

**unesp**  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
**CAMPUS DE GUARATINGUETÁ**

**RENATA HARUMI MAEHARA**

**Estudo das Patologias em Concreto Armado:**  
Estudo de Caso Edifício Centro Cultural São Paulo

Guaratinguetá - SP  
2017

**Renata Harumi Maehara**

**Estudo das Patologias em Concreto Armado:**  
Estudo de Caso Edifício Centro Cultural São Paulo

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil.

Orientadora: Denyse Meirelles Nociti  
Coorientador: Enos Arneiro Nogueirada Silva

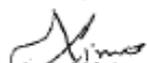
Guaratinguetá - SP  
2017

Machara, Renata Harumi  
M185e      Estudo das patologias em concreto armado: estudo de caso Edifício  
                Centro Cultural São Paulo / Renata Harumi Machara – Guaratinguetá,  
                2017.  
                90 f. : il.  
                Bibliografia : f. 84-86

Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual  
Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2017.  
Orientadora: Profª. Drª. Denyse Meirelles Nociti  
Coorientador: Prof. Dr. Enos Arneiro Nogueira da Silva

1. Concreto armado. 2. Patologia de construção. 3. Edifícios -  
Deterioração. I. Título

CDU 624.012.45

  
Luelena Máximo

Bibliotecária/CRB-8 3595

**RENATA HARUMI MAEHARA**

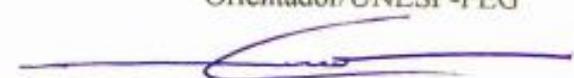
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
**"GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL"**

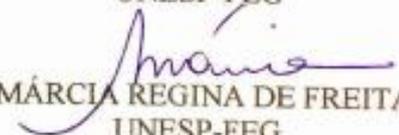
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL.

Prof. Dr. ENOS ARNEIRO NOGUEIRA SILVA  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dra. DENYSE MEIBELLES NOCITI  
Orientador/UNESP-FEG

  
Prof. Dr. ENOS ARNEIRO NOGUEIRA DA SILVA  
UNESP-FEG

  
Prof. Dra. MÁRCIA REGINA DE FREITAS  
UNESP-FEG

NOV/2017

## **AGRADECIMENTO**

Gostaria primeiramente a agradecer profundamente meus pais Miriam H. I. Maehara e José Maurício Maehara por serem meus maiores exemplos e por todo seu apoio, incentivo e amor incondicional durante toda a minha vida pessoal e profissional.

À minha irmã Luciana M. Maehara e ao André Kido por todo suporte, amizade e incentivo em todos os momentos.

Ao Roberto pela paciência, carinho e por estar sempre me apoiando e me dando suporte quando eu preciso.

À minha orientadora Professora Doutora Denyse Meirelles Nociti pelos ensinamentos, paciência, empenho, orientação e auxílio durante a graduação e na realização deste trabalho.

Aos meus amigos de graduação da Civil 011 pela amizade, companheirismo ao longo de toda esta jornada.

Ao apartamento 8B pelo carinho e pela amizade que construímos e que levarei pra vida.

Aos meus amigos do CSF, principalmente ao apartamento E202, por todos os momentos inesquecíveis compartilhados e pelas amizades de longa distância, mas muito verdadeiras.

Meus agradecimentos a todos e todas que de forma direta ou indireta me ajudaram e acompanharam nesta caminhada.

## RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo das patologias em concreto armado do edifício Centro Cultural São Paulo (CCSP), localizado em São Paulo – SP. A sua construção contou com aproximadamente dois mil operários, um canteiro de mais de trezentos metros e sua área construída de 46.500 metros quadrados. Foram consumidos aproximadamente 20 mil metros cúbicos de concreto armado e cerca de 2.000 toneladas de aço (CENNI, 1991). O estudo das patologias de uma edificação se faz importante por apresentar as deteriorações mais recorrentes, e a análise de suas causas, de forma que estas sejam evitadas futuramente. O presente trabalho procurou apresentar, através de um estudo de caso, uma análise inicial, visual, de um estudo de patologias abordando suas causas e suas características. Foi feita o levantamento de informações sobre o objeto de estudo Centro Cultural São Paulo principalmente em trabalhos acadêmicos relacionados a ele. Posteriormente, através de visitas ao local, foram feitas as inspeções visuais e contabilização das mesmas. A partir de informações retiradas do levantamento bibliográfico, foram feitas as análises, a quantificação e hipóteses sobre as patologias encontradas em dois pisos do Centro Cultural São Paulo, de forma a determinar as mais frequentes na edificação e os fatores que propiciaram seus surgimentos. Mediante verificação visual, foi possível identificar-se as mais recorrentes sendo elas: desgaste à abrasão, desagregação, segregação, carbonatação e corrosão. Após a análise das patologias, foi feita uma avaliação de suas causas, sendo as infiltrações na cobertura a mais significativa para o trabalho, pois esta influenciou diretamente as manifestações patológicas apresentadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Patologias. Concreto Armado. Centro Cultural São Paulo. Estrutura.

## ABSTRACT

This work presents a study of the pathologies in reinforced concrete of the São Paulo Cultural Center building (CCSP), located in São Paulo - SP. Its construction counted on approximately two thousand workers, a construction site of three hundred meters and its built area of 46,500 square meters. Approximately 20 thousand cubic meters of reinforced concrete and approximately 2000 tons of steel were consumed (CENNI, 1991). The study of the pathologies of a building is important because it presents the most recurrent deteriorations, and the analysis of its causes, so that these are avoided in the future. The present work sought to present, through a case study, an initial, visual analysis of a study of pathologies addressing their causes and their characteristics. Information about the study object Centro Cultural São Paulo was carried out mainly in academic works related to it. Later, through site visits, visual inspections and accounting of the same were made. Based on information collected from the bibliographical survey, analyzes, quantification and hypotheses about the pathologies found on two floors of the São Paulo Cultural Center were carried out, in order to determine the most frequent in the building and the factors that led to its emergence. Through visual verification, it was possible to identify the most recurrent ones being: wear on abrasion, disaggregation, segregation, carbonation and corrosion. After the analysis of the pathologies, an evaluation of its causes was made, and the infiltrations in the coverage were the most significant for the work, because this influence directly the pathological manifestations presented.

**KEYWORDS:** Pathologies. Reinforced Concrete. Centro Cultural São Paulo. Structure;

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Vista aérea Centro Cultural São Paulo .....	15
Figura 2 - Vista aérea do Centro Cultural São Paulo – Indicação de seus arredores .....	16
Figura 3 - Terreno da Nova Biblioteca Central de São Paulo - Vergueiro 1978.....	17
Figura 4 - Fachadas do projeto do Centro Cultural São Paulo (1980) .....	18
Figura 5 - Fachada do Centro George Pompidou (1977) .....	19
Figura 6 - Anteprojeto - perspectiva da rua interna, 1977 - Vista do jardim interno do Centro Cultural São Paulo .....	19
Figura 7 - Rampas centrais do Centro Cultural São Paulo .....	20
Figura 8 - Escada estilo industrial do Centro Cultural São Paulo .....	21
Figura 9 - Vista Sul do edifício do CCSP - Elevação Rua Vergueiro - Eixos 66 a 40.....	21
Figura 10 - Vista Sul do edifício do CCSP - Elevação Rua Vergueiro - Eixos 41 a 11.....	22
Figura 11 - Vista Leste - Rua João Julião.....	22
Figura 12 - Vista Oeste da Central de Operações do Metro.....	22
Figura 13 - Corte Eixo 33 - Centro Cultural São Paulo.....	23
Figura 14 - Corte Eixo 48 - Centro Cultural São Paulo.....	24
Figura 15 - Construção da fundação do CCSP .....	25
Figura 16 - Montagem das estruturas .....	25
Figura 17 - Pilares metálicos e vigas mistas no interior do edifício.....	26
Figura 18 - Montagem dos pilares metálicos .....	27
Figura 19 - Hadrian's Villa, século II A.C.....	28
Figura 20 - Arranjo do aço da armadura desenvolvida por Jacques Henebique para uma viga de concreto armado.....	29
Figura 21 - clínquers recém extraído do forno .....	30
Figura 22 - Quadro com os tipos de cimentos Portland fabricados no Brasil e tabela com os teores de seus componentes.....	31
Figura 23 - Tabela de relação entre classe de agressividade e qualidade do concreto .....	39
Figura 24- Lei de progressão de custos em relação ao tempo, Lei de Sitter .....	40
Figura 25 - Relação entre desempenho e vida útil técnica do concreto .....	41
Figura 26 - Gráfico ilustra a relação do Desempenho de uma estrutura de concreto armado com o Tempo de vida útil.....	41
Figura 27 - Fissura causada por retração hidráulica.....	44
Figura 28 - Fissuração por deficiência de detalhamento .....	46

Figura 29 - Fissuração inclinada em cantos de paredes de concreto armado.....	47
Figura 30 - Fissura de Flexão simples em estrutura de concreto armado.....	48
Figura 31 - Fissuras de Flexão.....	48
Figura 32 - Viga - Fissura de cisalhamento.....	49
Figura 33 - Fissuração por torção.....	49
Figura 34 - Fissura por compressão simples e sollicitação composta (flexão e compressão)...	50
Figura 35 - Fissuração devido à punção.....	50
Figura 36 - Tipos de corrosão de uma barra de armadura de concreto armado.....	52
Figura 37 - Corrosão generalizada devido à carbonatação do concreto.....	52
Figura 38 - Reação do dióxido de carbono com partículas de água ao penetrar no concreto ..	53
Figura 39 - Carbonatação de uma laje.....	54
Figura 40 - Carbonatação do concreto em função da umidade relativa do ar.....	54
Figura 41 - Esquema simplificado de Carbonatação e Corrosão da armadura metálica.....	55
Figura 42 - Casos de Desagregação do concreto armado devido à movimentação das fôrmas	56
Figura 43 - Má vibração do concreto causando aumento porosidade do concreto.....	57
Figura 44 - Nicho de segregação.....	57
Figura 45 - Corte indicando as vigas centrais.....	59
Figura 46 - Planta piso Caio Graco indicando parede externa.....	60
Figura 47 - Corte pelo Eixo 48 - Indicação as vigas centrais.....	61
Figura 48 - Tabela quantitativa de danos.....	63
Figura 49 - Localização do Centro Cultural São Paulo na cidade de São Paulo.....	65
Figura 50 - Centro Cultural São Paulo (CCSP) - Vista aérea dos acessos.....	65
Figura 51 - Corte transversal indicando os pavimentos analisados e o muro de contenção.....	66
Figura 52 - Gráfico de Frequência das patologias das vigas centrais do piso Caio Graco.....	72
Figura 53 - Viga central - Manchas escuras.....	73
Figura 54 - Vigas centrais - Desgaste por abrasão.....	73
Figura 55 - Viga central - Manchas brancas indicando forte Lixiviação.....	74
Figura 56 - Vigas centrais - Desagregação do concreto, possível carbonatação e corrosão da armadura.....	75
Figura 57 - Viga central - Apresenta lixiviação, corrosão da armadura, provável carbonatação e fissura na junta.....	75
Figura 58 - Viga Central - Fissura horizontal e segregação do concreto.....	76
Figura 59 - Gráfico de Frequência das patologias das paredes externas do piso Caio Graco ..	76
Figura 60 - Parede externas - Piso Caio Graco - Fissura horizontal e deslocamento.....	77

Figura 61 - Paredes externas - Piso Caio Graco – Lixiviação de intensidade média. ....	77
Figura 62 - Gráfico de Frequência das patologias das vigas transversais do piso Caio Graco	78
Figura 63 - Viga transversal piso Caio Graco - Forte lixiviação.....	79
Figura 64 - Viga Transversal piso Caio Graco - Segregação com nichos de agregados.....	79
Figura 65 - Gráfico de Frequência das patologias das vigas transversais e longitudinais - piso Caio Graco – ambiente externo .....	80
Figura 66 - Vigas - Ambiente externo - Piso Flávio de Carvalho - forte Lixiviação .....	81
Figura 67 - Viga Ambiente externo - Piso Flávio de Carvalho - Lixiviação com manchas marrons indicando ferrugem.....	81
Figura 68 - Viga Ambiente externo - Piso Flávio de Carvalho - Segregação nichos de agregados.....	82
Figura 69 - Gráfico de Frequência das patologias das vigas transversais e longitudinais - piso Caio Graco – ambiente interno .....	82

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura em função das classes de agressividade ambiental.....	43
Tabela 2 - Quadro de elementos verificados e a descrição de suas condições ambientais – Piso Caio Graco.....	61
Tabela 3 - Quadro de elementos verificados e a descrição de suas condições ambientais – Piso Flávio de Carvalho .....	62
Tabela 4 - Tabela Quantitativa de Danos das vigas centrais do piso Caio Graco .....	67
Tabela 5 - Tabela Quantitativa de Danos das paredes externas do piso Caio Graco .....	68
Tabela 6 - Tabela Quantitativa de Danos das vigas transversais do piso Caio Graco.....	69
Tabela 7 - Tabela Quantitativa de Danos das vigas do piso Flávio de Carvalho – ambiente externo .....	70
Tabela 8 - Tabela Quantitativa de Danos das vigas do piso Flávio de Carvalho – ambiente interno.....	71

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b> .....	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
5.1	CENTRO CULTURAL SÃO PAULO .....	15
5.1.1	Histórico do Centro Cultural São Paulo .....	16
5.1.2	O Projeto .....	17
5.1.3	A Construção .....	24
5.2	CONCRETO ARMADO .....	27
5.2.1	Histórico do Concreto Armado.....	28
5.2.2	Componentes do Concreto Armado .....	29
5.2.3	Benefícios do Concreto Armado .....	36
5.3	PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO .....	37
5.3.1	Vida Útil .....	38
5.3.2	Durabilidade .....	38
5.3.3	Desempenho .....	40
5.3.4	Sintomatologia .....	42
<b>6</b>	<b>PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE</b> .....	<b>58</b>
6.1	DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS.....	58
6.1.1	Investigação histórica .....	58
6.1.2	Mapeamento de Danos no Centro Cultural São Paulo.....	59
6.1.3	Investigação técnica .....	62
6.1.4	Critérios de Identificação .....	64
<b>7</b>	<b>DESENVOLVIMENTO – ANÁLISE DAS PATOLOGIAS</b> .....	<b>65</b>
7.1	LOCALIZAÇÃO E ÁREA ANALISADA.....	65
7.2	MAPEAMENTO DE DANOS NO EDIFÍCIO DO CCSP .....	67
7.2.1	Patologia das vigas centrais.....	67
7.2.2	Patologia das paredes externas .....	68

<b>7.2.3 Patologia das vigas transversais e longitudinais.....</b>	<b>68</b>
<b>7.3 ANÁLISE DAS PATOLOGIAS .....</b>	<b>71</b>
<b>7.3.1 Vigas do vão central.....</b>	<b>71</b>
<b>7.3.2 Paredes externas.....</b>	<b>76</b>
<b>7.3.3 Vigas transversais e longitudinais.....</b>	<b>78</b>
<b>8 CONCLUSÃO .....</b>	<b>83</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXO A .....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO C .....</b>	<b>90</b>
<b>ANEXO D .....</b>	<b>91</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A construção de edificações faz parte da história da humanidade. Desde a antiguidade o ser humano vem desenvolvendo técnicas e métodos construtivos, utilizando os materiais naturais disponíveis. A engenharia civil é a área do conhecimento que está relacionado a construção civil, englobando desenvolvimento de todas as suas etapas, assim como seu estudo científico. A constante evolução da engenharia civil permitiu o avanço de vários materiais, sistemas construtivos e técnicas de projeto.

Com o passar do tempo, junto com o desenvolvimento de novos materiais e técnicas, também foram surgindo novos conceitos e necessidades. Um destes conceitos foi o de vida útil e uma das necessidades foi a durabilidade. Assim, com o objetivo de aumentar a durabilidade e a vida útil, promoveu-se o estudo das patologias.

O termo patologia é definido como o estudo sistemático de doenças e tem como objetivo entender suas causas, sintomas e tratamento. Em um contexto médico uma pessoa se torna o objeto de investigação e estudo, levando em consideração informações como idade, saúde e estilo de vida. Uma abordagem similar pode ser aplicada em edificações, e esta prática pode ser chamada de patologia da construção (WATT, 2008).

“Designa-se genericamente por PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS esse novo campo da Engenharia das construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestações, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas.”(SOUZA; RIPPER, 1998)

O concreto armado é uma técnica de construção relativamente recente quando comparado à outras técnicas, assim, o estudo de suas patologias ainda é considerado um novo campo da engenharia das construções. O conhecimento destas patologias se faz útil em todas as etapas de uma construção, devendo ser levadas em consideração, desde a elaboração do projeto até a finalização da obra. Dessa forma, aumentará a durabilidade da construção, extendendo assim, sua vida útil.

Em consciência da importância da identificação da patologia e do estudo de suas causas, o foco do presente trabalho foi a análise de patologias em estruturas de concreto armado utilizando o edifício do Centro Cultural São Paulo como objeto de estudo.

## **2 OBJETIVO**

Selecionar um edifício de concreto armado aparente e de grande porte, com idade considerável e com peças estruturais robustas e que não tivessem sofrido intervenções e reparos, ou obras de recuperação. O edifício escolhido foi o Centro Cultural São Paulo. Dessa forma foi possível verificar o comportamento, os desgastes e as irregularidades que surgiram no concreto aparente, sob à ação do ambiente urbano, do clima e do uso.

Analisar o surgimento de patologias em estruturas de concreto armado no edifício do Centro Cultural São Paulo, assim como avaliar suas principais causas. Detectar as causas da ocorrência de corrosão das armaduras metálicas. Identificar as degradações da estrutura devido a causas intrínsecas (erros de construção, utilização incorreta, ações naturais) e extrínsecas (erros de projeto, utilização incorreta, e ações mecânicas, físicas, químicas e biológicas).

## **3 JUSTIFICATIVA**

Nos últimos anos o concreto armado foi largamente utilizado em variadas construções, por este motivo é essencial entender os diferentes fatores que podem comprometer a performance e a durabilidade das estruturas de concreto armado. A grande quantidade de tempo e dinheiro investidos para a construção desta estrutura também fazem com que seja de extrema importância garantir a durabilidade e a vida útil destas.

Com o passar do tempo a performance das estruturas declina devido à diversos fatores como: ataques químicos, condições ambientais, condições de uso, que resultam degradação da estrutura. A relevância do reconhecimento das patologias das estruturas recai principalmente na necessidade de informações mais precisas para a tomada de decisões dentro da área da engenharia civil.

O Centro Cultural São Paulo foi escolhido como objeto de estudo, devido a sua importância sociocultural na comunidade onde está inserido e pelo fato de seu edifício possuir um projeto estrutural inovador e complexo, utilizando estruturas mistas de concreto armado e ferro.

## 4 METODOLOGIA

Em virtude da falta de acesso às documentações referentes aos métodos construtivos, memórias de cálculo e projetos estruturais do edifício, bem como, à impossibilidade de realização de ensaios laboratoriais, as análises das patologias foram somente por inspeção visual. Assim, sua avaliação focou na comparação entre a fundamentação teórica, referenciada na bibliografia, e a real.

A pesquisa bibliográfica foi feita por meio de artigos, de pesquisa eletrônica através da Internet, de livros e de dissertações que a bordavam.

Nos primeiros itens da revisão bibliográfica (Capítulo 5) deste trabalho buscou-se introduzir o objeto de estudo e esclarecer conceitos relacionados ao tema do trabalho. No Capítulo 5.1 foi feita uma introdução do Centro Cultural São Paulo, abordando seu histórico, seu projeto e sua construção. No capítulo seguinte (Capítulo 5.2) foram apresentados o histórico, constituição e características do concreto armado. O Capítulo 5.3 trata dos conceitos relacionados às patologias e da descrição das mesmas.

Os procedimentos de análise são descritos no capítulo 6, e o desenvolvimento e análise das patologias são abordados no capítulo 7.

Por fim no capítulo 8 todas informações coletadas foram avaliadas e suas conclusões apresentadas.

## 5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 5.1 CENTRO CULTURAL SÃO PAULO

O Centro Cultural São Paulo (CCSP), a primeiro momento, seria uma extensão da Biblioteca Mário de Andrade, porém transformou-se no mais antigo centro cultural da América Latina e um dos primeiros espaços culturais multidisciplinares do país. A Figura 1 apresenta a vista aérea do Centro cultural São Paulo.

Figura 1 - Vista aérea Centro Cultural São Paulo



Fonte: SP Bairros (2015)

Localizado entre as ruas Vergueiro e a 23 de Maio, e próximo às estações de metro Vergueiro e Paraíso, o CCSP é um espaço de fácil acesso ao público em geral. Conta ainda com quatro pavimentos de área de 46.500 m<sup>2</sup> que incluem bibliotecas, auditórios, jardins e espaços de recreação e convívio.

Seu espaço foi inaugurado em 13 de maio de 1982 e seu projeto foi idealizado por um grupo de arquitetos coordenado por Eurico Prado Lopes e Luiz Telles.

O terreno do CCSP possui 65 metros de largura em seu maior trecho e aproximadamente 350 metros de comprimento, e uma área de 22.000 metros quadrados. Ele é limitado pelo viaduto João Julião ao norte, pelo Centro de Controle e Operações do Metrô (CCO) ao sul, pela Rua Vergueiro a leste e pela Avenida 23 de Maio a oeste (CCSP - CENTRO CULTURAL SÃO PAULO), [s.d.]). A Figura 2 ilustra a localização do Centro Cultural São Paulo.

Figura 2 - Vista aérea do Centro Cultural São Paulo – Indicação de seus arredores



fonte: GoogleEarth(2002)

### 5.1.1 Histórico do Centro Cultural São Paulo

Na década de 70, o terreno onde seria mais tarde construído o CCSP, era constituído por vários lotes que foram desapropriados pela Companhia Metropolitana de São Paulo, para a construção da linha norte-sul do metro. Na gestão do prefeito Miguel Calasuonno foi, elaborado o Projeto Vergueiro (julho de 1973), um empreendimento para tentar reurbanizar esta área.

Com um terreno de 300.000 metros quadrados de área e um desnível de 11,70 metros entre a Rua Vergueiro e a Avenida 23 de Maio, a cidade se encontrava com um grande vazio urbano que possuía uma ótima localização e bom acesso às redes de transporte coletivo (Figura 3). O projeto Vergueiro proposto pelo prefeito Miguel Colasuonno (1973-1975) e a EMURB (Empresa Municipal de Urbanização), em virtude do impacto negativo causado pelas obras do Metrô na região, possuía o intuito de revitalizar a área através do adensamento e consistia em um conjunto de edifícios de escritórios, de hotéis, um shopping center, e um espaço destinado à implantação de uma grande biblioteca pública municipal e de alguns prédios comerciais(CENNI, 1991).

