração das outras, ela também fornece subsídios necessários para realização de estudo acadêmico. Uma característica interessante do trabalho, é que o mesmo demonstra que os próprios alunos podem contribuir para a conservação do patrimônio da faculdade. Outro ponto importante que vale ressaltar é que este trabalho serve de apoio à Prefeitura do Campus do Vale/UFRGS, pois a partir dele o órgão responsável pode preparar uma terapia para estrutura ou mesmo, acompanhar a evolução dos

processos de deterioração existentes. A figura 14 mostra uma imagem geral do Campus do Vale/UFRGS. A figura 15 mostra a passarela escolhida para inspeção.

Figura 14 – Campus do Vale/UFRGS



(fonte: adaptado de GOOGLE MAPS, c2013a)

Figura 15 – Localização da passarela escolhida para inspeção



(fonte: adaptado de GOOGLE MAPS, c2013b)

Em se tratando da estrutura, primeiramente se procurou caracterizar a mesma, através de características construtivas, tais como, tipo, agressividade do ambiente e ano de execução, mesmo que de forma aproximada, entre outras. A seguir, informações que ajudam na caracterização da estrutura:

- a) nome da edificação: Universidade Federal do Rio Grande do Sul;
- b) local: prédio 43436 no setor 4 do Campus do Vale/UFRGS, próximo ao LEME;
- c) endereço: Avenida Bento Gonçalves, 9500. Porto Alegre/RS;
- d) ano de execução: década de 80;
- e) tipo de estrutura: Passarelas e coberturas em concreto armado;
- f) agressividade ambiental: moderada, conforme NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 16);
- g) abertura máxima das fissuras: 0,30 mm, conforme NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 72);
- h) concepção do projeto: pilares, vigas, lajes da passarela e lajes da cobertura em concreto pré-moldado.

Ainda, se obteve as informações de que a resistência característica do concreto é de 30 MPa e a laje da passarela, além de pré-moldada, é protendida (informação verbal⁵). Outra fonte de dados importante para a descrição da estrutura é conhecer as quantidades de elementos inspecionados. Assim, levantou-se em campo os seguintes dados:

- a) número de pavimentos: 2;
- b) número de pilares: 56;
- c) vigas no primeiro pavimento: 54;
- d) vigas no segundo pavimento: 54;
- e) lajes da passarela: 27;
- f) lajes da cobertura, em concreto armado: 108;
- g) cobertura em fibra: 54.

No entanto, deve-se relacionar aos elementos da estrutura as suas dimensões, a fim de se ter uma caracterização mais fiel da edificação. Em se tratando das dimensões, as mesmas se apresentaram robustas, principalmente no segundo pavimento. As dimensões observadas são:

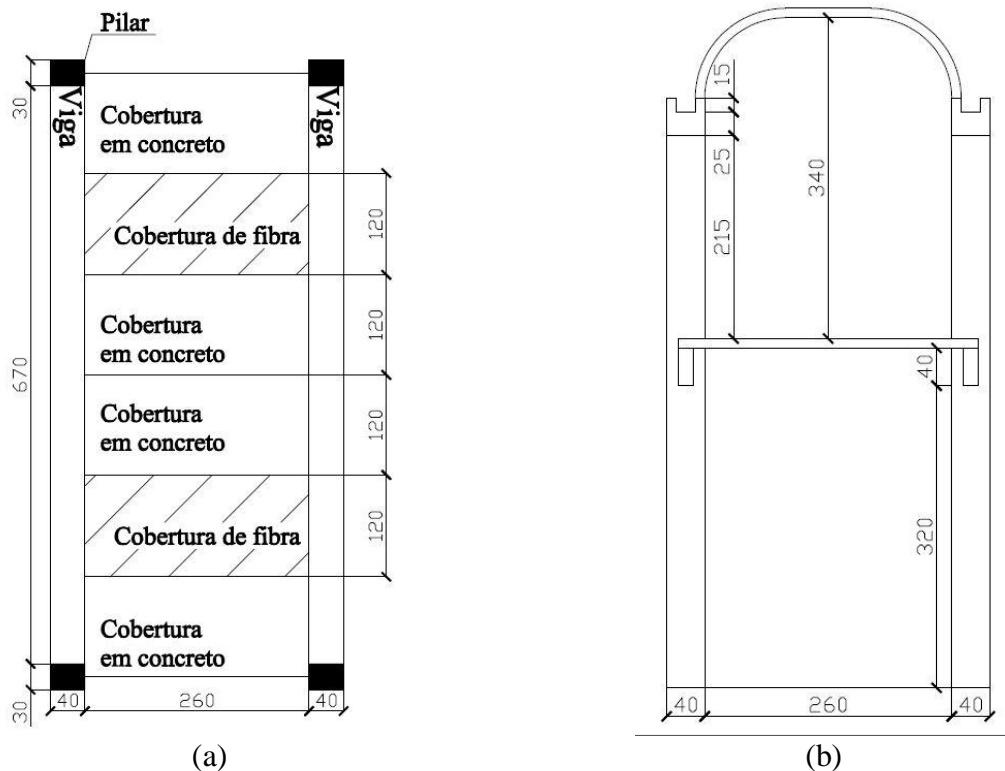
- a) pilares: 40x30x585, cm;

⁵ Informações obtidas com o professor da UFRGS, o Mestre Rubem Schwingel, o qual fez parte do Escritório Técnico do Campus, na construção do Campus do Vale/UFRGS.

- b) vigas, primeiro pavimento: 15x40x700, cm;
- c) vigas calha, segundo pavimento: 40x25x700, cm, a aba da calha com 15 cm;
- d) lajes passarelas: 315x10x220, cm;
- e) lajes cobertura: esse elemento possui características diferentes dos outros, pois é uma estrutura curva, assim se optou por aproximar pela dimensão planificada, resultando em 350x10x120, cm.

O croqui apresentado na figura 16 é composto de uma planta baixa do segundo pavimento e de um corte transversal para ajudar na caracterização da estrutura. Na figura 16 (a) observa-se a vista inferior da cobertura e na figura 16 (b) o corte transversal.

Figura 16 – (a) vista inferior da cobertura e
(b) corte transversal



(fonte: elaborado pelo autor)

Analisando as condições gerais do ambiente ao qual a estrutura está envolvida, anteriormente descrita como moderada, identificou-se a presença de árvores, o que poderia indicar a presença de substâncias nocivas no concreto, através da permanente decomposição de compostos orgânicos devido à falta de manutenção (limpeza). Através das árvores, o índice de

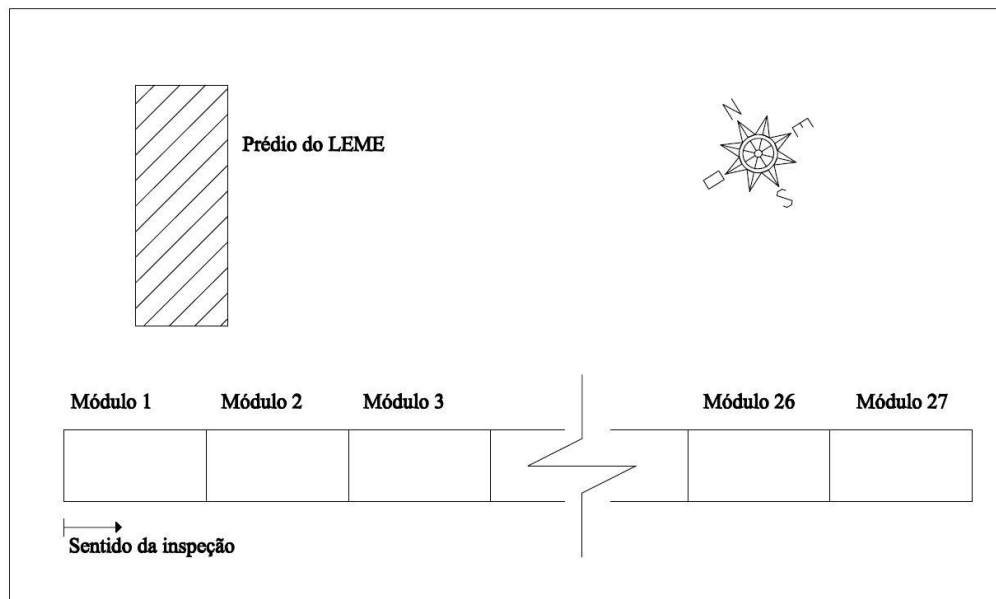
umidade relativa do ar é mantido bastante alto, o que aliada a chuvas regulares, podem desencadear a aceleração na degradação da estrutura.

6.2 MÉTODO DE INSPEÇÃO

Inicialmente, analisou-se a estrutura a fim de se determinar como seria feita a divisão da mesma. Essa divisão tinha como finalidade identificar os trechos mapeados, assim, quando o mesmo fosse transcrito dos croquis para as plantas, houvesse coincidência dos mesmos. Primeiramente se dividiu a estrutura em pavimentos, ficando assim, dois pavimentos. Após essa primeira divisão os pavimentos foram divididos em módulos, sendo o módulo definido pelo vão entre pilares. Decorrida a subdivisão da estrutura, chegou-se ao seguinte resultado: dois pavimentos e cada pavimento com vinte e sete (27) módulos, assim cada módulo apresentaria seus próprios elementos, ficando mais simples a inspeção.

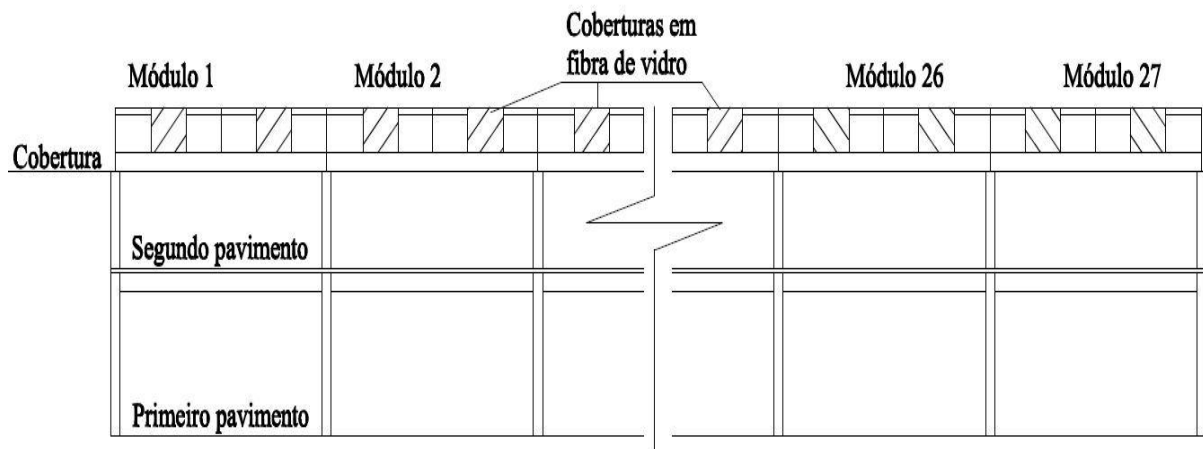
Para identificação do módulo, ou seja, para identificar qual seria o módulo 1 e o módulo 27, tomou-se como referência o prédio do LEME, arbitrando assim, que o módulo mais próximo a ele, seria o módulo 1. Tendo estabelecido o ponto de início da inspeção e, conseqüentemente, o sentido a ser tomado durante a realização do processo, também, foi estabelecida a identificação das vigas, pilares e lajes, quando se fez necessário. A figura 17 mostra a posição dos módulos em relação ao prédio do LEME. A figura 18 mostra um corte longitudinal identificando os pavimentos e a cobertura.

Figura 17 – Posição dos módulos em relação ao LEME



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 18 – Corte longitudinal identificando os pavimentos e a cobertura

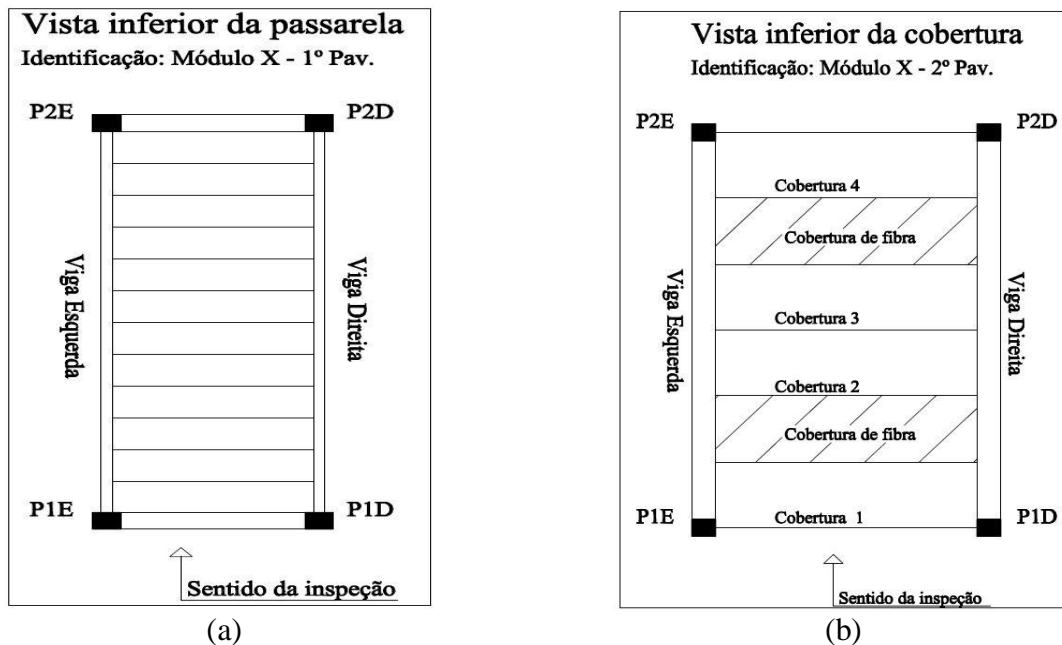


(fonte: elaborado pelo autor)

Para a inspeção dos módulos foram elaborados croquis, sendo que esses eram compostos de desenhos esquemáticos da estrutura. Para melhor representação do módulo, o mesmo foi representado através de uma planta baixa, um corte longitudinal, um corte transversal e uma vista lateral. Através dos croquis se registravam os processos fissuratórios observados, juntamente com outras manifestações patológicas, tais como, expulsão de cobrimento, exposição de armaduras, pontos de lixiviação e etc. Para que a inspeção fosse mais prática se determinou símbolos (a serem identificados ainda neste capítulo) para cada tipo de processo

que fosse registrado, assim esse procedimento serviu para os dois pavimentos. A figura 19 (a) mostra o croqui da planta baixa utilizada no primeiro pavimento e na figura 19 (b) está representado o croqui utilizado no segundo pavimento.

Figura 19 – (a) croqui da planta baixa utilizada no primeiro pavimento e
(b) croqui utilizado no segundo pavimento



(fonte: elaborado pelo autor)

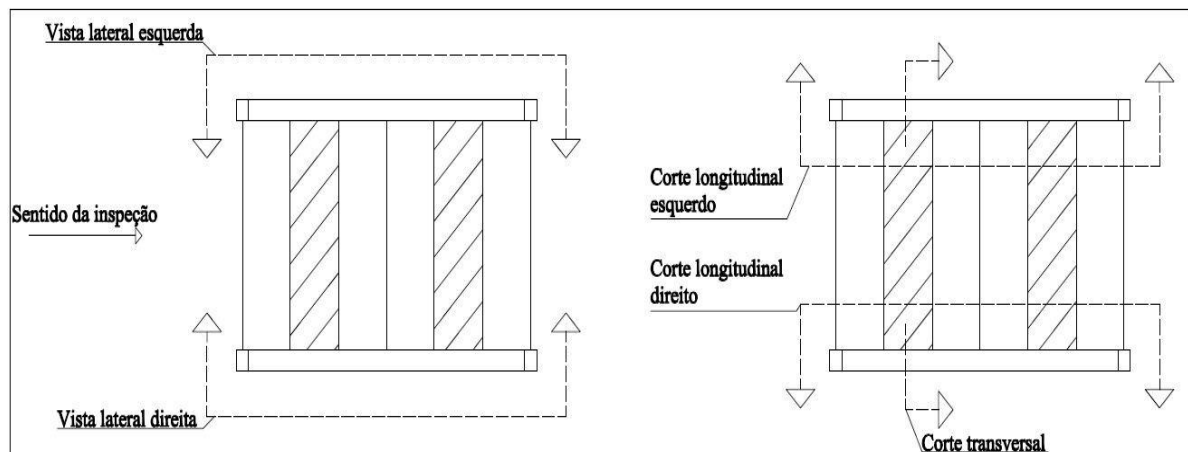
Ainda na figura 19 (b) se pode notar a existência de quatro coberturas em concreto armado e mais duas coberturas em fibra (hachurados), então, para fins de identificação, decidiu-se nomear as coberturas de concreto armado, do módulo inspecionado, em: cobertura 1, cobertura 2, cobertura 3 e cobertura 4. Tomou-se como base para a numeração, o sentido da inspeção, no entanto, ressalta-se, que, a numeração das lajes de cobertura não é constante, ou seja, que para localizar alguma das lajes de cobertura é imprescindível também a identificação do módulo.

A identificação utilizada nas vigas também teve como referência o sentido da inspeção, sendo que a viga que estivesse do lado esquerdo do sentido de inspeção, se denotaria com viga esquerda, assim analogamente as vigas do lado direito. No caso pilares, assim como dos outros elementos, teve como base o ponto de início, seguindo o sentido da inspeção, como mostrada na figura 19, os pilares a esquerda, denotavam-se P1E e P2E, analogamente aos pilares da direita. Tanto para a denominação das lajes, vigas, pilares e mesmo para os cortes, a

referência utilizada foi sempre a mesma, ou seja, o sentido de inspeção adotado na divisão dos módulos.

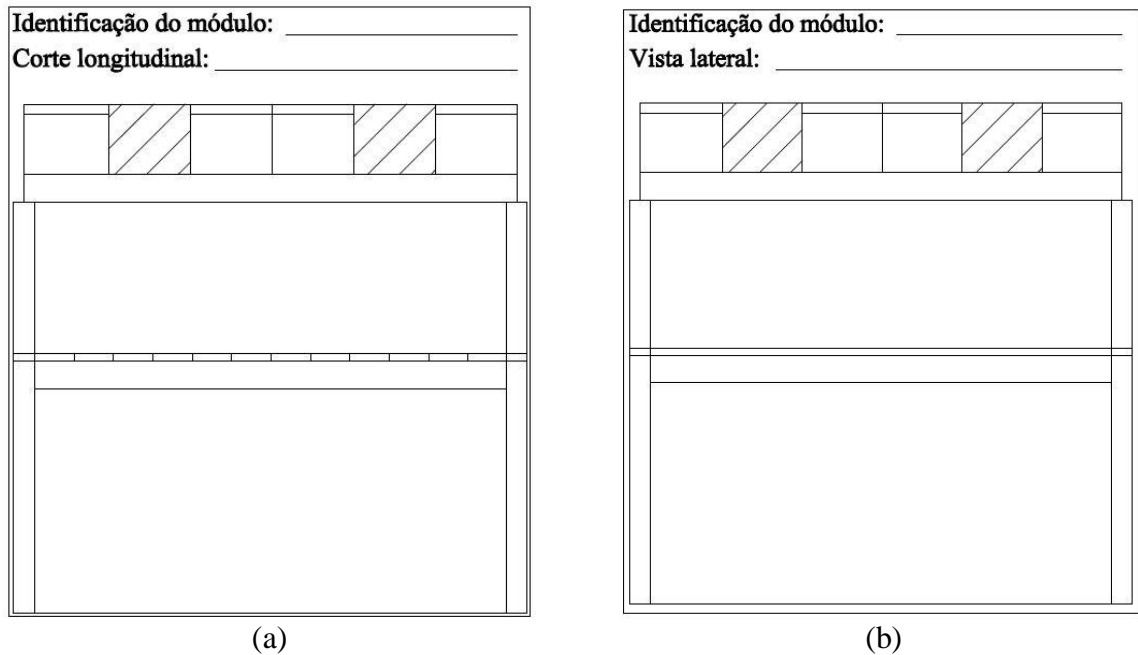
A figura 20 mostra um croqui esquemático reunindo a planta baixa do segundo pavimento, com a posição dos cortes longitudinais e transversais. Sendo a posição dos cortes eram iguais nos dois pavimentos. A figura 21 (a) mostra croquis usados como corte longitudinal, sendo que o desenho, devido à simetria da passarela, foi o mesmo utilizado para representar os dois lados da estrutura. Dada a característica simétrica da estrutura, o croqui da vista pode ser usado em qualquer um dos lados da passarela. Já a figura 21 (b) representa o croqui utilizado para vista lateral da estrutura.

