

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ESTRUTURAS DO MONUMENTO A CAXIAS E DO TEATRO
PEDRO CALMON EM BRASÍLIA: HISTÓRICO DE PROJETO,
EXECUÇÃO E INTERVENÇÕES E ESTRATÉGIAS PARA
MANUTENÇÃO**

LYSSYA SUELEN PEREIRA DA SILVA

**ORIENTADOR: JOÃO CARLOS TEATINI DE S. CLÍMACO
CO-ORIENTADOR: ANTÔNIO ALBERTO NEPOMUCENO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E
CONSTRUÇÃO CIVIL**

**PUBLICAÇÃO: E.DM - 014 A/08
BRASÍLIA/DF: DEZEMBRO – 2008**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ESTRUTURAS DO MONUMENTO A CAXIAS E DO TEATRO
PEDRO CALMON EM BRASÍLIA: HISTÓRICO DE PROJETO,
EXECUÇÃO E INTERVENÇÕES E ESTRATÉGIAS PARA
MANUTENÇÃO**

LYSSYA SUELEN PEREIRA DA SILVA

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU
DE MESTRE EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.**

APROVADA POR:

**Prof. João Carlos Teatini de S. Clímaco, PhD (ENC-UnB)
(Orientador)**

**Prof. José Luis Vital de Brito (UnB)
(Examinador Interno)**

**Prof. José Manoel Morales Sanchez (FAU/UnB)
(Examinador Externo)**

BRASÍLIA/DF, 15 DE DEZEMBRO DE 2008

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, LYSSYA SUELEN PEREIRA DA	
Estruturas do Monumento a Caxias e do Teatro Pedro Calmon em Brasília: Histórico de projeto, execução e intervenções e estratégias para manutenção [Distrito Federal] 2008.	
xix, 184p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção Civil, 2008).	
Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.	
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.	
1.Monumento a Caxias	2.Auditório Pedro Calmon
3.Avaliação estrutural	4.Manutenção de estruturas
I. ENC/FT/UnB	II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA., L. S. P. DA (2008). Estruturas do Monumento a Caxias e do Teatro Pedro Calmon em Brasília: Histórico de projeto, execução e intervenções e estratégias para manutenção. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM - 014 A/08, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 183p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Lyssya Suelen Pereira da Silva.

TÍTULO: Estruturas do Monumento a Caxias e do Teatro Pedro Calmon em Brasília: Histórico de projeto, execução e intervenções e estratégias para manutenção.

GRAU: Mestre

ANO: 2008

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Lyssya Suelen Pereira da Silva
SOF/N Qd 02, BI B, Entrada 33, Apto 202, Setor Industrial.
70.634-200 Brasília – DF – Brasil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores João Carlos de S. Clímaco e Antônio Alberto Nepomuceno, pela orientação, apoio e dedicação no período da dissertação.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, pelos ensinamentos transmitidos.

Aos amigos de mestrado, ao Pedro e a Eva, pela amizade.

Ao CNPq, pelo suporte financeiro durante o período em que fui bolsista do programa.

O Exército Brasileiro, na pessoa do Cel Bráulio, Chefe da CRO-11, pelo apoio prestado com fornecimento dos projetos e documentos sobre as estruturas estudadas; ao Maj Requena pela ajuda com o levantamento histórico, e ao meu chefe Maj Almeida pela flexibilidade concedida de conciliar o trabalho com os estudos do mestrado.

Aos meus amigos e familiares que incentivaram meu conhecimento profissional, aos Professores da UFPA Paulo Sérgio, Pacha, e em especial ao Professor Abílio Cruz (In memoriam) que sempre foi um incentivador e amigo em todos os momentos.

Em especial aos meus pais, Normando e Diana, por acreditarem no meu sucesso e me dedicarem todo o amor e apoio necessário para meu crescimento pessoal e profissional, obrigada pela dedicação, pela amizade, pelo companheirismo e pelas renúncias...

Aos meus irmãos André e Bruna, pela amizade, carinho e amor incondicionais.

Ao meu esposo Ademar pela compreensão e pelo apoio no período do mestrado, por ser meu anjo da guarda, amigo e o meu eterno amor.