Figura 3 - Terreno da Nova Biblioteca Central de São Paulo - Vergueiro 1978



Fonte: Retirado do acervo CCSP -Centro Cultural São Paulo(2017).

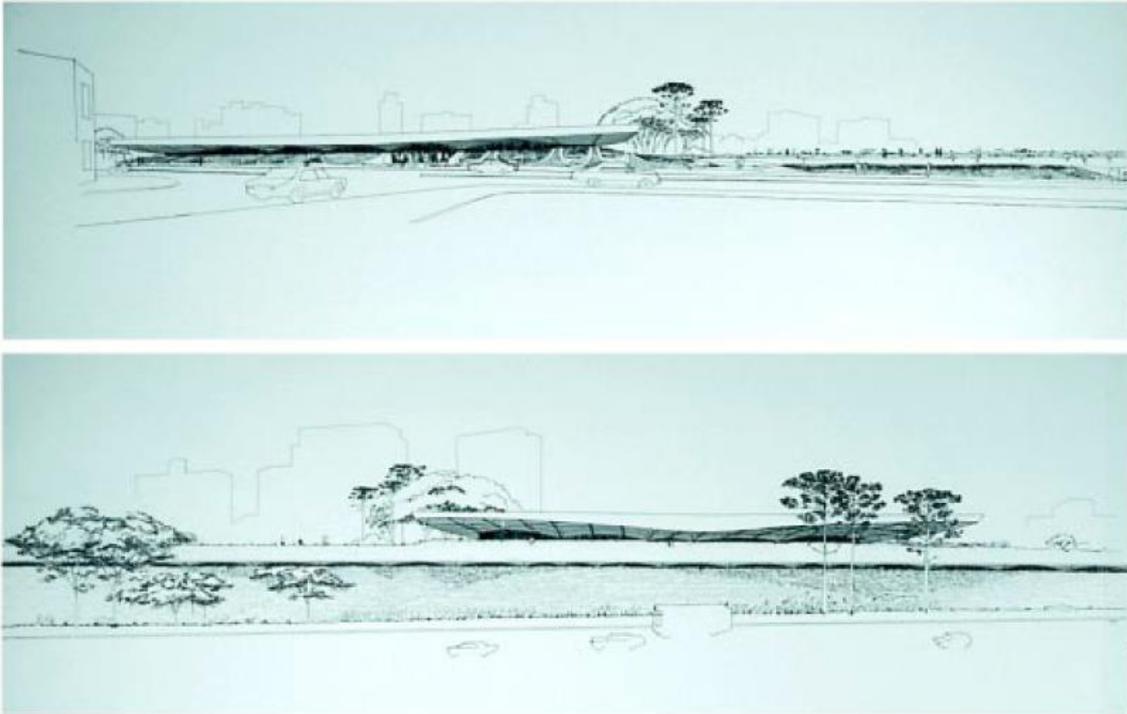
Passados dois anos, no começo da gestão seguinte, o novo prefeito Olavo Setubal (1975-1979) cancelou o projeto Vergueiro e optando pela construção da Nova Biblioteca Central de São Paulo – Vergueiro, doou o terreno ao Departamento de Bibliotecas Públicas do Município de São Paulo. Assim, foi aberta uma concorrência para o projeto em 1976, que foi vencida pela equipe de arquitetos da PLAE SC Ltda., liderada pelo arquiteto Eurico Prado Lopes que entregou o projeto arquitetônico em outubro de 1978 (TELLES, 2002). O arquiteto Eurico Prado Lopez formou parceria com o arquiteto Luiz Benedito de Castro Telles e ambos coordenaram o projeto(CENNI, 1991).

A construção foi iniciada em 1979, porém o projeto de arquitetura foi modificado entre 1980 e 1981, “[...] adaptando o edifício da Biblioteca Central em espaço para abrigar o Centro Cultural São Paulo, que foi inaugurado em 13 de maio de 1982, prematuramente, com grande parte do edifício por concluir - a falta de conclusão persiste até hoje”(TELLES, 2002).

### 5.1.2 O Projeto

O projeto iniciado em 1976 dos arquitetos Eurico Prado Lopes e Luiz Telles consistia em uma biblioteca juntamente com uma biblioteca circulante, porém na administração do prefeito Reynaldo de Barros em 1980 o projeto foi modificado.

Figura 4 - Fachadas do projeto do Centro Cultural São Paulo (1980)



fonte: Retirado do acervo CCSP -Centro Cultural São Paulo(2017)

Foi convocada uma comissão em maio de 1980, para analisar as mudanças a serem realizadas no prédio. Esta comissão sugeriu a abolição da área da biblioteca circulante, aproximadamente um terço da área reservada ao empreendimento, para a construção do cinema municipal, do teatro de arena e de um local para recitais e concertos sinfônicos. Os espaços reservados para depósito de volumes seriam transformadas em ateliers e oficinas de artesanato, ao passo que o espaço do teatro italiano seria convertido em salas de ensaio e o espaço da exibição de livros e documentos relacionados a estes, daria lugar a uma variedade de opções, como artes plásticas, exposições, etc.(CENNI, 1991).

As modificações no projeto aumentaram a área para atividades culturais específicas e a capacidade do edifício, permitindo atender um maior número de pessoas e criando assim um centro cultural multidisciplinar. Este conceito de espaço era algo recente, sendo o Centro George Pompidou (1977) (Figura 5), em Paris, sua maior referência. Sua estrutura de organização multidisciplinar visava à democratização das artes e a não compartimentação dos espaços e dos elementos de arquitetura (TELLES, 2002).

Figura 5 - Fachada do Centro George Pompidou (1977)



fonte: Conservapedia(2012).

Figura 6 - Anteprojeto - perspectiva da rua interna, 1977 - Vista do jardim interno do Centro Cultural São Paulo



fonte: Retirado do acervo CCSP -Centro Cultural São Paulo(2017)

Antes de iniciar o projeto os autores deveriam definir os princípios e desenvolver um programa para o CCSP. Um dos princípios adotados foi, a elaboração do projeto e do programa em função do usuário, que seria um cidadão simples e com pouco acesso à educação, criando assim, um espaço convidativo, estimulante e confortável para o leitor e usuário do CCSP.

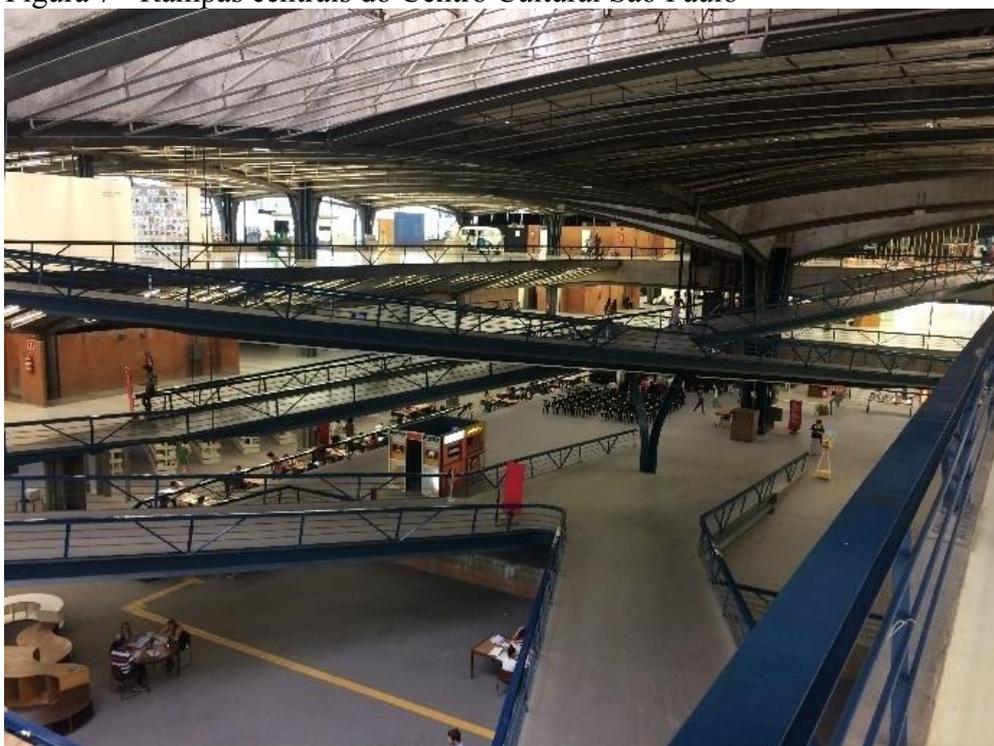
A construção teria que se integrar à cidade, se ajustar a ela, sem ofuscá-la, priorizando o acesso do cidadão comum. O interior da construção deveria seguir o mesmo conceito, proporcionando acesso às atividades, convidando o usuário e não se impondo a ele.

Procura-se prever o comportamento, as emoções, as aspirações do usuário, sua percepção do espaço, aliando esses aspectos aos seus direitos de cidadão, principalmente direito de acesso ao espaço público e às atividades culturais – o “livre acesso” em todos os sentidos. (TELLES, 2002)

No período em que o programa de necessidade estava sendo elaborado, a proposta do projeto ainda era a Nova Biblioteca Central, por essa razão o programa foi baseado nas necessidades e comportamento do usuário da Biblioteca Mário de Andrade. Contudo houve a mudança de Biblioteca Central para Centro Cultural, o que levou a adaptações do programa com o passar do tempo.

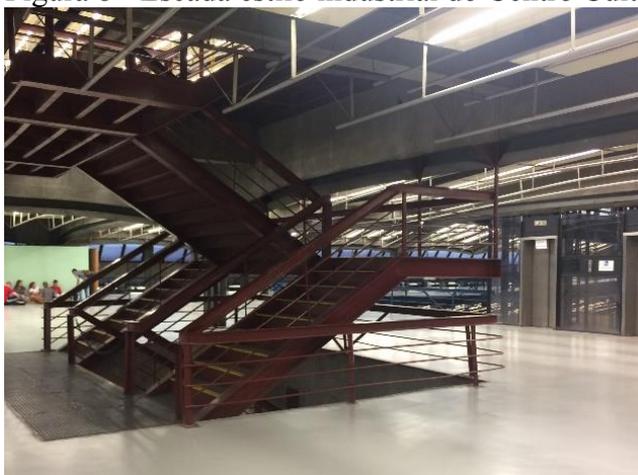
Assim, como alguns projetos da época, o CCSP incorporou elementos lúdicos em seu projeto, com o propósito de convidar os usuários a explorar o espaço da construção. Dentre estes elementos podem-se apontar as rampas (Figura 7) e as amplas escadas coloridas com aspecto industrial (Figura 8), assim como, as diferenças de níveis dos pisos e as curvas utilizadas na estrutura.

Figura 7 - Rampas centrais do Centro Cultural São Paulo



fonte: Autor

Figura 8 - Escada estilo industrial do Centro Cultural São Paulo

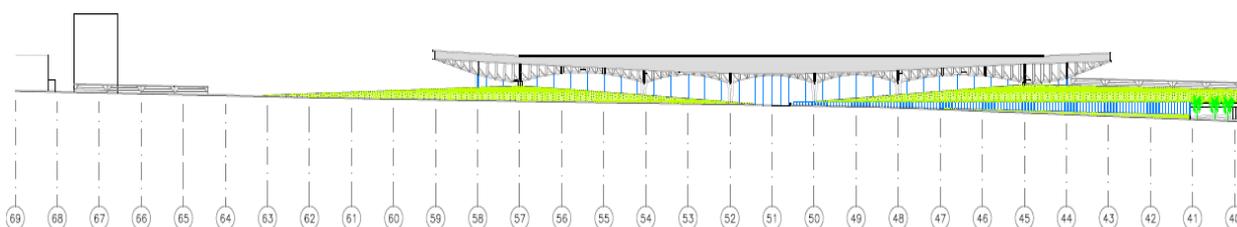


fonte: Autor

Outro elemento explorado pelo projeto do CCSP foi utilização de luz natural, além do aspecto funcional, a iluminação zenital destaca o desenho dos pilares e os elementos arquitetônicos. Além dos elementos arquitetônicos, ainda foram incorporados aos projetos a vegetação natural do local que foi favorecida pelos grandes espaços internos vazados.

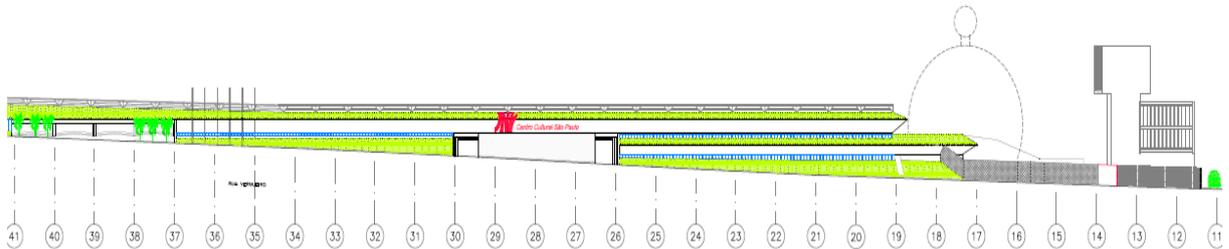
No Centro Cultural São Paulo, a estrutura foi projetada para ser um elemento integrante do espaço, agregando ao cenário e se adequando ao espaço. Com este objetivo, foi proposto um projeto que proporcionasse flexibilidade na distribuição da estrutura. O intuito da equipe de projeto era que o edifício fizesse parte da paisagem urbana sem se impor. Por este motivo, a proposta do projeto era um edifício baixo e leve que se integrasse com o terreno, se adaptando ao seu formato. A expectativa era de um edifício com área aproximada de 48.000 m<sup>2</sup> com poucos andares. O imenso talude de 15m entre a Rua Vergueiro e a Avenida 23 de Maio, seria incorporado ao edifício, criando espaços internos com menos incidências de raios solares e mais protegidos da variação de temperatura externa, contribuindo com a conservação dos livros e bem-estar dos usuários (TELLES, 2002). Nas figuras (Figura 9, Figura 10, Figura 11 e Figura 12) a seguir são mostradas as vistas do Centro Cultural São Paulo.

Figura 9 - Vista Sul do edifício do CCSP - Elevação Rua Vergueiro - Eixos 66 a 40.



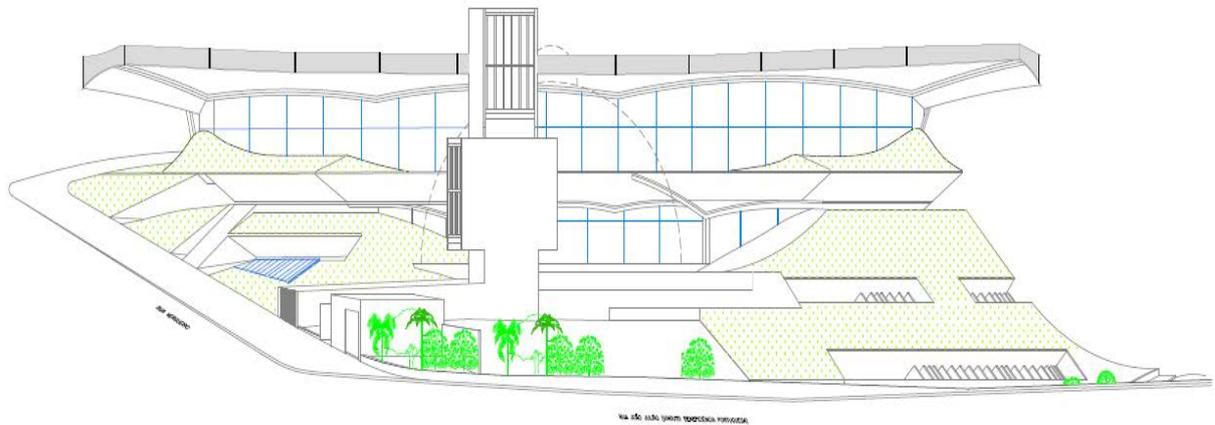
fonte: Retirado do acervo CCSP -CENTRO CULTURAL SÃO PAULO(2017)

Figura 10 - Vista Sul do edifício do CCSP - Elevação Rua Vergueiro - Eixos 41 a 11.



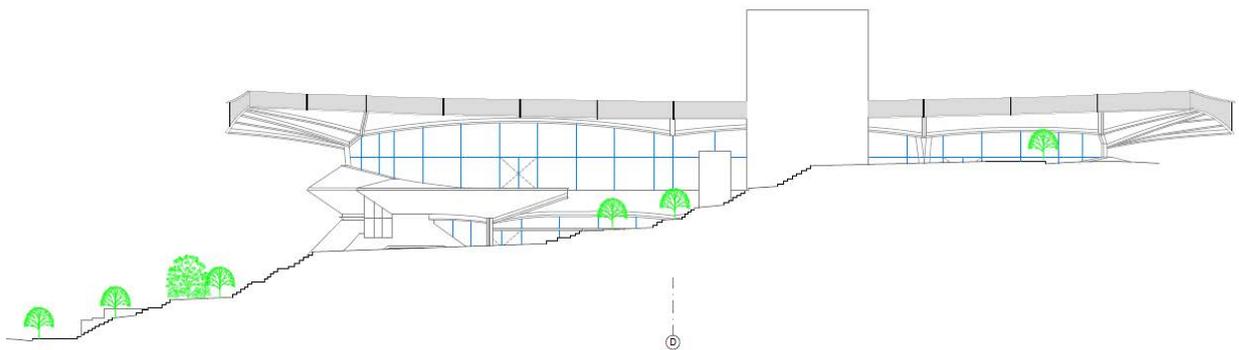
fonte: Retirado do acervo CCSP -Centro Cultural São Paulo(2017)

Figura 11 - Vista Leste - Rua João Julião



fonte: Retirado do acervo CCSP -Centro Cultural São Paulo(2017)

Figura 12 - Vista Oeste da Central de Operações do Metro.



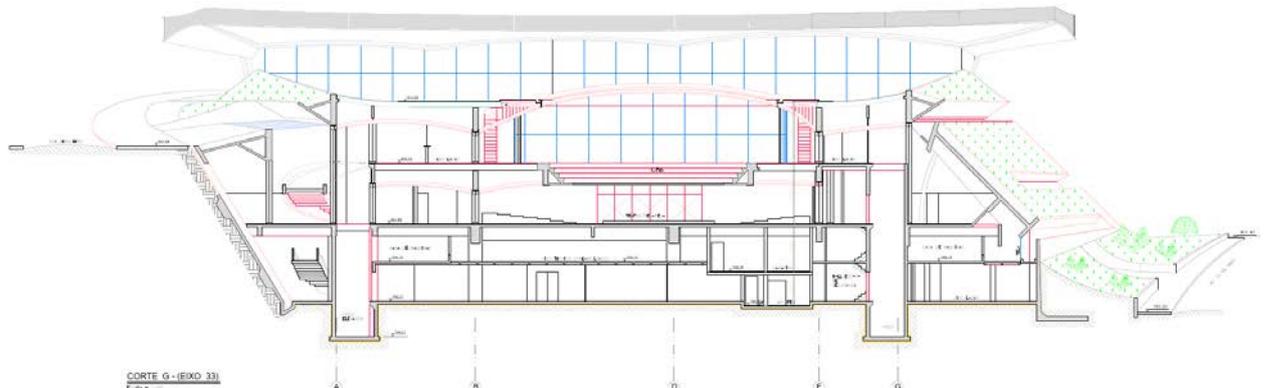
fonte: Retirado do acervo CCSP -Centro Cultural São Paulo(2017)

Os jardins sobre a laje no nível 810,00 dão ao edifício a impressão de um jardim suspenso que se incorpora ao jardim do nível da rua. O paisagismo faz parte da composição das quatro fachadas do edifício de forma marcante. Foram mantidas, desde o início do projeto,

as árvores existentes no terreno. Fica evidente na configuração do CCSP, a preocupação com a centralidade na realização do projeto, e esta é representada pelo saguão principal com os três pilares centrais e o Catálogo Geral.

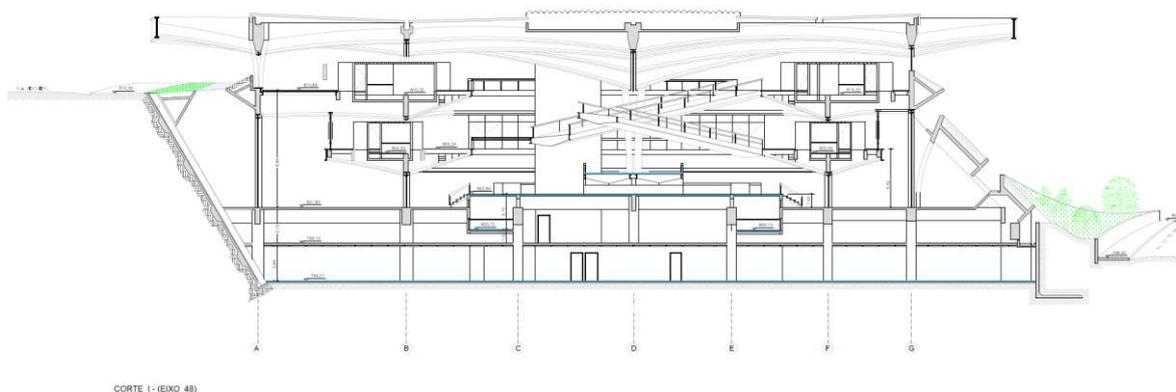
O Centro Cultural São Paulo possui seis níveis principais separados em piso de serviço, piso técnico, biblioteca, catálogo geral, rua interna e pinacoteca. No nível 810,66 fica o piso superior ou da Pinacoteca, este possui os maiores vãos entre os pilares, e tem acesso direto à Rua Vergueiro. De acordo com TELLES, 2002, o nível 806,24 é o piso de acessos às atividades do Centro, através de áreas de atendimento, Foyer. O piso nível 801,82 é o espaço das atividades culturais, é delimitado longitudinalmente pelo talude curvo da Rua Vergueiro e pelo arrimo da Avenida 23 de Maio. No piso nível 796,21 localiza-se principalmente os Serviço de apoio e Gerais, que seriam serviços de apoio às atividades principais, manutenção e operação do edifício. O acesso para os diferentes pontos é feito através de um conjunto de rampas diagonais e paralelas que se cruzam e permitem ao usuário, trânsito entre a rua interna e o piso superior. Os cortes apresentados nas Figura 13 e Figura 14 apresentam os níveis do edifício.

Figura 13 - Corte Eixo 33 - Centro Cultural São Paulo



fonte: Retirado do acervo CCSP -Centro Cultural São Paulo(2017)

Figura 14 - Corte Eixo 48 - Centro Cultural São Paulo



fonte:Retirado do acervo CCSP -Centro Cultural São Paulo(2017)

### 5.1.3 A Construção

Em 1979 a construção do CCSP foi iniciada, e a execução da obra estava a encargo da Secretaria de Serviços e Obras (SSO) e da Sul Americana de Engenharia S.A.(SADE) que também recebeu a coordenação técnica e administrativa do projeto.