Figura 20 – Croqui esquemático com orientações dos cortes longitudinais, transversais e vistas



(fonte: elaborado pelo autor)

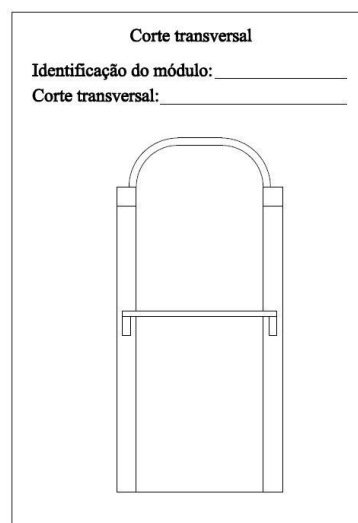
Figura 21 – (a) croqui usado como corte longitudinal e
(b) croqui da vista lateral



(fonte: elaborado pelo autor)

Os cortes transversais tiveram o uso ligeiramente diferente dos outros, pois esse foi usado, em determinados módulos, mais de uma vez. No caso das coberturas, como um módulo possui quatro lajes em concreto armado e em alguns casos mais de uma laje apresentou manifestações patológicas nas laterais, então se fez o uso de mais de um corte para poder registrar tais fatos. Na figura 22, observa-se o croqui utilizado nos cortes transversais.

Figura 22 – Croqui utilizado nos cortes transversais



(fonte: elaborado pelo autor)

Na avaliação de pilares, procurou-se inspecionar todas as faces as quais se tinha acesso, sendo que no primeiro pavimento, era possível visualizar as quatro faces do mesmo, o que não era possível no segundo pavimento, devido à necessidade de equipamentos especiais. No entanto, deve-se ressaltar que o sentido da inspeção foi definido desde o módulo 1. Com esse critério adotado, padronizou-se a identificação dos pilares, assim facilitando a transcrição dos croquis para as plantas do mapeamento. Para identificação dos pilares, estipulou-se que cada par de pilares existentes por módulo, localizados a esquerda do sentido de inspeção seriam denotados em pilar 1 esquerda e pilar 2 esquerda, assim analogamente para o par de pilares existentes por módulo, localizados a direita.

As vigas do primeiro pavimento, assim como os pilares desse nível, possuíam acesso lateral, o que aumentou a capacidade da inspeção visual realizada. Devido às características construtivas, nesse caso, o pé direito do pavimento, poucas aferições sobre as aberturas das fissuras nos elementos estruturais puderam ser realizadas. A mesma dificuldade foi encontrada na avaliação das coberturas de concreto, no entanto, nos pilares e vigas do segundo pavimento foi possível a verificação das aberturas das fissuras desses elementos.

O nível de detalhamento apresentado no mapeamento pode ser considerado alto, mas se optou por esse volume de informações por se tratar de um trabalho acadêmico e, assim treinar a avaliação crítica do avaliador. O mapeamento completo da estrutura pode ser visualizada no apêndice B desse trabalho.

Para apresentação do mapeamento foram elaborados símbolos que identificassem as manifestações observadas. No levantamento procurou-se registrar cada detalhe existente no elemento estrutural, pois se o padrão fissuratório não fosse suficiente para determinação do processo de deterioração, as outras manifestações poderiam indicar o processo existente.

Para demonstração da simbologia que foi utilizada, primeiramente se faz necessário a explicação dos diferentes tipos de manifestações patológicas que foram observadas. Foram registradas manifestações do tipo expulsão parcial de cobrimento, lascamento do concreto por choque, exposição da armadura e desgaste superficial. As seguintes considerações foram feitas sobre cada manifestação:

- a) expulsão parcial do cobrimento: também referido como lascamento do concreto, foi considerado como sendo princípio de deslocamento do concreto por corrosão;

- b) lascamento por choque: localizado nas quinas dos elementos, normalmente, indicando um deslocamento devido à colisões acidentais entre elementos estruturais ou com algum outro material;
- c) exposição da armadura: foram considerados dois tipos de exposição, um se referindo à possível expulsão do concreto por algum processo de deterioração e o outro devido à falta de cobrimento do elemento, sendo que esse segundo tipo teve ocorrências registradas nas lajes da cobertura;
- d) desgaste superficial: relacionado à perda da fina camada da pasta do concreto que reveste superficialmente o elemento estrutural, causando a exposição dos agregados.

A figura 23 (a) mostra uma expulsão parcial de cobrimento e a figura 23 (b) apresenta lascamento por choque.

Figura 23 – (a) expulsão parcial de cobrimento e
(b) lascamento por choque



(fonte: fotos do autor)

Na figura 24 (a) se apresenta um exemplo de exposição de armadura devido ao processo de deterioração e na figura 24 (b) uma exposição de armadura por falta de cobrimento.

Figura 24 – (a) exposição de armadura por processo de deterioração e
(b) por falta de cobrimento



(fonte: fotos do autor)

Na figura 25 se apresenta o que foi considerado como desgaste superficial do elemento estrutural.








Figura 25 – Desgaste superficial de laje de cobertura



(fonte: foto do autor)

Realizada a caracterização das manifestações patológicas, elaborou-se uma simbologia para que os mesmos fossem representados no mapeamento. Assim, na figura 26 se apresenta os símbolos utilizados no mapeamento relacionando-os com a manifestação correspondente.

Figura 26 – Símbolos utilizados no mapeamento para representação das manifestações patológicas

Manifestação patológica	Símbolo
Lixiviação	
Expulsão parcial do cobrimento	
Lascamento por choque	
Exposição da armadura por falta de cobrimento	
Exposição da armadura por processo de deterioração	
Desgaste superficial	
Fissuras	

(fonte: elaborado pelo autor)

Outra ferramenta que auxiliou no levantamento das manifestações foi o *check-list*, o qual teve por finalidade registrar os processos de deterioração, além de informações adicionais, sobre o módulo avaliado e, também, serviu como um resumo de informações sobre o módulo em questão. Para elaboração do *check-list*, baseou-se nas características ambientais, ao qual a estrutura está inserida, para determinar qual a agressividade ambiental, conforme regulamentação da NBR 6118. Portanto, em cima de considerações como agressividade ambiental, características de macro e microclima, tipo de estrutura, idade da edificação e presença de vegetação em torno da estrutura, decidiu-se que constaria no *check-list* as seguintes manifestações: fissuras por corrosão, por retração, por movimentação térmica, por flexão e, também a presença de processos de lixiviação. Além desses processos, também, optou-se por registrar possíveis manchamentos da estrutura, como manchas de umidade, manchas vermelho-marrom-acastanhada, manchas de sujidade e presença de material orgânico. Também, optou-se por adicionar ao *check-list*, a classificação de risco presente na Norma de Inspeção Predial do IBAPE, com isso, atribuíu-se a avaliação do estado de conservação do módulo durante a realização da inspeção. No cabeçalho, foi posto os processos de deterioração e os manchamentos mais prováveis a existentes na estrutura. Para maior agilidade no preenchimento do *check-list* foi criada a seguinte legenda:

- a) FC: fissuras por corrosão;
- b) FMT: fissuras por movimentação térmica;
- c) FR: fissuras por retração plástica;
- d) FF: fissuras por flexão;
- e) PL: processo lixiviatório;
- f) MU: manchas de umidade;
- g) MA: manchas vermelho-marrom-acastanhada;
- h) MS: manchas de sujidade;
- i) PB: presença de material orgânico ou processo biológico.

Para identificação dos elementos estruturais também foi elaborado uma legenda, tendo como preceito os critérios do método de inspeção. Na identificação dos elementos no *check-list* foi utilizado a mesma orientação, como sentido de inspeção, o qual deu origem as definições de lado esquerdo ou direito da estrutura. A seguinte legenda foi utilizada no *check-list*:

- a) C1: cobertura 1;
- b) C2: cobertura 2;
- c) C3: cobertura 3;
- d) C4: cobertura 4;
- e) VE: viga esquerda;
- f) VD: viga direita;
- g) Laje: laje da passarela;
- h) P1E: pilar 1 esquerda;
- i) P1D: pilar 1 direita;
- j) P2E: pilar 2 esquerda;
- l) P2D: pilar 2 direita.

A figura 27 mostra um detalhe da planilha utilizada no *check-list*. Sendo que *check-list* completo está no apêndice A desse trabalho.

Figura 27 – Detalhe da planilha utilizada no *check-list*

CHECK-LIST DE APOIO A INSPEÇÃO VISUAL											
Lista de manifestações patológicas a serem registradas											
Processos de deterioração	Legenda	Manchamentos						Legenda			
Fissuras por corrosão	FC	Manchas de umidade						MU			
Fissuras por movimentação térmica	FMT	Manchas vermelho-marrom-acastanhada						MA			
Fissuras por retração plástica	FRP	Manchas de sujidade						MS			
Fissuras por flexão	FF	Presença de material orgânico						PB			
Processo lixiviatório	PL	Outro tipo de mancha:									
Legenda dos elementos estruturais											
C1 - cobertura 1	VE - viga esquerda	P1E - pilar 1 esquerda									
C2 - cobertura 2	VD - Viga direita	P1D - pilar 1 direita									
C3 - cobertura 3	Laje - laje da passarela	P2E - pilar 2 esquerda									
C4 - cobertura 4		P2D - pilar 2 direita									
Identificação do módulo	Manifestação patológica	Identifique com um 'X' qual elemento está com a manifestação									
		C1	C2	C3	C4	VE	VD	P1E	P1D	P2E	P2D

(fonte: elaborado pelo autor)

Durante a realização da inspeção visual, cada módulo observado gerava uma sequência de croquis, contendo uma planta baixa, um corte longitudinal e um corte transversal, assim buscou-se o máximo de informações possíveis no módulo. Juntamente com o que era observado, era preenchido no *check-list*, tendo assim um registro por escrito do que estava sendo inspecionado, mas com informações adicionais, do tipo, presença de processos biológicos ou manchamentos.

7 LEVANTAMENTO E ANÁLISE

Realizada a inspeção visual se obsevou que muitos trechos da estrutura apresentam algum tipo de manifestação patológica, variando entre processos fissuratórios, manchamentos, expulsões de cobertura, entre outros. Sendo esses processos distribuídos ao longo de toda a estrutura, tendo elementos estruturais com avançados processos de deterioração e outros com pouquíssimos indícios de degradação.

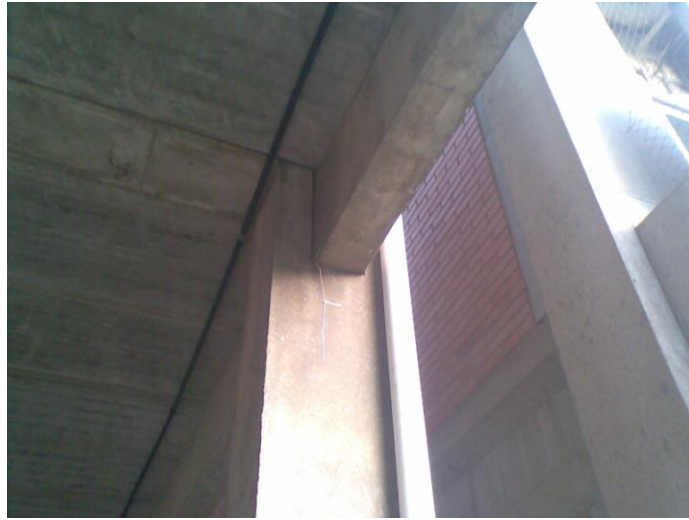
Neste capítulo são apresentadas as manifestações patológicas observadas em toda a estrutura. Inicialmente, as ocorrências vistas nos pilares, vigas e lajes do primeiro pavimento. Logo após, os problemas patológicos evidenciados nos pilares e vigas do segundo pavimento e, por fim, analisados os processos de degradação registrados nas coberturas.

7.1 PRIMEIRO PAVIMENTO

O primeiro pavimento, de maneira geral, apresentou poucas manifestações patológicas, sendo as mesmas encontradas de forma mais frequente nas vigas e em alguns pilares. As lajes das passarelas, com exceção da presença de alguns machamentos e alguns lascamentos, provavelmente ligados a choques acidentais durante o posicionamento sob a viga, não apresentaram outras manifestações que pudessem contribuir na redução significativamente da vida útil da estrutura.

É interessante que se aborde alguns detalhes construtivos, pois algumas manifestações patológicas estão relacionadas a eles. Como já foi referido a estrutura foi executada em concreto pré-moldado, assim se percebeu que, para apoio das vigas, os pilares em sua extremidade superior possuem uma região retangular vazada, a qual se destina ao encaixe das vigas, conforme pode ser visto na figura 28. No caso das lajes das passarelas as mesmas eram apoiadas na vigas do primeiro pavimento, no entanto este tipo de situação abre margem para problemas de execução, do tipo rachaduras ou lascamentos devido à choques mais bruscos entre os elementos

Figura 28 – Encaixe de duas vigas no pilar do primeiro pavimento



(fonte: foto do autor)

Na inspeção dos pilares, como os mesmos apresentavam poucos processos fissuratórios significativos para serem avaliados, buscou-se registrar outras manifestações que pudessem indicar algum tipo de processo de deterioração. Frente a essa problemática, fez-se registro das seguintes manifestações: expulsão de cobrimento, fissuras no apoio da viga, exposição da armadura, ponto metálico corroído, segregação do concreto e desgaste superficial. Assim, na figura 29, observa-se a frequência dos eventos, sendo que dos 56 pilares desse pavimento, 26 deles apresentam algum tipo de manifestação.

Figura 29 – Frequência das manifestações nos pilares do primeiro pavimento

Expulsão parcial de cobrimento	73%
Fissuras no apoio da viga	38%
Exposição da armadura	12%
Peça metálica corroída	54%
Segregação	8%
Desgaste superficial	15%
Fissuras por retração plástica	12%
Fissuras por corrosão	8%

(fonte: elaborado pelo autor)

Dentre as manifestações observadas nos pilares do primeiro pavimento, percebeu-se uma maior incidência de expulsões parciais do cobrimento, conforme mostra a figura 30 (a). O que, segundo Dal Molin (1988), a existência dessa manifestação patológica, a expulsão parcial do cobrimento, sugere que a armadura esteja em processo corrosivo, pois a armadura estando corroída, ela gera produtos de maior volume, conseqüentemente esses produtos geram tensões internas que expulsão o cobrimento da armadura.

O fato desses pilares terem apresentado essa manifestação pode ser explicado, tendo como suposição, um concreto mais poroso, o qual sem a devida impermeabilização de sua fundação, absorve água por capilaridade, ou mesmo pelo escoamento superficial de águas pluviais, assim com a forte presença de umidade, mais as heterogeneidades do concreto e a presença de oxigênio, as condições necessárias para início do processo corrosivo estavam supridas. Esse fato aliado a condições ambientais, como a presença de dióxido de carbono, podem ter sido os fatores necessário para ativar o processo. Em determinadas situações, essa expulsão parcial do cobrimento se mostrava em estágio avançado, afetando uma área considerável da estrutura, como pode ser visto na figura 30 (b).

Figura 30 – (a) expulsão parcial do cobrimento no PIE do módulo 11 e (b) PID do módulo 25 com avançado estágio de expulsão parcial do cobrimento



(fonte: fotos do autor)

Ainda, nos pilares desse pavimento foi evidenciado um tipo de fissura justamente abaixo da viga, na região de apoio deste elemento, conforme figura 31. Provavelmente essa fissura esteja relacionada a uma concentração de tensões naquela região, conforme Verçoza (1991).

Figura 31 – Fissura localizada na região de apoio da viga no P1D do módulo 23



(fonte: foto do autor)

Dos pilares do primeiro pavimento, o P2D do módulo 9, apresentou um processo corrosivo muito avançado, sendo observado um significativo desgaste superficial, inclusive com exposição da armadura, conforme figura 32 (a). Além disso, esse mesmo pilar apresentou pontos em que foram observados expulsões parciais de cobrimento, o que leva a crer que boa parte da armadura já deva estar em avançado estágio de corrosão. No entanto, para se definir a real extensão do processo corrosivo no pilar seria necessário a realização de uma inspeção detalhada no elemento, como já descrito anteriormente no capítulo 5. Para esse caso seria plausível a utilização de ensaios que avaliassem a perda de seção da armadura, bem como a o nível de carbonatação do concreto.

Durante a inspeção percebeu-se que alguns pilares desse pavimento possuem uma peça metálica na parte inferior, sendo que esse elemento de metal já estava com fortes indícios de corrosão, o que leva a crer, que esse ponto metálico, possa conduzir, ou facilitar o início da corrosão na armadura do pilar. Supõe-se que era utilizada como encaixe para pinos facilitando a movimentação do elemento. A figura 32 (b) mostra um exemplo do ponto metálico corroído.

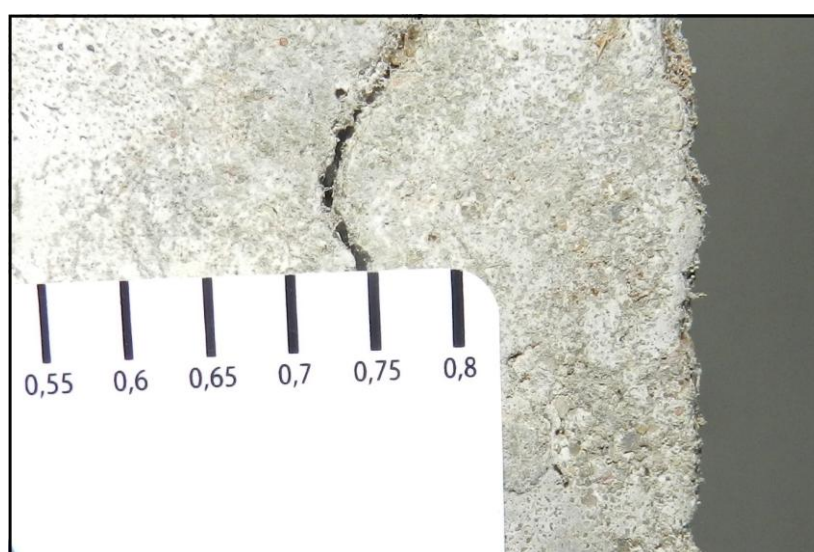
Figura 32 – (a) exposição dos estribos do P2D do módulo 9 e
(b) ponto metálico corroído no P2D do módulo 21



(fonte: fotos do autor)

Dos processos fissuratórios observados nos pilares, evidenciou-se poucos casos, no entanto, um desses processos, o do P1E do módulo 17, apresentava uma fissura mais significativa, pois se verificou que a mesma possuía uma abertura de aproximadamente 0,75 mm. A fissura observada seguia verticalmente ao longo do pilar, estando posicionada mais próxima da extremidade do elemento, possuindo, também, pequenas expulsões parciais, assim levando a suposição que a fissura seja decorrente de um possível processo corrosivo. A figura 33 mostra a abertura registrada durante a inspeção.