A Deus por ter me concedido tamanha conquista.

Dedicado a meu pai Normando e minha mãe Diana, aos meus irmãos André e Bruna e a meu esposo Ademar, por se constituírem pessoas admiráveis em essência, estímulos que me impulsionaram buscar vida nova a cada dia, meus agradecimentos por concederem a mim a oportunidade de me realizar ainda mais.

RESUMO

ESTRUTURAS DO MONUMENTO A CAXIAS E DO TEATRO PEDRO CALMON EM BRASÍLIA: HISTÓRICO DE PROJETO, EXECUÇÃO E INTERVENÇÕES E ESTRATÉGIAS PARA MANUTENÇÃO.

Autor: Lyssya Suelen Pereira da Silva

Orientador: João Carlos Teatini de S. Clímaco

Co-Orientador: Antônio Alberto Nepomuceno

Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil

Brasília, Dezembro de 2008.

O objetivo principal do trabalho é analisar as estruturas de concreto do Monumento a Caxias e do Teatro Pedro Calmon, criações arquitetônicas de Oscar Niemeyer e cálculos estruturais do escritório Pedro Parga Engenharia e Construções e da empresa Projectum Engenharia Ltda, respectivamente. As edificações estão situadas no Setor Militar Urbano (SMU) – Brasília, capital do Brasil e única cidade construída no Século XX considerada pela Unesco (1987) Patrimônio Cultural da Humanidade.

A partir da coleta de documentos técnicos, é recuperada a história da construção dos monumentos, em sua concepção e realização, evidenciando-se seus aspectos mais importantes, como início e término das obras, projetos arquitetônico e estrutural, responsabilidade técnica e detalhes gerais da estrutura.

A tecnologia construtiva da obra é descrita, quanto às formas das peças de concreto, os materiais utilizados e seu controle tecnológico, cura do concreto, desforma, etc. A pesquisa se insere em uma linha de pesquisa do Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília (PECC/UnB), cujo objetivo é produzir um conjunto de textos de registro da ousadia da Engenharia dos principais monumentos de Brasília.

Foi feita uma análise do projeto estrutural, utilizando um programa computacional corrente (SAP-2000), que fornece modelos para o cálculo dos esforços solicitantes e deslocamentos das peças, e as disposições da norma brasileira NBR 6118:2003. Foi aplicada a metodologia GDE/UnB que tem como objetivo avaliar quantitativamente as estruturas de concreto armado convencionais, utilizada e aperfeiçoada por Fonseca (2007).

Da análise efetuada pode ser concluído que o projeto estrutural se enquadra nos critérios de segurança atuais caracterizando como satisfatória a situação física da estrutura. No entanto, é preocupante a ausência de um programa de manutenção rotineira, tais estruturas pela sua importância merecem ser objeto de projeto específico de preservação.

ABSTRACT

STRUCTURE OF A MONUMENT CAXIAS AND THEATER PEDRO CALMON IN BRASILIA: HISTORY OF DESIGN, IMPLEMENTATION AND ASSISTANCE FOR MAINTENANCE AND STRATEGIES.

Author: Lyssya Suelen Pereira da Silva

Advisor: João Carlos Teatini de S. Clímaco

Co-Advisor: Antônio Alberto Nepomuceno

The Graduate Program in Structures and Construction

Brasilia, December de 2008.

The main objective is to analyze the structures of concrete Monument to Caxias and the Theater Pedro Calmon, architectural creations by Oscar Niemeyer and structural calculations of the office Pedro Parga Engineering and Construction and Company Projectum Engineering Ltda, respectively. The buildings are located in the Urban Sector Military (SMU) - Brasilia, Brazil's capital and only city built in the twentieth century considered by UNESCO (1987) Cultural Heritage of Humanity.

From the collection of technical documents, is retrieved the history of the monuments in their design and implementation, showing its most important aspects, such as start and end of the work, architectural and structural projects, general liability and technical details of the structure .