No decorrer da execução das fundações começaram a surgir algumas dificuldades, em consequência da retirada de mais de duzentos mil metros cúbicos de terra, que resultou em um desnível de quinze metros entre a Rua Vergueiro e a Avenida 23 de Maio. O talude começou a apresentar sérios problemas quanto à instabilidade e a solução para o muro de arrimo de 400 metros de comprimento foi executar uma cortina de concreto, atirantada contra placas de ancoragem. A construção do CCSP foi dividida em duas etapas: os primeiros movimentos de terra, fundações, estruturas e muros de arrimo (Figura 15); a segunda, obras de complementação(CENNI, 1991). De acordo com TELLES, 2002, para o piso do nível 796,21 foi utilizado concreto moldado In-loco diretamente sobre o terreno, acima das fundações em sapatas. A partir deste piso os pilares de concreto se elevam e suportam as vigas e as lajes do nível 801,82 (Figura 16).

Figura 15 - Construção da fundação do CCSP



fonte: Retirado do acervo CCSP -Centro Cultural São Paulo(2017)

Figura 16 - Montagem das estruturas

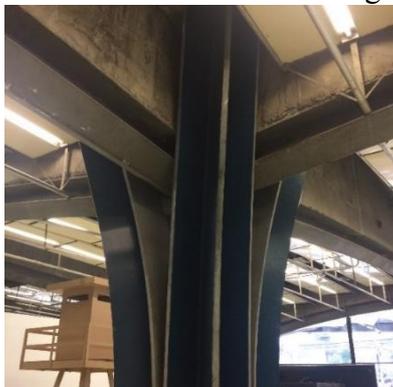


fonte:Retirado do acervo CCSP -Centro Cultural São Paulo(2017)

Foram empregados diversos materiais para possibilitar as formas propostas pelo projeto arquitetônico, apresentando assim, muitas estruturas mistas. Na estrutura do Centro Cultural São Paulo foi utilizado tanto pilares de concreto como de aço, enquanto nas vigas foi empregada a composição dos dois materiais. Esta composição dos dois materiais exigia muita precisão na mistura do concreto, pois os parâmetros limites do concreto são muito diferentes dos da estrutura metálica, o que demandou maior precisão no posicionamento da peça e um

estudo específico de como elas iriam trabalhar juntas. A Figura 17 ilustra a composição dos pilares metálicos e as vigas mistas.

Figura 17 - Pilares metálicos e vigas mistas no interior do edifício.



fonte: Autor

Segundo o trabalho de CENNI (1991), que contem depoimentos de engenheiros da SADE, a obra foi equivalente a um trabalho artesanal devido ao formato das peças, as colunas e vigas possuíam trechos curvos e retos, demandando assim precisão na fabricação e locação destas. A montagem era feita de forma que, o aço servisse de suporte para o concreto armado, que era associado a ele, necessitando de menos fôrmas de madeira e aliviando a estrutura provisória de cimbramento, assegurando a exatidão das linhas sem prejudicar a estrutura. Foi estimado pela construtora que foram feitas cerca de 1500 tipos de vigas diferentes, 100 tipos de pilares, 12 tipos de escadas metálicas e 2 tipos de rampas.

O concreto foi utilizado por, neste caso, possuir função acústica e a de proporcionar trabalho aos operários não especializados (TELLES, 2002). De acordo com CENNI(1991), nas etapas finais da obra, o engenheiro Dario Eloi Cabral teria relatado que a técnica construtiva foi estudada e finalizada no próprio progresso da obra. O edifício do CCSP só foi receber mais notoriedade, pelo seu método construtivo, quando recebeu o prêmio “Paulo Frago 1982” outorgado pela Associação Brasileira dos Construtores de Estruturas Metálicas (ABCCEM).

As laterais das vigas eram ligadas aos pilares com parte superior quadripartida e curva, através de blocos de transição protendidos. Em seu trabalho TELLES (2002), relata o uso de caldeiraria, corte, solda, calandragem de chapas de aço e parafusos na estrutura metálica (pilares e fundos de viga) (Figura 18). Para o tratamento das peças metálicas foi utilizada a galvanização por imersão a quente, ou zincagem, garantindo 20 anos de vida útil a peça sem pintura complementar.

Figura 18 - Montagem dos pilares metálicos



fonte: Retirado do acervo CCSP -Centro Cultural São Paulo(2017)

## 5.2 CONCRETO ARMADO

O concreto é um material que quando endurecido, é semelhante a uma rocha e é produzido pela mistura de agregados graúdos e miúdos, cimento Portland e água. O agregado graúdo é normalmente brita ou rocha moída, e o agregado miúdo é areia.

Durante a cura do concreto, uma quantidade considerável de calor é liberada da reação do cimento com a água, o que formam cristais que ligam os agregados. Esta mesma reação faz com que o excesso de água evapore, diminuindo o volume do concreto. A maior parte do volume do concreto é devido aos agregados graúdos e miúdos, que devem ser proporcionados de maneira que preencham todos os espaços (ALLEN; THALLON, 2011). Todos estes componentes relacionados à outros fatores, influenciam diretamente nas características mais importantes do concreto que são: resistências mecânicas, estabilidade e durabilidade (CÁNOVAS, 1988).

Apesar de apresentar alta resistência à compressão, o concreto possui características de fragilidade e baixa resistência à tração. Para resolver estas deficiências, são empregadas barras de aço em conjunto com o concreto, de modo que estas atuem resistindo à tração e também auxiliando o concreto a resistir à compressão.

As barras de aço formam uma armadura que deve aderir ao concreto que a envolve, trabalhando em conjunto, dando origem ao Concreto Armado (BASTOS, 2014).

De acordo com a Norma NBR 6118, a definição de elementos de concreto armado é: “elementos cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamento inicial das armaduras antes da materialização desta aderência.”

Outra definição importante é que qualquer armadura que não seja usada para produzir protensão, ou seja, que não for previamente alongada é considerada armadura passiva (NBR 6118, 2007). Assim entende-se que toda armadura de concreto armado é armadura passiva, e que as tensões e deformações são consequências de ações externas aplicadas (BASTOS, 2014).

### 5.2.1 Histórico do Concreto Armado

Apesar de ser um material atual, o concreto vem sendo usado a milhares de anos. Cimentos à base de cal são usados desde os tempos dos Romanos, e alguns exemplos de utilização de argamassas daquele período ainda existem até os dias de hoje (STANLEY, 1979). Um exemplo de construção é o *Hadrian's Villa* (Figura 19), um grande palácio construído perto de Roma por volta do século II A.C., o concreto já era utilizado largamente em estruturas como esta.

Figura 19 - Hadrian's Villa, século II A.C

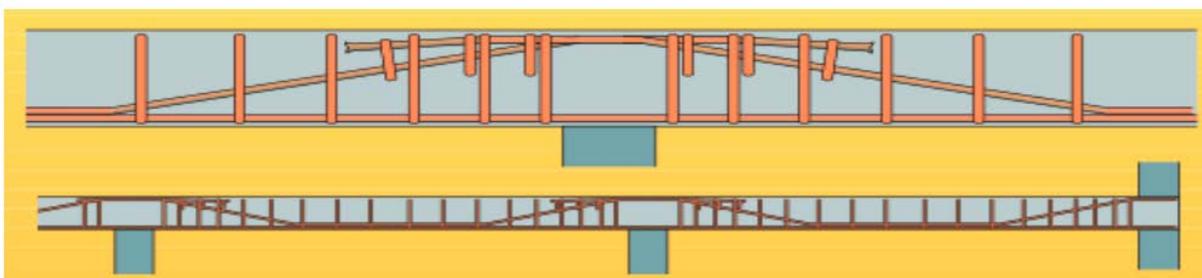


fonte: Allen, E. e Thallon, R.(2011)

O conhecimento sobre construção em concreto foi perdido após a queda do Império Romano, e só foi redescoberta no século XVIII, quando um grupo de inventores ingleses começou a realizar experimentos com cimentos naturais e os produzidos artificialmente. Joseph Aspdin, em 1824, patenteou um cimento artificial e o nomeou como cimento Portland (ALLEN; THALLON, 2011).

O primeiro a introduzir o método do concreto armado utilizando aço foi Francois Hennebique e sua pesquisa foi patenteada em 1892. A primeira aplicação do concreto armado resistente à fogo foi em uma casa de um dos clientes de Hennebique na Bélgica em 1880 (MCBETH; HENNEBIQUE; MOUCHEL, 1998). A Figura 20 ilustra o arranjo da armadura de aço elaborada por Hennebique para uma viga de concreto armado.

Figura 20 - Arranjo do aço da armadura desenvolvida por Jacques Hennebique para uma viga de concreto armado



fonte: Mcbeth, D.; Hennebique, F.; Mouchel, L. (1998)

## 5.2.2 Componentes do Concreto Armado

### 5.2.2.1 Cimentos

Segundo CÁNOVAS (1988), os cimentos utilizados em estruturas de concreto armado são aglomerantes hidráulicos que entrando em contato com a água reagem, apresentam pega e, endurecem, sendo, praticamente, estáveis em contato com esta.

O conhecimento das características de cada tipo de cimento é importante para escolher o mais adequado para uma determinada obra ou serviço. A resistência mecânica, estabilidade dimensional e resistência química do concreto estão intimamente ligados às características físicas e químicas do cimento (SOUZA; RIPPER, 1998).

O cimento Portland é composto por uma mistura bem proporcionada de calcário, argilas, de gipsita, material controlador da pega e em alguns casos, substâncias ricas em sílica. Esta mistura é submetida a temperaturas próximas dos 1.500 C fazendo com que os componentes reajam entre si e os produtos resfriados aglomeram-se em pedaços de dimensões geralmente entre 2mm e 20mm, denominados clínquers (Figura 21) (SOUZA; RIPPER, 1998).

Figura 21 - clínquers recém extraído do forno



fonte:Wikimedia Commons(2017)

As adições de matérias-primas durante o processo de moagem e produção do clínquer determinam as suas propriedades e originam os diferentes tipos de cimentos Portland compostos (BASTOS, 2014).

#### *i. Tipos de Cimentos Portland*

Atualmente no Brasil, os cimentos produzidos são os tipos de cimento Portland que diferem entre si em função da composição(BASTOS, 2014). A Figura 22apresenta os tipos de cimento e suas composições.

Figura 22 - Quadro com os tipos de cimentos Portland fabricados no Brasil e tabela com os teores de seus componentes

■	CP I	Cimento Portland comum
■	CP I-S	Cimento Portland comum com adição
■	CP II-E	Cimento Portland composto com escória de alto-forno
■	CP II-Z	Cimento Portland composto com pozolana
■	CP II-F	Cimento Portland composto com filer
■	CP III	Cimento Portland de alto-forno
■	CP IV	Cimento Portland pozolânico
■	CP V-ARI	Cimento Portland de alta resistência inicial
■	CP V-ARI RS	Cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos

Tipo	Classes Resist. (MPa)	Composição (%)				Norma Brasileira
		Clínquer + Gesso	Escória Alto-forno	Pozolana	Filer	
■	25 32 40	100		0		NBR 5732
■		95-99		1-5		
■	25 32 40	56-94	6-34	0	0-10	NBR 11578
■	25 32 40	76-94	0	6-14	0-10	
■	25 32 40	90-94	0	0	6-10	
■	25 32 40	25-65	35-70	0	0-5	NBR 5735
■	25 32	45-85	0	15-50	0-5	NBR 5736
■	-	95-100	0	0	0-5	NBR 5733
■	-	*	*	*	0-5	NBR 5737

\* CP V-ARI RS admite adição de escória ou material pozolânico, porém a NBR-5737 (Cimentos Portland resistentes a sulfatos) não fixa limites.

fonte: Cimento Itambé(2008)

#### a) Cimento Portland comum (CP I / CP I-S)

O cimento Portland comum, pode ser utilizado quando não há necessidade de propriedades especiais, como resistência elevada a agentes agressivos. Sua classificação, CP I -25, CP I -32 e CP I-40, é feita conforme sua resistência (em MPa) determinada de acordo com a norma NBR – 7215 – Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão – Método de ensaio (SOUZA; RIPPER, 1998).

#### b) Cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI)

O CP V-ARI é o aglomerante hidráulico que atinge uma alta resistência inicial. Como este cimento emite maior calor de hidratação o concreto fissura com maior facilidade. Por

possuir maior teor de  $\text{Ca(OH)}_2$ , em tese, este concreto é menos durável do que aquele que use o cimento Portland comum. O uso deste tipo de cimento é recomendado em casos em que seja necessário conseguir uma resistência elevada e pega em pouco tempo (SOUZA; RIPPER, 1998).

c) Cimento Portland de alto-forno (CP III)

O cimento Portland de alto forno (CP III) apresenta algumas características como: uma liberação mais lenta do calor de hidratação e maior resistência a sulfatos, que o diferencia do cimento Portland comum. Estas características o tornam mais adequado para a concretagem de peças de grandes dimensões, onde pode haver elevado aumento de temperatura devido ao processo de hidratação a ponto de provocar fissuração, ou elementos expostos água do mar ou de águas de efluentes sanitários (SOUZA; RIPPER, 1998).

d) Cimento Portland resistentes a sulfatos

De acordo com Souza e Ripper (1998) os cimentos são considerados resistentes ao sulfato quando:

- i. o teor de  $\text{C}_3\text{A}$  do clínquer seja igual ou inferior a 8%, e cujo teor de adições carbonáticas seja igual ou inferior a 5% da massa do aglomerante total;
- ii. teor de escória granulada de alto-forno (CP III) esteja entre 60% e 70%;
- iii. teor de materiais pozzolânicos (CP IV) esteja entre 25% e 40%;
- iv. tenham antecedentes com base em resultados de ensaios de longa duração, ou referências de obras que comprovadamente indiquem resistência a sulfato.

As condições acima podem ocorrer isoladamente ou agrupadas.

e) Cimento Portland pozzolânico (CP IV)

O cimento Portland pozzolânico é obtido a partir da moagem de clínquer e de pozzolana juntos. A pozzolana é um material constituído essencialmente por sílica e alumina, finamente divididos, que, reagem com hidróxido de cálcio e umidade durante a hidratação e formam compostos aglomerantes. Essa reação também proporciona maior resistência química ao concreto. Este cimento apresenta reação mais lenta durante a hidratação, conseqüentemente seu calor de hidratação é inferior aos dos outros cimentos. Sua resistência inicial também é menor, porém sua resistência final, geralmente, é maior. Por estes motivos este cimento é

recomendado para construções de estruturas maciças de concreto, onde a resistência química e o baixo calor de hidratação são extremamente importantes (SOUZA; RIPPER, 1998). O Quadro 1 mostra as características conferidas pelos tipos de cimentos.

Quadro 1 - Características conferidas a concretos e argamassas em função do tipo de cimento.

Característica	Tipo de Cimento					
	Comum e Composto	Alto forno	Pozolânico	Alta resistência inicial	Resistente a sulfatos	Branco estrutural
Resistência à compressão	Padrão	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura	Muito maior nos primeiros dias	Padrão	Padrão
Calor gerado na reação do cimento com a água	Padrão	Menor	Menor	Maior	Padrão	Maior
Impermeabilidade	Padrão	Maior	Maior	Padrão	Padrão	Padrão
Resistência aos agentes agressivos (água do mar e esgotos)	Padrão	Maior	Maior	Menor	Maior	Menor
Durabilidade	Padrão	Maior	Maior	Padrão	Maior	Padrão

fonte: Bastos, P. (2004)

#### 5.2.2.2 Agregados

De acordo com a NBR 7225 item 3.1, a definição de agregado é “material natural de propriedades adequadas ou obtido por fragmentação artificial de pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 100 mm e de dimensão nominal mínima igual ou superior a 0,075 mm”.

Apesar dos agregados serem considerados inertes, eles possuem características físicas e químicas que influem no comportamento do concreto. Antes de sua utilização, deve ser verificado se os agregados estão isentos de substâncias nocivas, e se seus grãos são resistentes. A composição granulométrica é importante por influenciar a compacidade, resistência a esforços mecânicos, trabalhabilidade e uniformidade do concreto (SOUZA; RIPPER, 1998).

Um agregado contendo certa quantidade de resíduos, como pó e lama, irá contaminar a pasta de cimento com partículas inertes que irão enfraquecê-la, e um agregado que contenha substâncias química, como sal marinho ou substâncias orgânicas, pode causar problemas como corrosão do aço da armadura, retardação da cura e enfraquecimento do concreto (ALLEN; THALLON, 2011).

As características físicas do agregado determinam muitas propriedades do concreto. A densidade e a resistência do agregado influenciam principalmente a massa unitária, o módulo de elasticidade e a estabilidade dimensional do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A distribuição por tamanho de partículas dos agregados é importante, uma vez que para a mistura alcançar uma maior compacidade de partículas uma variedade de tamanhos de agregados deve ser incluída (ALLEN; THALLON, 2011).

### *i. Agregados Graúdos*

Agregados graúdos são aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 152 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75mm (BASTOS, 2014). Pela definição da norma ABNT NBR7225, 1993 agregado graúdo é “pedra britada ou brita ou pedregulho muito grosso, grosso e médio, de dimensões nominais entre 100 mm e 4,8 mm”.

### *ii. Agregados Miúdos*

Agregados miúdos são aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 0,075mm (BASTOS, 2014). A norma NBR7225, 1993, define agregado miúdo em “pedregulho fino, pedrisco grosso, médio e fino, areia grossa, média e fina, de dimensões nominais entre 4,8 mm e 0,075 mm”.

#### 5.2.2.3 Água

A água utilizada na mistura do concreto armado deve ser livre de substâncias nocivas, especialmente material orgânico, argila, e sais como cloretos e sulfatos. Geralmente a água adequada para consumo também é adequada para o concreto (ALLEN; THALLON, 2011).

Para a massa de concreto, o uso de águas que contenham impurezas, dentro de certos limites, não apresentam grandes problemas. Porém para o concreto armado, o uso dessas águas, principalmente se contiverem sais, pode causar corrosão da armadura metálica (CÁNOVAS, 1988).

A relação água/cimento também tem uma importância fundamental. O excesso de água influencia a compacidade, aumentando a porosidade, o que diminui a resistência mecânica e aumenta a retração, gerando maior risco de ataque ao concreto. A água de cura também influencia nas propriedades do concreto armado. Quando inadequadas, podem exercer efeitos

expansivos e destrutivos em concretos já aplicados e em processo de cura (CÁNOVAS, 1988).

#### 5.2.2.4 Aditivos

Os aditivos são definidos como produtos químicos utilizadas no preparo de concretos e argamassas para alterar certas propriedades da mistura fresca ou endurecida. Os elementos ativos de suas formulações podem ser orgânicas ou inorgânicas, podendo assumir estado líquido, pastoso ou sólido. A norma NBR 11768 (ABNT,2011)define aditivos como produto adicionado no processo de elaboração do concreto, em quantidade máxima de 5% da massa de material cimentício contida no mesmo. Em caso de concreto projetado sua porcentagem pode ser maior.

De acordo com a norma NBR 11768 (2011) os aditivos podem ser classificados como:

- Aditivos redutor de água/plastificante;
- Aditivo de alta redução de água/superplastificante tipo I;
- Aditivo de alta redução de água/superplastificante tipo II;
- Aditivo incorporador de ar (IA);
- Aditivo acelerador de pega (AP);
- Aditivo acelerador de resistência (AR);
- Aditivo retardador de pega (RP);
- Aditivos polifuncionais/ multifuncionais;
- Hiperplastificantes;

(SOUZA; RIPPER, 1998) cita algumas regras gerais para o emprego de aditivos:

- o uso de aditivos deve ser evitado sempre que possível;
- quando o aditivo for utilizado, os ensaios necessários deverão ser feitos efetuando controle rigoroso de sua dosagem;
- os aditivos não deverão ser usados para corrigir defeitos do concreto;
- os aditivos devem ser armazenados adequadamente para que não sofram alterações nas suas propriedades ou sua uniformidade;
- a mistura do aditivo deve ser uniforme em toda a massa de concreto, pois a falta de homogeneidade pode causar efeitos indesejáveis;

- a utilização de vários aditivos em um único traço de concreto pode provocar patologias em consequência de incompatibilidade da mistura.

No uso de aditivos é necessário avaliar tanto suas indicações quanto suas contra-indicações, pois estas podem gerar efeitos secundários que, quando agravados, são indesejáveis. Assim, os aditivos, não podem ser usados indiscriminadamente, devem ser aplicados em casos específicos, sendo sempre realizadas provas com as doses recomendadas para cada mistura (CÁNOVAS, 1988).

#### 5.2.2.5 Armadura Metálica

As armaduras do concreto armado são compostas de aço e poderão ser constituídas por barras lisas, barras corrugadas e telas soldadas. As barras lisas serão mais utilizadas em casos em que se precisa de facilidade no dobramento e desdobramento ou em casos em que a superfície lisa seja necessária como em passadores de juntas. Já as barras corrugadas são empregadas quando é necessária a maior resistência e aderência entre o aço e o concreto. As telas soldadas são empregadas, sobretudo em elementos superficiais (CÁNOVAS, 1988).

Pela norma (NBR 7480, 2007) a classificação é feita da seguinte forma: "barras são produtos de diâmetro nominal 6,3mm ou superior, obtidos exclusivamente por laminação a quente sem processo posterior de deformação mecânica. Classificam-se como fios aqueles de diâmetro nominal 10,0 mm ou inferior, obtidos a partir de fio-máquina por trefilação ou laminação a frio. De acordo com o valor característico da resistência de escoamento, as barras de aço são classificadas nas categorias CA-25 e CA-50, e os fios de aço na categoria CA-60".

As barras utilizadas na armadura do concreto armado não podem conter defeitos superficiais, fissuras nem bolhas. Com o intuito de minimizar as patologias, recomenda-se em obra o menor número possível de diâmetros diferentes e que esses diâmetros sejam facilmente diferenciados (CÁNOVAS, 1988).

### 5.2.3 Benefícios do Concreto Armado

O concreto é um material criado pelo homem principalmente para satisfazer exigências de design de uma estrutura específica. Suas propriedades podem ser alteradas conforme o propósito da estrutura, dando a este material maior flexibilidade de utilização (MURDOCK; BLACKLEDGE; BROOK, 1979). Ele é um material mais fluido o que permite que assumam várias formas e geometrias. Por este motivo é uma opção para estruturas esteticamente mais

complexas. Além disso, a possibilidade de produzir o concreto no local da obra permite o uso de materiais de fornecedores locais, reduzindo o custo de materiais. Porém, a aplicação do concreto pode ser limitada devido a sua baixa resistência à tração e ductilidade. O concreto é um material que precisa de armadura de aço para aumentar sua capacidade de resistir à tensão e também aumentar a capacidade da estrutura, que resistirá à cargas maiores (MINDESS; YOUNG; DARWIN, 2002).