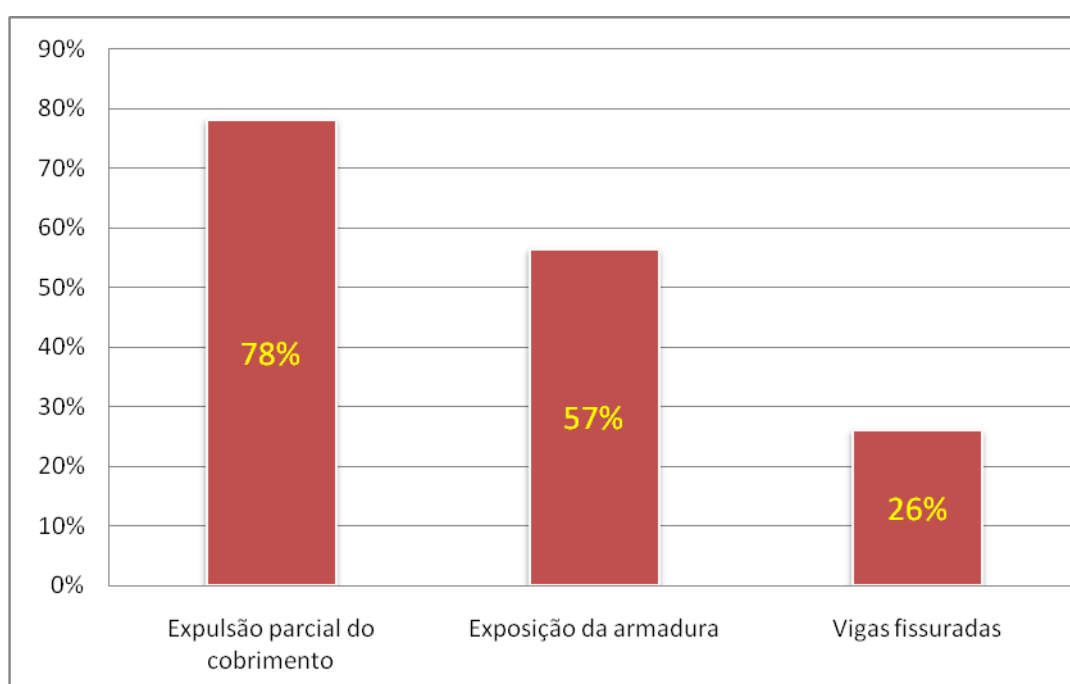
Figura 33 – Abertura da fissura P1E do módulo 17



(fonte: foto do autor)

Do levantamento feito nas vigas, constatou-se que as mesmas apresentaram uma incidência maior de processos corrosivos, tendo como indicativo do processo mencionado, fatores como o padrão fissuratório, a expulsão de cobrimento e, em algumas vigas, a própria exposição da armadura, no entanto ficando em função da exposição dos estribos. Na figura 34, mostra-se um gráfico com a frequência das manifestações observadas nas vigas desse pavimento, sendo que 23 vigas das 54 desse pavimento apresentam algum tipo de manifestação.

Figura 34 – Gráfico com a frequência das manifestações observadas nas vigas do primeiro pavimento



(fonte: elaborado pelo autor)

Contudo, é importante ter-se a ideia da distribuição dessas manifestações nas vigas, se a ocorrência desse fato se dá preferencialmente nas vigas da esquerda ou da direita. Assim, na tabela 1, separaram-se as manifestações em relação à posição da viga.

Tabela 1 – Manifestações em relação à posição da viga

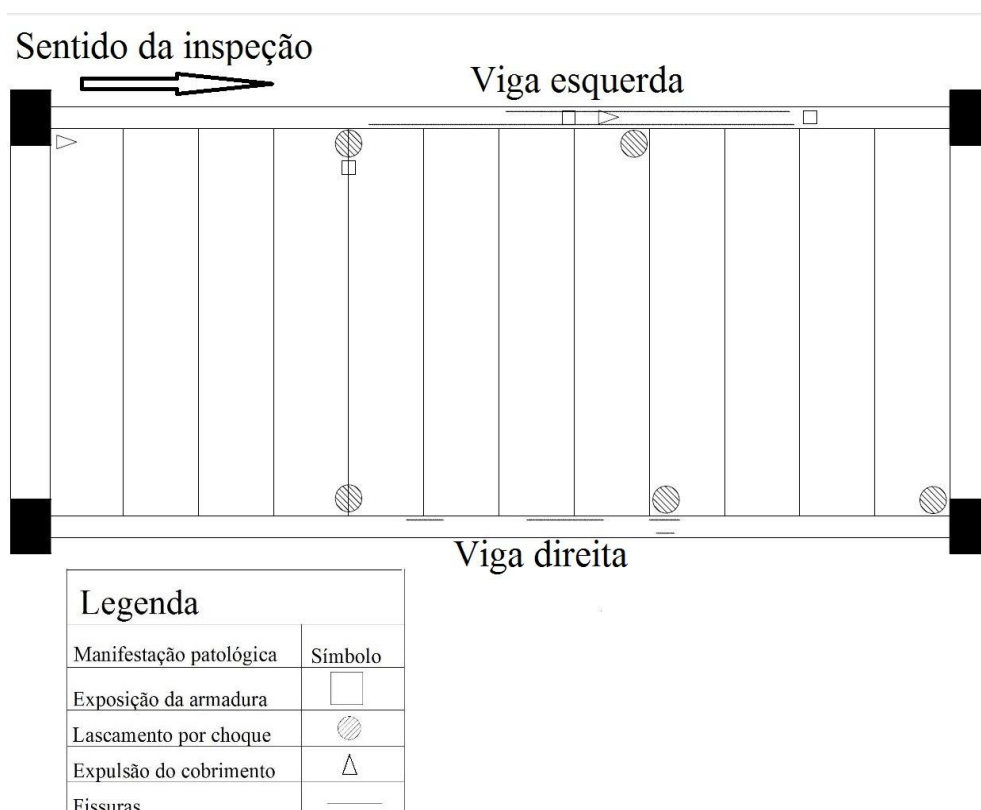
	Expulsão parcial do cobrimento	Exposição da armadura	Fissuras
Viga esquerda	13	9	4
Viga direita	5	4	2
Total	18	13	6

(fonte: elaborado pelo autor)

A análise dessa tabela indica que as vigas da esquerda possuem uma maior incidência de manifestações patológicas, sendo essas vigas aquelas que estão posicionadas mais próximas ao canteiro de árvores, diferentemente das vigas da direita que fazem divisa com a entrada dos prédios de aulas. Com isso, as vigas de esquerda ficam mais expostas a umidade proveniente da vegetação e das chuvas, podendo ser esse um dos fatores a intensificar os efeitos de deterioração.

O estado de degradação de certas vigas, através das manifestações patológicas apresentadas por elas, davam indícios de estar em uma situação mais avançada de deterioração, sendo recomendado uma inspeção detalhada, com ensaios de perda de seção da armadura e de carbonatação do concreto, principalmente na viga direita do módulo 1, na viga esquerda do módulo 8, na viga esquerda do módulo 13 e na viga esquerda do módulo 23. Na figura 35 observa-se o mapeamento do módulo 8 e na figura 36 se observa as fissuras existentes na viga esquerda do módulo.

Figura 35 – Mapeamento do módulo 8 do primeiro pavimento



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 36 – Fissuras na face inferior da viga esquerda do módulo 8



(fonte: foto do autor)

Em se tratando das expulsões parciais de cobrimento e das exposições de armaduras encontradas nas vigas desse pavimento, supõe-se que esses fatos estejam relacionados com problemas durante a execução das mesmas. Pois, devido à pequena largura das vigas, 15 cm, acredita-se que houve dificuldades para se garantir uma espessura mínima de cobrimento ou mesmo garantir qualquer espessura de cobrimento, o que segundo as atuais diretrizes da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 19), o cobrimento mínimo é de 30 mm, para esse tipo de agressividade ambiental. Assim, sem a devida proteção física das armaduras, expostas às águas das chuvas e, conseqüentemente a uma concentração maior de umidade, esses fatores podem ter causado os processos corrosivos.

No que diz respeito às lajes das passarelas, elas apresentam pouca diversidade de manifestações patológicas, tendo elas uma predominância de lascamentos, provavelmente, desenvolvidos em sua execução através do choque entre os elementos, conforme mostra a figura 37 (a). Vale ressaltar, em determinadas lajes, esse lascamento expunha a armadura, deixando ela suscetível a deterioração por processos corrosivos. A partir do levantamento de campo das 27 lajes da passarela, foi possível identificar outras manifestações patológicas, sendo registrados cinco lascamentos por choque, sem exposição da armadura e outras quatro

incidências, nas quais havia exposição da armadura. Na figura 37 (b) pode-se observar a exposição da armadura devido à quebra da laje para instalação de luminária, sendo esse um caso isolado.

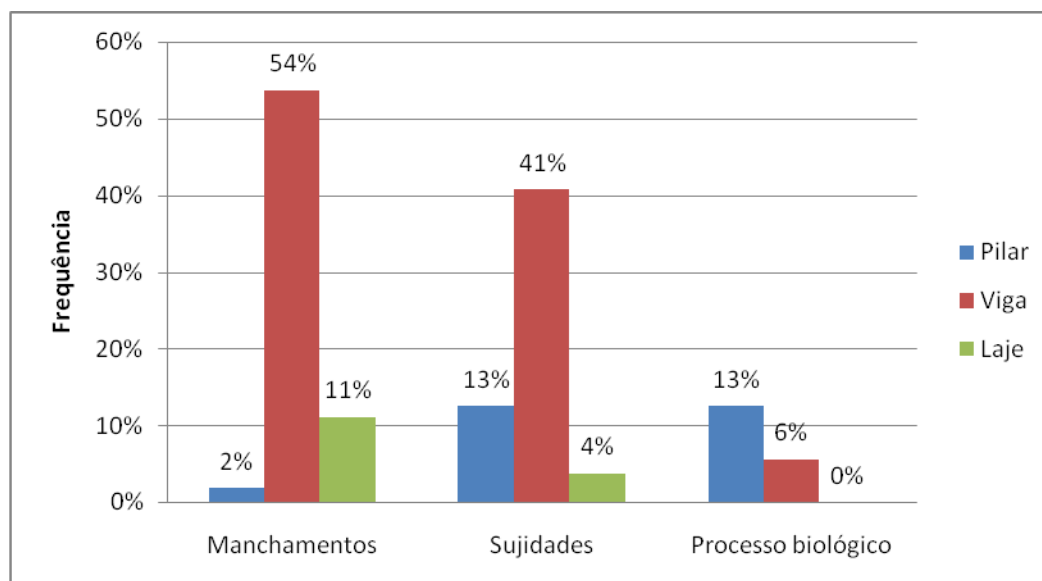
Figura 37 – (a) lascamento expondo a armadura na laje da passarela módulo 8 e
(b) exposição da armadura devido à quebra da laje da passarela no módulo 23



(fonte: fotos do autor)

Durante o levantamento das manifestações notou-se a presença acentuada de processos biológicos como, limo, musgo ou vegetação, bem como a existência de manchamentos na estrutura, provavelmente decorrente da presença de água. Normalmente esse tipo de situação serve como referência para localização de infiltrações e, também, para se avaliar cuidados de conservação e manutenção da estrutura. A figura 38 apresenta um gráfico com a distribuição dos manchamentos, sujidades e processos biológicos observados no pavimento, em função do número total de elementos estruturais, separados em pilares, vigas e lajes da passarela.

Figura 38 – Gráfico com a distribuição de manchamentos, sujidades e processos biológicos do primeiro pavimento



(fonte: elaborado pelo autor)

Devido ao tipo de estrutura da edificação, caracterizada por elementos pré-moldados, sem a existência de paredes de vedação, percebe-se que o desenvolvimento de processos biológicos acaba sendo uma consequência dessa decisão conceptual, pois a estrutura fica exposta às águas das chuvas. Sendo esse fato aliado à presença das árvores existentes no local acabam criando um ambiente suscetível aos processos biológicos, visto que a presença delas impedem que os raios solares diminuam a umidade do local. Além disso, também percebeu-se a presença de musgos ou limo em regiões mais afastadas dos topos dos pilares, levando a crer que naquela região possa haver infiltração de água através da laje da passarela, conforme figura 39 (a).

Em determinados lascamentos da laje da passarela se percebeu a presença de processo biológico instalado, além da exposição de armadura da laje. Juntamente com isso, percebe-se na viga a presença de manchas esbranquiçadas, levando a crer que possam ser decorrentes da lixiviação da estrutura. Supõe-se que a forte umidade observada no ambiente, no qual a estrutura está inserida, favorece a existência desse tipo de processo. A figura 39 (b) mostra o lascamento da laje com processo biológico instalado.

Figura 39 – (a) P2E e viga esquerda do módulo 13 com a superfície tomada por processo biológico e (b) lascamento da laje da passarela do módulo 8 com processo biológico

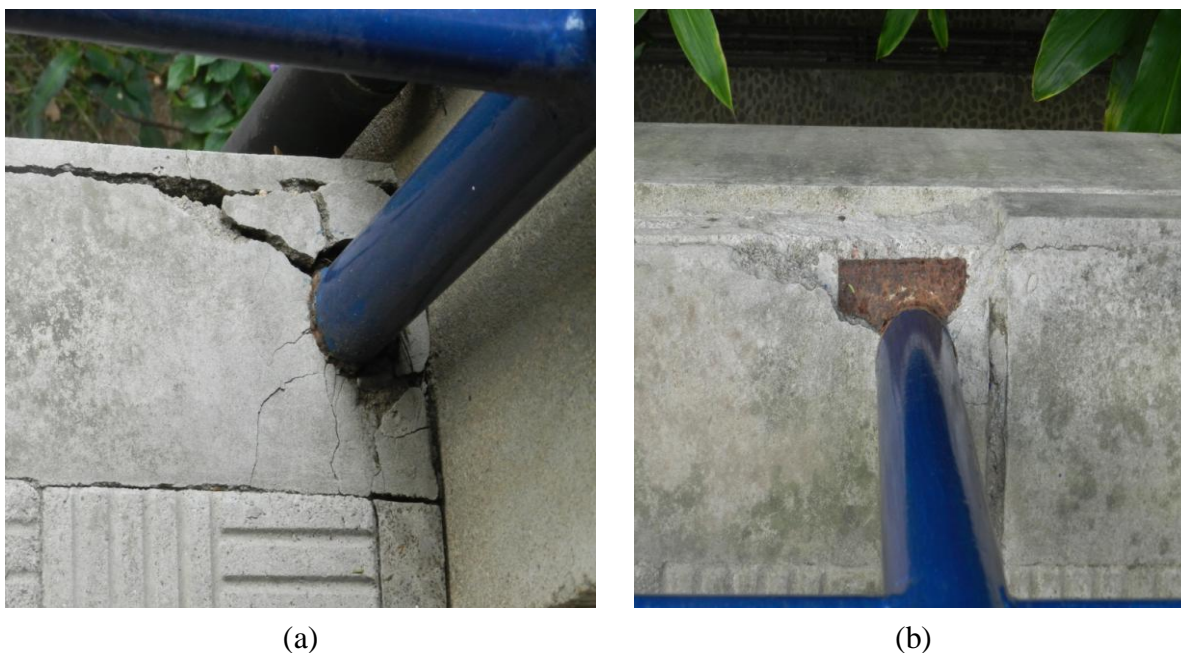


(fonte: fotos do autor)

A inspeção também registrou a presença de vegetação em alguns pilares, sendo alguns deles completamente envolvidos. Junto com o levantamento de manchamentos e processos biológicos feitos no primeiro pavimento, também observou-se a sujeira de alguns elementos. Esse item avaliado na estrutura teve grande incidência nas vigas, entretanto alguns pilares também acumulavam muita sujeira. Outro tipo de manchamento encontrado foram manchas de umidade, sendo essas muitas vezes ocultadas pela presença das manchas de sujeira.

Ainda nas lajes da passarela, um problema patológico encontrado está relacionado à fixação dos corrimões no piso da estrutura. Na base de fixação dos guarda-corpos, a região em torno dela, estava fissurada. E, em alguns locais foi observado o deslocamento de partes do concreto. Sendo que os módulos 13, 14, 15, 16, 18, 20, 21 e 22 eram os que apresentaram essa situação. A figura 40 (a) exemplifica uma situação de deslocamento do concreto da base do corrimão. A figura 40 (b) mostra uma situação que já havia processo corrosivo na base do corrimão.

Figura 40 – (a) deslocamento do concreto na base do corrimão do módulo 15 e
(b) processo corrosivo na base do corrimão do módulo 16



(fonte: fotos do autor)

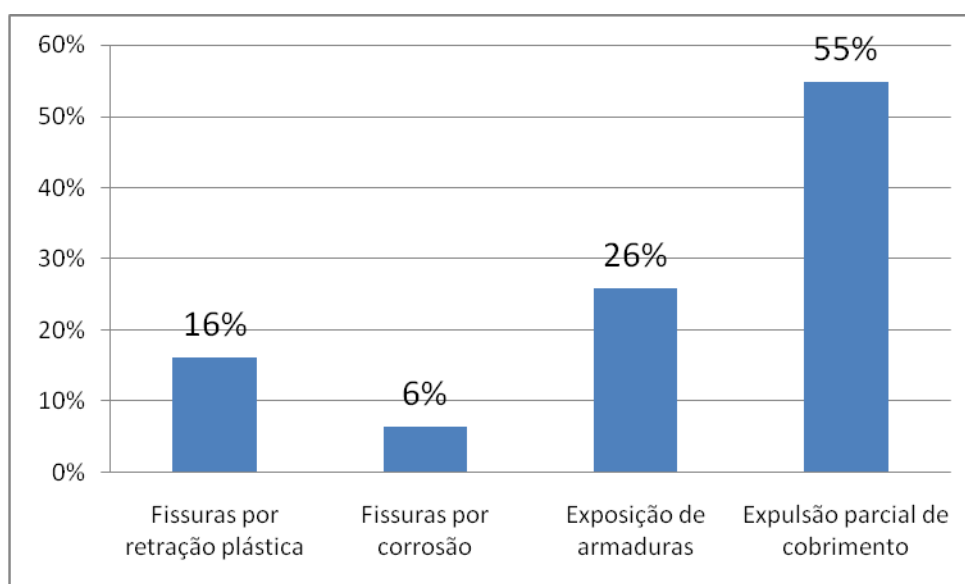
A análise das figuras 40 (a) e 40 (b) indicam um tipo de manifestação patológica causada por erros conceituais no projeto executivo. Esse tipo de situação poderia ser evitada, caso tivessem utilizado outra forma de fixação, como por exemplo, fixar a base do corrimão na superfície da laje, através do uso de chumbadores metálicos, evitando, assim a necessidade de introduzir o corrimão na laje de concreto.

7.2 SEGUNDO PAVIMENTO

A inspeção realizada no segundo pavimento seguiu os mesmos moldes do primeiro pavimento. Procurou-se levantar as manifestações patológicas do pavimento, com intuito de identificar os processos de deterioração que os deram origem.

Os pilares desse pavimento, assim como os do primeiro, também apresentaram expulsões parciais de cobrimento, exposição de armaduras e alguns padrões fissuratórios. Na figura 41 visualiza-se a frequência com que essas manifestações foram observadas. Sendo que 31 dos 56 pilares desse pavimento apresentam algum tipo de manifestação.

Figura 41 – Frequência das manifestações nos pilares do 2º pavimento



(fonte: elaborado pelo autor)

Analisando o gráfico se percebe que a maior parte das manifestações indica para processos corrosivos, pois somando a incidência de fissuras por corrosão, exposição de armaduras e expulsão de cobrimento, chega-se a 27 manifestações relacionadas a tal fenômeno de deterioração. Valores que, de certa forma, condizem com o que foi inspecionado visualmente em toda a estrutura.

As exposições de armaduras que foram observadas estavam localizadas nos estritos, até então não foi observado exposição das armaduras longitudinais em nenhum pilar. Igualmente ao primeiro pavimento, as expulsões de cobrimento também ficaram, predominantemente, localizadas na base dos pilares. Na figura 42 (a) se percebe a exposição da armadura de aço no pilar 1 da direita do módulo 11, sendo essa a exposição mais grave do pavimento e, na figura 42 (b), observa-se a expulsão parcial do cobrimento na base do pilar.