The technology of constructive work is described, on ways of pieces of concrete, the material used and its control technology, the concrete curing, deface, and so on. The research falls into a line of research of the Graduate Program in Structures and Construction of the University of Brasilia (PECC/UnB), whose goal is to produce a set of documents for registration of the Engineering daring of the major monuments in Brasilia.

It made an analysis of structural design, using a current computer program (SAP-2000), which provides models for calculating the applicants efforts and displacement of parts, and the provisions of the Brazilian standard NBR 6118:2003. GDE/UnB methodology has been applied to which aims to quantitatively assess the structures of conventional reinforced concrete, used and refined by Fonseca (2007).

The analysis performed can be concluded that the structural design fits the criteria of security characterized as satisfactory the current situation of physical structure. However, concern is the absence of a program of routine maintenance; such structures for their importance should be subject to specific project to preserve.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - GENERALIDADES	1
1.2 - MOTIVAÇÃO	2
1.3 - OBJETIVOS.....	3
1.4 – DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS.....	4
2 - PRINCÍPIOS GERAIS DE AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO	7
2.1 – INTRODUÇÃO	7
2.2 - DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO.....	8
2.3 - INVESTIGAÇÃO.....	10
2.3.1 – Pesquisa Histórica.....	11
2.3.2 – Inspeção da estrutura	11
2.3.3 – Ensaios e procedimentos	14
2.3.4 – Monitoração da estrutura	14
2.4 – DESEMPENHO ESTRUTURAL	15
2.4.1 – Modelo estrutural.....	15
2.4.2 – Propriedades e controle dos materiais	16
2.4.3 – Ações a considerar	16
2.5 – DIAGNÓSTICO	18
2.5.1 – Avaliação da segurança	19
2.6 – TERAPIA.....	19
2.6.1 – Solução e critérios a serem adotados.....	20
2.7 METODOLOGIA GDE/UnB PARA A QUANTIFICAÇÃO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO	21
2.7.1 Roteiro de inspeção	22
2.7.1.1 Agressividade do ambiente	22
2.7.1.2 Identificação dos elementos estruturais	23
2.7.1.3 Tipos de danos em estruturas	24
2.7.2 Cálculo do Grau de Deterioração dos elementos e da Estrutura	24
2.7.2.1 Fator de ponderação do dano (F_p).....	24

2.7.2.2 Fator de ponderação intensidade do dano (F_i).....	24
2.7.2.3 Grau do dano (D) e graus de deterioração do elemento (G_{de}), de uma família de elementos (G_{df}) e da estrutura (G_d).....	25
3 - O MONUMENTO A CAXIAS	29
3.1 HISTÓRICO.....	29
3.2 INTERVENÇÕES	33
3.2.1 Primeira intervenção	33
3.2.2 Segunda intervenção.....	40
4 - TEATRO PEDRO CALMON.....	52
4.1 - INTRODUÇÃO	52
4.2 – HISTÓRICO DA CONSTRUÇÃO	52
4.3 – A ARQUITETURA	54
4.4 – A ESTRUTURA.....	60
4.4.1 – O projeto original.....	60
4.4.1.1 – Materiais	62
4.4.2 – Modificações na estrutura	64
5 - AVALIAÇÃO DAS ESTRUTURAS COM A APLICAÇÃO DA METODOLOGIA GDE/UNB	67
5.1 INTRODUÇÃO	67
5.2 AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA DO MONUMENTO A CAXIAS	67
5.2.1 – Identificação da estrutura.....	67
5.2.2 – Aplicação da Metodologia <i>GDE/UnB</i>.....	68
5.2.2.1 – Fator de ponderação (F_p).	69
5.2.2.2 – Fator de intensidade (F_i).	71
5.2.2.3 – Grau de deterioração das famílias de elementos (G_{df}).	75
5.2.2.4 – Grau de deterioração global da estrutura (G_d).	75
5.3 AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA DO TEATRO PEDRO CALMON	76
5.3.1 – Identificação da estrutura.....	76
5.3.2 – Aplicação da Metodologia <i>GDE/UnB</i>.....	77
5.3.2.1 – Fator de ponderação (F_p).	78