### 5.3 PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

As danificações podem ser causadas pelos mais diversos fatores, podendo ser o envelhecimento esperado da estrutura até os acidentes, ou também uso indevido de materiais ou a baixa qualidade dos mesmos. A novidade destas questões e a velocidade com que as perguntas ainda mais novas são colocadas levam à necessidade do estabelecimento da mais adequada sistematização dos conhecimentos nesta área. Inclusive com dados tirados de estruturas ainda bastante jovens, assim como a conhecida e variada gama de causas e consequências para os desempenhos insatisfatórios das construções. Dessa forma, efetivamente, venha a ser alcançado o objetivo básico, qual seja, o de abordar, de maneira científica, a problemática do comportamento estrutural ao longo do tempo, isto é, desde a concepção até a manutenção da estrutura, com necessário enfoque sobre as etapas de projeto e construção.

Durante a fase de projeto e orçamento, os fatores que podem danificar a estrutura devem ser levados em consideração para antecipar a necessidade de manutenção e reparos durante a vida útil, garantindo assim, maior durabilidade.

Algumas fontes de patologias em estruturas de concreto armado são:

- Corrosão da armadura;
- Carbonatação;
- Desagregação;
- Desgaste;
- Fissuras por causas variadas.

### 5.3.1 Vida Útil

A concepção de vida útil para edifícios e estruturas surgiu quando construtores começaram a perceber que alguns materiais e *designs* duravam mais que outros. Ao longo do tempo os mecanismos para estimar a vida útil eram geralmente qualitativos e empíricos. O conhecimento dos mecanismos e da cinética dos processos de degradação do concreto possibilitou estimar a vida útil de estruturas e elementos feitos de concreto armado (ACI 365.1 R.00, 2000).

A ASTM E362(1996) define vida útil como, o período de tempo, após a instalação (ou no caso do concreto, execução), em que todas as propriedades excedem os valores mínimos aceitáveis mesmo na hipótese de manutenções regulares. Três tipos de vida útil foram definidos. Vida útil técnica é a extensão de tempo até que seja alcançado um nível não aceitável, ou a falha do elemento. Vida útil funcional é o tempo em serviço até que a estrutura não atenda mais sua função ou se torne obsoleta por mudança de necessidades. Vida útil econômica é o período de tempo em serviço até que a substituição da estrutura seja economicamente mais favorável do que sua manutenção.

O entendimento da vida útil, assim como do processo de perecimento dos materiais ou estruturas são fundamentais, pois devem ser levados em consideração em todo o ciclo da construção. O conceito de vida útil pode ser relacionado à durabilidade como sendo sua quantificação em tempo, sendo a durabilidade uma qualidade da estrutura (DA SILVA, 2002).

### 5.3.2 Durabilidade

Pela definição do autor NIREKI(1996), o termo durabilidade se refere à capacidade de resistir ao dano e deterioração após um período de tempo. Quanto mais durável a estrutura é, maior é sua vida útil. Durabilidade seria a medida do desempenho de uma estrutura em um período de tempo específico.

A NBR 6118 define a durabilidade como sendo “a capacidade de a estrutura resistir às influencias ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto”.

HELENE(2001), apresenta em seu trabalho, quatro fatores que determinam a durabilidade do concreto e são conhecidos com a regra dos 4C. Estes fatores são: composição, compactação, cura e cobrimento das armaduras do concreto. O cuidado para que estes quatro fatores sejam atendidos de forma adequada aumentará a durabilidade da estrutura.

Outro fator que influencia a durabilidade de estruturas de concreto armado que pode ser citado é a agressividade do meio ambiente. Esta agressividade está associada às ações físicas e químicas que agem sobre a estrutura, não sendo estas referentes às ações mecânicas, ou às variações dimensionais típicas das estruturas de concreto. A norma NBR 6118 classifica a agressividade ambiental de acordo com a Quadro 2 retirada da norma.

Quadro 2 - Classificação da agressividade ambiental.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>1), 2)</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>1)</sup>	Grande
		Industrial <sup>1), 2)</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>1), 3)</sup>	Elevado
		Respingos de marê	

<sup>1)</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>2)</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

<sup>3)</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

fonte: (NBR 6118, 2007 - Tabela 6.1)

A norma NBR 6118 relaciona na Figura 23 o nível de agressividade e os requisitos mínimos que o concreto deve possuir para garantir sua durabilidade frente às ações nocivas do meio ambiente.

Figura 23 - Tabela de relação entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

NOTAS

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

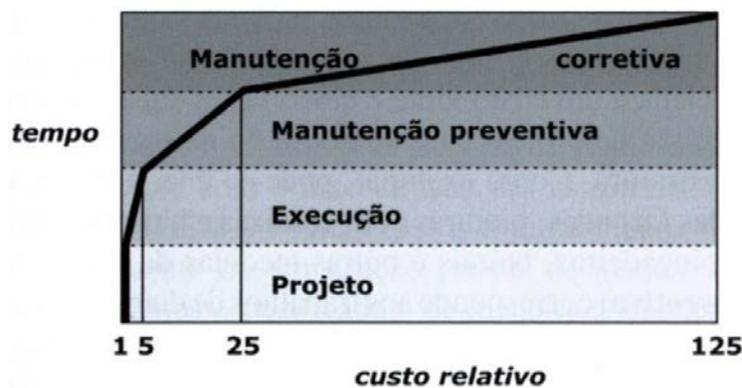
2 CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

3 CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

fonte: (NBR 6118, 2007)

Os valores apresentados Figura 23 são recomendações normativas para uma melhor escolha do concreto a ser utilizado em um determinado projeto. Porém muitas vezes, estas recomendações não são seguidas e acabam tendo que ser compensadas com outras medidas de proteção e de prevenção que garantam a mesma vida útil e o conforto do usuário. Vale destacar que as medidas implementadas nas etapas iniciais de projeto, quanto aos aspectos econômicos, são mais vantajosas por serem menos onerosas, mais convenientes e seguras. O custo da intervenção aumenta quanto mais tardia ela for feita, sendo a evolução deste custo de intervenção ilustrado por uma progressão geométrica (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011).

Figura 24- Lei de progressão de custos em relação ao tempo, Lei de Sitter



fonte: Vitório, J.(2005)

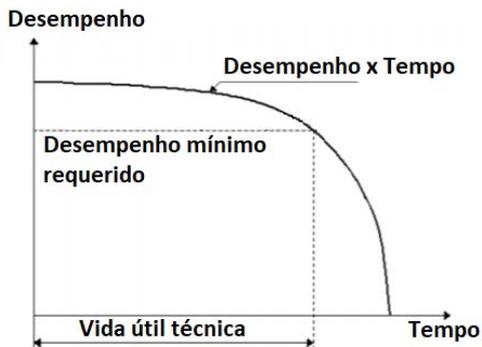
### 5.3.3 Desempenho

Segundo SOUZA; RIPPER (1998), desempenho ou performance pode ser definido como “comportamento em serviço de cada produto, ao longo da vida útil, e a sua medida relativa será consequência do trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção.”

O desempenho de todas as estruturas decai gradualmente com o tempo devido à interação entre o material e as condições do ambiente que o envolve. Com o passar do tempo diferentes elementos causadores de deterioração podem aparecer e influenciar no desempenho da estrutura. Por essa razão, as estruturas são projetadas com uma vida útil específica na qual é esperado certo desempenho, mantendo sua integridade estrutural sob a ação de esforços

específicos. A relação entre desempenho da estrutura com o passar do tempo é ilustrada na Figura 25 (BLOCK et al., 2003).

Figura 25 - Relação entre desempenho e vida útil técnica do concreto

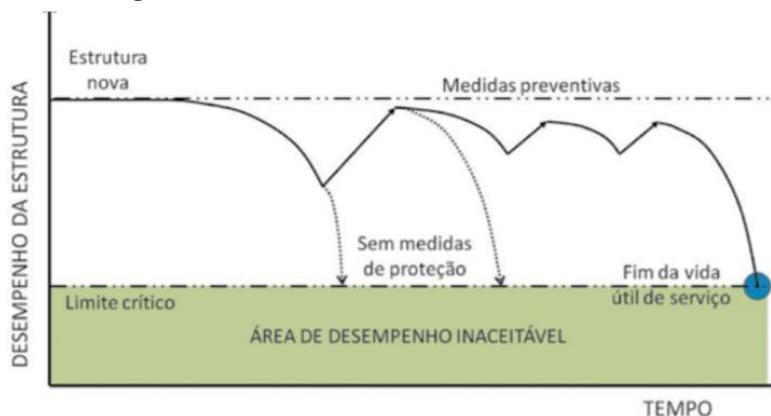


fonte: Adaptado de Block et al., (2003)

Em estruturas afetadas por patologias, alguns de seus requisitos como, capacidade mecânica e estética, podem ser prejudicados. Dessa forma, é possível observar que a ocorrência da patologia influencia o desempenho da estrutura de forma direta. O acontecimento das patologias possui dois aspectos importantes: tempo e circunstâncias de exposição, o que as relacionam com os conceitos de durabilidade, vida útil e desempenho (HELENE, 2001).

Todas as estruturas possuem um nível de desempenho limite aceitável e com o passar do tempo de utilização a estrutura vai perdendo sua capacidade inicial. Este é um fenômeno natural tendo em vista que todas as estruturas possuem um período de vida útil limitado. Na Figura 26 é possível observar a relação entre o desempenho e o tempo de utilização da estrutura, assim como a importância de manutenções periódicas.

Figura 26 - Gráfico ilustra a relação do Desempenho de uma estrutura de concreto armado com o Tempo de vida útil



fonte: Medeiros, M.; Andrade, J.; Helene, P. (2011)

### 5.3.4 Sintomatologia

(CÁNOVAS, 1988) descreve a sintomatologia como:

“o estudo dos fenômenos que são manifestações das doenças. E presença de um efeito normal as estruturas reagem com diferentes sinais externos que nos permitem conhecer a enfermidade que está afetando a estrutura. Nas estruturas as doenças se manifestam por um conjunto de sintomas muito variados tais como: mudanças de coloração, expansões, esfoliações, fissuras, trincas, etc. Ante tais sintomas o técnico pode fazer o diagnóstico da enfermidade”

No caso de uma estrutura, o aparecimento de problema patológico indica, em último caso e de maneira geral, a existência de um ou mais erros na execução de uma das fases da construção, e também apontar falhas no sistema de controle de qualidade das atividades. (SOUZA; RIPPER, 1998)

Na maioria das vezes o reconhecimento visual das patologias já pode estabelecer um diagnóstico. A análise em campo, juntamente com o olhar clínico de um especialista, podem ser o suficiente para identificar as causas que geraram os efeitos patológicos manifestados na estrutura. Quando o problema é mais complexo, é necessário verificar projeto, investigar as cargas que atuam na estrutura, analisar como foi executada a obra e também como ela reage a determinados estímulos. (CÁNOVAS, 1988)

#### 5.3.4.1 Fissuração

A fissuração é um dos mais importantes sintomas patológicos do concreto armado, elas possuem causas variadas e de difícil diagnóstico (CÁNOVAS, 1988). De acordo com SOUZA; RIPPER, 1998 “as fissuras podem ser consideradas como a manifestação patológica característica das estruturas de concreto, sendo a mesma, o dano de ocorrência mais comum e o que chama mais atenção para o fato de algo anormal está a acontecer.”

A fissura é uma abertura de pequena espessura no concreto. Seu aparecimento se deve à baixa resistência do concreto à tração. Apesar de ser um fenômeno natural, a abertura de fissuras deve ser controlada, geralmente até 0,3 mm, de modo a atender certas exigências de durabilidade, impermeabilização, funcionalidade e estética (BASTOS, 2014).

A definição de fissura é comumente confundida com as definições de “trinca” e “rachadura”. As trincas se diferenciam das fissuras pela dimensão de sua abertura que deve

ser maior que 0,5 mm. As rachaduras possuem aberturas maiores e profundas, podendo abrir fendas. Fendas seriam aberturas com espessuras com mais de 1,5 mm (CORSINI, 2010).

A presença de fissuras com abertura máxima característica ( $w_k$  pela norma), que não ultrapassem valores de 0,2 mm a 0,4 mm, sob a ação das combinações de carga usuais, não apresentam perda de durabilidade ou perda de segurança relativos aos estados limites últimos e ainda não chega a ser significativa quanto a corrosão das armaduras passivas (NBR 6118, 2007).

A Tabela 1a seguir retirada do artigo de CORSINI (2010) estabelece os limites para os valores de abertura máxima característica ( $w_k$ ) e também algumas medidas para garantir a proteção adequada das armaduras contra a corrosão:

Tabela 1 - Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura em função das classes de agressividade ambiental

Classe	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Relação Água/cimento máxima para Concreto Armado - CA	Classe de concreto (NBR 8953) Mínima	Cobrimento nominal mínimo, em mm, para concreto armado		Exigências relativas à fissuração, para concreto armado ELS-W	Consumo mínimo de cimento/m <sup>2</sup> de concreto, em kg/m <sup>3</sup> (NBR 12655: 2006)
					Lajes	Viga/Pilar		
I	Fraca	Rural	0,65	C20	20	25	$w_k \leq 0,4$ mm	260
		Submersa						
II	Moderada	Urbana 1), 2)	0,60	C25	25	30	$w_k \leq 0,3$ mm	280
III	Forte	Marinha 1)	0,55	C30	35	40	$w_k \leq 0,3$ mm	320
		Industrial 1), 2)						
IV	Muito forte	Industrial 1), 3)	0,45	C40	45	50	$w_k \leq 0,2$ mm	360

fonte: Eng. Paulo Grandiski, com base na NBR 6118:2007 e NB 12655:2006

Algumas características da fissura como, seu curso, seu ângulo, sua abertura e seu comprimento, podem fornecer indicações de suas causas ou motivações. Ainda que as fissuras frequentemente apresentem configurações similares às outras, suas causas podem não ser as mesmas. Por este motivo, é necessário experiência e treinamento do profissional para apuração do diagnóstico de forma visual (CORSINI, 2010).

### *i. Causas da Fissuração*

- Retração do concreto

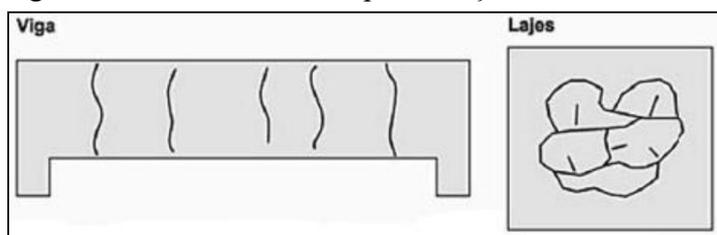
A retração do concreto é a redução do volume da massa de concreto que, apesar de ser um movimento natural, quando restringido por obstáculos (armadura e vinculação à outros elemento estruturais) se converterá em trações que causam fissuras ou trincas. Este

comportamento deve ser considerado tanto na etapa de projeto quanto na de execução, pois o agravamento de um quadro de fissura pode ocasionar trincas que seccionem os elementos mais esbeltos, como lajes e paredes (SOUZA; RIPPER, 1998). Geralmente este tipo de patologia ocorre em consequência da cura inadequada do concreto devido à perda de água, ao calor demasiado ou a uma proteção térmica ineficaz (HELENE, 1992).

O autor CÁNOVAS (1988) descreve alguns casos de fissuração por retração. Um dos casos é quando a viga é curta com uma grande seção e superarmada, unida a pilares esbeltos. Nesta situação as fissuras não ocorrem na viga, mas sim na cabeça e nos pés dos pilares, principalmente nos pilares externos. Em vigas de vão médio ou grande ligadas a pilares de grande rigidez, podem surgir fissuras de espessura uniforme e perpendiculares ao eixo da viga, podendo seccioná-la totalmente. Outro caso seria um pórtico com duas vigas em níveis diferentes. A viga que for mais rígida retrairá menos o que causará a fissuração da viga menos rígida.

Em vigas, as fissuras normalmente situam-se em todo o contorno da alma, paralelas entre si, com espaçamento quase regular, podendo surgir em qualquer ponto do vão. Em lajes, as fissuras formam uma figura que se assemelha a um mosaico e podem ocorrer em ambas as faces da laje (SOUZA; RIPPER, 1998). A Figura 27 ilustra como estas fissuras ocorrem em elementos de concreto armado.

Figura 27 - Fissura causada por retração hidráulica.



fonte: Marcelli, M.(2007)

Falhas na homogeneidade do concreto também pode causar o aparecimento de fissuras. No caso de vigas mistas, o concreto precisa ser de baixa retração e de elevada resistência a tração para evitar o aparecimento de fissuras. A utilização de pouca areia fina, ou a dosagem de cimentos pobres ou a cura não adequada, também podem causar esta patologia. (CÁNOVAS, 1988).

- Assentamento do concreto

Quando o movimento natural de assentamento da massa de concreto ocorre, devido a ação da força da gravidade, e é limitado pela presença de fôrmas ou de barras de armadura, fissuras são geradas acompanhando o desenvolvimento das armaduras e criam o chamado efeito de sombra, que é a formação de um vazio por baixo da barra, reduzindo a aderência desta ao concreto (SOUZA; RIPPER, 1998). Geralmente, estas fissuras são espaçadas entre si de 0,3 a 1 metro e podem apresentar profundidade de 25 a 50 milímetros (DAL MOLIN, 1988).

- Fissuras por secagem rápida

A fissuração por secagem rápida dá-se quando a velocidade de evaporação da água de amassamento é superior à de percolação da água até a superfície do concreto.

Este efeito de secagem depende principalmente da temperatura e ventilação ambiente, a umidade do ar, a relação superfície livre por volume da peça e da cura (METHA, 1992).

De acordo com CÁNOVAS(1988) as principais características das fissuras por secagem rápida são:

- a) surgem nas primeiras horas da concretagem e ocorrem quando o concreto ainda não adquiriu resistência;
- b) possuem distribuição irregular, atravessando umas sobre as outras;
- c) dispõem de profundidade variável de 1 a 10 cm.

- Fissura devida a movimentação de fôrmas e escoramentos

SOUZA; RIPPER (1998) descrevem duas causas para a fissuração derivada do movimento de fôrmas e escoramento. A deformação intensa da peça, produzindo variação na sua geometria e perda de resistência e a deformação da fôrma em consequência de mau posicionamento, de absorção de água do concreto, de fendas ou juntas mal vedadas.

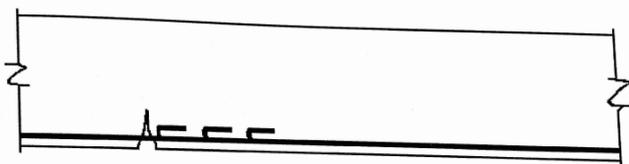
Alguns agravamentos que este tipo de fissura pode causar são criação de bolsas de água na massa de concreto, o que pode ocasionar corrosão da armadura, e deslocamento da massa de concreto (DAL MOLIN, 1988).

- Fissuras devido à deficiência de projeto

Não é possível listar todos os casos que geram fissuração por erros de projeto. Cada projeto possui suas particularidades e devem ser analisada por um especialista para obter resultados mais precisos.

Grande parte dos casos, a fissuração é causada por deficiência na elaboração de detalhamento de projeto estrutural. As razões predominantes dos defeitos estão associadas à armação. A falta de clareza no detalhamento, deficiência de seções de aço, incoerência nas considerações de cargas e esforços, exagero na quantidade de armadura, são algumas das razões (CÁNOVAS, 1988). A Figura 28 ilustra a fissuração por deficiência de detalhamento, sendo sua causa o erro na ancoragem por excesso de ganchos na seção.

Figura 28 - Fissuração por deficiência de detalhamento



fonte: Souza, V.; Ripper, T(1998)

- Fissuras em função da variação de temperatura

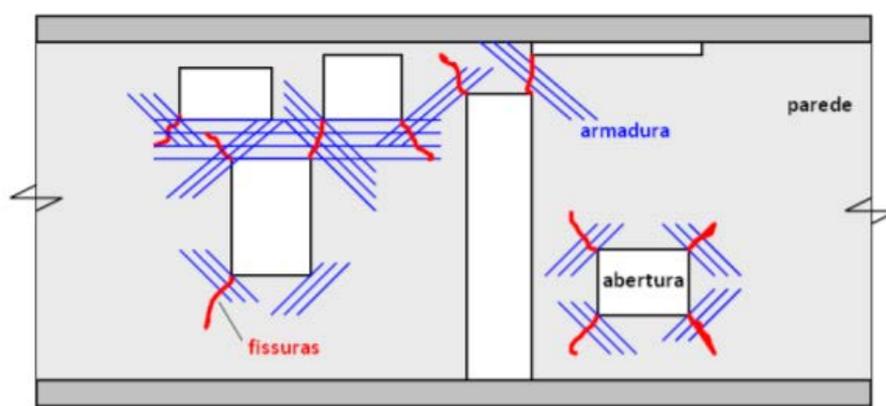
Um projeto estrutural deve sempre levar em conta a exposição da estrutura às variações de temperatura diárias e sazonais, pois estas causam a dilatação e contração dos materiais. Estes movimentos modificam a dimensão dos elementos e caso estes estejam restringidos pelos vínculos, pode gerar tensões que provocam o surgimento de fissuras (THOMAZ, 1989).

Esta fissuração é frequente em peças horizontais, que são mais sujeitas aos gradientes térmicos naturais, do que em peças verticais. As peças longas e esbeltas, como vigas contínuas, panos de lajes e coberturas, são as mais suscetíveis, sobretudo quando há vínculos impedindo sua movimentação. Tais informações devem ser consideradas durante o projeto estrutural para que sejam minimizados os danos e aumentar a durabilidade da estrutura (MARCELLI, 2007).

As fissuras causadas por variação de temperatura podem ocorrer em elementos variados, sendo mais comum em lajes de cobertura que são mais expostas aos gradientes térmicos do ambiente natural. A deformação da peça apresentará aparência variada, pois os materiais utilizados para sua fabricação possuem diferentes coeficientes de dilatação térmica (MARCELLI, 2007).

Um dos casos deste tipo de fissuração é aquela por contração plástica, que ocorre antes da pega do concreto, e é causado pela evaporação rápida do excesso de água utilizado na elaboração da massa de concreto, o que faz a massa se contrair de forma irreversível. Este processo ocorre principalmente em superfícies extensas, como lajes e paredes, estas fissuras se manifestam normalmente paralelas entre si e compondo com os cantos um ângulo de aproximadamente  $45^\circ$ , sendo geralmente superficiais (SOUZA; RIPPER, 1998). Estas fissuras podem ser observadas na Figura 29.