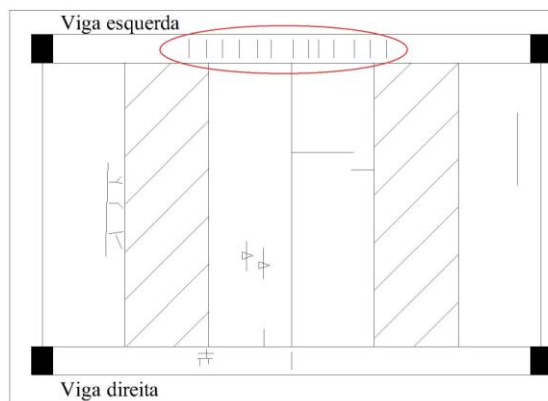
Figura 42 – (a) exposição da armadura de aço no PID do módulo 11 e
(b) expulsão do cobrimento na base do P2D do módulo 22



(fonte: fotos do autor)

As vigas desse pavimento, em sua maioria, estavam em bom estado, mesmo apresentando pequenas fissuras e algumas apresentando algum tipo de lascamento, mas no geral, estavam bem conservadas. No entanto, observou-se uma tendência de fissuras na face inferior das vigas, normalmente no terço médio da mesma, na zona de maior momento solicitante, o qual foi referenciado como fissuras por flexão. Um dos indícios que esse tipo de fissuração devido aos esforços de flexão, é a presença dessas fissuras na lateral da viga, sendo esse o padrão típico de fissuração, conforme Thomaz (1989). Na figura 43 apresenta-se o mapeamento do módulo 2 com a fissuração da viga esquerda. Na figura 44 observam-se as fissuras na lateral da viga esquerda do módulo 14 e a figura 45 mostra o detalhe de uma das fissuras existente na lateral da mesma viga.

Figura 43 – Módulo 2 mapeado com fissuras por flexão na viga esquerda



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 44 – Fissuras na lateral da viga esquerda do módulo 14



(fonte: foto do autor)

Figura 45 – Detalhe da fissura na lateral da viga esquerda do módulo 14



(fonte: foto do autor)

A avaliação desse processo fissuratório contou com a verificação de aberturas dessas fissuras, conforme figura 47. Nota-se na figura 46 (a) que a abertura da fissura lateral fica sendo no máximo 0,25 mm, o que de acordo com a atual normatização NBR 6118, está dentro do limite de fissuração, que é de 0,30 mm. Já a figura 46 (b) mostra abertura da fissura na face inferior da viga esquerda do módulo 26, a qual está acima do limite.

Figura 46 – (a) abertura da fissura na face lateral da viga esquerda do módulo 14 e
(b) abertura na face inferior da viga esquerda do módulo 26



(fonte: foto do autor)

Em relação às aberturas das fissuras devidas à flexão na face inferior das vigas, variaram entre 0,30 à 0,50 mm, portanto ficando acima do limite de fissuração para essa agressividade ambiental que segundo a NBR 6118 estabelece o limite em 0,30 mm. Somente as fissuras laterais observadas na viga esquerda do módulo 14 ficaram abaixo de 0,30 mm. A tabela 2 reúne as manifestações observadas e as disponibiliza dividindo-as em vigas da esquerda e da direita.

Tabela 2 – Manifestações observadas nas vigas do segundo pavimento

	Exposição de armaduras	Expulsão parcial de cobrimento	Fissuras por flexão	Fissuras por retração	Fissuras por corrosão
Viga esquerda	2	5	14	0	0
Viga direita	1	3	14	1	0
Total	3	8	28	1	0

(fonte: elaborado pelo autor)

Analisando a tabela 2, percebe-se que fissuras por flexão são a maioria, estando presente tanto nas vigas da esquerda quanto da direita. Supõe-se que o aparecimento dessas fissuras se deva às tensões de tração existentes nesta região da peça, no entanto, o surgimento delas não necessariamente signifique que a estrutura esteja comprometida, mas que requisitos estéticos e de durabilidade estejam prejudicados (THOMAZ, 1998).

Assim como no pavimento anterior, também se inspecionou os manchamentos, sujidades e processos biológicos que pudessem existir na estrutura. A tabela 3 mostra a incidência de processos biológicos e manchamentos ou sujidades.

Tabela 3 – Incidência de processos biológicos e de manchamentos ou sujidades

	Vigas da esquerda	Vigas da direita	Pilares da esquerda	Pilares da direita	Total de manifestações
Processos biológicos	2	3	6	11	22
Manchamentos ou sujidades	19	20	1	1	41
Total de manifestações no elemento	21	23	7	12	63

(fonte: elaborado pelo autor)

A análise dessa tabela leva a conclusão que praticamente 80% das vigas do segundo pavimento apresentam algum tipo de manchamento, sujidade ou processo biológico, e que 72% do total de vigas apresentam manchamentos ou sujidades. Em relação aos pilares, 17 deles apresentam algum tipo de processo biológico, o que equivale a praticamente 30% dos elementos desse pavimento. Outro dado que se pode observar é que do total de incidências relacionadas a manchamentos ou processos biológicos existentes no segundo pavimento, 35%

são processos biológicos e os outros 65% são manchamentos, sendo que, os dois casos possuem a água como fator comum. Através da água, seja por infiltrações ou carregando a sujeira pela superfície, que essas situações se fizerem presente na estrutura, indicando que, por algum motivo, as coberturas estão com sua estanqueidade comprometida.

Durante a inspeção notou-se a grande incidência de processos biológicos nas juntas verticais das vigas, essas posicionadas no topo dos pilares. Como cada topo de pilar serve como encontro para duas vigas, a fresta existente entre os elementos possibilita a infiltração de águas, havendo assim a formação de limo e musgo no local, conforme figura 47 (a). Também, percebeu-se durante a inspeção a presença de vegetação em determinadas vigas ou pilares. Frente a isso, poderia supor-se que, através do acúmulo de materiais trazidos por infiltrações e pela maior presença de umidade, houve o depósito de sedimentos orgânicos que com o passar do tempo tiveram condições de se proliferar, conforme mostra a figura 47 (b).

Figura 47 – (a) presença de material orgânico na junta das vigas com o P2E do módulo 19 e (b) vegetação na viga esquerda do módulo 21



(fonte: fotos do autor)

Durante a inspeção se percebeu que tubos de queda das calhas são externos, sendo fixados à estrutura, através braçadeiras, no entanto, percebeu-se que esses tubos, para chegarem as calhas, tiveram que atravessar as vigas, conforme figura 48. Entretanto, a formação de limo ou musgo nas juntas das vigas ou nos topos dos pilares pode estar ligada ao mau funcionamento das calhas, pois estando elas entupidas, podem gerar acúmulos de água que, conseqüentemente acabem transbordando para as juntas das vigas.

Figura 48 – Detalhe dos tubos de captação de água das calhas



(fonte: foto do autor)

As manchas de sujeira também estão presentes no segundo pavimento, tendo essas maior incidência nas vigas. A sujeira apresentada pela estrutura tinha uma coloração escura, típica do manchamento localizado em fachadas dos prédios, nos quais a poeira, juntamente com a fuligem, se acumulam na estrutura e através da ação de chuvas, fazem com esse material escorra pela superfície da estrutura. A existência de uma pingadeira na estrutura poderia diminuir a ocorrência desse fato. A figura 49 mostra as manchas de sujeira observadas na viga esquerda do módulo 13.

Figura 49 – Manchas de sujeira na viga esquerda do módulo 13



(fonte: foto do autor)

7.3 COBERTURA

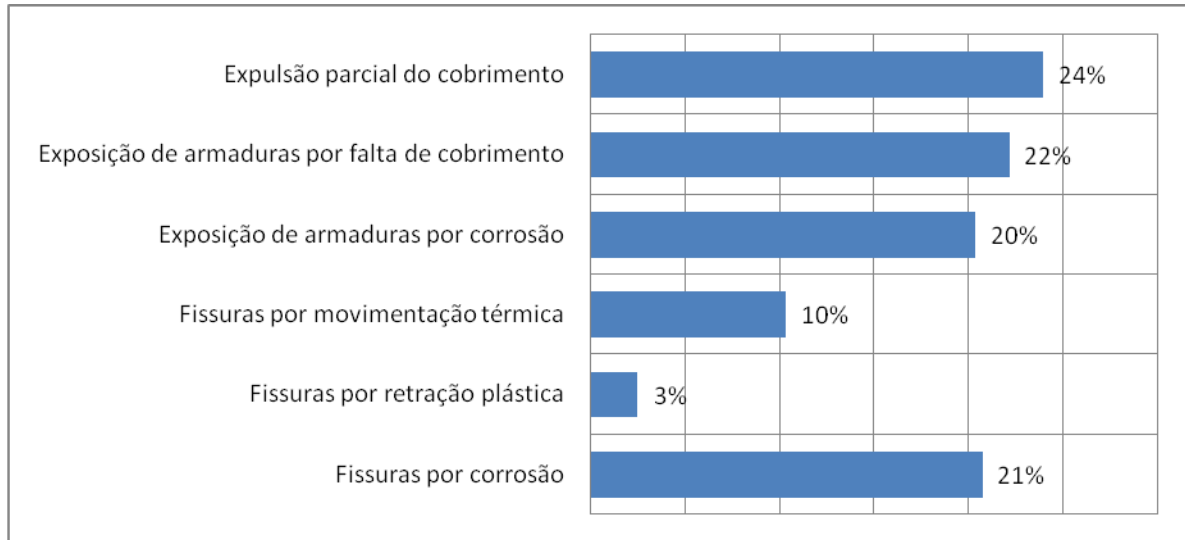
Em se tratando da cobertura, esse é um ponto delicado da inspeção realizada no Campus do Vale, pois os processos fissuratórios mais significativos foram localizados nestes elementos. Durante a realização da inspeção percebeu-se a presença de fissurações acentuadas em diversos módulos, além da exposição de armaduras em alguns trechos. Manchamentos do tipo, lixiviação e umidade, também se fizeram presentes na estrutura. Enfim, os elementos da cobertura apresentaram uma quantidade considerável de manifestações patológicas. Igualmente ao primeiro pavimento, as lajes de cobertura estavam a uma distância de aproximadamente 3,4 m da laje da passarela, dificultando a visibilidade das manifestações.

Na cobertura encontraram-se os elementos mais degradados da estrutura, com processos de deterioração muito avançados. Além das manifestações patológicas observadas no primeiro pavimento e no segundo pavimento, como corrosão, expulsão parcial do cobrimento e manchamentos, nas lajes da cobertura percebeu-se a presença significativa de fissuras e manchas de lixiviação.

Do que foi levantado em campo, durante a inspeção visual das coberturas, percebeu-se que algumas lajes da cobertura apresentavam mais de uma manifestação patológica, podendo existir fissuras, manchas de lixiviação, expulsão parcial do cobrimento e exposição de armadura, todos processos no mesmo elemento. O que para fins de mapeamento caracterizou um extenso trabalho de registro, devido à grande quantidade de detalhes, mas visto que se trata de um trabalho acadêmico é importante que se tenha esse elevado nível de detalhes.

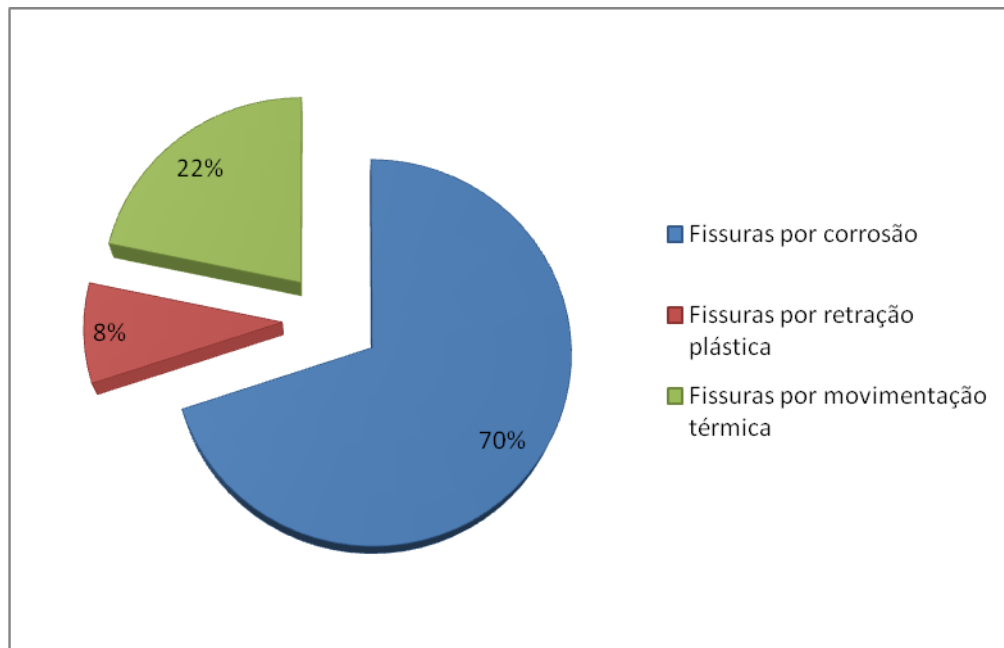
Das 108 lajes da cobertura, 12 estavam em bom estado, restando assim 96 lajes com algum tipo de fissuração. Nessas 96 lajes foram observados 94 processos fissuratórios, e os mesmo foram separados em fissuras por corrosão, por retração plástica e por movimentação térmica, no entanto é importante ressaltar que mais de um processo pode estar presente na mesma laje de cobertura. A figura 50 mostra a frequência das manifestações patológicas observadas nas lajes em concreto da cobertura, sendo que foi observado aproximadamente 280 manifestações. A figura 51 mostra a distribuição dos processos de deterioração observados nas coberturas.

Figura 50 – Frequência das manifestações observadas nas lajes de concreto da cobertura



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 51 – Distribuição dos processos de deterioração na cobertura



(fonte: elaborado pelo autor)

Da figura 50 percebe-se que fissuras por corrosão, exposição de armaduras e expulsão parcial do cobrimento são as manifestações de maior incidência nas coberturas. Tendo como base que todas as exposições de armadura apresentavam características de processos corrosivos e que as expulsões parciais podem indicar que a armadura está corroída, somando-se as fissuras por

corrosão, todas essas fatos indicam que aproximadamente 90% das manifestações vistas nas lajes estão relacionadas com processos corrosivos.

Em relação à exposição das armaduras por falta de cobrimento, conforme figura 52 (a), nas quais já havia presença de processos corrosivos, esse fato se observou nas partes curvas das lajes da cobertura. Supõe-se que devido ao fato da laje da cobertura ter as extremidades arredondadas, isso criou uma dificuldade que contribuiu para o não uso, ou o uso inadequado de espaçadores que garantissem o cobrimento da estrutura, assim a exposição da armadura se deu mediante a insuficiência da proteção física da mesma. Essa concepção do projeto, de utilizar uma laje de concreto curva, provocou essa dificuldade durante o processo executivo, o qual resultou na insuficiência de cobrimento das armaduras e, conseqüentemente na corrosão das mesmas. Talvez a utilização de outras formas geométricas para a laje de concreto ou mesmo o uso de espaçadores que fossem fixos as armaduras pudessem evitar esse problema.

O outro tipo de exposição da armadura observado nas coberturas foi a exposição da armadura devido à corrosão da armadura, conforme figura 52 (b). Conforme a armadura entra em processo corrosivo, ela produz óxidos de ferro que têm volume superior ao da armadura, assim gerando tensões internas que, inicialmente fissuram o concreto e, posteriormente expulsão o cobrimento, conforme Johnson (1973, tradução nossa).

Figura 52 – (a) exposição da armadura por falta de cobrimento na cobertura 4 do módulo 6 e
(b) exposição da armadura por corrosão da armadura na cobertura 3 do módulo 8



(fonte: fotos do autor)

Muitas lajes de concreto da cobertura também apresentaram em sua lateral exposição de armadura e expulsão quase que total do cobrimento, conforme figura 53. Foi observado no levantamento que 32 lajes apresentavam algum tipo de manifestação patológica em sua lateral, podendo ser fissuras, expulsão parcial de cobrimento ou exposição da armadura, o que representa 30% das lajes em concreto da cobertura. Essa manifestação normalmente se dava próximo ao trecho curvo da laje, onde se imagina que a falta de uma espessura de cobrimento adequada juntamente com o ambiente mais úmido colaboraram para a corrosão da armadura.

Figura 53 – Exposição da armadura na lateral da laje da cobertura 1 do módulo 12



(fonte: foto do autor)

Em outras lajes visualizou-se diversas expulsões parciais de cobrimento juntamente com fissurações típicas de corrosão, ou mesmo, sendo uma manifestação isolada na lajes de concreto, sem processos fissuratórios envolvidos. Ao que se suspeita que seja um ponto da armadura que já esteja corroída e, pelo fato do mesmo sofrer aumento do volume nessa situação, resulta na expulsão parcial do cobrimento, no entanto sem haver exposição da armadura. A figura 54 mostra a expulsão parcial do cobrimento.

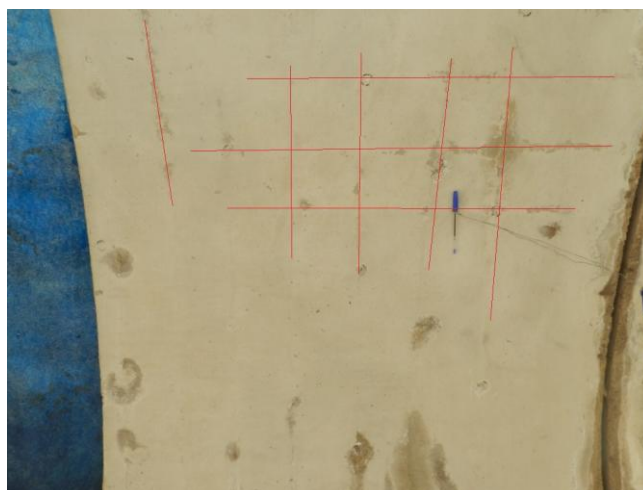
Figura 54 – Expulsão parcial do cobrimento na cobertura 4 do módulo 7



(fonte: foto do autor)

Um dos indícios que foi considerado na identificação de possíveis processos corrosivos foi a configuração das fissuras, o que em alguns casos, essas fissuras, seguiam a posição das armaduras. Fissuras devidas a corrosão da armadura tinham espaçamento regular entre si, o indicava que elas seguiam a orientação da armadura principal, conforme Helene (1986). Nos casos de fissuras por corrosão observados nas coberturas, normalmente, essas fissuras estavam acompanhadas por algum outro tipo de manifestação, como exposição de armadura ou expulsão de cobrimento, no entanto, algumas coberturas apresentavam somente uma configuração fissuratória, conforme figura 55.

Figura 55 – Fissuras por corrosão das armaduras na cobertura 2 do módulo 1



(fonte: foto do autor)

Certas lajes da cobertura apresentavam um extenso processo fissuratório, normalmente, relacionadas com uma corrosão generalizada da malha de aço do elemento. Nessas situações era comum a presença de exposições da armadura e lascamentos do concreto, devido à expulsão do cobrimento. Os casos mais graves de degradação desse pavimento estão associados a esses intensos processos de corrosão, possuindo boa parte da armadura exposta.

Muitos dos casos de corrosão dessas lajes necessitam de uma inspeção detalhada, ou de nível 2, conforme denominação da Norma de Inspeção Predial publicada pelo IBAPE. Pois, a inspeção visual não pode estabelecer a real situação das armaduras dessas lajes, sendo necessário para isso ensaios específicos de corrosão, como ensaio de carbonatação do concreto e perda de seção da armadura. Na figura 56, observa-se o estado de deterioração da cobertura 3 do módulo 13.