5.3.2.2 – Fator de intensidade (F_i).....	80
5.3.2.3 – Grau de deterioração das famílias de elementos (G_{df}).....	84
5.3.2.4 – Grau de deterioração global da estrutura (G_d).....	84
5.4 CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS.....	85
6 - ANÁLISE DAS ESTRUTURAS DO MONUMENTO A CAXIAS E TEATRO PEDRO CALMON.....	87
6.1 - MODELAGEM ESTRUTURAL COM O PROGRAMA SAP 2000 - versão V11.....	87
6.1.1 - Lançamento da Estrutura.....	88
6.2 – DADOS GERAIS DAS ESTRUTURAS.....	89
6.3 - MONUMENTO A CAXIAS.....	89
6.3.1 - Concepção Estrutural do Monumento a Caxias.....	89
6.3.1.1 – Concepção de vigas e pilares.....	90
6.3.2 – Condições de contorno e carregamentos.....	90
6.3.3 – Análise dos resultados.....	93
6.3.3.1 – Deslocamentos.....	93
6.3.3.2 – Reações.....	93
6.4 – TEATRO PEDRO CALMON.....	94
6.4.1 - Concepção Estrutural do Teatro Pedro Calmon.....	94
6.4.1.1 – Concepção de vigas e pilares.....	94
6.4.2 – Condições de contorno e carregamentos.....	97
6.4.3 – Análise dos resultados.....	97
6.4.3.1 – Deslocamentos.....	97
6.4.3.2 – Reações.....	98
6.5 - ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	98
7 - PROPOSTA DE MANUTENÇÃO PARA AS ESTRUTURAS ESTUDADAS.....	101
7.1 - MANUTENÇÃO DA ESTRUTURA.....	101
7.2 – CADASTRAMENTO DAS EDIFICAÇÕES.....	104
7.3 – INSPEÇÃO PERIÓDICA.....	105
7.4 – INSPEÇÕES SUGERIDAS.....	106

8 - CONCLUSÕES	107
8.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS	107
8.2 – MODELAGEM DAS ESTRUTURAS DO MONUMENTO A CAIXAS E TEATRO PEDRO CALMON	108
8.3 – AVALIAÇÃO E ESTRATEGIAS DE MANUTENÇÃO	108
8.4 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
APÊNDICES	115
APÊNDICE A – TABELAS DE AVALIAÇÃO DO MONUMENTO A CAXIAS (METODOLOGIA GDE/UnB, 2007)	116
APÊNDICE B – TABELAS DE AVALIAÇÃO DO TEATRO PEDRO CALMON (METODOLOGIA GDE/UnB, 2007)	121
APÊNDICE C – PLANILHAS PARA INSPEÇÃO ROTINEIRA	138
ANEXOS	147
ANEXO A – METODOLOGIA GDE/UNB PARA AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE DETERIORAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO .148	
ANEXO B – TABELA DO ÍNDICE NACIONAL DE PREÇOS AO CONSUMIDOR – INPC.	183