Figura 29 - Fissuração inclinada em cantos de paredes de concreto armado.



fonte: Thomaz, E.; Carneiro, L.(2013)

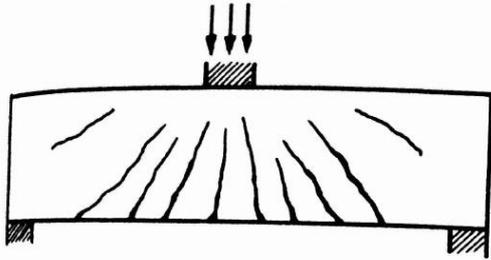
- Fissuras devido a ações mecânicas

a) Flexão

As fissuras de flexão podem suceder quando o calculista subdimensiona a estrutura, devido a uma má avaliação da sobrecarga de projeto. Pode também ser causada pela deficiência dos materiais utilizados na execução ou alteração do propósito de utilização da estrutura, o que modifica as sobrecargas previstas(HELENE, 1992).

Segundo CÁNOVAS (1988), estas fissuras surgem, próximas às armaduras sujeitas à tração e continuam verticalmente e diminuindo, buscando a linha neutra, e ao final curvam-se, buscando o ponto de aplicação das cargas, como é possível observar na Figura 30. Se a flexão é composta, é possível que a fibra mais comprimida sofra primeiro a fissuração.

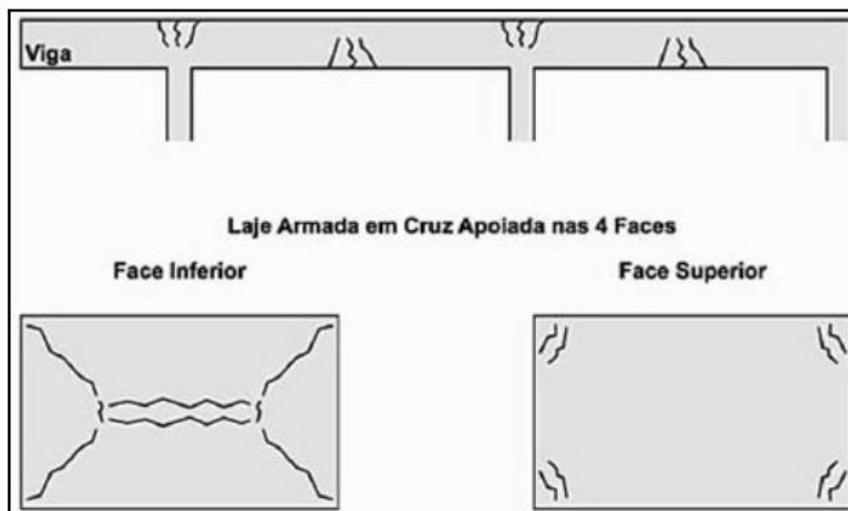
Figura 30 - Fissura de Flexão simples em estrutura de concreto armado



fonte: Cánovas, M.(1988)

Em lajes, o formato da patologia é mais variado e são influenciadas por diversos fatores como a relação entre largura e comprimento do elemento, a disposição da armadura e a natureza da carga aplicada (MARCELLI, 2007). A Figura 31 exemplifica as diferentes configurações dessa patologia em elementos de concreto armado.

Figura 31 - Fissuras de Flexão

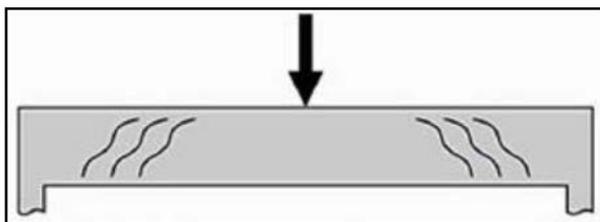


fonte: Marcelli, M.(2007)

#### b) Cisalhamento

Esta fissura decorre do excesso de carga, armadura insuficiente ou mal distribuída. Neste caso as fissuras aparecem nos pontos de cortante máxima, perpendiculares à tensão de tração (Figura 32) (MARCELLI, 2007).

Figura 32 - Viga - Fissura de cisalhamento.

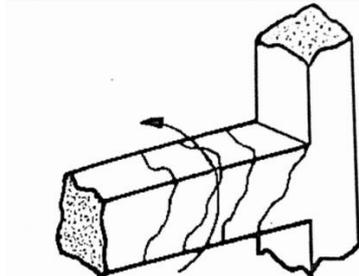


fonte: Marcelli, M.(2007)

#### c) Torção

Neste caso os esforços de torção geram fissuras inclinadas a 45 graus, que podem aparecer nas diferentes faces do elemento (CÁNOVAS, 1988). Ocorre quando um elemento de concreto sofre rotação em relação ao seu próprio eixo, provocando giro no plano da seção transversal da peça, deformando-a excessivamente e causando o surgimento de fissuras (Figura 33). Estas são frequentes em sacadas e terraços de edifícios, em lajes em balanço, etc. (MARCELLI, 2007).

Figura 33 - Fissuração por torção.



fonte: Souza, V.; Ripper, T.(1998)

#### d) Tração

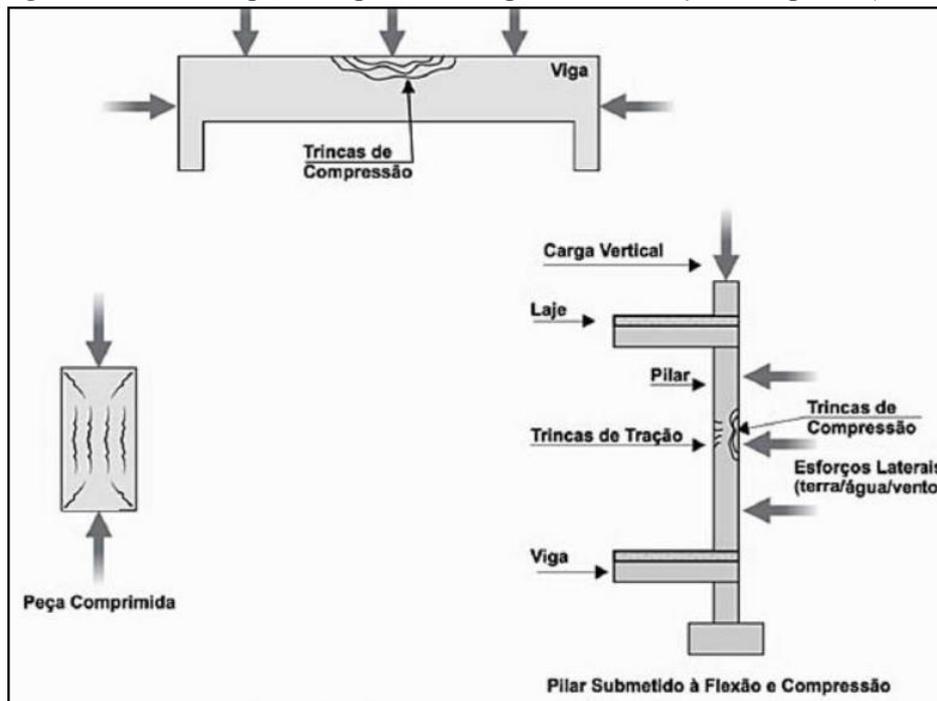
Estas fissuras são pouco frequente no concreto armado, graças às armaduras metálicas, porém quando surgem, geralmente, coincidem com o posicionamento dos estribos. Elas aparecem de forma súbita, e atravessam toda a seção e são perpendiculares às deformações de tração (CÁNOVAS, 1988).

#### e) Compressão

Conforme a esbelteza da peça exposta à compressão, o grau de risco das fissuras pode aumentar. Em peças mais esbeltas as fissuras por compressão apresentam um perigo maior, podendo indicar flambagem, por este motivo, exigem atenção e decisões rápidas.

Estas fissuras geralmente são paralelas à direção do esforço. Seu traçado é variado, pois depende da atuação dos esforços e de seus componentes(CÁNOVAS, 1988). A atuação dos esforços pode ocorrer em dois tipos de situação: situação de compressão simples ou um caso composto de flexão e compressão. Estes dois casos podem ser observados na Figura 34.

Figura 34 - Fissura por compressão simples e solicitação composta (flexão e compressão).

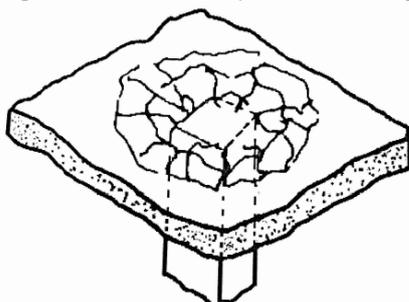


fonte: Marcelli, M.(2007)

#### f) Punção

Quando lajes são apoiadas diretamente em pilares ou vice versa, este tipo de fissura pode ocorrer. Este esforço é pontual e pode ser em função de excesso de carga, baixa resistência do concreto, armadura insuficiente ou erros de execução (MARCELLI, 2007). A Figura 35 exemplifica este tipo de ocorrência.

Figura 35 - Fissuração devido à punção



fonte: Souza, V.; Ripper, T.(1998)

### 5.3.4.2 Corrosão das Armaduras

É comum deparar com estruturas de concreto armado danificadas pela corrosão das armaduras. O estudo desta patologia é muito relevante considerando os danos que pode causar na estrutura, a regularidade em que ocorre e o alto custo financeiro em sua prevenção e restauração. O estrago causado na estrutura pode chegar a um grau mais grave de colapso global ou local, pondo em risco os usuários.

A corrosão do aço do concreto armado é uma das principais causas de danos e o comprometimento prematuro de estruturas, o que acarreta um enorme custo em manutenção, restauração e substituição de infraestruturas. A corrosão ocorre quando há a deterioração da camada passiva que envolve as barras de aço da armadura metálica, por um processo eletroquímico que se inicia na presença de oxigênio e partículas de água. A principal causa da despassivação é a carbonatação e a penetração de cloreto (ARNDT; JALINOOS, 2014). A corrosão é um processo eletroquímico que pode formar uma lesão local ou uma superfície de corrosão geral. Concretos em que a armadura possui cobertura adequada são menos suscetíveis a corrosão (ACI 365 1 R.00, 2000).

Segundo (CÁNOVAS, 1988) pode-se considerar a corrosão sob dois aspectos:

- Corrosão Química: não é tão relevante para o concreto armado, mas se trata da reação homogênea do metal com o meio que o rodeia;
- Corrosão Eletroquímica: não há fronteira exata entre corrosão química e eletroquímica, porém a eletroquímica costuma surgir em pontos que atuam como ânodos e depois se espalhar. Geralmente surgem quando há heterogeneidade no aço.

Em barras de aço imersas em concreto, a corrosão é marcada pela danificação da película passiva presente em torno da superfície exterior das barras. Esta película é chamada de película passivante, e é formada pelo contato entre a ferrugem da barra e a água existente no concreto (SOUZA; RIPPER, 1998).

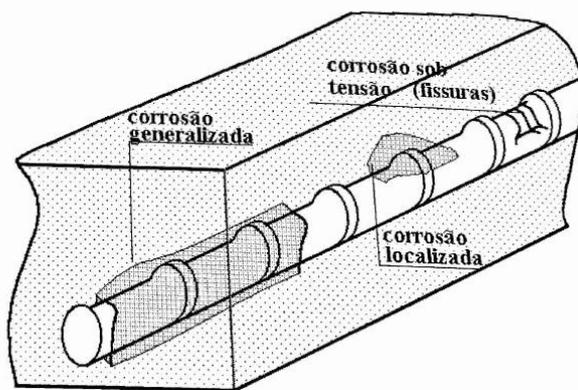
O aço está apassivado, assim que a reação entre ferrugem e água é estabilizado nas etapas de oxidação ou na produção de ferrato de cálcio. É preciso que o equilíbrio seja quebrado para que a corrosão continue.

(SOUZA; RIPPER, 1998) descreve os mecanismos que podem destruir a camada que protege as barras:

- corrosão por tensão fraturante: pode ocorrer quando a barra é submetida a esforços excessivos e estando em meio agressivo, sofre fratura frágil, o que pode inutilizá-la;

- corrosão pela existência de hidrogênio atômico: pode debilitar e trincar os aços;
- corrosão por pite: esta pode ser localizada quando íons agressivos estão em meio úmido e na presença de oxigênio, ou generalizada, quando ocorre em função da redução do pH do concreto para índices menores que 9, através de fissuras ou poros que permitem a penetração de  $\text{CO}_2$ , este fenômeno também é conhecido como carbonatação.

Figura 36 - Tipos de corrosão de uma barra de armadura de concreto armado



fonte: Souza, V.; Ripper, T.(1998)

A corrosão generalizada é caracterizada pelo desgaste do material de forma relativamente uniforme e em uma área ampla do metal. Já na corrosão localizada, o desgaste ocorre em uma área limitada, e frequentemente se aprofunda de forma mais rápida. Em estruturas de concreto armado, uma das formas mais recorrentes de corrosão de armadura é a generalizada irregular devido à carbonatação do concreto que desencadeia a corrosão de áreas mais extensas da armadura (Figura 37)(FIGUEIREDO; MEIRA, 2013).

Figura 37 - Corrosão generalizada devido à carbonatação do concreto.

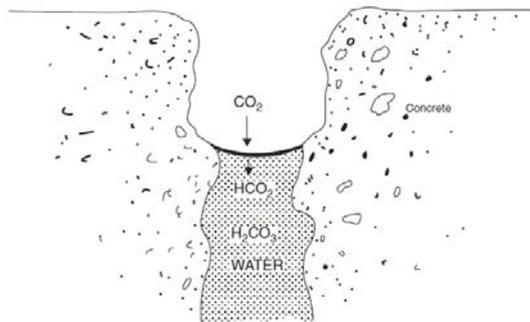


fonte: Figueiredo, E.; Meira, G.(2013)

### 5.3.4.3 Carbonatação

A carbonatação é o processo em que o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) do ambiente reduz o Ph do concreto de forma que o cálcio e os hidróxidos alcalinos são transformados em carbonatos. A penetração do  $\text{CO}_2$  normalmente é um processo lento, e depende da permeabilidade do concreto, de sua umidade, da quantidade de  $\text{CO}_2$  presente, e da umidade relativa do ambiente. A carbonatação pode ser acelerada pela presença de fissuras ou pela porosidade do concreto. O concreto que possui baixa permeabilidade e que obteve cura adequada possui mais resistência à carbonatação (ACI 365. 1 R.00, 2000). Após a penetração de  $\text{CO}_2$  no elemento de concreto armado, ele reage com as partículas de água formando um ácido chamado ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), este fenômeno é ilustrado na Figura 38. Um dos principais constituintes do cimento Portland, utilizado no concreto, é o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) e este reage com o ácido carbônico liberando carbonato de cálcio e água. Esta reação consome os álcalis do concreto, reduzindo assim, seu pH (BIJEN, 2003).

Figura 38 - Reação do dióxido de carbono com partículas de água ao penetrar no concreto



fonte: Bijen, J.(2003)

A carbonatação causa corrosão quando o cobrimento do concreto é pequeno ou o concreto é de baixa qualidade com muitos poros e baixa proporção de cimento com cura inadequada (ARNDT; JALINOOS, 2014). A proporção de água/cimento também afeta a carbonatação, quanto mais baixa a proporção mais lenta ela será (BIJEN, 2003).

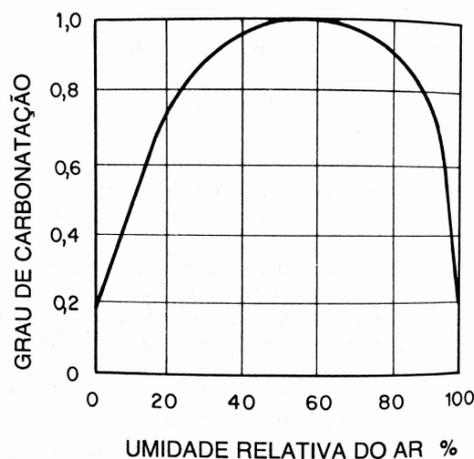
Figura 39 - Carbonatação de uma laje



Autor: Fernando Pereira Moutinho Rodrigues(2011)

O grau de carbonatação e a redução do pH, decorre da umidade relativa do ar como é possível verificar na Figura 40. A despassivação da armadura não significa, obrigatoriamente, corrosão caso a estrutura estiver seca, contudo, havendo umidade, as condições serão propícias para seu aparecimento (CÁNOVAS, 1988).

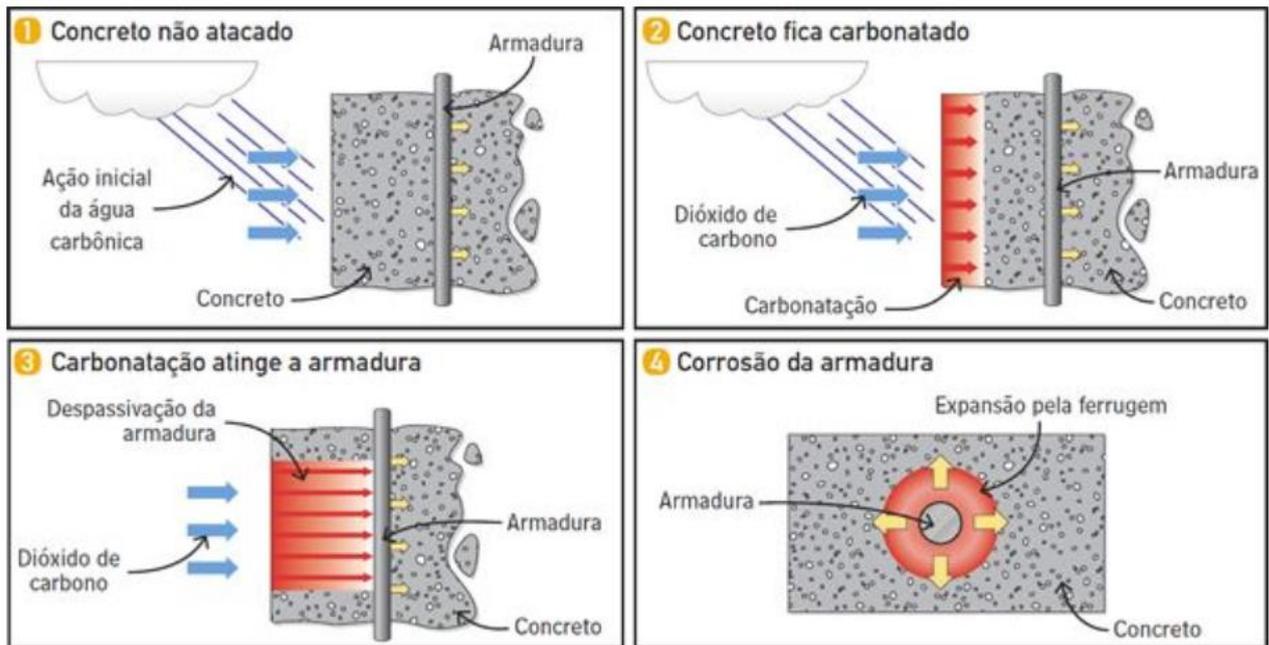
Figura 40 - Carbonatação do concreto em função da umidade relativa do ar



fonte: Cánovas, M.(1988)

A Figura 41 esquematiza o processo de carbonatação do concreto e a despassivação da armadura que resulta em sua corrosão.

Figura 41 - Esquema simplificado de Carbonatação e Corrosão da armadura metálica



fonte: Corsini, R.(2013)

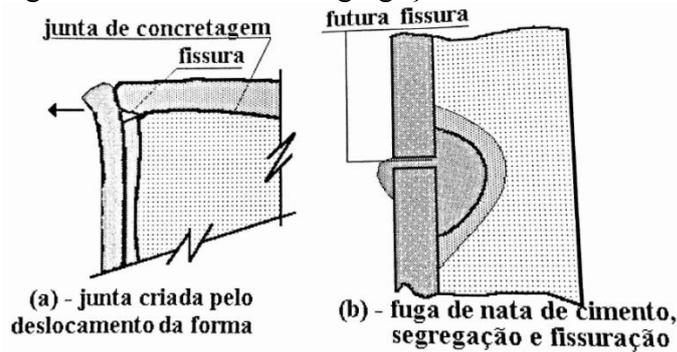
#### 5.3.4.4 Desagregação do concreto

A desagregação é definida como perda de massa de concreto em consequência de uma agressão química de caráter expansiva de reações características do concreto e/ou em virtude de sua baixa resistência (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Os autores (SOUZA; RIPPER, 1998) explicam desagregação como “a separação física de placas ou fatias de concreto, com perda de monolitismo e, na maioria das vezes, perda também da capacidade de engrenamento entre os agregados e da função ligante do cimento.” Sendo suas causas não somente químicas, mas também em consequência de outros fatores como: fissuração, movimentação das fôrmas, ataques biológicos, perda de aderência e desgaste do concreto.

A fissuração se relaciona à desagregação do concreto como uma de suas causas, sendo os processos de fissuração já apresentados no Capítulo 5.3.4.1. Um dos casos onde ocorre desagregação do concreto decorrente de fissuração seria na ocorrência da expansão do volume da armadura devido sua corrosão fazendo com que o concreto fissure e desagregue. A movimentação das fôrmas também pode ser relacionado com a fissuração como uma das causas da desagregação. Pode-se destacar o deslocamento das fôrmas e a fuga de nata como casos que acompanhados de fissuração provocam a segregação do concreto e consequentemente desagregação, como ilustrado na Figura 42 (SOUZA; RIPPER, 1998).

Figura 42 - Casos de Desagregação do concreto armado devido à movimentação das fôrmas



fonte: Souza, V.; Ripper, T.(1998)

A desagregação devido à corrosão do concreto é um dos sintomas mais inerentes de ataques químicos. Este fenômeno ocorre devido à perda das propriedades aglomerantes do cimento ou a formação de compostos expansivos. Segundo o trabalho de SOUZA; RIPPER, (1998), a corrosão do concreto pode ser classificada segundo três tipos: corrosão por lixiviação, corrosão por reação iônica e corrosão por expansão.

A lixiviação ocorre quando águas puras ou com poucas impurezas entram em contato com a massa de cimento Portland já curado, gerando a dissolução do hidróxido de cálcio (NORMA DNIT 090, 2006). A reação com estas águas geram a redução do pH e a corrosão do concreto. A dissolução e o arraste do hidróxido de cálcio  $\text{Ca(OH)}_2$  aumenta a porosidade do concreto, o que facilita seu deslocamento. A lixiviação é identificada por manchas brancas ou formação de estalactites e de estalagmites quando ocorre deposição de carbonato de cálcio (SOUZA; RIPPER, 1998).

#### 5.3.4.5 Segregação do concreto

A segregação é uma patologia caracterizada pela formação de vazios ou nichos de concretagem, resultante da má vibração da massa de concreto que causa o adensamento inadequado. Ela pode ser explicada como a separação entre os materiais, brita e a argamassa, logo após o lançamento (FIGUEROLA, 2006).