Figura 56 – Vista geral da cobertura 3 do módulo 13

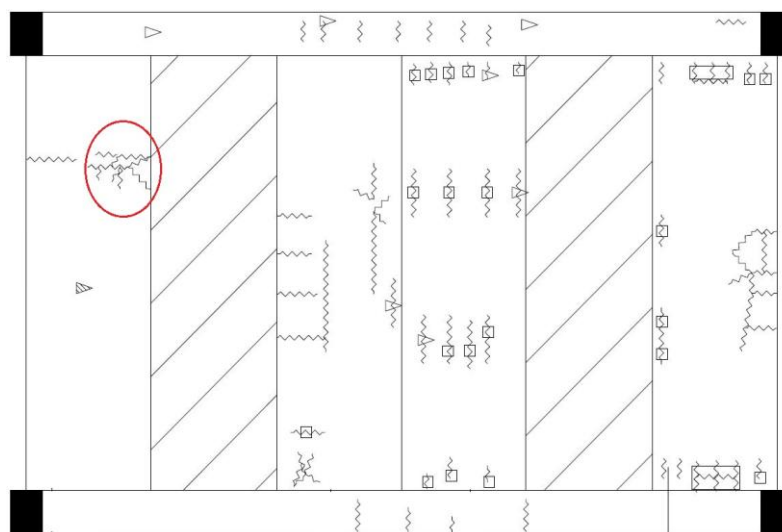


(fonte: foto do autor)

Além das fissurações típicas de corrosão, notou-se a existência de algumas lajes com fissuras devido à retração plástica, no entanto esse processo não teve uma incidência na mesma proporção dos corrosivos. Verificou-se nas lajes fissuras típicas de retração plástica, ou dessecação do concreto, sendo o padrão típico, fissuras mapeadas, segundo descrição de Souza e Ripper (1998). A presença desse tipo de fissuras normalmente está relacionada com o processo de cura do concreto, pois tendo o uso de peças pré-moldada de concreto, o qual

normalmente se acelera a cura do mesmo, a fim de se liberar as formas para confecção de novas peças, durante esse tempo de cura reduzido pode-se ter instigado a formação das fissuras por retração plástica. Na figura 57 observa-se o mapeamento da cobertura 1 do módulo 13, onde se visualiza fissuras por retração plástica.

Figura 57 – Mapeamento da cobertura 1 do módulo 13 com fissuras por retração plástica



(foto: elaborado pelo autor)

Dado a dificuldade, ou mesmo, das limitações físicas impostas pela estrutura à inspeção visual, como a falta de acesso à parte superior da cobertura, fissuras de movimentações térmicas não puderam ser avaliadas com maior precisão. Portanto, as indicações de fissuras por movimentação térmica apresentada neste trabalho são apenas indicativas, necessitando de informações mais precisas para determinação das mesmas.

As fissuras identificadas como fissuras por movimentações térmicas levaram em consideração as características construtivas da cobertura, como a utilização de um capeamento em fibra de vidro entre as coberturas em concreto e própria utilização da cobertura em fibra de vidro. O aparecimentos de fissuras por movimentações térmicas podem decorrer do contato entre materiais de diferentes coeficientes de dilatação, onde esse contato pode gerar tensões não previstas a estrutura, conforme Johnson (1973, tradução nossa). Como no caso da laje de concreto em contato com a cobertura de fibra de vidro, onde esses elementos estão fixados um ao outro por parafusos que impossibilitam a livre movimentação desses materiais. Sendo que essa parte da estrutura recebe diretamente a insolação, assim ficando mais suscetível a

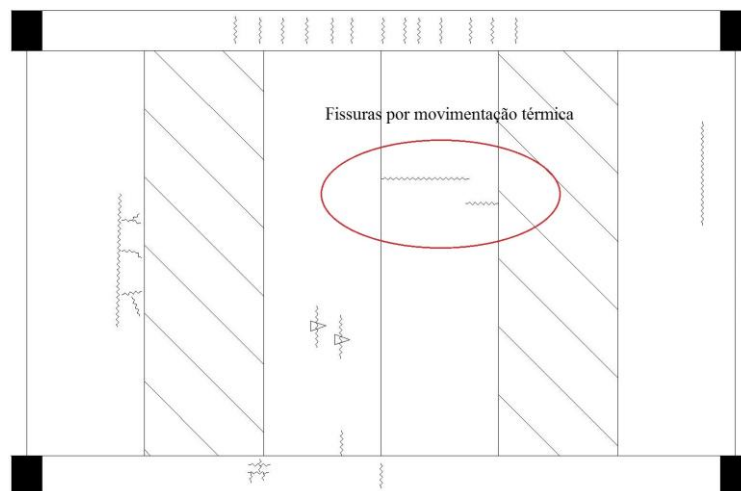
diferentes movimentações térmicas por parte dos materiais que a constituem. Na figura 58 pode se observar a parte superior das coberturas com a posição dos parafusos e nas figuras 59 e 60 registros do que se identificou como fissuras por movimentação térmica.

Figura 58 – Parte superior das coberturas com a posição dos parafusos



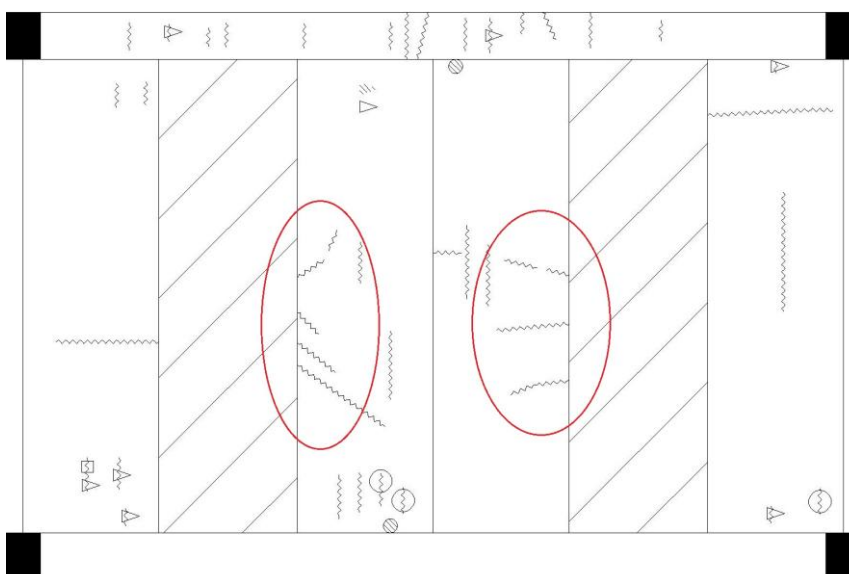
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 59 – Mapeamento das fissuras por movimentação térmica no módulo 2



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 60 – Mapeamento das fissuras por movimentação térmica no módulo 14



(fonte: elaborado pelo autor)

Outra análise feita durante a inspeção, foi o levantamento de manchamentos da cobertura. Foram avaliados manchas de umidade e lixiviação, além de processos biológicos e desgastes superficiais das lajes de cobertura, os quais podem ser vistos nos anexos deste trabalho. Na tabela 4, mostra-se os manchamentos observados juntamente com os desgastes da cobertura individualizados por laje de concreto da cobertura.

Tabela 4 – Manchamentos e desgastes da cobertura

	Manchas de umidade	Manchas de lixiviação	Desgaste superficial	Outras manchas	Total
Cobertura 1	6	13	8	3	30
Cobertura 2	7	14	4	2	27
Cobertura 3	9	17	4	2	32
Cobertura 4	9	19	4	5	37
Total	31	63	20	12	126

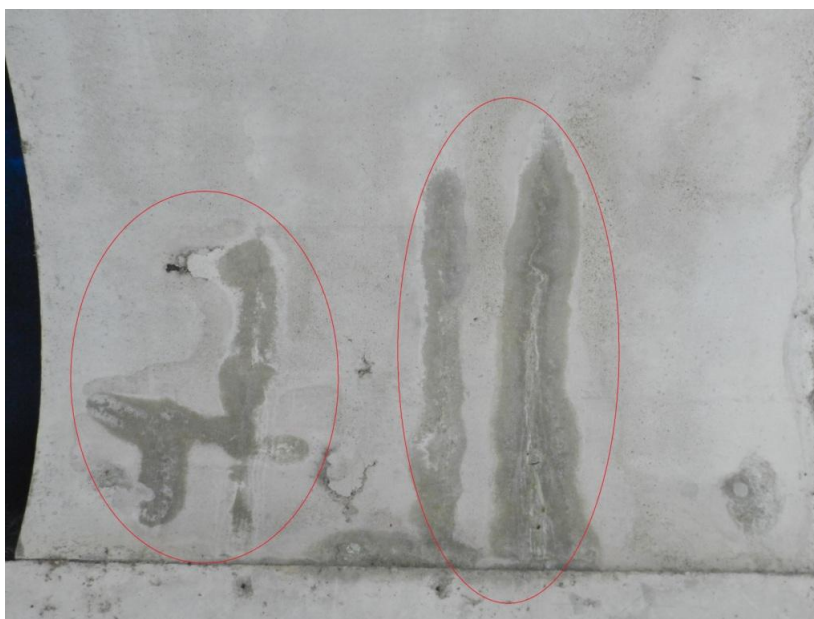
(fonte: elaborado pelo autor)

Da tabela 4, percebe-se uma grande incidência de manchas de lixiviação, o que é resultado da retirada de hidróxido de cálcio do elemento em concreto, conseqüentemente a retirada desse material pode diminuir o pH da estrutura gerando, assim, condições para a destruição da película passivadora das armaduras. Outro dado retirado dessa tabela é a presença de manchas de umidade na estrutura, o que aliado ao fato dos processos lixiviatórios, juntos podem explicar a ocorrência dos casos de corrosão, pois para ativação desse processo é necessário

que as armaduras não possuam película passivadora, um meio aquoso e diferença de potencial, o qual o concreto possui por características heterogêneas.

Os aspectos das manchas que levaram a conclusão de serem manchas de umidade estão baseados nas diferenças de tons observadas nas lajes. Durante a inspeção verificou-se tons de cinza mais escuro, muitos deles em torno das fissuras, mostrando que ali se tinha um caminho preferencial para passagem de umidade. Em muitos pontos de lixiviação, se percebia esses mesmo tons mais escuros no concreto, assim associando-se as manchas de tom escuro a manchas de umidade. A figura 61 mostra uma laje de cobertura com manchamento por umidade.

Figura 61 – Cobertura 1 do módulo 7 com manchamento por umidade



(fonte: foto do autor)

Outro tipo de manchamento observado na estrutura é a presença de manchas rosa em algumas lajes da cobertura. Conforme Amorin (2010), o manchamento rosado da estrutura poderia ter sido causado pela presença de algum tipo de mineral no agregado miúdo, mas para determinação desse fato é necessário a avaliação química da estrutura. Outra suposição para o manchamento é que o mesmo pode estar relacionado com o uso de aditivos na produção da laje, pois se não se garante a heterogeneidade da mistura, se pode ter por resultado manchamentos da estrutura. A figura 62 mostra uma laje com esse tipo de mancha.

Figura 62 – Manchas rosa nas coberturas 2 e 3 do módulo 10



(fonte: foto do autor)

Já o desgaste superficial apresentado por algumas lajes, normalmente expunha os agregados, demonstrando que o processo apenas retirou uma fina camada do elemento. Esse fato pode ser explicado pela forte presença de umidade na estrutura, sendo que essa água, presente no elemento retirava, ou mesmo desagregava, essa fina camada de pasta. Na figura 63, observa-se um forte desgaste superficial, juntamente com a presença de manchas verdes, o que indica a formação de compostos orgânicos, justificado pela presença de umidade.

Figura 63 – Desgaste superficial na cobertura 4 do módulo 6 juntamente com a presença de processo biológico



(fonte: foto do autor)

Outro fato que foi percebido durante a inspeção das coberturas foi o estado de conservação das calhas. Foi detectado que muitas apresentavam um acúmulo muito grande de sujeiras e em outros trechos uma forte presença de vegetação, o que indica a falta de manutenção das mesmas. Na figura 64 (a) se percebe o acúmulo de sujeira na calha e na figura 64 (b) observa-se a presença de vegetação.

Figura 64 – (a) acúmulo de sujeira na calha do módulo 14 e
(b) presença de vegetação na calha do módulo 24



(a)



(b)

(fonte: fotos do autor)

Esses dois fatos, a sujeira e a vegetação, podem explicar a grande quantidade de infiltrações vistas no segundo pavimento, bem como a presença de limo e musgos nas estruturas. A simples realização da limpeza das calhas pode diminuir a ocorrência de infiltrações nas coberturas e, até mesmo, diminuir a presença de processos biológicos detectados no segundo pavimento e nas coberturas.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na busca por estruturas em concreto armado mais rápidas de serem executadas e a um custo menor, cada vez mais se constrói valorizando a economia de material ao invés da qualidade. Esse quadro favorece o surgimento de muitas manifestações patológicas, tendo como consequência direta uma perda do desempenho e da vida útil de uma estrutura em concreto.

Nesta situação se deveria avaliar que os possíveis custos de reparação de uma estrutura não compensam a economia gerada, através do uso de materiais e tecnologias, as quais não são tão eficazes na construção de uma edificação. Contudo, caso não se tenha nenhuma maneira de recuperar a estrutura, e a demolição seja a única solução, tem-se um custo de difícil atribuição, que é o impacto disso ao meio ambiente, uma cobrança cada vez mais forte aos profissionais da área da construção civil.

No entanto, antes de se realizar qualquer tipo de avaliação, é necessário que se realize o levantamento das manifestações, no intuito de identificar as causas e os processos de deterioração. Assim, configura-se a necessidade de uma inspeção na edificação, a qual de o suporte necessário às análises dos processos que podem degradar as estruturas em concreto.

A identificação dos processos de deterioração existentes em estruturas de concreto armado, normalmente, é um trabalho com elevado grau de complexidade, pois os processos de deterioração, bem como os processos fissuratórios são decorrentes de vários fatores aos quais a estrutura está sujeita. A avaliação que se deve realizar para identificar qual o motivo daquela estrutura estar apresentando determinada manifestação patológica requer uma análise de inúmeros fatores e situações que podem ter ocorrido, desde a concepção do projeto até as etapas construtivas ou mesmo no uso da construção.

Na identificação dos processos de deterioração existentes na passarela e em sua respectiva cobertura, buscou-se analisar não só a manifestação patológica em si, mas também o contexto ao qual ela estava inserida. Isso porque uma mesma manifestação pode indicar diferentes processos de deterioração, fazendo-se assim necessário a compreensão de outros eventos, como comportamento estrutural, o padrão fissuratório, características ambientais, entre outros.

Quanto ao primeiro e ao segundo pavimento, foi observado que os elementos desses pavimentos tinham uma incidência maior de expulsões parciais de cobrimento, no entanto, se percebeu, também, uma significativa presença de exposições de armaduras. As estruturas desses pavimentos também apresentaram uma série de manchamentos, sujidades e processos biológicos indicando a falta de manutenção da estrutura, o que aumenta o aspecto de degradação da mesma.

Durante a realização da inspeção visual, observaram-se inúmeras manifestações patológicas distribuídas ao longo de toda a estrutura. No entanto, na comparação entre os três segmentos em que a estrutura foi dividida, primeiro pavimento, segundo pavimento e cobertura, foi na cobertura onde se detectou a maior incidência de manifestações patológicas. Inúmeros fatores podem ter contribuído para que as lajes da cobertura tenham apresentado esse quadro, desde problemas envolvendo o controle de qualidade durante a execução, como as características ambientais do local.

Em relação ao que foi analisado, dos processos de deterioração identificados na estrutura, processos corrosivos são os mais frequentes, estando presente em todos os segmentos da estrutura. Até mesmo, os manchamentos mais expressivos vistos na edificação podem ter contribuído para a corrosão das armaduras, como manchas de lixiviação e de umidade, os quais, também, estavam presentes na cobertura. Igualmente, os processos fissuratórios mais significativos da estrutura foram observados nas lajes de concreto da cobertura, sendo que os processos corrosivos são responsáveis por 70% das fissuras observadas.

Através da inspeção que foi realizada na estrutura por este trabalho, já tem a possibilidade de elaborar certas terapias para a estrutura, ou mesmo o acompanhamento dos processos observados. No entanto, para que se tenha um diagnóstico mais aprimorado da estrutura, seria interessante a realização de uma inspeção detalhada, ou seja, que se fizesse o uso de ensaios para confirmar as suposições feitas neste trabalho. A realização de alguns ensaios nas estruturas em concreto poderiam englobar, ensaios que avaliassem o estado de corrosão das armaduras. Assim, como continuação deste trabalho, sugere-se a realização de ensaios do tipo: análise de carbonatação (teste de fenolftaleína), teor de cloretos, avaliação da perda de seção da armadura, além de ensaios que pudessem avaliar a qualidade do concreto, como ensaios de esclerometria e ultrassom.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, A. A. **Durabilidade das estruturas de concreto armado aparentes**. 2010. 74 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Curso de Especialização em Construção Civil, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- ANDRADE, M. C. P. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2007.
- _____. **NBR 5674**: manutenção de edificações: procedimento. Rio de Janeiro, 2012a.
- _____. **NBR 9452**: vistoria de pontes e viadutos em concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2012b.
- BARBOSA, P. E. **Contribuição à inspeção, diagnóstico e procedimento de reabilitação de poste de concreto armado centrifugado utilizado em telefonia celular**. 2007. 167 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- BERTOLINI, L. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção**. São Paulo: Oficina de Textos, 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. 1988. 220 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.
- GOMIDE, T. L. F.; FAGUNDES NETO, J. C. P.; GULLO, M. A. **Engenharia diagnóstica em edificações**. São Paulo: Pini, 2009.
- GOOGLE.MAPS, [Campus do Vale UFRGS]. [S. l.], c2013a.
- GOOGLE.MAPS, [Campus do Vale UFRGS LEME]. [S. l.], c2013b.
- HELENE, P. R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1986.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA. **Norma de inspeção predial de São Paulo**. São Paulo, 2011.
- JOHNSON, M. S. **Deterioro, conservacion y reparacion de estructuras**. 1. ed. Madrid: Blume, 1973.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1994.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997.

PÊSSOA, R. B. **Inspeção preliminar de estruturas de concreto armado**: estudo de caso módulo teórico da VI unidade de ensino, pesquisa e extensão da UEFS. 2008. 92 f. Trabalho de Conclusão (Graduação em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.