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Intervalo de inspeção em anos Guia CEB/FIP (1986).....	13
Tabela 2.2 - Ensaios e procedimentos a serem realizados na inspeção, deduzido da ABECE (2005) – Check list para vistoria de edificações em concreto armado.	14
Tabela 2.3 - Classes de agressividade ambiental (Tabela 6.1 da NBR-6118:2003).....	23
Tabela 2.4 – Gravidade e evolução de uma manifestação em um elemento.....	25
Tabela 2.5 – Classificação dos níveis de deterioração do elemento.....	26
Tabela 2.6 – Classificação dos níveis de deterioração da estrutura.....	28
Tabela 3.1 - Discriminação dos serviços contratados para a construção do Monumento a Caxias (Fonte: Pasta de Obras 145, arquivos CRO-11).	32
Tabela 3.2 - Valores das solicitações nos apoios, comparando o cálculo original com o cálculo realizado pela COPPE (Fonte: Veloso, Naegueli e Videira; Capítulo 9, Acidentes Estruturais na Construção Civil, 1998).	37
Tabela 3.3 - Quantidades de materiais utilizados na protensão do reforço das fundações do Monumento a Caxias (Fonte: Pasta de Obras 143 ^a – CRO 11 Arquivos).	39
Tabela 3.4 - Quadro resumo referente à protensão dos apoios (Fonte: Pasta de Obras 143 ^a – CRO 11 Arquivos).....	40
Tabela 3.5 – Especificações de projeto para a estrutura do Monumento a Caxias (Pasta de Obras 143 A – CRO 11 Arquivos).	49
Tabela 4.1 - Preços detalhados do cronograma físico-financeiro – concorrência 04/72 (Arquivos CRO-11 – Pasta da Obra N°773).....	59
Tabela 5. 1 – Classificação da agressividade do Monumento a Caxias.....	68
Tabela 5.2 – Resistência do concreto e cobrimento (NBR 6118:2003) em relação às especificações de projeto do Monumento a Caxias.....	69
Tabela 5.3 – Família de elementos do Monumento a Caxias, danos e fatores de ponderação.	70
Tabela 5.4 – Modelo de planilha utilizada para avaliação das vigas.....	72
Tabela 5.5 – Modelo de planilha utilizada para avaliação das escadas.	73
Tabela 5.6 – Modelo de planilha utilizada para avaliação das lajes.	74
Tabela 5.7 – Determinação do grau de deterioração global da estrutura do Monumento a Caxias.	76
Tabela 5.8 – Nível de deterioração da estrutura do Monumento a Caxias.	76

Tabela 5.9 – Classificação da agressividade do Teatro Pedro Calmon	78
Tabela 5. 10 – Resistência do concreto e cobrimento (NBR 6118:2003) em relação às especificações de projeto do Teatro Pedro Calmon.	78
Tabela 5.11 – Família de elementos do Teatro Pedro Calmon, danos e fatores de ponderação.	79
Tabela 5.12 – Modelo de planilha utilizada para avaliação dos pilares.....	81
Tabela 5.13 – Modelo de planilha utilizada para avaliação das vigas.....	82
Tabela 5.14 – Modelo de planilha utilizada para avaliação das lajes.	83
Tabela 5.15 – Determinação do grau de deterioração global da estrutura do Teatro Pedro Calmon.....	85
Tabela 5.16 – Determinação do grau de deterioração global da estrutura do Teatro Pedro Calmon.....	85
Tabela 6. 1 – Deslocamentos nos nós principais.	93
Tabela 6. 2 – Carga transmitida pelos pilares para as fundações.	94
Tabela 6. 3 – Deslocamentos nos apoios principais.	97
Tabela 6. 4 – Comparação das reações calculadas e as previstas no projeto original.	98
Tabela 6. 5 – Limites para deslocamentos, deduzida da Tabela 13.2 da NBR 61618:2003.	99
Tabela 7. 1 – Indicação de intervalos de inspeção FIP-CEB (em anos).....	103
Tabela 7. 2 - Análise percentual das causas de problemas patológicos em estruturas de concreto (SOUZA E RIPPER, 1998)	104
Tabela C. 1: Check list para inspeção de pilares.	140
Tabela C. 2: Check list para inspeção de vigas.	141
Tabela C. 3: Check list para inspeção de lajes.	142
Tabela C. 4: Check list para inspeção de escadas.....	143
Tabela C. 5: Check list para inspeção de cortinas.	144
Tabela C. 6: Check list para inspeção de reservatórios.....	145
Tabela C. 7: Check list para inspeção de juntas de dilatação.....	146