O adensamento inadequado é a principal causa da segregação da mistura de concreto por gerar uma heterogeneidade na resistência mecânica. A falta da vibração pode causar a formação de vazios devido às bolhas de ar presas na massa de concreto. Já a falta de vibração provoca a segregação dos agregados e afloramento da água de hidratação do cimento

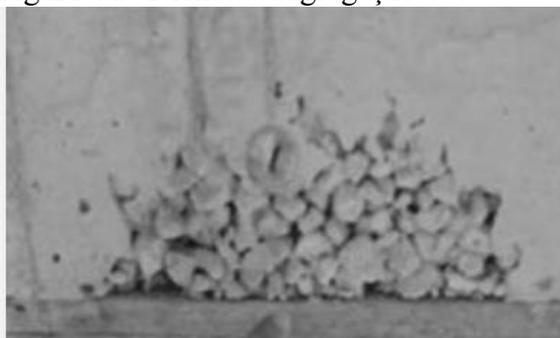
(MARCELLI, 2007). A Figura 43 ilustra o aumento da porosidade do concreto pela vibração e a Figura 44 ilustra a segregação dos agregados devido ao excesso de vibração.

Figura 43 - Má vibração do concreto causando aumento porosidade do concreto



fonte: Medeiros, H.(2010)

Figura 44 - Nicho de segregação



fonte: Figuerola, V.(2006)

#### 5.3.4.6 Perda de Aderência

A perda de aderência do concreto pode ocorrer em duas ocasiões: concretagem entre dois concretos de idades diferentes ou entre a armadura e o concreto massa. Entre concretos de idades diferentes, esta patologia ocorre quando não houve o preparo da superfície antes da concretagem. Já a perda de aderência entre concreto e o aço pode ocorrer quando: há corrosão do aço ou do concreto, assentamento plástico do concreto e expansão ou retração da armadura (SOUZA; RIPPER, 1998).

#### 5.3.4.7 Desgaste do concreto

O desgaste dos elementos de concreto decorre de ações como atrito e à abrasão. Estas ações abrasivas podem ter diversos agentes, sendo os mais comuns o ar e a água que carregam partículas, provocando a abrasão (SOUZA; RIPPER, 1998).

## **6 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE**

O Centro Cultural São Paulo, além de possuir um edifício de arquitetura icônica, também é um dos mais importantes espaços culturais do estado de São Paulo. Ele abriga bibliotecas, espaços expositivos, cursos diversos, teatro, cinema, a Pinacoteca Municipal, uma discoteca, gibiteca e espaços para atividades diversas. É uma instituição pública de responsabilidade da Secretaria Municipal de Cultura do município de São Paulo, e foi uma das primeiras entidades a ser considerada “centro cultural”, demonstrando a importância de suas atividades e do seu papel sociocultural na comunidade em que está inserida. Neste capítulo serão abordados tópicos relativos à metodologia de investigação na análise e mapeamento das patologias em construções de concreto armado.

### **6.1 DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS**

O primeiro procedimento metodológico foi o levantamento de dados e informações sobre o edifício do CCSP. Este levantamento foi composto pela obtenção de plantas e materiais bibliográficos fornecidos pelo próprio Centro Cultural São Paulo e por pesquisas através das referências encontradas nesses materiais.

O segundo procedimento foi realizado em campo, fazendo a identificação e o mapeamento de danos do edifício por meio de plantas, cortes e vistas. Foi feita a investigação visual dos danos e a documentação através de fotos, registrando os pontos mais aparentes observados.

O terceiro procedimento foi a análise quantitativa das patologias, por meio da elaboração de tabelas de danos, apresentando de forma resumida os tipos de patologias encontradas nos elementos estruturais e realizado um estudo quantitativo. No presente trabalho foram desenvolvidas somente análises bibliográficas das patologias, não abrangendo análises laboratoriais.

#### **6.1.1 Investigação histórica**

A investigação histórica inicialmente consistiu em uma pesquisa superficial sobre o CCSP e seu edifício, obtendo alguns dados iniciais, como sua idade, arquitetura, os materiais

utilizados em sua construção e informações sobre a instituição. Ao entrar em contato com CCSP foram fornecidos materiais como plantas e trabalhos acadêmicos feitos sobre ele.

As informações históricas assim como seus métodos construtivos são abordadas mais detalhadamente no item 5.1.

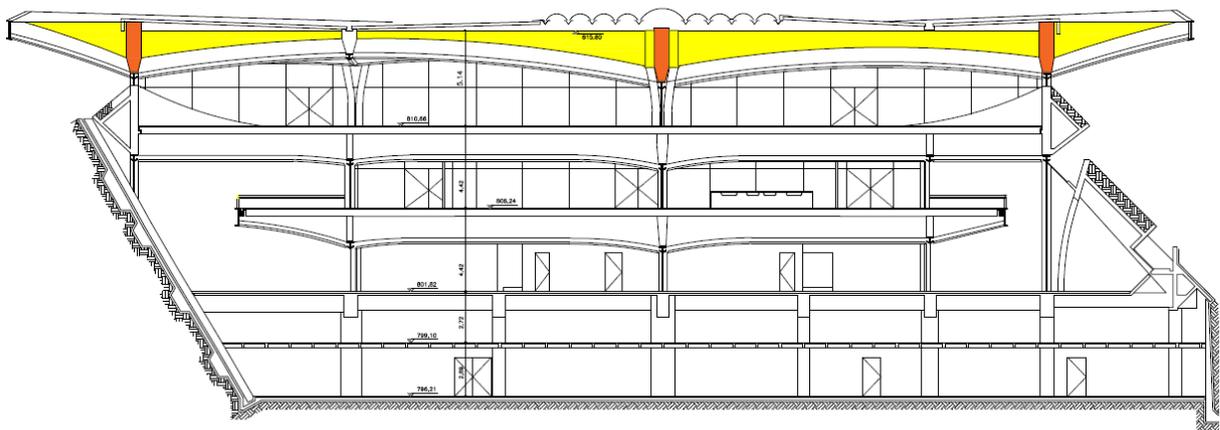
### 6.1.2 Mapeamento de Danos no Centro Cultural São Paulo

A primeira etapa do mapeamento de danos é o levantamento em campo das patologias através do reconhecimento visual. Para realizar o levantamento de danos, foram feitas inúmeras visitas ao local. Após a identificação da ocorrência da patologia em concreto armado, foi feito o registro fotográfico para melhor análise de comparação.

Foram analisadas as patologias das vigas centrais (Figura 45), das paredes externas (Figura 46) e vigas transversais e longitudinais dos dois pisos superiores. Fundamentado nas informações adquiridas no levantamento inicial foi possível constatar os principais casos de patologias, comreincidências em diversas áreas do edifício.

Figura 45 - Corte indicando as vigas centrais

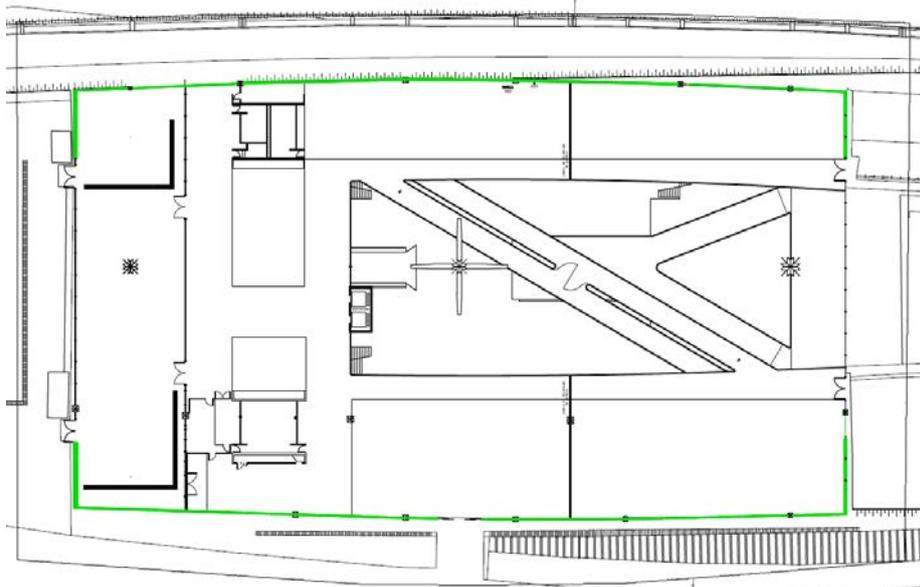
#### VIGAS CENTRAIS PISO EM AMARELO E LARANJA- PISO CAIO GRACO



fonte: Adaptado do acervoCCSP -Centro Cultural São Paulo(2017)

Figura 46 - Planta piso Caio Graco indicando parede externa

PAREDES EXTERNAS INDICADAS EM VERDE - CAIO GRACO

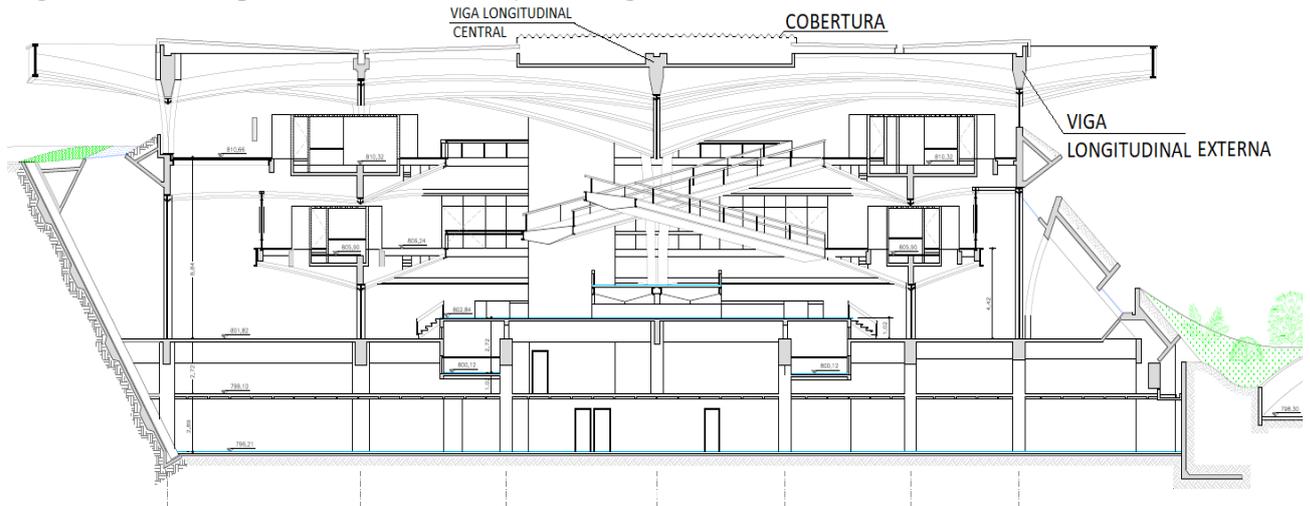


fonte: Adaptado do acervoCCSP -Centro Cultural São Paulo(2017)

As inspeções foram realizadas nos pavimentos Caio Graco (nível +810,00) e Flávio de Carvalho (nível +806,00), sendo estes os pavimentos de maior movimento e mais exposto as ações do meio ambiente. Nestes pavimentos foram analisadas as vigas de estrutura mista apoiadas em pilares metálicos, paredes estruturais externas e as vigas centrais. Nestes andares as patologias se apresentaram de forma repetitiva nos elementos analisados, assim, foi definido que estes seriam representativos das demais estruturas localizadas em áreas de acesso restrito. Este é o caso de algumas áreas próximas às paredes externas, que por serem utilizadas como salas de uso restrito dos funcionários da Centro Cultural São Paulo.

No caso das vigas foram feitas inspeções somente em áreas visíveis, onde não havia interferências visuais como: forros, drywalls e tubulações aparentes, etc, evitando assim, análises equivocadas. Foi feita a separação entre as vigas centrais e as demais vigas por estas possuírem dimensões superiores às demais. As vigas centrais são localizadas no piso Caio Graco (nível +810,00) logo abaixo da cobertura feita com painéis translúcidos, que são fixados em uma estrutura metálica apoiada nas vigas longitudinais. As vigas longitudinais externas do piso Caio Graco, por terem dimensões semelhantes às vigas centrais, são caracterizadas juntamente com estas (Figura 47).

Figura 47 - Corte pelo Eixo 48 - Indicação as vigas centrais



fonte: Adaptado do acervoCCSP -Centro Cultural São Paulo(2017)

Em relação às paredes externas, foram analisadas somente as paredes estruturais externas do Piso Caio Graco, onde estas se apresentam mais visuais.

Os elementos verificados estão listados na Tabela 2 e na Tabela 3.

Tabela 2 - Quadro de elementos verificados e a descrição de suas condições ambientais – Piso Caio Graco

PISO CAIO GRACO (NÍVEL +810,00)		
ELEMENTO ESTRUTURAL	QUANT. DE ELEMENTOS	DESCRIÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS
Vigas Centrais	14	Ambiente interno, incidência de raios solares através de painéis de vidro, há exposição à variação de temperatura e à umidade relativa do ar. Sofre a ação de águas oriundas de infiltração na cobertura e ataques biológicos de ácido úrico de aves.
Vigas transversais e longitudinais	6	Ambiente interno, incidência parcial de raios solares através de painéis de vidro, há exposição à variação de temperatura e à umidade relativa do ar. Sofre a ação de águas oriundas de infiltração das tubulações e da falta de vedação no fechamento com painéis de vidro.
Paredes externas	4	Ambiente Externo, incidência direta de raios solares, há exposição à variação de temperatura, à umidade relativa do ar e à intempéries.

fonte: Produção do próprio autor

Tabela 3 - Quadro de elementos verificados e a descrição de suas condições ambientais – Piso Flávio de Carvalho

<b>PISO FLÁVIO DE CARVALHO (NÍVEL +806,00)</b>		
<b>ELEMENTO ESTRUTURAL</b>	<b>QUANT. DE ELEMENTOS</b>	<b>DESCRIÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS</b>
Vigas transversais ambiente externo	27	Ambiente externo, incidência direta de raios solares, há exposição à variação de temperatura, à umidade relativa do ar e à intempéries.
Vigas transversais ambiente interno	16	Ambiente interno, sem incidência direta de raios solares, exposição à variação de temperatura e umidade do ar é baixa. Ambiente protegido de intempéries
Vigas longitudinais ambiente externo	11	Ambiente externo, incidência direta de raios solares, há exposição à variação de temperatura, à umidade relativa do ar e à intempéries.
Vigas longitudinais ambiente interno	8	Ambiente interno, sem incidência direta de raios solares, exposição à variação de temperatura e umidade do ar é baixa. Ambiente protegido de intempéries

fonte: Produção do próprio autor

### **6.1.3 Investigação técnica**

A investigação técnica consiste na análise de cada patologia individualmente, sendo elaborada uma tabela (Figura 48) que aponta a patologia e suas características. As análises feitas na elaboração da tabela de danos foram realizadas através de comparação com as referências bibliográficas.

Figura 48 - Tabela quantitativa de danos

ELEMENTO				
Item	Descrição da Patologia		Número de elementos afetados	Porcentagem (%)
	Patologia	Características		
1	Fissura	Fissura horizontal ao longo da viga apresentando deslocamento do concreto		
2	Carbonatação			
3	Desagregação	Deslocamento de quinas da viga		
4	Lixiviação	Apresenta manchas brancas indicando hidróxido de cálcio		
		Apresenta manchas brancas com vestígios avermelhados indicando hidróxido de cálcio com ferrugem		
5	Corrosão da armação	Armação exposta e indicando deslocamento		
6	Manchas escuras	Indica presença de animais		

fonte: Produção do próprio autor

Como é possível observar pela Figura 48, a tabela de danos foi dividida em cinco colunas, sendo estas o item, a patologia, a descrição da patologia, o número de elementos afetados por esta patologia e a porcentagem de sua recorrência no elemento.

Após o estudo quantitativo através de gráficos, foi feita a análise das causas das patologias de cada elemento. As causas serão algumas conjunturas elaboradas a partir das observações feitas no local, combinadas com as informações históricas. Vale lembrar que muitas patologias podem ser consequência de outras, por exemplo, a corrosão da armadura pode ser consequência da carbonatação do concreto, dessa forma suas causas iniciais seriam as mesmas.

Foram examinados de os seguintes problemas:

- fissuras em virtude:
  - da contração plástica;
  - do assentamento do concreto;
  - da secagem rápida;
  - da movimentação de fôrmas e escoramento;
  - da deficiência de projeto;
  - da variação de temperatura;
  - de ações mecânicas;
  - da corrosão de armaduras;
- carbonatação;
- manchas marrons no concreto indicando corrosão das armações;
- lixiviação;

- desagregação do concreto;
- desgaste do concreto;
- segregação do concreto apresentando ninhos de agregados.

#### **6.1.4 Critérios de Identificação**

A fim de facilitar o entendimento das patologias foi elaborado um critério de identificação para cada conjunto de elementos estruturais (vigas centrais, paredes externas e vigas transversais e longitudinais), dessa forma, as patologias foram anotadas para cada conjunto não importando que estas se repetissem em outros conjuntos.

A classificação da patologia foi feita de acordo com sua ocorrência ou sua causa. Por exemplo: em uma viga pode haver a lixiviação e fissura por variação de temperatura, dessa forma serão contabilizadas a ocorrência de lixiviação e a incidência de fissura por variação de temperatura.

Nas vigas transversais a contabilização das patologias foi feita de forma a não contabilizar mais de uma vez cada tipo de patologia por peça, facilitando assim a identificação da patologia mais comum em cada conjunto de elemento. Em casos em que a patologia seja aquela em que sua classificação é feita por grau de incidência, como lixiviação de hidróxido de cálcio, sua contabilização é feita de acordo com dois fatores, a sua incidência e o grau. Dessa forma, cada grau da patologia será contabilizada como um tipo de patologia.

No caso das fissuras, a incidência de uma determinada fissura não anula as demais. Assim, se uma parede externa apresentar uma fissura horizontal causada por sobrecarga e também uma fissura por variação de temperatura, por exemplo, serão contabilizadas as duas ocorrências.

Nas paredes externas a contabilização dos danos foi feita da mesma forma que se realiza nas vigas transversais.

## 7 DESENVOLVIMENTO – ANÁLISE DAS PATOLOGIAS

### 7.1 LOCALIZAÇÃO E ÁREA ANALISADA

O Centro Cultural São Paulo fica localizado no bairro do Paraíso na zona Centro-Sul de São Paulo capital como é possível observar na Figura 49.

Figura 49 - Localização do Centro Cultural São Paulo na cidade de São Paulo.



fonte: Adaptado do GoogleEarth (2017)

O edifício do CCSP situa-se na rua Vergueiro, número 1000, no bairro do Paraíso na zona Sul de São Paulo. Sua localização é de fácil acesso por estar em uma região central e ter ligação direta com a estação de metrô Vergueiro como, é possível verificar na Figura 50.

Figura 50 - Centro Cultural São Paulo (CCSP) - Vista aérea dos acessos

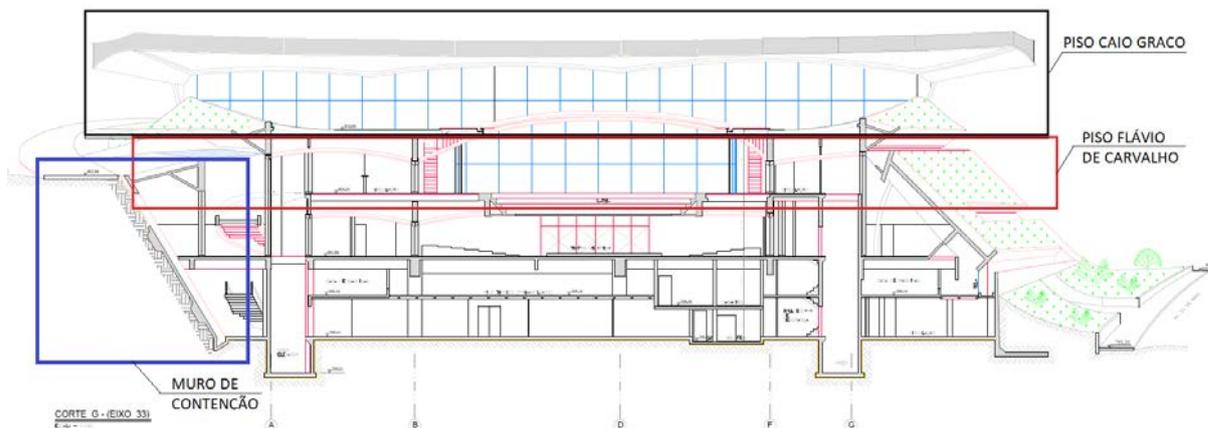


fonte: Adaptado do GoogleEarth (2017)

Com quatro pavimentos com seis níveis principais, o prédio do CCSP possui mais de 46.500 m<sup>2</sup> de área. Os quatro pavimentos são o piso de serviço no nível 796,21 (ver ANEXO A), o piso das atividades culturais e da biblioteca no nível 801,82 (ver ANEXO B), o piso de acesso e do Foyer no nível 806,24 (ver ANEXO C), e o piso superior da Pinacoteca no nível 810,66 (ANEXO D).

Devido ao tamanho do edifício e sua complexidade, o presente estudo se concentrou principalmente nos pavimentos de acesso e do Foyer, piso Flávio de Carvalho, no nível 806,24 e no pavimento da Pinacoteca, piso Caio Graco, no nível 810,66, por apresentarem maior número de patologias aparentes. Isso se deve ao fato de que, estes pavimentos estão nos níveis mais altos do edifício CCSP e com isso são os mais expostos ao ambiente, já que os demais pavimentos são protegidos pela contenção lateral, como ilustra a Figura 51.

Figura 51 - Corte transversal indicando os pavimentos analisados e o muro de contenção



fonte: Adaptado do acervo CCSP - Centro Cultural São Paulo (2017)

O ambiente no qual o Centro Cultural SP (CCSP) é classificado como urbano, e de acordo com a Quadro 2 do Capítulo 5.3.2, este ambiente possui classe de agressividade II que significa uma agressividade moderada e um risco de deterioração da estrutura pequeno. A região onde o CCSP está localizada é uma região de grande fluxo de veículos e por este motivo a poluição do ar é intensa.

O clima da cidade de São Paulo, é considerado úmido, com precipitação recorrente na maior parte do ano e de temperaturas médias anuais que variam entre 24,9 °C e 15,5 °C segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia.

## 7.2 MAPEAMENTO DE DANOS NO EDIFÍCIO DO CCSP

O levantamento e o mapeamento das patologias foram realizados com foco nos elementos de concreto armado aparente, ou seja, elementos mais expostos às ações do meio ambiente. Os principais elementos analisados foram as vigas e paredes externas.

Foram elaboradas tabelas para cada tipo de elemento, resumindo os dados coletados para cada grupo. O propósito deste procedimento foi avaliar a frequência em que cada patologia ocorre em cada grupo de elementos, verificando assim, quais são de maior incidência em cada grupo e quais suas possíveis causas.