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

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

WITTKOWSKI, A. **Patologias em sistemas estruturais**: marquise do quartel da polícia militar do Paraná e marquise do Palácio Iguazu. 2010. 73 f. Monografia (Especialista em Construção de Obras Públicas) – Curso de Pós-Graduação em Construção de Obras Públicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

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

APÊNDICE A – *Check-list*

APÊNDICE B – Plantas do mapeamento das fissuras

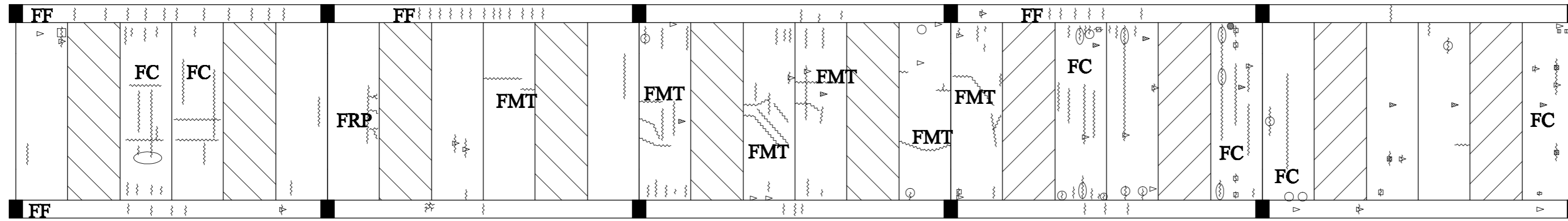
Módulo 1

Módulo 2

Módulo 3

Módulo 4

Módulo 5



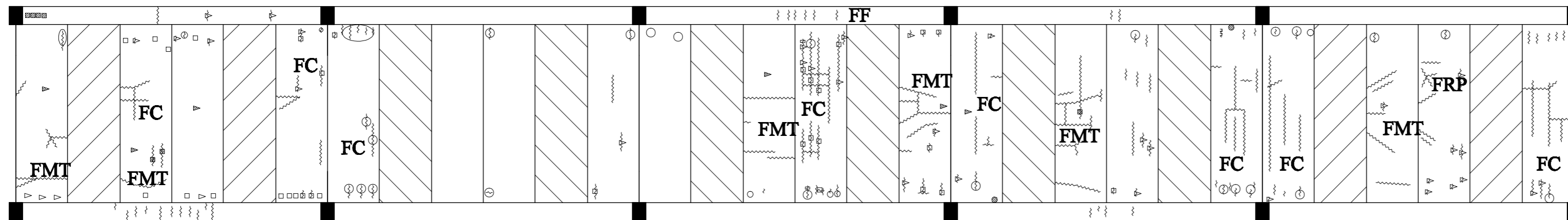
Módulo 6

Módulo 7

Módulo 8

Módulo 9

Módulo 10



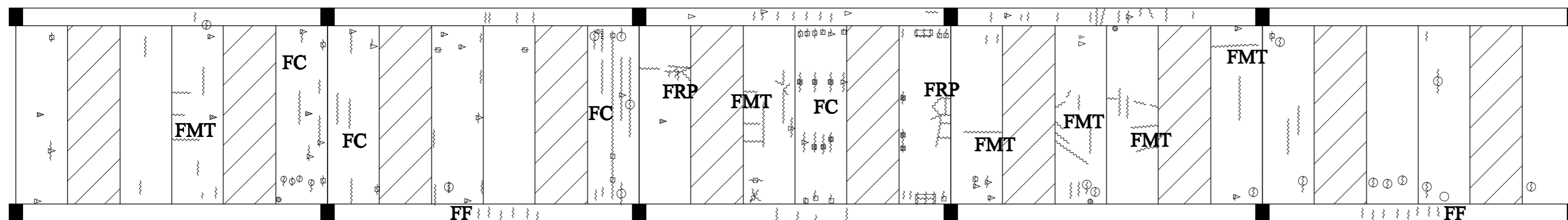
Módulo 11

Módulo 12

Módulo 13

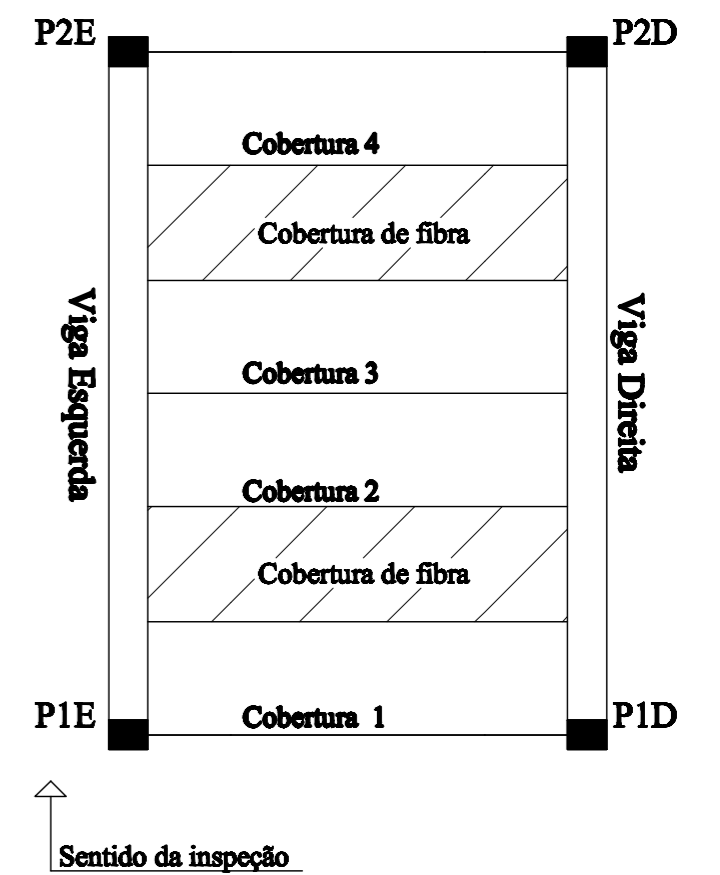
Módulo 14

Módulo 15



Vista inferior da cobertura

Identificação: Módulo X - 2º Pav.



Legenda

Processo de deterioração	Símbolo
Lixiviação	○
Expulsão parcial do cobrimento	△
Lascamento por choque	⊗
Exposição da armadura por falta de cobrimento	□
Exposição da armadura corrosão	▨
Desgaste superficial	▲
Fissuras	~~~~~
Fissuras por corrosão	FC
Fissuras por retração plástica	FRP
Fissuras por mov. térmica	FMT
Fissuras por flexão	FF

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Inspeção - Passarela e cobertura, Campus do Vale

Identificação: Módulos 01 a 15 - 2º pavimento

Escala: S/ Escala

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Inspetor: Fábio da Oliveira Período da inspeção: abril de 2013

01/09

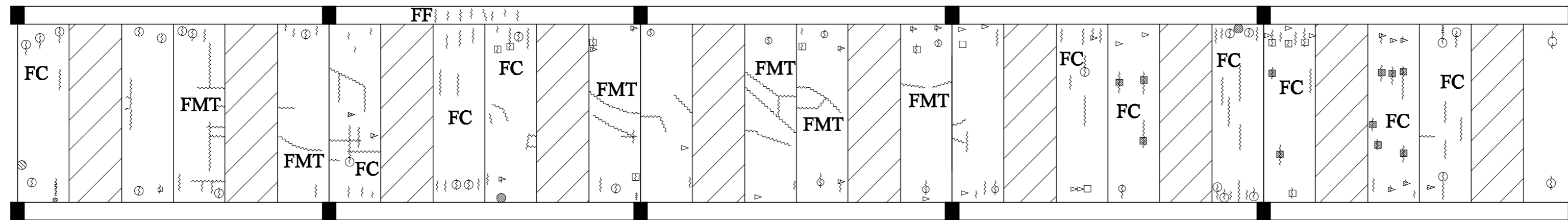
Módulo 16

Módulo 17

Módulo 18

Módulo 19

Módulo 20



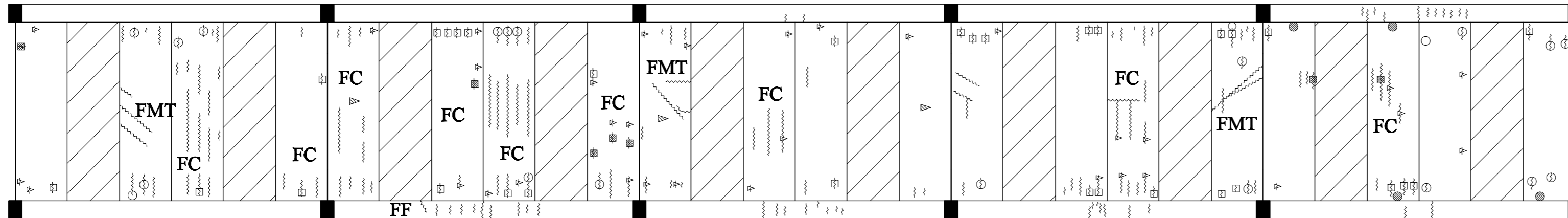
Módulo 21

Módulo 22

Módulo 23

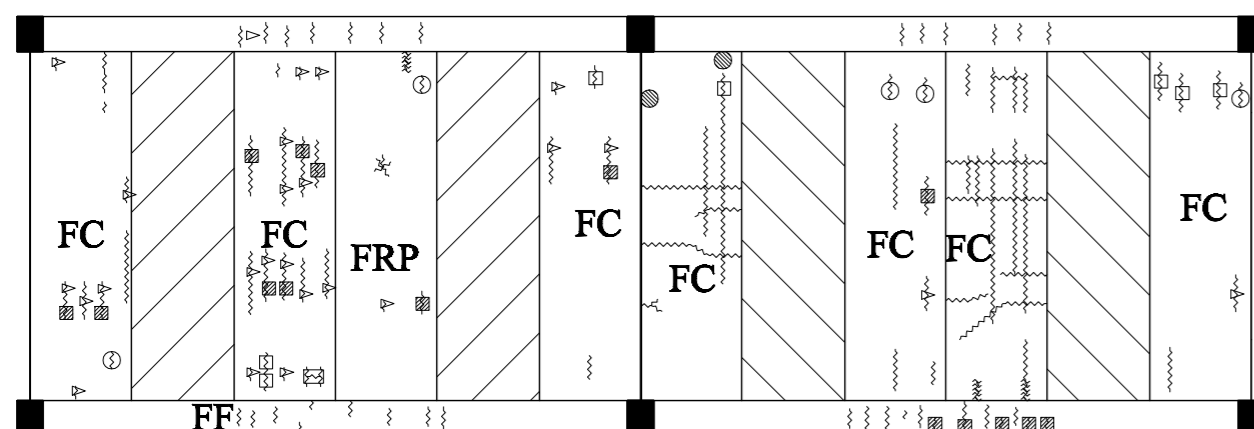
Módulo 24

Módulo 25

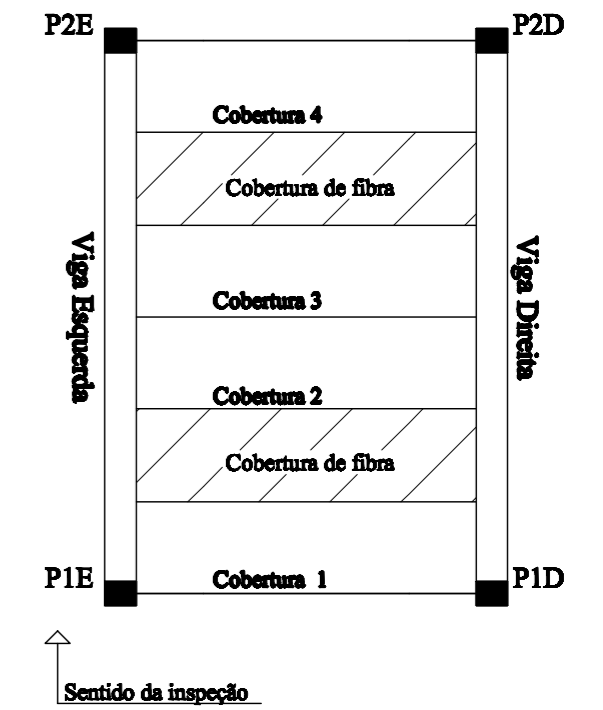


Módulo 26

Módulo 27



Vista inferior da cobertura
Identificação: Módulo X - 2º Pav.



Legenda

Processo de deterioração	Símbolo
Lixiviação	○
Expulsão parcial do cobrimento	△
Lascamento por choque	⊗
Exposição da armadura por falta de cobrimento	□
Exposição da armadura corrosão	▨
Desgaste superficial	△
Fissuras	~~~~~
Fissuras por corrosão	FC
Fissuras por retração plástica	FRP
Fissuras por mov. térmica	FMT
Fissuras por flexão	FF

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Inspeção - Passarela e cobertura, Campus do Vale

Identificação: Módulos 16 a 27 - 2º pavimento

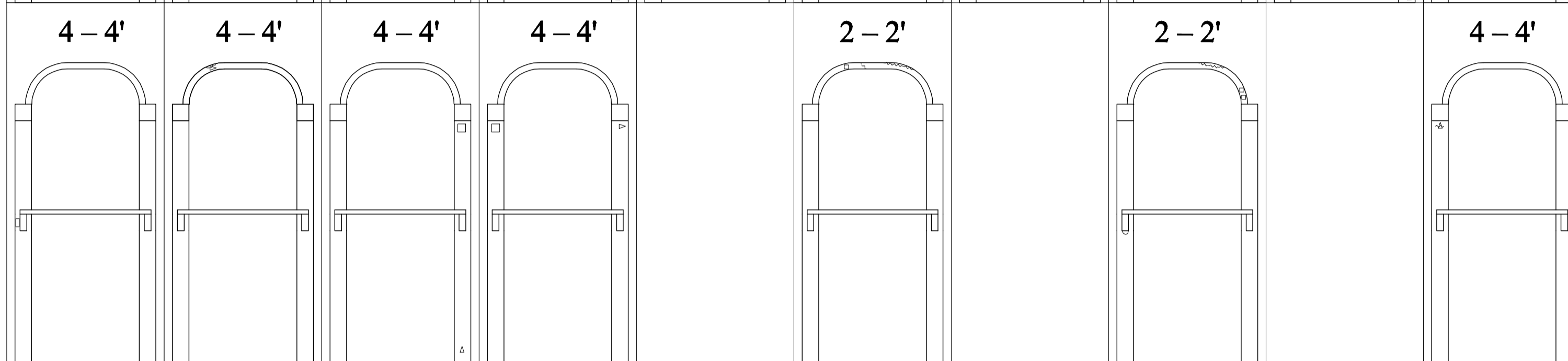
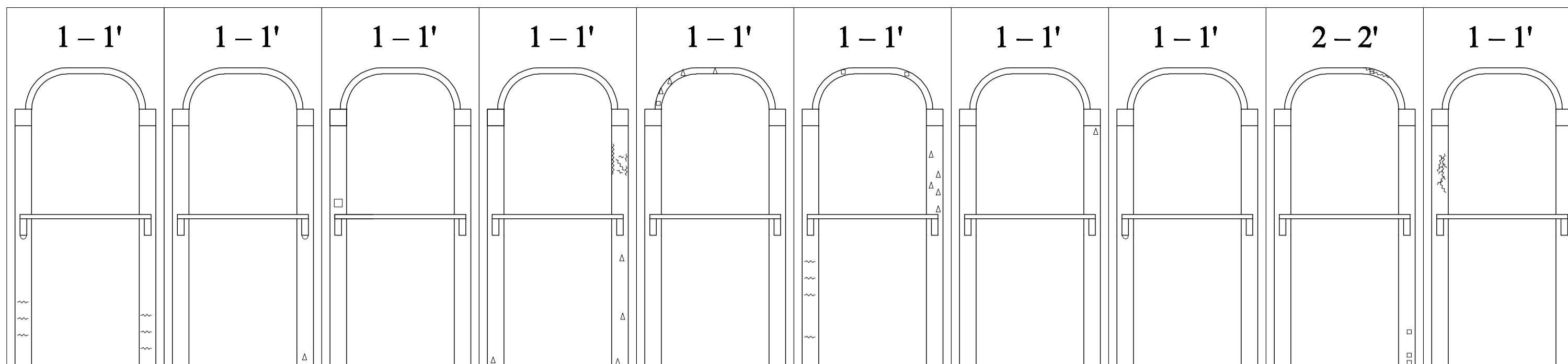
Escala: S/ Escala

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

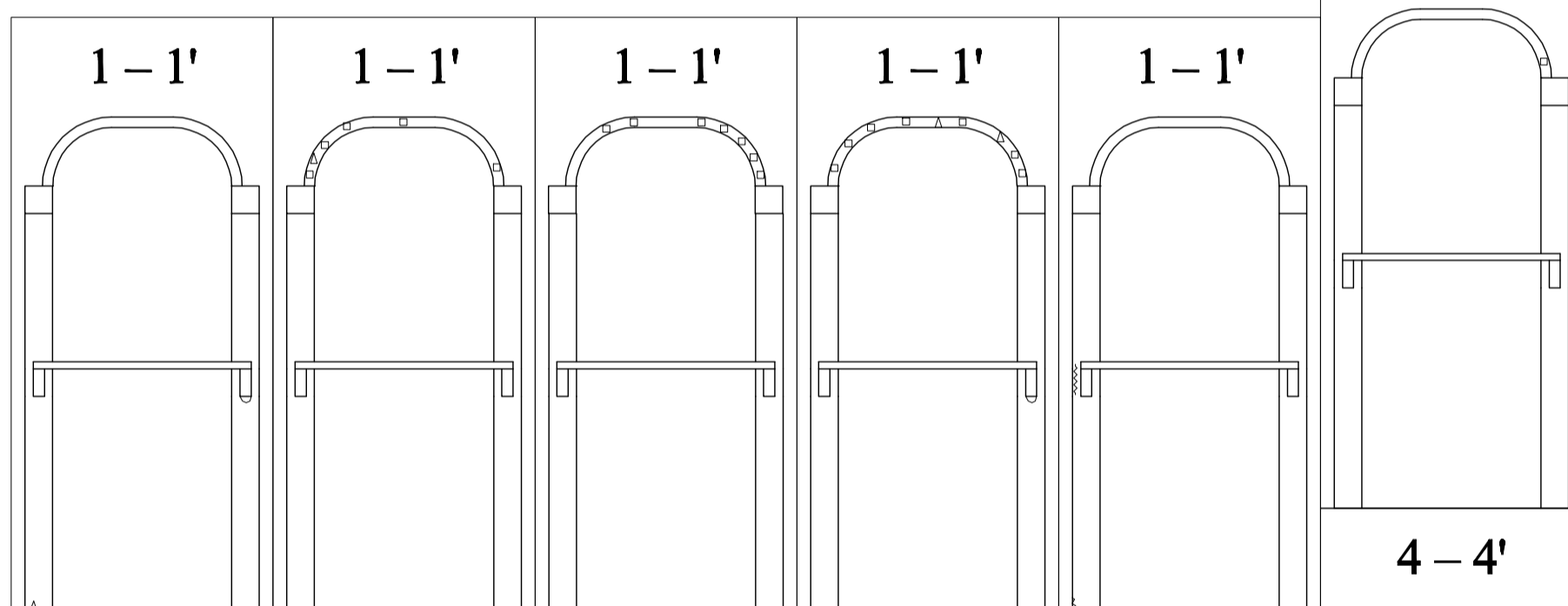
Inspetor: Fábio Oliveira Período da inspeção: abril de 2013

02/09

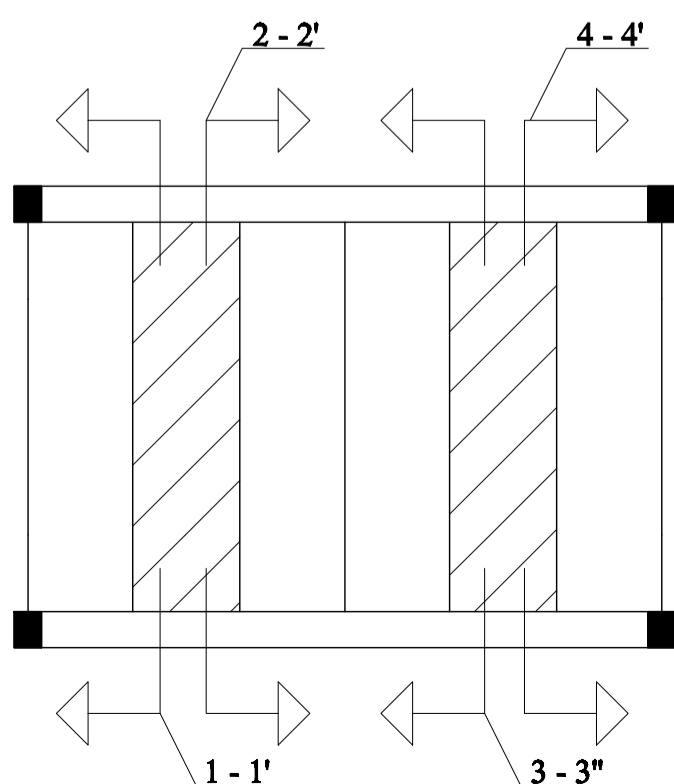
Módulo 1 Módulo 2 Módulo 3 Módulo 4 Módulo 5 Módulo 6 Módulo 7 Módulo 8 Módulo 9 Módulo 10



Módulo 11 Módulo 12 Módulo 13 Módulo 14 Módulo 15



Sentido da inspeção →



Legenda

Processo de deterioração	Símbolo
Lixiviação	○
Expulsão parcial do cobrimento	△
Lascamento por choque	⊗
Exposição da armadura por falta de cobrimento	□
Exposição da armadura por corrosão	▨
Desgaste superficial	▲
Fissuras	~~~~~