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Vista área do Quartel General do Exército (Fonte: Google Earth).....	3
Figura 1.2 – Monumento a Caxias e Teatro Pedro Calmon (Fonte: Autor).....	3
Figura 2.1 - A qualidade da estrutura de concreto é função da qualidade simultânea do projeto, da execução (dos materiais e mão-de-obra) e da operação e manutenção (Concreto: Ensino, pesquisas e realizações, Ibracon, Vol 1, 2005)	10
Figura 2.2 - Etapas da inspeção das estruturas da ABECE (2005) - Checklist para vistoria de edificações em concreto armado.....	11
Figura 2.3 - Fluxograma dos tipos de ações nas estruturas, deduzido a partir da NBR 8681:2002.....	17
Figura 2.4 - Fluxograma para avaliação do grau de deterioração de estruturas de concreto da metodologia GDE/UnB (Fonseca, 2007).	21
Figura 3.1 - Estrutura do Monumento a Caxias – Obelisco e o Palanque de Solenidades, ao fundo o QGEx. (Fonte: Autor)	29
Figura 3.2 - Monumento a Caxias em fase de acabamento (Fonte: Arquivos CRO-11).	31
Figura 3.3 - Tubulão (não armado) rompido na direção transversal (Veloso, Naegueli e Videira; Capítulo 9, Acidentes Estruturais na Construção Civil, 1998).....	33
Figura 3. 4 – Vista superior da tribuna (Fonte: Pasta da Obra n° 1438, CRO-11, Brasília – 1974)	34
Figura 3. 5 – Vista posterior da coluna (Fonte: Pasta da Obra n° 1438, CRO-11, Brasília – 1974)	35
Figura 3. 6 – Vista superior do apoio central (Fonte: Pasta da Obra n° 1438, CRO-11, Brasília – 1974)	35
Figura 3. 7 – Corte A-A do apoio central (Fonte: Pasta da Obra n° 1438, CRO-11, Brasília – 1974)	36
Figura 3. 8 – Corte B-B do apoio central (Fonte: Pasta da Obra n° 1438, CRO-11, Brasília – 1974)	36
Figura 3. 9 – Corte D-D do apoio central (Fonte: Pasta da Obra n° 1438, CRO-11, Brasília – 1974)	36

Figura 3.10 - Planta do conjunto das fundações originais e reforço (Fonte: Veloso, Naegueli e Videira; Capítulo 9, Acidentes Estruturais na Construção Civil, 1998).	38
Figura 3.11 - Blocos de fundação após reforço (Fonte: Veloso, Naegueli e Videira; Capítulo 9, Acidentes Estruturais na Construção Civil, 1998).	39
Figura 3.12 - Localização dos afloramentos nas superfícies interna e externa do monumento (Fonte: Relatório técnico nº10/2004 da CRO-11).	41
Figura 3.13 - Afloramentos na parte interna e externa do monumento (Fonte: Relatório técnico nº10/2004 da CRO-11).	42
Figura 3.14 – Localização das trincas na superfície superior da estrutura (Fonte: Relatório técnico nº10/2004 da CRO-11).	42
Figura 3.15 – Detalhe da localização das trincas na superfície externa e superior da estrutura (Fonte: Relatório técnico nº10/2004 da CRO-11).	43
Figura 3.16 – Trinca na superfície externa do monumento com vegetação brotando (Fonte: Relatório técnico nº10/2004 da CRO-11).	43
Figura 3.17 - Cortes executados na superfície externa do monumento (Fonte: Relatório técnico nº10/2004 da CRO-11).	44
Figura 3.18 – Detalhes do concreto durante a inspeção n superfície externa do monumento (Fonte: Relatório técnico nº10/2004 da CRO-11).	44
Figura 3.19 – Detalhes do concreto e armadura durante a inspeção na superfície interna do monumento (Fonte: Relatório técnico nº10/2004 da CRO-11).	45
Figura 3.20 - Localização dos cortes onde foram realizados os ensaios (Fonte: Relatório técnico nº10/2004 da CRO-11).	45
Figura 3.21 - Localização dos cortes onde foram realizados os ensaios (Fonte: Relatório técnico nº10/2004 da CRO-11).	46
Figura 3.22 – Ensaios de profundidade de carbonatação (Fonte: Relatório técnico nº10/2004 da CRO-11).	46
Figura 3.23 - Detalhe da camada de impermeabilização. A seta indica a pintura de neoprene (Fone: Relatório técnico nº10/2004 da CRO-11).	47
Figura 3.24 - Forma esquemática do monumento – planta e elevação (Capítulo 9, Acidentes Estruturais na Construção Civil, 1998).	50
Figura 4.1 - Exposição Permanente do Exército no saguão do Teatro Pedro Calmon (Fonte: Autor).	53