### 7.2.1 Patologia das vigascentrais

A Tabela 4 apresenta o resumo quantitativo de cada patologia analisada nas vigas do vão central do Centro Cultural São Paulo. Foram contabilizados o número de vigas e a quantidade de patologias que este grupo de elementos apresenta. Estas vigas sustentam a carga da cobertura e mantêm a estabilidade do vão, distribuindo a carga para as demais partes da estrutura.

Tabela 4 - Tabela Quantitativa de Danos das vigas centrais do piso Caio Graco

VIGAS CENTRAIS (14 VIGAS)				
Item	Descrição da Patologia		Número de vigas afetadas	Porcentagem
	Patologia	Características		
1	Fissura	Fissura horizontal ao longo da viga apresentando deslocamento do concreto	2	14%
		Fissura seguindo o formato da forma	3	21%
		Fissura causa devido à corrosão	6	43%
2	Carbonatação	Deterioração do concreto com exposição da armadura	7	50%
		Grau médio - manchas esbranquiçadas pontuais indicando hidróxido de cálcio	2	14%
3	Lixiviação	Grau forte - manchas com coloração branca forte indicando hidróxido de cálcio em área mais extensa	7	50%
		Manchas brancas com vestígios avermelhados indicando hidróxido de cálcio com ferrugem	9	64%
4	Corrosão da armação	Armação exposta e indicando deslocamento	6	43%
5	Manchas escuras	Causadas por animais	10	71%
6	Segregação	Nicho de agregados	3	21%
		Aparência porosa na superfície da peça	1	7%
7	Desgaste	Vértices deteriorados	10	71%

fonte: Produção do próprio autor

### 7.2.2 Patologia das paredes externas

A Tabela 5 mostra o resumo quantitativo de patologia existentes nas paredes externas do Piso Caio Graco no nível +810,00 do edifício do Centro Cultural São Paulo. Cada patologia, mesmo que repetida, foi contabilizada. Dessa forma, é possível analisar qual patologia é mais recorrente ao longo das paredes externas.

Tabela 5 - Tabela Quantitativa de Danos das paredes externas do piso Caio Graco

<b>PISO CAIO GRACO - PAREDES EXTERNAS (4 PAREDES)</b>				
Item	Descrição da Patologia		Quantidade de ocorrências	Porcentagem
	Patologia	Características		
1	Fissura	Fissura causada por corrosão	5	13%
		Fissura Horizontal abaixo das esquadrias	7	18%
		Grau médio - manchas esbranquiçadas pontuais indicando hidróxido de cálcio	6	15%
2	Lixiviação	Grau forte - manchas com coloração branca forte indicando hidróxido de cálcio em área mais extensa	4	10%
		Manchas brancas com vestígios avermelhados indicando hidróxido de cálcio com ferrugem	5	13%
3	Segregação	Nicho de agregados	2	5%
4	Desgaste	Vértices deteriorados	11	28%
<b>TOTAL DE PATOLOGIAS - 40 ocorrências</b>				

fonte: Produção do próprio autor

### 7.2.3 Patologia das vigas transversais e longitudinais

As vigas transversais e longitudinais do edifício do CCSP apresentam dimensões variadas, porém para efeito de análise quantitativa todas as vigas serão agrupadas em uma

mesma categoria. As tabelas 6,7 e 8 apresentam a análise quantitativa das patologias existentes nas vigas do Piso Caio Graco (nível +810,00) e Piso Flávio de Carvalho (nível +806,00).

Tabela 6 - Tabela Quantitativa de Danos das vigas transversais do piso Caio Graco

<b>PISO CAIO GRACO - VIGAS TRANSVERSAIS (6 VIGAS)</b>				
Item	Descrição da Patologia		Número de vigas afetadas	Porcentagem
	Patologia	Características		
1	Fissura	Fissura seguindo o formato da forma	2	33%
		Fissura causada por corrosão	3	50%
2	Carbonatação	Deterioração do concreto com exposição da armadura	1	17%
		Grau Médio - manchas esbranquiçadas pontuais indicando hidróxido de cálcio	1	17%
4	Lixiviação	Grau Forte - manchas com coloração branca forte indicando hidróxido de cálcio em área mais extensa	6	100%
		Manchas brancas com vestígios avermelhados indicando hidróxido de cálcio com ferrugem	4	67%
5	Corrosão da armação	Armação exposta e indicando deslocamento	1	17%
6	Manchas escuras	Causadas por animais	2	33%
7	Segregação	Nicho de agregados	6	100%
8	Desgaste	Vértices deteriorados	6	100%

fonte: Produção do próprio autor

Tabela 7 - Tabela Quantitativa de Danos das vigas do piso Flávio de Carvalho – ambiente externo

<b>PISO FLÁVIO DE CARVALHO - VIGAS TRANSVERSAIS E LONGITUDINAIS - AMBIENTE EXTERNO (38 VIGAS)</b>				
Item	Descrição da Patologia		Número de vigas afetadas	Porcentagem
	Patologia	Características		
1	Fissura	Fissura seguindo o formato da forma	1	3%
		Fissura causada por corrosão	5	13%
2	Carbonatação	Deterioração do concreto com exposição da armadura	5	13%
		Grau médio - manchas esbranquiçadas pontuais indicando hidróxido de cálcio	10	26%
		Grau forte - manchas com colaração branca forte indicando hidróxido de cálcio em área mais extensa	19	50%
3	Lixiviação	Grau forte - manchas com colaração branca forte indicando hidróxido de cálcio em área mais extensa e formação de estalaquitites	3	8%
		Manchas brancas com vestígios avermelhados indicando hidróxido de cálcio com ferrugem	17	45%
		Armação exposta e indicando deslocamento	1	3%
4	Corrosão da armação			
5	Manchas escuras	Causadas por animais	12	32%
6	Segregação	Nicho de agregados	30	79%
7	Desgaste	Vertices deteriorados	11	29%

fonte: Produção do próprio autor

Tabela 8 - Tabela Quantitativa de Danos das vigas do piso Flávio de Carvalho – ambiente interno

<b>PISO FLÁVIO DE CARVALHO - VIGAS TRANSVERSAIS E LONGITUDINAIS - AMBIENTE INTERNAS (24 VIGAS)</b>				
Item	Descrição da Patologia		Número de vigas afetadas	Porcentagem
	Patologia	Características		
1	Fissura	Fissura causada por corrosão	4	17%
		Grau médio - manchas esbranquiçadas pontuais indicando hidróxido de cálcio	1	4%
		Grau forte - manchas com coloração branca forte indicando hidróxido de cálcio em área mais extensa	6	25%
2	Lixiviação	Manchas brancas com vestígios avermelhados indicando hidróxido de cálcio com ferrugem	4	17%
3	Segregação	Nicho de agregados	6	25%
4	Desgaste	Vértices deteriorados	6	25%

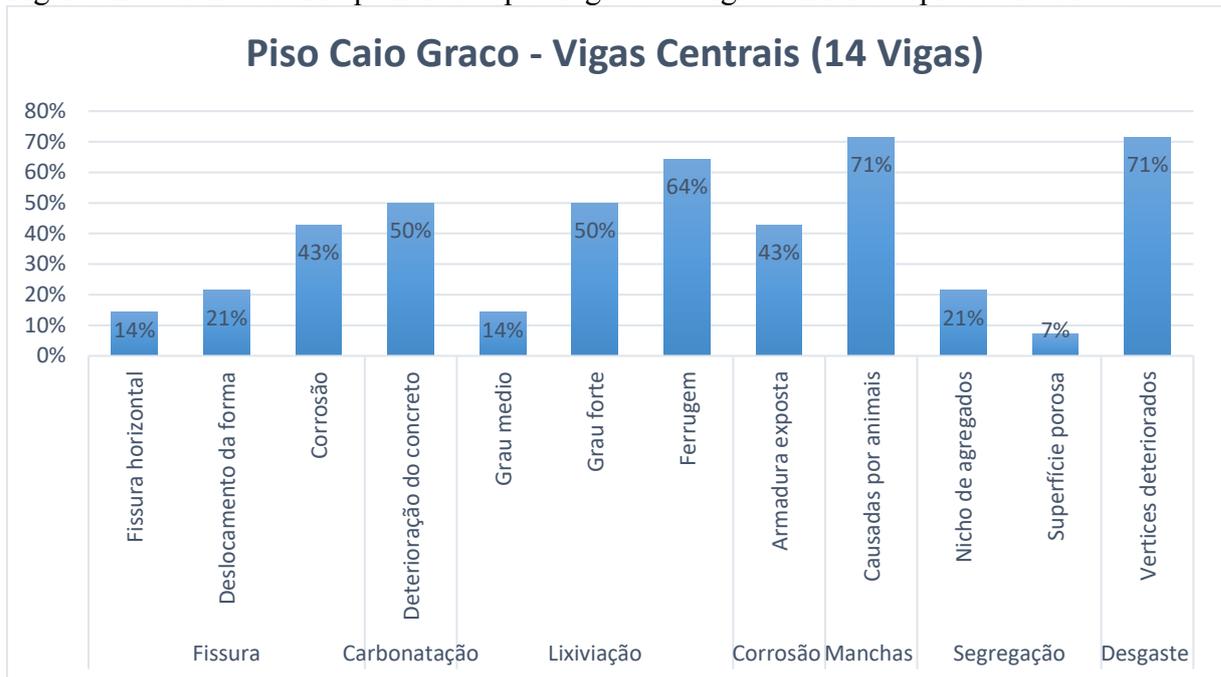
fonte: Produção do próprio autor

### 7.3 ANÁLISE DAS PATOLOGIAS

#### 7.3.1 Vigas do vão central

A Figura 52 mostra o gráfico elaborado a partir dos dados obtidos na Tabela 4 - Tabela Quantitativa de Danos das vigas centrais do piso Caio Gracocom o objetivo de ilustrar de forma mais clara as patologias que atuam nestas vigas.

Figura 52 - Gráfico de Frequência das patologias das vigas centrais do piso Caio Graco



fonte: Produção do próprio autor

É possível observar pela Figura 52 que as patologias mais frequentes são as manchas escuras, desgaste dos vértices, lixiviação e carbonatação.

As manchas escuras são encontradas principalmente na parte superior das vigas e são causadas pela deposição de material orgânico (fezes), indicando a presença de animais. Pelo CCSP possuir um conceito arquitetônico de ambientes mais abertos e de fácil acesso ao exterior, não é possível o controle de entrada de animais mesmo em áreas internas. Por este motivo as vigas centrais apresentam indícios de presença de animais, geralmente pássaros, em sua parte superior, como é possível observar na Figura 53. A deposição de material orgânico agride a estrutura somente visualmente como também causando danos químicos à sua superfície, podendo causar sua corrosão. O desgaste à abrasão verificado no topo das vigas também pode ser em consequência da presença de animais que circulam esses locais mais altos do edifício, como mostra a Figura 54.

Figura 53 - Viga central - Manchas escuras



fonte: Autor

Figura 54 - Vigas centrais - Desgaste por abrasão



fonte: Autor

A lixiviação é um indício de desagregação causada pela corrosão do concreto, ela é caracterizada por manchas brancas causadas pela liberação do hidróxido de cálcio. Sua principal causa é o ataque de águas puras ou com poucas impurezas. Apesar das vigas centrais estarem em um ambiente coberto, estas apresentam com grande frequência desta patologia. Isto se deve, principalmente, pelo fato de estas vigas estarem logo abaixo da cobertura constituída de painéis translúcidos. Apesar da alta umidade do ar nesta região, a forte

intensidade de lixiviação não é justificada apenas por este fator. Esta manifestação provavelmente advém de possível infiltração na cobertura devida à vedação inadequada.

Figura 55 - Viga central - Manchas brancas indicando forte Lixiviação



fonte: Autor

Outras patologias presentes nestes elementos foram a carbonatação e a corrosão de armadura. Após análise visual das vigas centrais, verificou-se possível manifestação de carbonatação em algumas das vigas, principalmente, o deslocamento do concreto e a corrosão da armadura. Pelo CCSP estar localizado em uma área urbana com umidade relativa do ar elevada, há uma grande concentração de gás carbônico e umidade que propiciam a carbonatação. Outros fatores que causaram o agravamento desta patologia foram a porosidade do concreto e a fissuração do mesmo. A Figura 56 é um exemplo de uma possível ocorrência desta patologia. Neste caso, pode-se observar que houve a desagregação do concreto, possivelmente causado pela corrosão da armadura, e em consequência disto à perda de aderência. A carbonatação, provavelmente, foi agravada pelo aparecimento de fissuras na junta, ocasionadas pela má execução, assim após atingir a armadura, causou a corrosão da mesma.

Figura 56 - Vigas centrais - Desagregação do concreto, possível carbonatação e corrosão da armadura



fonte: Autor

Outro caso é o apresentado na Figura 57 onde é possível observar corrosão do concreto indicado pela lixiviação, possível carbonatação, desagregação devido à corrosão da armadura metálica e aumento da fissura na junta devido a expansão da armadura.

Figura 57 - Viga central - Apresenta lixiviação, corrosão da armadura, provável carbonatação e fissura na junta



fonte: Autor

A Figura 58 apresenta uma fissura horizontal, provavelmente causada por esforços de compressão pela carga da cobertura, acompanhada da segregação do concreto devido à sua porosidade.

Figura 58 - Viga Central - Fissura horizontal e segregação do concreto



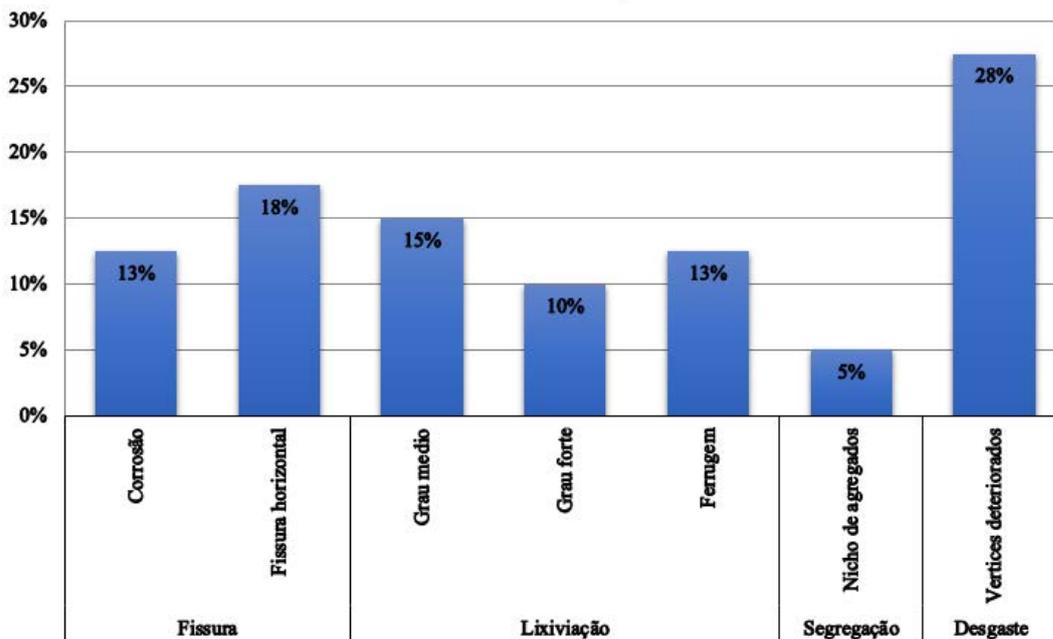
fonte: Autor

### 7.3.2 Paredes externas

A Figura 59 apresenta o gráfico que esquematiza os dados de frequência da patologia retirados da Tabela 5.

Figura 59 - Gráfico de Frequência das patologias das paredes externas do piso Caio Graco

#### **PISO CAIO GRACO - PAREDES EXTERNAS (4 PAREDES)**



fonte: Produção do próprio autor

De acordo com a Figura 59, as deteriorações mais frequentes são o desgaste dos vértices nos elementos, as fissuras horizontais e a lixiviação.

As fissuras horizontais verificadas nas paredes externas do edifício indicam fissuras causadas por esforços solicitantes de flexão composta, que seria os esforços de flexão combinados com esforços de compressão. É possível observar na Figura 60 a fissura causada por estas ações mecânicas descritas. Pode-se ainda observar a ocorrência de lixiviação com manchas marrons, o que indicam corrosão de armadura metálica que pode ter causado o deslocamento do concreto.

Figura 60 - Parede externas - Piso Caio Graco - Fissura horizontal e deslocamento.



fonte: Autor

A Figura 61 apresenta lixiviação de intensidade média em consequência de infiltração de água da chuva através das esquadrias com vedações inadequadas.

Figura 61 - Paredes externas - Piso Caio Graco – Lixiviação de intensidade média.



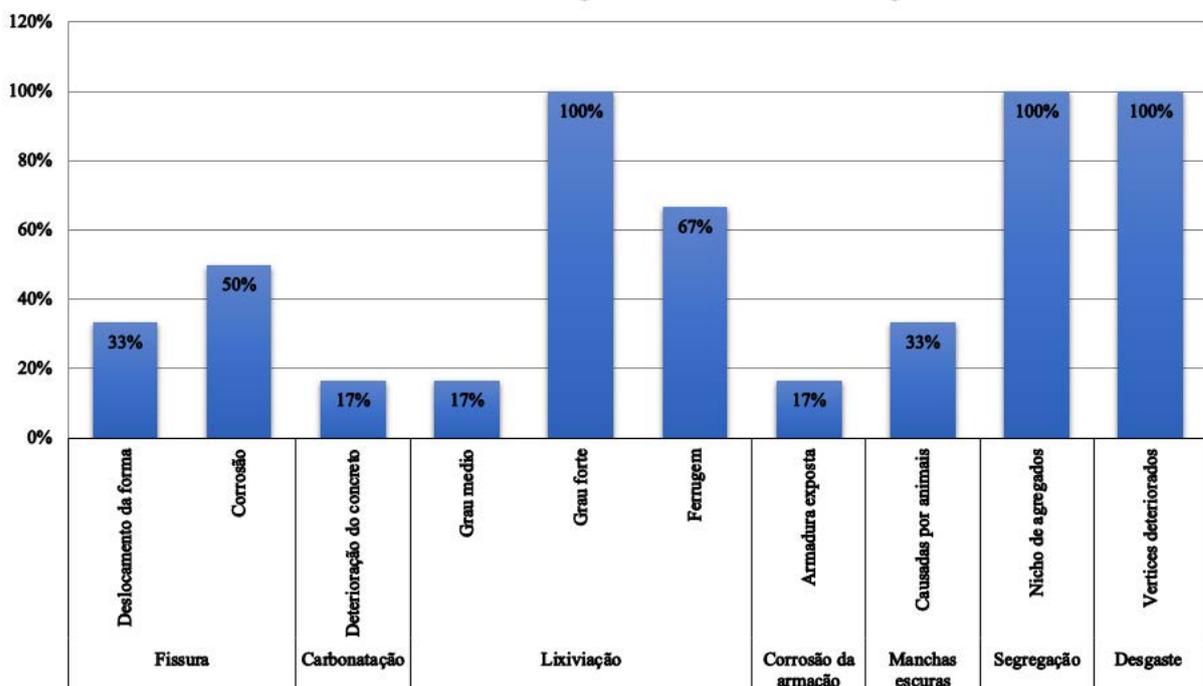
fonte: Autor

### 7.3.3 Vigas transversais e longitudinais

#### 7.3.3.1 Vigas transversais – Piso Caio Graco

A Figura 62 apresenta o gráfico que esquematiza os dados de frequência da patologia retirados da Tabela 6.

Figura 62 - Gráfico de Frequência das patologias das vigas transversais do piso Caio Graco  
**Piso Caio Graco - Vigas Transversais (6 vigas)**



fonte: Produção do próprio autor

Pela Figura 62 é possível identificar que as patologias mais recorrentes são a lixiviação de forte intensidade, a segregação com nichos de agregados, desgaste dos vértices e lixiviação com manchas marrons indicando ferrugem.

A forte intensidade de lixiviação pode ser explicada por possível infiltração de água pela cobertura, devido a vedação inadequada. As manchas marrons indicam corrosão de estruturas metálicas fixadas nas vigas. A Figura 63 mostra a ocorrência de forte lixiviação e segregação no encontro entre viga de concreto armado e viga metálica.

Figura 63 - Viga transversal piso Caio Graco - Forte lixiviação



fonte: Autor

A segregação do concreto presente nas vigas transversais é causada principalmente por concretagem inadequada. Os nichos de agregados são característicos do excesso de vibração da peça durante a concretagem e o deslocamento é devido à falta de aderência entre os dois materiais constituintes da viga (concreto armado e viga metálica), combinados com o desgaste devido à abrasão.

Figura 64 - Viga Transversal piso Caio Graco - Segregação com nichos de agregados



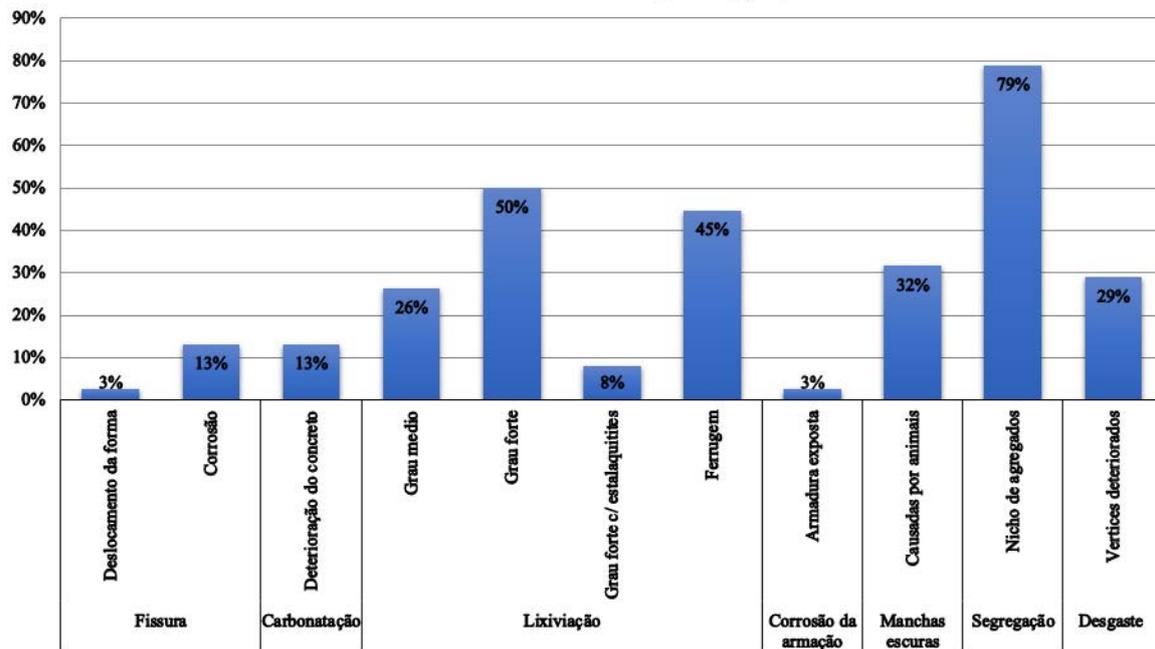
fonte: Autor

### 7.3.3.2 Vigas do Piso Flávio de Carvalho – Ambiente externo

A Figura 65 apresenta o gráfico que esquematiza os dados de frequência da patologia retirados da Tabela 7.