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

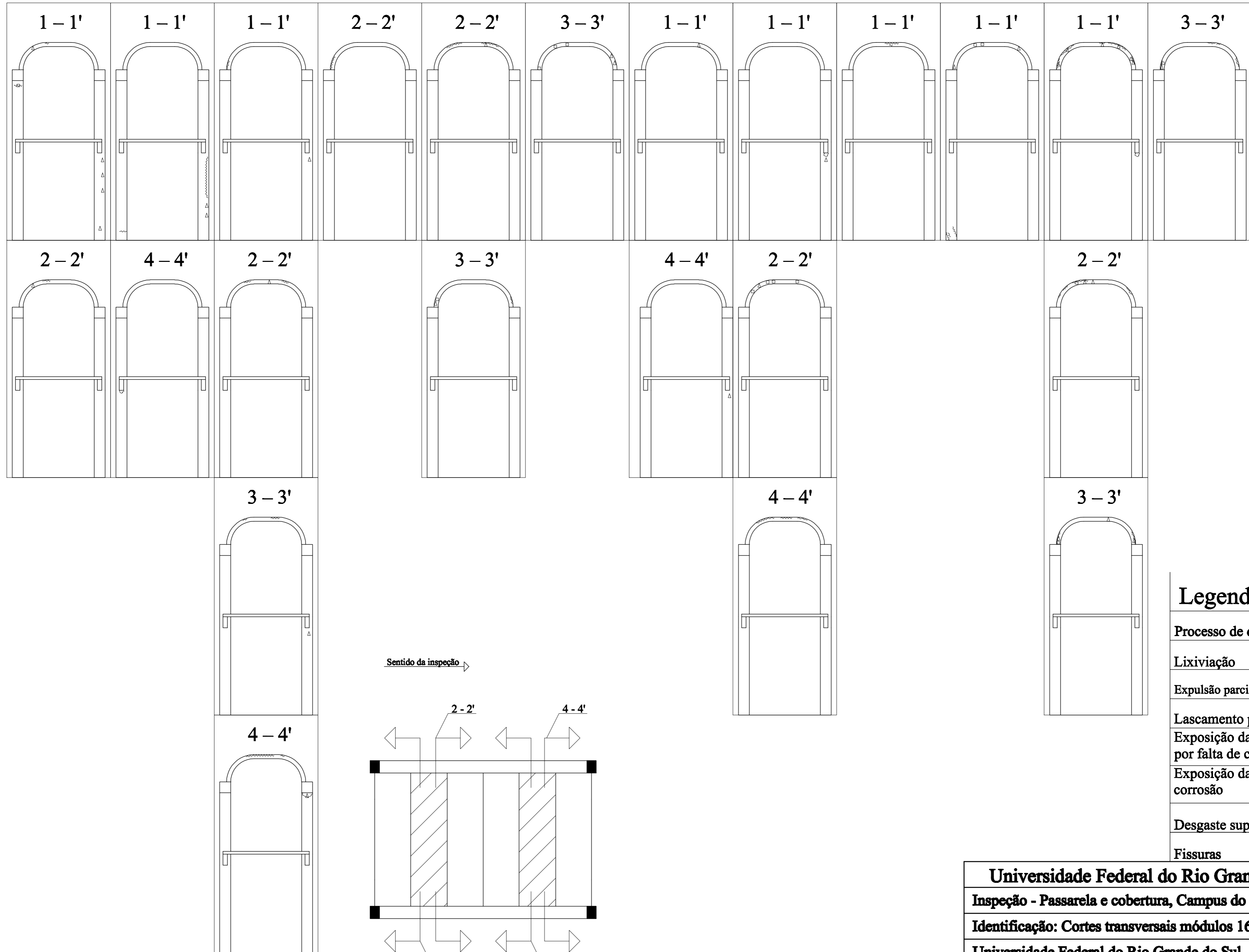
Inspeção - Passarela e cobertura, Campus do Vale

Identificação: Cortes transversais - módulos 1 a 15 Escala: S/ Escala

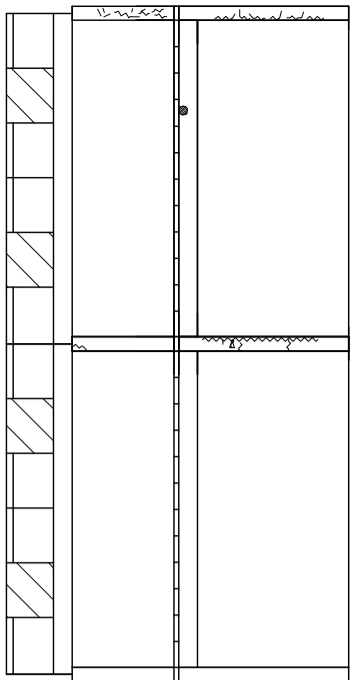
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Inspetor: Fábio Oliveira Período da inspeção: abril de 2013

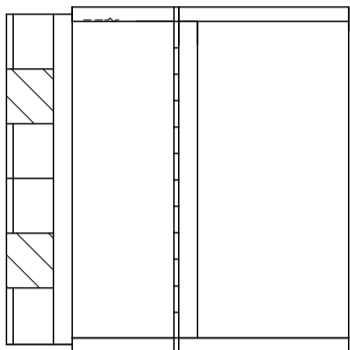
03/09



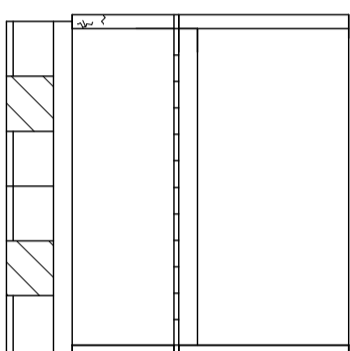
Módulo 17



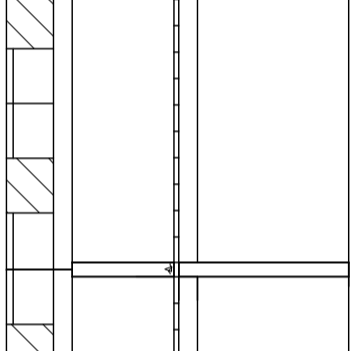
Módulo 16



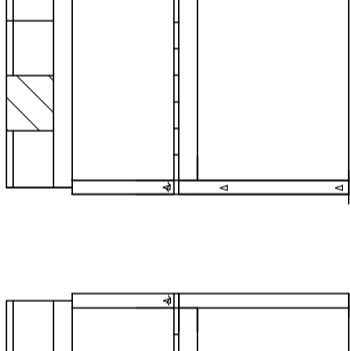
Módulo 15



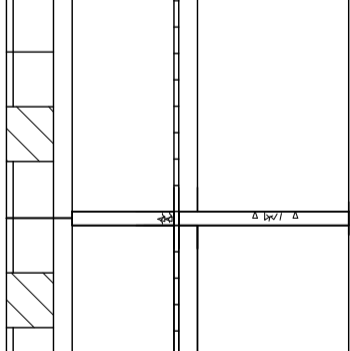
Módulo 13



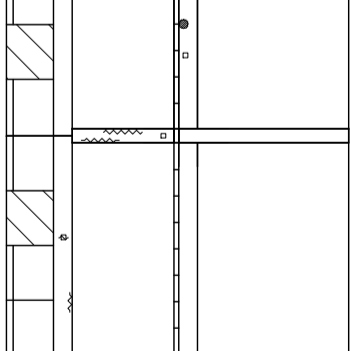
Módulo 12



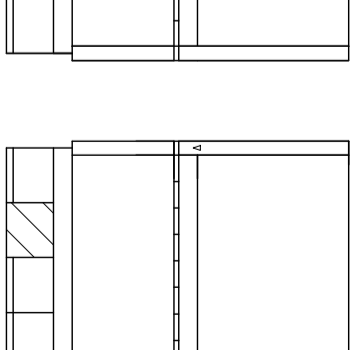
Módulo 11



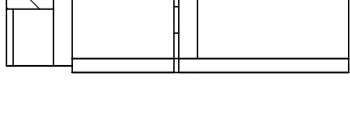
Módulo 9



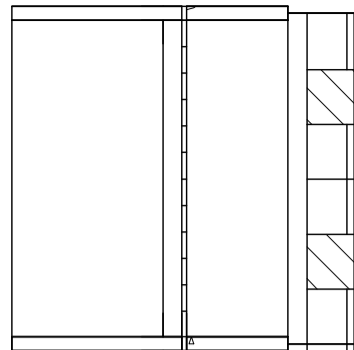
Módulo 8



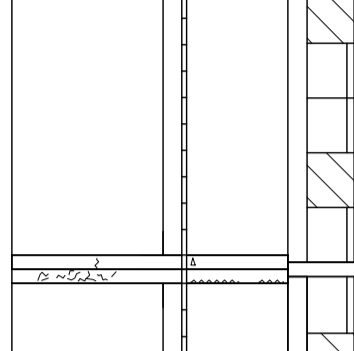
Módulo 7



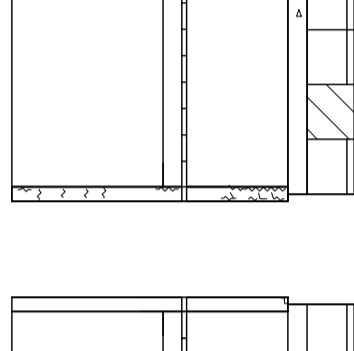
Módulo 3



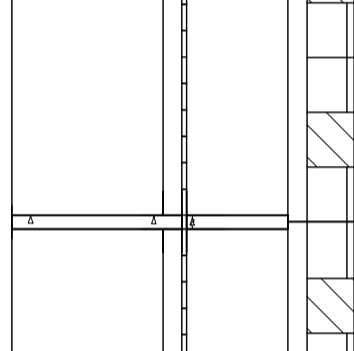
Módulo 19



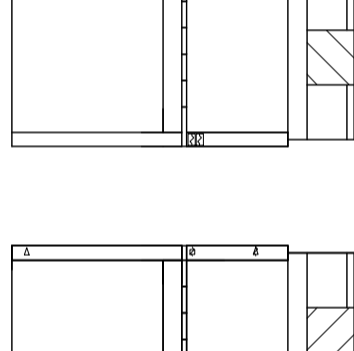
Módulo 18



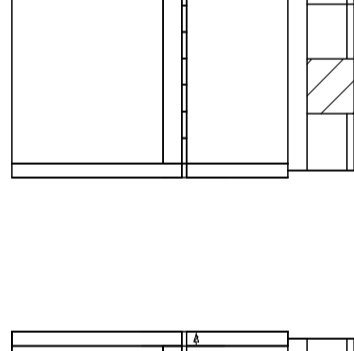
Módulo 15



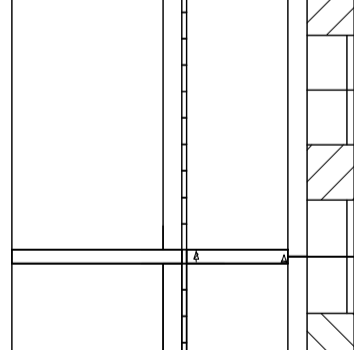
Módulo 12



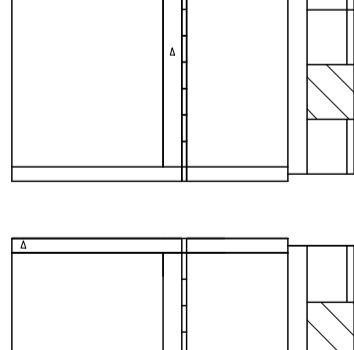
Módulo 11



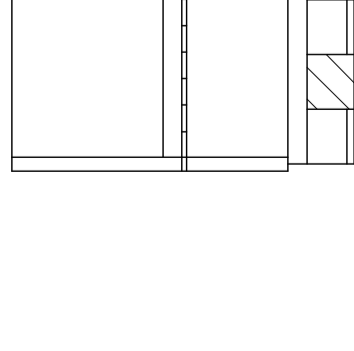
Módulo 9



Módulo 7

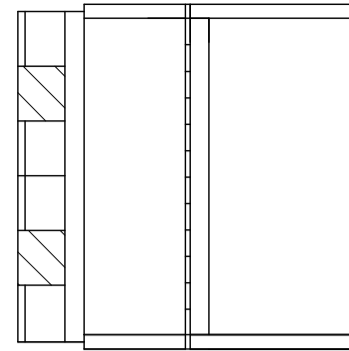


Módulo 6

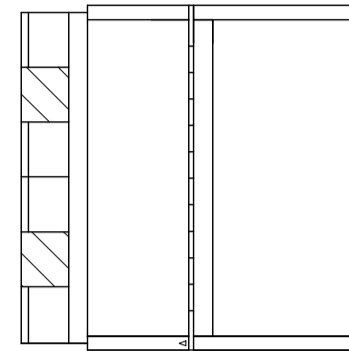


Módulo 3

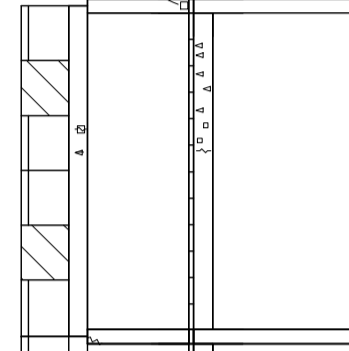
Módulo 27



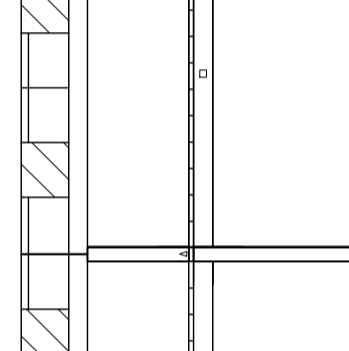
Módulo 25



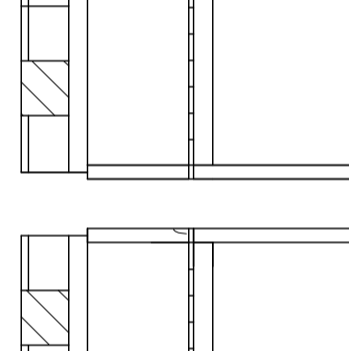
Módulo 23



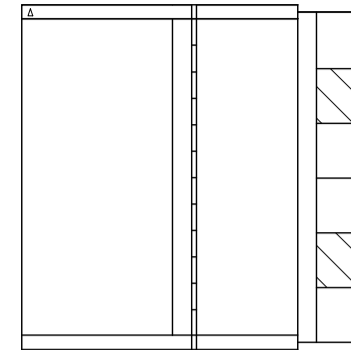
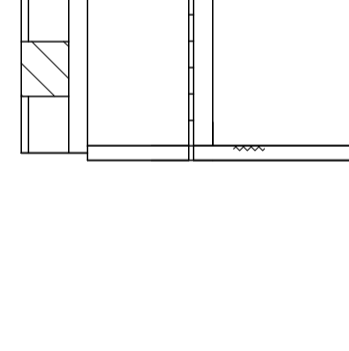
Módulo 22



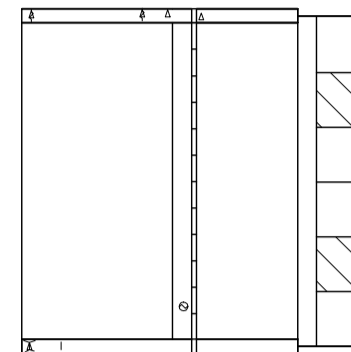
Módulo 21



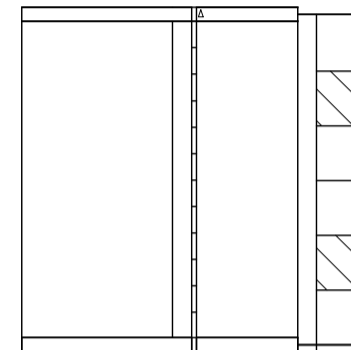
Módulo 19



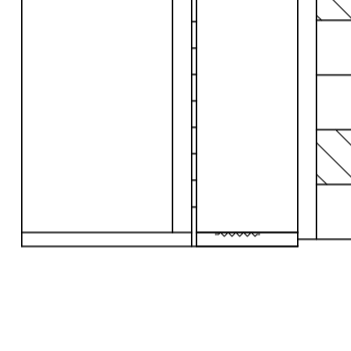
Módulo 27



Módulo 25



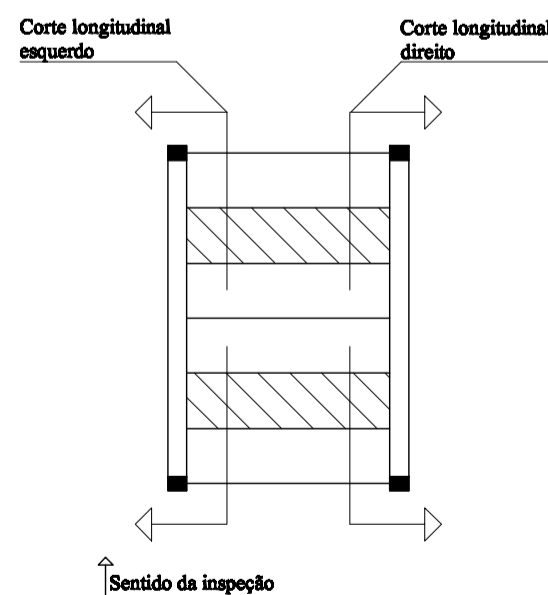
Módulo 22



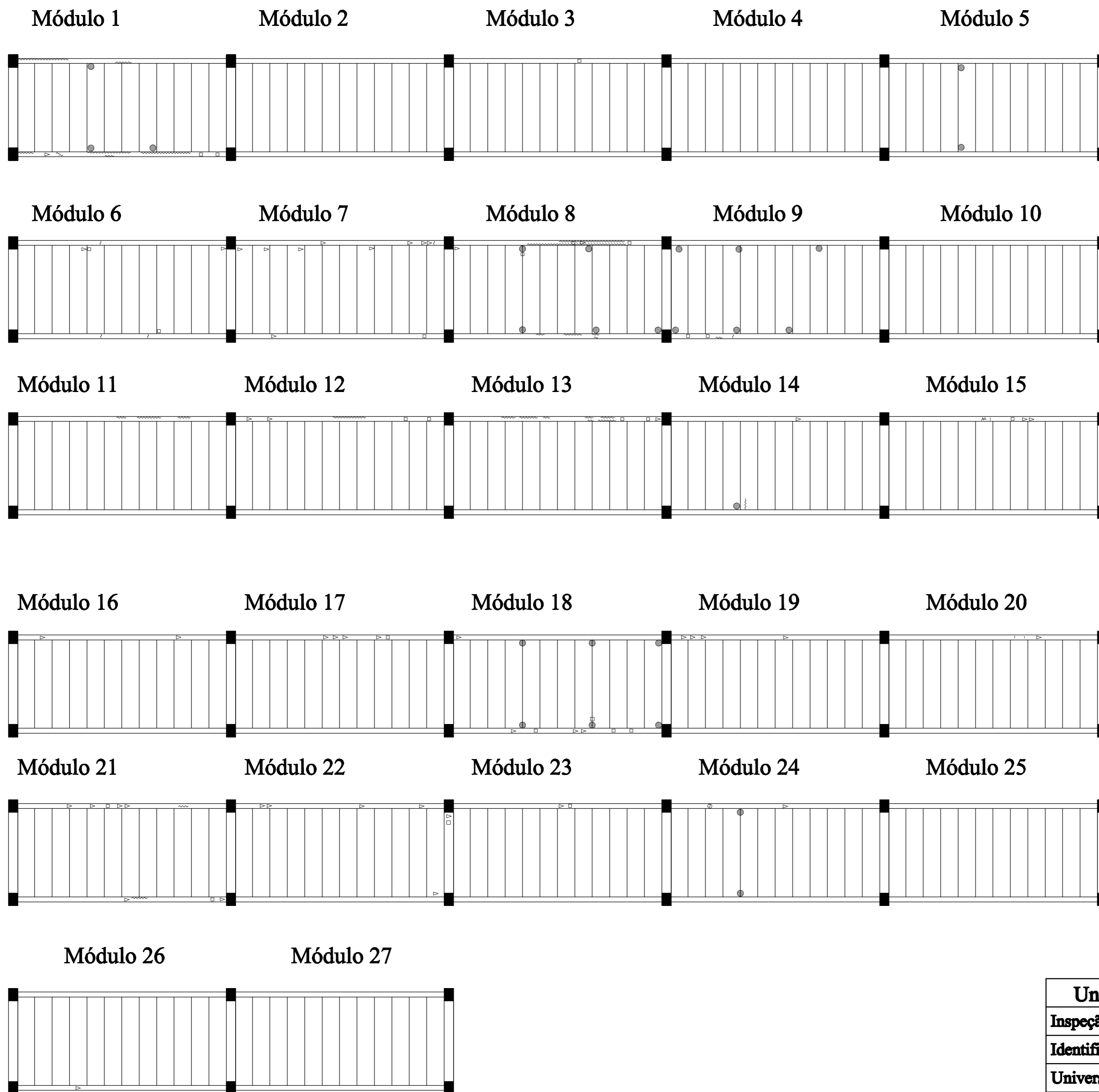
Módulo 21

Legenda

Processo de deterioração	Símbolo
Lixiviação	○
Expulsão parcial do cobrimento	△
Lascamento por choque	⊗
Exposição da armadura por falta de cobrimento	□
Exposição da armadura por corrosão	▨
Desgaste superficial	▲
Fissuras	~~~~~