Figura 4.2 - Teatro Pedro Calmon – Rascunhos de desenhos (Fonte: Arquivos CRO-11 – Pasta da Obra N°526).	55
Figura 4.3 - Teatro Pedro Calmon em fase de acabamento – vista da fachada sul (Fonte: Arquivos CRO-11 – Pasta da Obra N°525).	55
Figura 4.4 - Teatro Pedro Calmon em fase de acabamento – vista da fachada norte (Arquivos CRO-11 – Pasta da Obra N°525).	56
Figura 4.5 - Teatro Pedro Calmon em fase de acabamento (Fonte: Arquivos CRO-11 – Pasta da Obra N°525).	56
Figura 4.6 - Platéia e palco do Teatro Pedro Calmon (Fonte: Autor).....	57
Figura 4.7 - Painéis de concreto do Teatro Pedro Calmon (Fonte: Autor).	58
Figura 4.8 - Formato dado pelas fôrmas de madeira (Fonte: Autor).	58
Figura 4.9 - Estrutura do Teatro Pedro Calmon	60
Figura 4.10 - Juntas do tipo “Compriband” e “fungeband” usadas na construção do Teatro Pedro Calmon (Fonte: Indicada).	64
Figura 4.11 - Passarela de ligação da Avenida do Exército e o túnel do Teatro Pedro Calmon (Fonte: Autor).....	66
Figura 5.1 – Fator de intensidade, F_i , para alguns elementos da estrutura do Monumento a Caxias.....	71
Figura 5.2 – Grau de deterioração das famílias de elementos do Monumento a Caxias.	75
Figura 5.3 – Fator de intensidade, F_i , para alguns elementos da estrutura do Teatro Pedro Calmon.	80
Figura 5.4 – Grau de deterioração das famílias de elementos do Teatro Pedro Calmon.	84
Figura 6. 1 – Representação dos apoios.....	91
Figura 6. 2 – Modelo estrutural do Monumento a Caxias no SAP 2000 V11 com a numeração dos nós.....	91
Figura 6. 3 – Modelo estrutural do Monumento a Caxias no SAP 2000 V11 em três dimensões (direita).....	91
Figura 6. 4 – Modelo estrutural do Monumento a Caxias no SAP 2000 V11 em três dimensões (esquerda).....	92
Figura 6. 5 – Modelo estrutural do Monumento a Caxias no SAP 2000 V11 em três dimensões (vista superior).....	92
Figura 6. 6 – Modelo esquemático do corte transversal do Teatro Pedro Calmon no AutoCAD.	95

Figura 6. 7 – Modelo estrutural do Teatro Pedro Calmon no SAP 2000 V11 com a numeração dos apoios principais.....	95
Figura 6. 8 – Modelo estrutural do Teatro Pedro Calmon no SAP 2000 V11 em três dimensões (vista esquerda).	96
Figura 6. 9 – Modelo estrutural do Teatro Pedro Calmon no SAP 2000 V11 em três dimensões (vista direita).	96
Figura 6. 10 – Modelo estrutural do Teatro Pedro Calmon no SAP 2000 V11 em três dimensões (vista superior).....	96

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIações

Unesco	- Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura.
PECC/UnB	- Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília.
ICOMOS	- Comitê Científico Internacional para Análise e Restauração de Estruturas do Patrimônio Arquitetônico.
CRO-11	- Comissão Regional de Obras da 11ª Região Militar.
PMB	- Prefeitura Militar de Brasília.
CEDOC	- Centro de Documentação do Exército.
SMU	- Setor Militar Urbano.
ASTM	- American Society for Testing and Materials.
CIEP's	- Centros Integrados de Ensino Profissional.
IBRACON	- Instituto Brasileiro do Concreto.
QGEEx	- Quartel General de Brasília.
CEO	- Comissão Especial de Obras.
IME	- Instituto Militar de Engenharia.
COPPE	- Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia.
CONIC	- Cia de Construção Indústria e Comércio.
SGEx	- Secretária Geral do Exército.
INPC	- Índice Nacional de Preços ao Consumidor.
GDE/UnB	- Metodologia para a avaliação quantitativa do grau de deterioração de estruturas de concreto.