Figura 65 - Gráfico de Frequência das patologias das vigas transversais e longitudinais - piso Caio Graco–ambiente externo

#### **Piso Flávia de Carvalho - Vigas Transversais e Longitudinais - Ambiente Externo (38 vigas)**



fonte: Produção do próprio autor

Pela Figura 65 pode-se observar que as patologias mais recorrentes nestes elementos são a segregação com nichos de agregados, forte intensidade de lixiviação e lixiviação com indicação de ferrugem.

Por estas vigas estarem localizadas em áreas externas, elas estão expostas ao ambiente natural e às intempéries. Por este motivo são mais suscetíveis à lixiviação e à corrosão das armaduras metálicas, como exposto na Figura 66e Figura 67.

Figura 66 - Vigas - Ambiente externo - Piso Flávio de Carvalho - forte Lixiviação



fonte: Autor

Figura 67 - Viga Ambiente externo - Piso Flávio de Carvalho - Lixiviação com manchas marrons indicando ferrugem



fonte: Autor

A Figura 68 ilustra a ocorrência de segregação com nichos de agregados expostos. Esta patologia como já comentado, é devido à má execução da concretagem pelo excesso de vibração do concreto.

Figura 68- Viga Ambiente externo - Piso Flávio de Carvalho - Segregação nichos de agregados



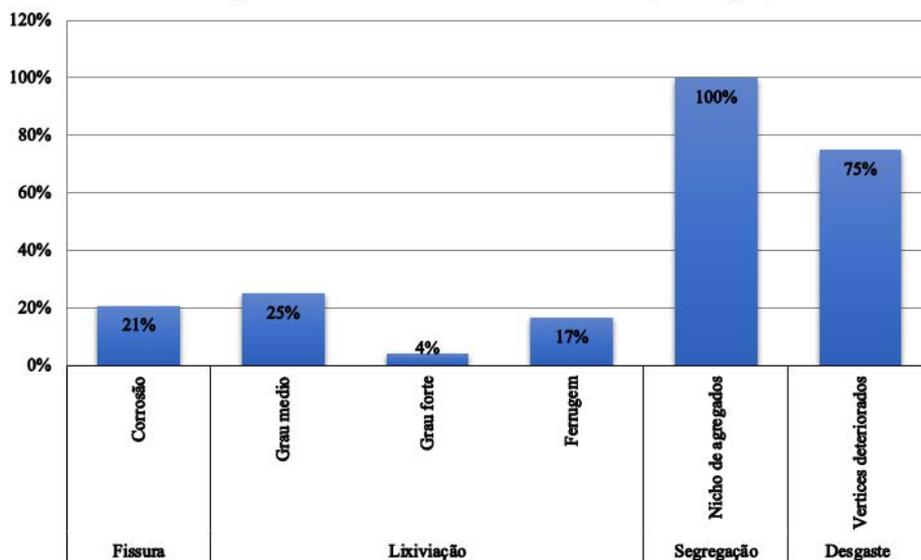
fonte: Autor

### 7.3.3.3 Vigas do Piso Flávio de Carvalho – Ambiente interno

A Figura 69 apresenta o gráfico que esquematiza os dados de frequência da patologia retirados da Tabela 8.

Figura 69 - Gráfico de Frequência das patologias das vigas transversais e longitudinais - piso Caio Graco – ambiente interno

#### **Piso Flávio de Carvalho - Vigas Transversais e Longitudinais - Ambiente Interno (24 vigas)**



fonte: Produção do próprio autor

Pela Figura 69 é possível observar que as patologias mais frequentes destes elementos são a segregação e o desgaste por abrasão. Devido ao fato destes elementos estarem em um ambiente mais protegido, eles não apresentam tantos danos quanto os demais analisados.

## 8 CONCLUSÃO

Após a análise do Centro Cultural São Paulo pode-se concluir que houve patologias de causas intrínsecas, sendo as mais recorrentes a segregação apresentando nicho de agregados e o desgaste das peças. O nichos de agregados indicam erro de execução da concretagem, principalmente das vigas. A formação de nichos de agregados se dá pelo excesso de vibração da peça, o que é comum em estruturas de concreto aparente, com o intuito de atingir o acabamento desejado.

O grande número de reincidência de desagregação e lixiviação, se deve às infiltrações na cobertura causando a exposição dos elementos à água, o que propicia o surgimento destas patologias. Este fato pode ser comprovado após a análise das vigas localizadas nos ambientes mais protegidos do piso Flávio de Carvalho, que apresentaram baixos números de incidência destas patologias. Outras deterioração como, a carbonatação e a corrosão, tem seu surgimento diretamente relacionado ao ataque de águas advindas das infiltrações da cobertura. A origem dessas patologias pode ser tanto intrínsecas (erro de construção), quanto extrínsecas (erros de projeto).

Este estudo mostrou que muitas das patologias poderiam ter sido evitadas com maiores cuidados durante a execução, assim, estudos de patologias podem ajudar a encontrar erros comuns e que passam despercebidos durante a obra, mas que acabam causando danos à estrutura com o passar do tempo. Do mesmo jeito, a falta de detalhamento ou projetos mal elaborados também são fatores que causam danos à construção. Como pode ser observado no objeto de estudo, onde o erro de projeto acabou gerando infiltrações que causaram a maior parte das patologias levantadas. Apesar deste ser um problema executivo, ele poderia ter sido evitado com um maior detalhamento do projeto do telhado. Através da identificação e da elaboração de análise destas patologias neste estudo de caso, além de colaborar para a escolha da correção adequada pôde também auxiliar no estudo de prevenção das mesmas.

### 8.1 TRABALHOS FUTUROS

Algumas linhas de pesquisa para trabalhos futuros que poderiam complementar estudo e auxiliar na pesquisa das patologias são:

- a) Desenvolvimento de estudos sobre patologias em concreto armado causadas por deficiência de projeto;

- b) Desenvolvimento de estudos sobre patologias em concreto armado causadas por erros de execução;
- c) Desenvolvimento de métodos para identificação de patologias em campo e em laboratório.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, E.; THALLON, R. **Fundamentals of residential construction**. 3.ed. New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2011, 669p.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Service-Life Prediction: State-of-the-Art Report**. 365.1R. Miami:ACI, 2000. 44p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E362: standard practice for developing accelerated tests to aid prediction of the service life of building components and materials**. Estados Unidos, 1996. 6p.
- ARNDT, R. W.; JALINOOS, F. NDE for corrosion detection in reinforced concrete structures: a benchmark approach. **ResearchGate**, McLean, p. 7, dez. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2014. 225 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7225: materiais de pedra e agregados naturais**. Rio de Janeiro, 1993. 4 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480: aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado: especificação**. Rio de Janeiro, 2007. 13 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768: aditivos químicos para concreto de cimento Portland: requisitos**. Rio de Janeiro, 2011. 19 p.
- BASTOS, P. S. S. **Estruturas de concreto I**. Bauru: Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia do Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista, 2014. 13 p. (apostila)
- BIJEN, J. **Durability of engineering structures: design, repair and maintenance**. Florida: CRC Press, 2003. 280 p.
- BLOCK, R. et al. Service life and cycle of building structures. In: COST C12 SEMINAR ON IMPROVEMENT OF BUILDING'S STRUCTURAL QUALITY BY NEW TECHNOLOGIES, Brussels, 2003. **Proceeding...** Brussels, 2003. p. 55–64.
- CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: PINI LTDA., 1988. 522p.
- CENTRO CULTURAL SÃO PAULO. **Centro cultural São Paulo**. Disponível em: <<http://centrocultural.sp.gov.br/site/institucional/>>. Acesso em: 4 out. 2017
- CENNI, R. **Três centros culturais**. 1991. 345 f. Dissertação (Mestrado em Comunicações e Artes) – Escola de Comunicações e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- CIMENTO ITAMBÉ. **Tipos de cimento portland**. Curitiba: CI, 2017. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/tipos-de-cimento-portland/>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

CONSERVAPEDIA. **Clássicos da Arquitetura:** centro georges pompidou / renzo piano + richard rogers. Santiago, RM : Archdaily, 2012. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/01-41987/classicos-da-arquitetura-centro-georges-pompidou-renzo-piano-mais-richard-rogers>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

CORSINI, R. Ambientes agressivos. **Téchne**, São Paulo, 196 ed. p. 3, 2013.

CORSINI, R. Trinca ou fissura? **Téchne**, São Paulo, 160 ed. p. 3. 2010.

DAL MOLIN, D. C. C. **Análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no Rio Grande do Sul**. 1988. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto alegre, 1988.

FIGUEIREDO, E. J. P.; MEIRA, G. R. Corrosão das armaduras de concreto. In: BOLETIM TÉCNICO, 6., 2013, Mérida. **Anais...** ALCONPAT Internacional - Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Mérida – México. 2013. p. 30.

FIGUEROLA, V. Vazios de concretagem. **Téchne**, São Paulo, 109 ed. p. 3, 2006.

HELENE, P. R. L. Introdução da vida útil no projeto das estruturas de concreto. In: WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES, 2., 2001, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos, 2001. 12 p.

HELENE, P. R. L. **Manual prático para reparo e reforço de concreto**. 2 ed. São Paulo: PINI, 1992. 218 p.

MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil:** causas e soluções para danos e prejuízos em obras. São Paulo: PINI, 2007. 260 p.

MCBETH, D. .; HENNEBIQUE, F.; MOUCHEL, L. G. **Proceeding of the Institution of Civil Engineers:** civil engineering, London, v. 126, n. 2, p. 86–95, 1998.

MEDEIROS, H. Doenças concretas. **Téchne**, São Paulo, 160 ed, p. 3, 2010.

MEDEIROS, M. H. F. DE M.; ANDRADE, J. J. DE O.; HELENE, P. Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto. In: Concreto Ciência e Tecnologia. São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2011. p. 773–808.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. In: CONCRETO CIÊNCIA E TECNOLOGIA. 3., São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2008. p. 400–550.

METHA, P. K. Durability of concrete: fifty years of progress? In: COLÓQUIO INTERNACIONAL - AVANÇOS NA TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO E REPARO DE CONCRETO EM MEIOS AGRESSIVOS. 3., São Paulo, **Anais...** São Paulo, 1992. 15p.

MINDESS, S.; YOUNG, J. F.; DARWIN, D. **Concrete**. 2 ed. New Jersey: Prentice Hall, Pearson Education, Inc, 2002. 644 p.

MURDOCK, L. J.; BLACKLEDGE, G. F.; BROOK, K. **Concrete materials and practice**. 5 ed. London: Hodder Arnold, 1979. 444 p.

NIREKI, T. Construction and building materials. **Service life design**, London, v. 10, n. 5, p. 403–406, 1996.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Patologias do concreto**: especificações de serviço. Rio de Janeiro: DNIT 090, 2006. 10 p.

SILVA, T. J. Como estimar a vida útil de estruturas projetadas com critérios que visam a durabilidade. In: WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES, 2., 2001, São José dos Campos. **Anais...**São José dos Campos, 2001. p. 5.

SOUZA, V. C. M. DE; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Editora PINI LTDA., 1998. 250 p.

SP BAIRROS. **Centro cultural de São Paulo**. São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.spbairros.com.br/centro-cultural-de-sao-paulo/>>. Acesso em: 9 jun. 2017.

STANLEY, C. C. **Highlights in the history of concrete**. Crowthorne: British Cement Association, 1979.44 p.

TELLES, L. B. **CCSP- Centro cultural São Paulo**: um projeto revisado. 2002. 332 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2002.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios**: causas, prevenção e recuperação. São Paulo: PINI/EPUSP/IPT, 1989. 194 p.

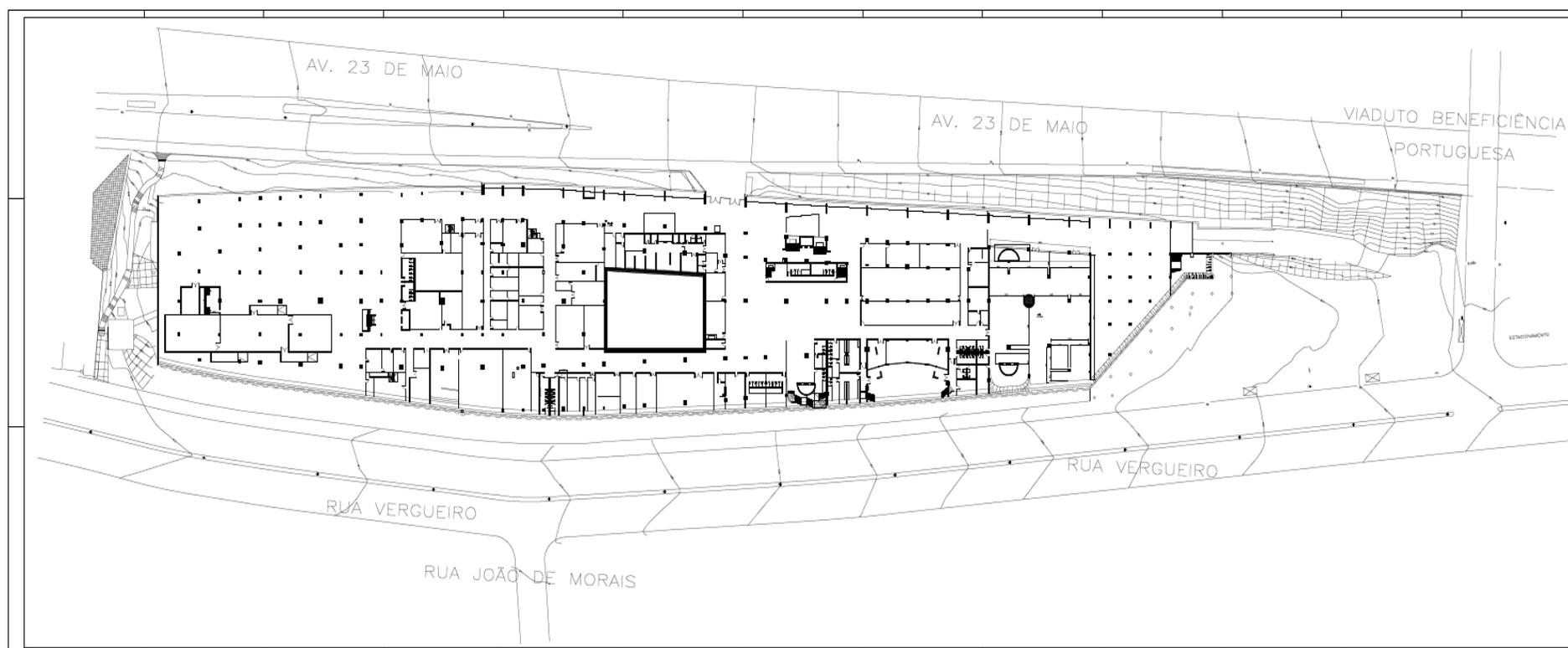
THOMAZ, E. C. S.; CARNEIRO, L. A. V. Alguns casos reais de fissuração em paredes de edifícios de concreto armado. In: CONGRESSO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA CONSTRUÇÃO, 9., 2013, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: CINPAN, 2013. 16 p.

WATT, D. S. **Building pathology**: principles & practice. 2 ed. Cambridge: Wiley-Blackwell, 2008.292 p.

WIKIMEDIA COMMONS. **Clinker**: cement. 2017. Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Clinker\\_%28cement%29](https://en.wikipedia.org/wiki/Clinker_%28cement%29)>. Acesso em: 10 jun. 2017.

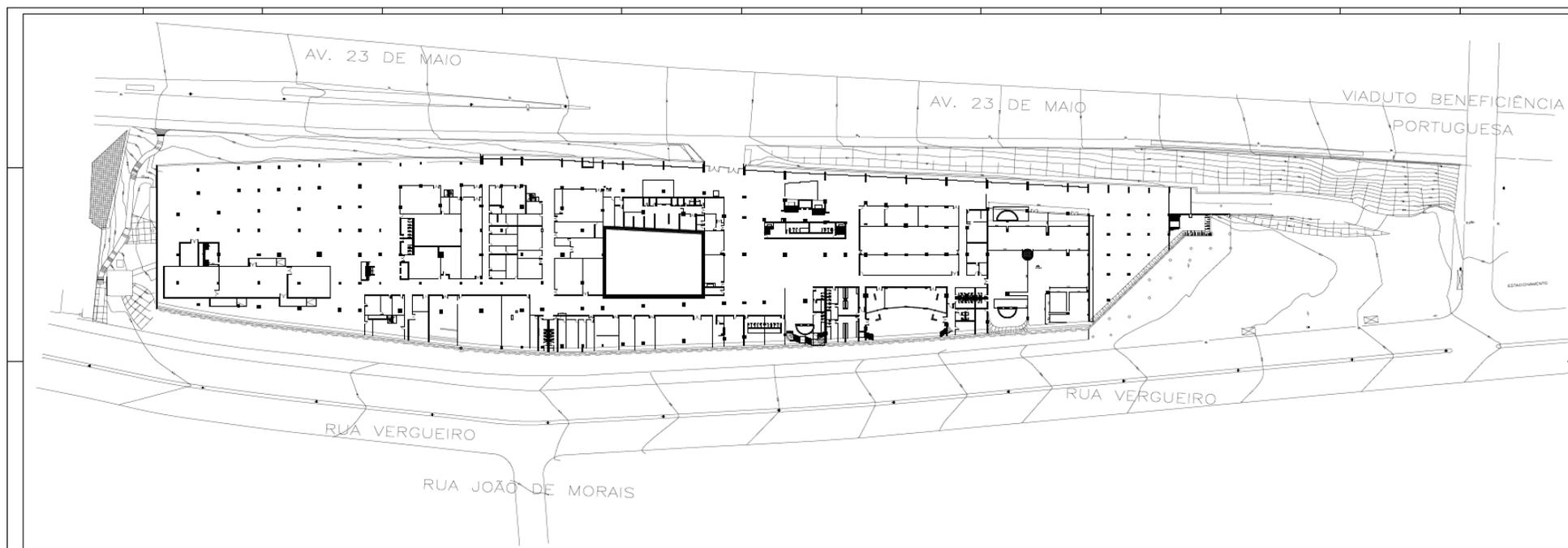
## ANEXO A

## PLANTA PISO 23 DE MAIO - (796,00)



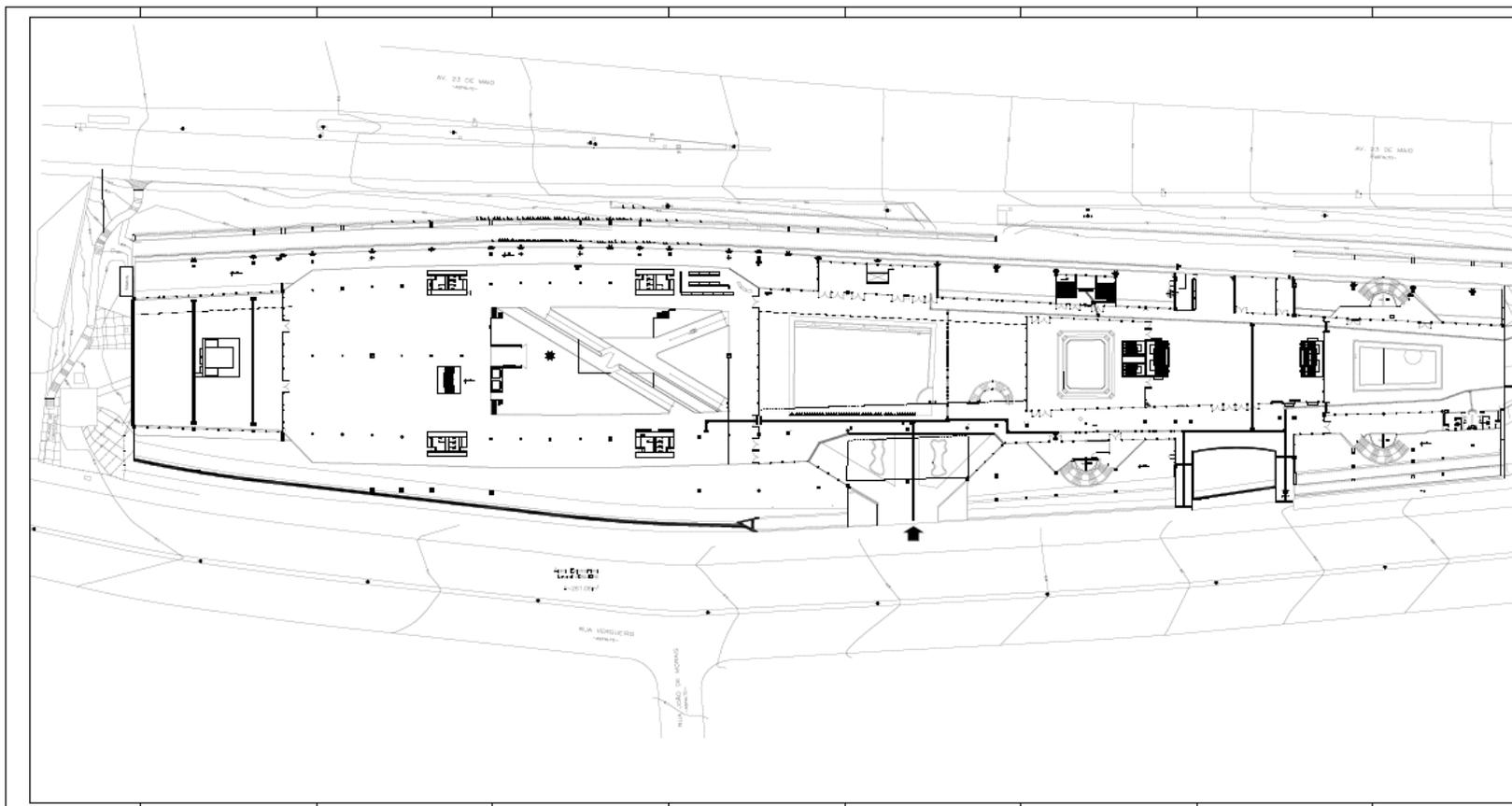
## ANEXO B

## PLANTA PISO 23 DE MAIO - (796,00)



ANEXO C

# PLANTA DO PISO FLAVIO DE CARVALHO (806,00)



## ANEXO D

## PLANTA DO PISO CAIO GRACO (810,00)