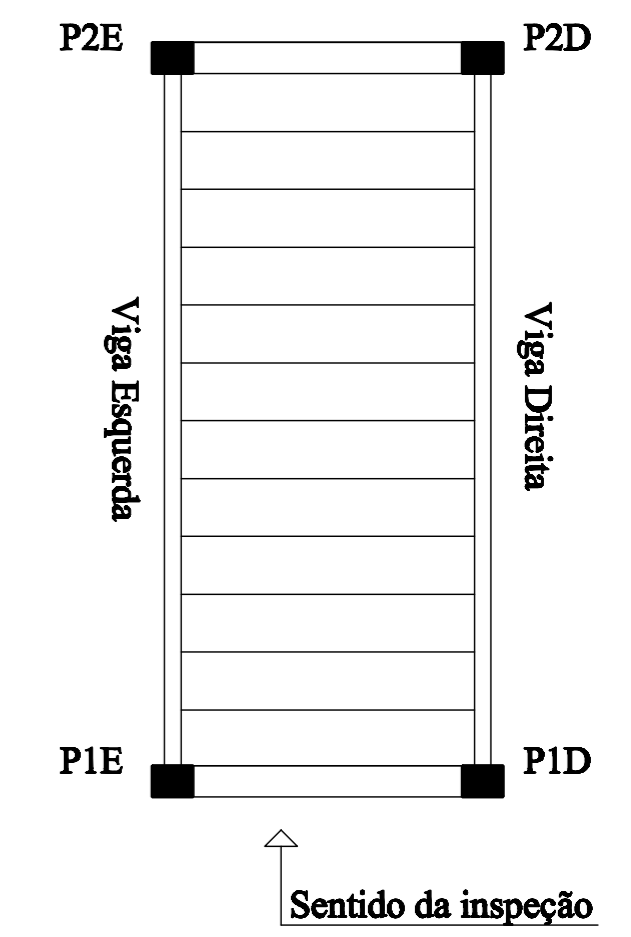


Universidade Federal do Rio Grande do Sul	
Inspecção - Passarela e cobertura, Campus do Vale	
Identificação: Cortes longitudinais	Escala: S/ Escala
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	
Inspetor: Fábio Oliveira	Período da inspecção: abril de 2013
05/09	



Vista inferior da passarela

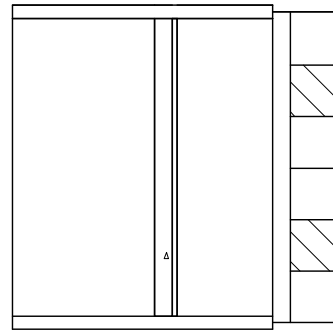
Identificação: Módulo X - 1º Pav.



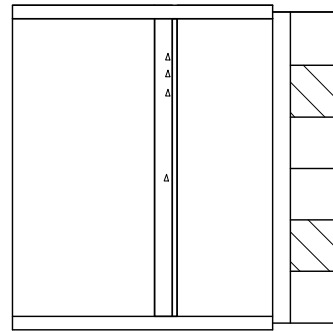
Legenda

Processo de deterioração	Símbolo
Lixiviação	○
Expulsão parcial do cobrimento	△
Lascamento por choque	⊗
Exposição da armadura por falta de cobrimento	□
Exposição da armadura por corrosão	▨
Desgaste superficial	▲
Fissuras	~~~~~

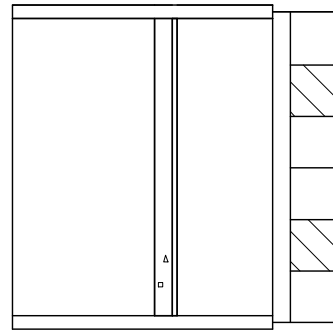
Módulo 16



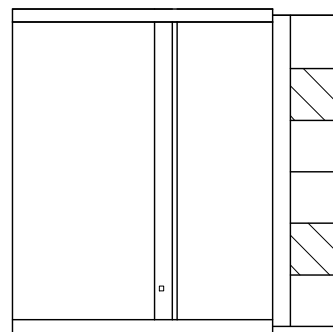
Módulo 15



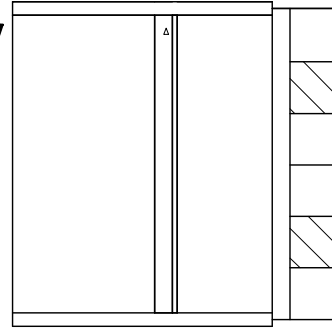
Módulo 11



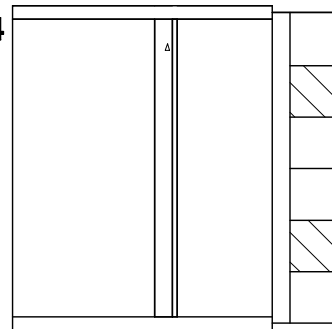
Módulo 8



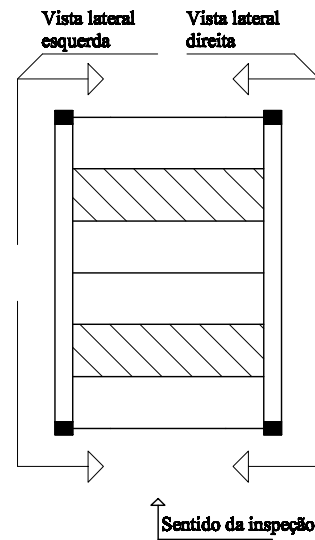
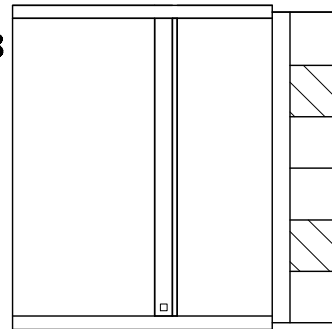
Módulo 27



Módulo 24

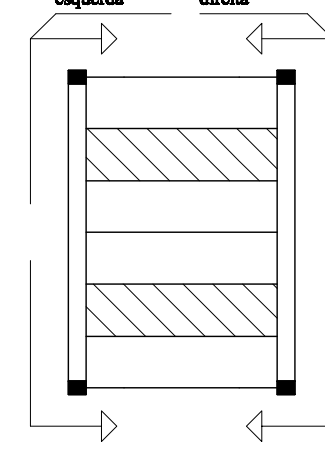


Módulo 18



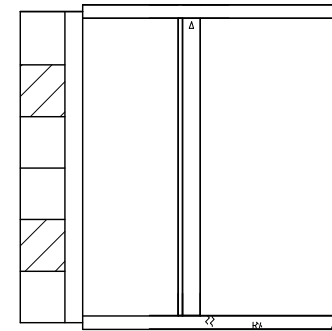
Vista lateral esquerda

Vista lateral direita

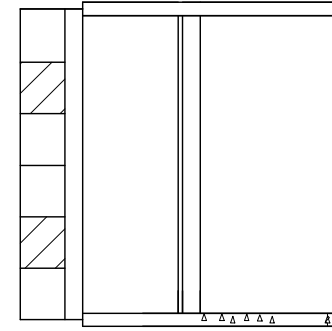


Sentido da inspeção

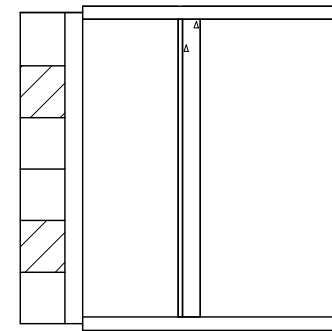
Módulo 24



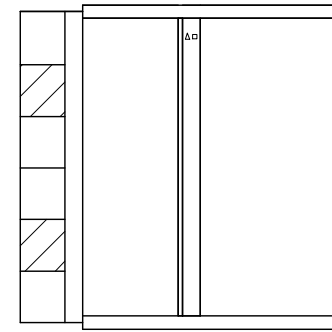
Módulo 20



Módulo 18



Módulo 7



Legenda

Processo de deterioração	Símbolo
Lixiviação	○
Expulsão parcial do cobrimento	△
Lascamento por choque	⊙
Exposição da armadura por falta de cobrimento	□
Exposição da armadura por corrosão	▨
Desgaste superficial	△
Fissuras	~~~~~

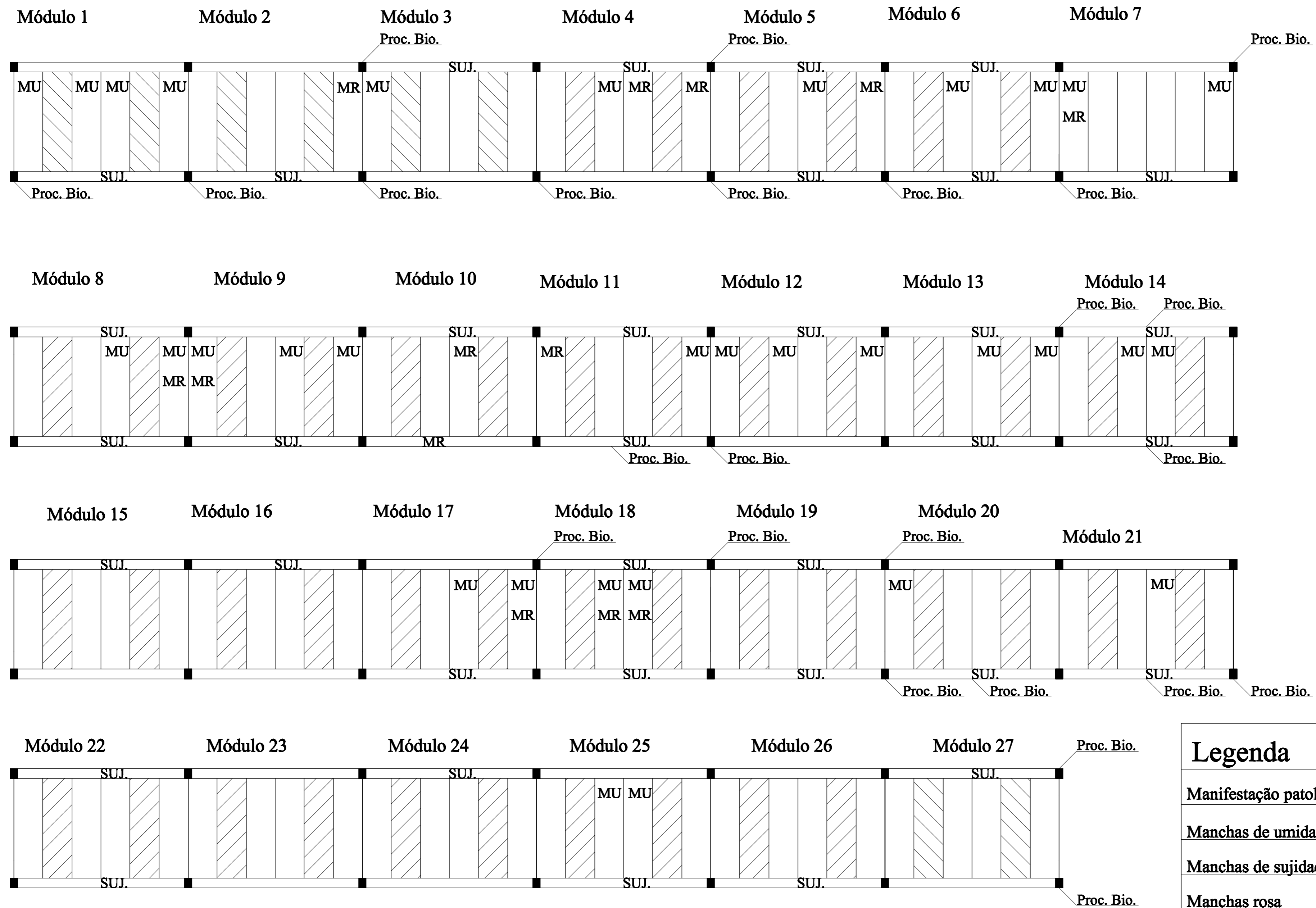
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Inspeção - Passarela e cobertura, Campus do Vale

Identificação: Vistas laterais **Escala: S/ Escala**

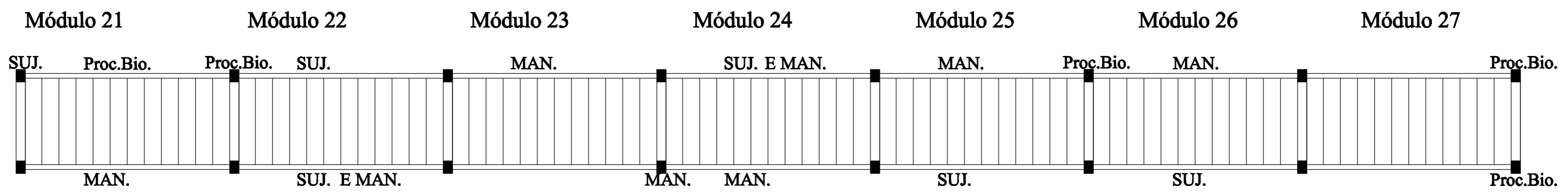
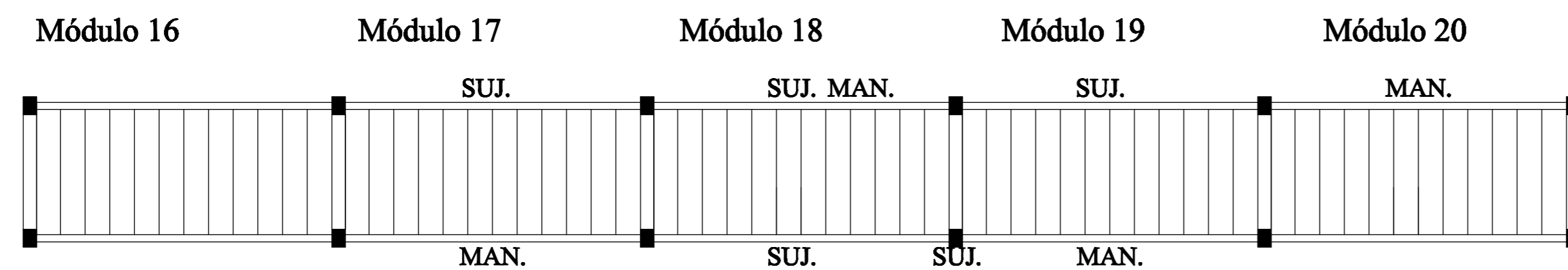
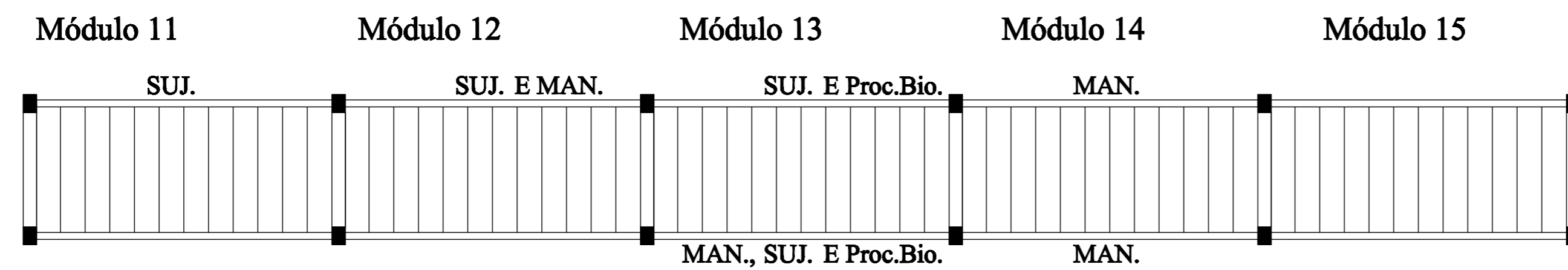
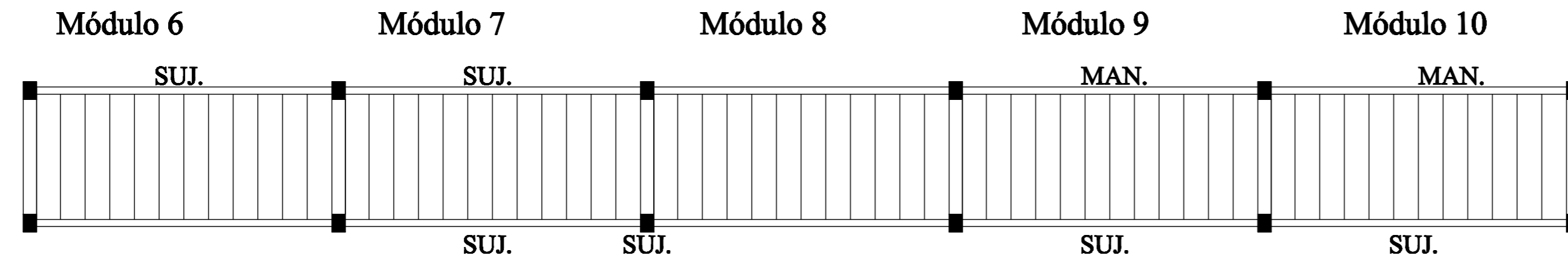
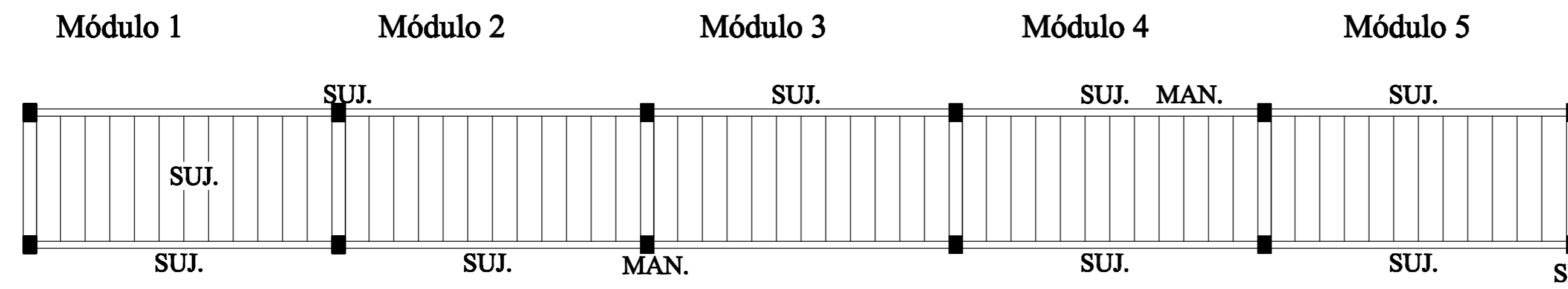
Universidade Federal do Rio Grande do Sul **07/09**

Inspetor: Fábio Oliveira **Período da inspeção: abril de 2013**



Legenda	
Manifestação patológica	Símbolo
Manchas de umidade	MU
Manchas de sujidade	SUJ.
Manchas rosa	MR
Processo biológico	Proc. Bio.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul	
Inspeção - Passarela e cobertura, Campus do Vale	
Identificação: Manchamentos - 2º pavimento	Escala: S/ Escala
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	
08/09	
Inspetor: Fábio Oliveira Período da inspeção: abril de 2013	



Legenda

Manifestação patológica	Símbolo
Manchamento	MAN.
Manchas de sujidade	SUJ.
Processo biológico	Proc. Bio.