FIP	- Federação Internacional de Protensão.
ABECE	- Associação brasileira de engenharia e consultoria estrutural.
SEEBLA	- Serviços de Engenharia Emílio Baumgart Ltda.
ExPerEx	- Exposição Permanente de peças do Exército Brasileiro.
f_{ck}	- Resistência característica à compressão aos 28 dias.
f_{yk}	- Resistência característica ao escoamento do aço de armadura passiva.
F_p	- Fator de ponderação do dano.
F_i	- Fator de intensidade do dano.
D	- Grau do dano.
G_{de}	- Grau de deterioração do elemento.
G_{df}	- Grau de deterioração de uma família de elementos.
F_r	- Fator de relevância estrutural.
G_d	- Grau de deterioração global da estrutura

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - GENERALIDADES

Brasília é conhecida por ser uma cidade planejada e constituída por edifícios e monumentos com arquitetura arrojada. Esse é um dos principais motivos que levou a capital a ser a única cidade construída no século XX considerada pela UNESCO (1987) como Patrimônio Cultural da Humanidade, pois muitos desses edifícios são marcos, nacionais e internacionais, não só do ponto de vista arquitetônico, mas também pelo seu arrojo estrutural.

Os monumentos de Brasília contaram com o brilhantismo dos traçados do arquiteto Oscar Niemeyer, que a convite do presidente Juscelino Kubitschek, descobriu novos limites para o concreto e aqui realizou várias obras-primas (Pereira e Alencar; Concreto: Ensino, pesquisa e realizações, Ibracon, 2005). Entre elas estão as estruturas que serão estudadas neste trabalho: o Monumento a Caxias e o Teatro Pedro Calmon, situados no Setor Militar Urbano (SMU).

Nesse contexto, este trabalho se insere na linha de pesquisa Patologia, Recuperação e Manutenção de Estruturas de Concreto, do Programa de Pós-graduação e Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília (PECC/UnB), com o objetivo de produzir um conjunto de textos para registro da ousadia e qualidade da Engenharia dos principais monumentos de Brasília, relatando sua história e construção. Esses trabalhos visam preencher uma lacuna na história da Engenharia Estrutural do Brasil, uma vez que pouco se havia escrito sobre tais obras, além da carência de trabalhos e publicações sobre os aspectos estruturais de monumentos do patrimônio histórico brasileiro.

Assim como outras edificações de grande relevância histórica para o patrimônio cultural do país, os monumentos localizados em Brasília não tiveram o cuidado adequado com a preservação dos registros de suas concepções, cálculo estrutural e técnicas construtivas empregadas. É importante ressaltar que a preservação do patrimônio nacional é matéria definida e estabelecida na constituição brasileira

Outro fato importante e preocupante é a falta de documentação sobre projetos estruturais, processos construtivos, materiais utilizados e intervenções já realizadas. Algumas dessas estruturas não vêm apresentando um desempenho satisfatório seja pela deficiência de sua

funcionalidade ou do ponto de vista estético, e apresentam como agravante a precária documentação sobre a sua história, o que está sendo confirmado nesta pesquisa.

1.2 - MOTIVAÇÃO

Nos países, que valorizam seu patrimônio histórico, são correntes as publicações técnicas que descrevem a Engenharia envolvida na criação e execução dos monumentos, fato que possibilita o melhor entendimento das estruturas tanto para fins de análise do mesmo, quanto para fornecer subsídios para a implantação de programas de manutenção periódica e possíveis intervenções. A importância dos registros históricos dos monumentos também foi mostrada no livro “O concreto no Brasil” (1992) onde o professor Augusto Carlos de Vasconcelos ressalta: “O ímpeto que se tem é dedicar, não só um capítulo mais um livro inteiro às estruturas de Brasília”.

Compartilhando desse mesmo pensamento, o presente trabalho vem a somar uma série de trabalhos de dissertação de mestrado que foram desenvolvidos no PECC/UnB, que visam valorizar os registros históricos da Engenharia Estrutural de Brasília, além de suprir a notória carência de publicações sobre aspectos estruturais dos monumentos de Brasília.

Nesse sentido, foram desenvolvidas através do PECC/UnB as dissertações de PESSOA (2002) sobre a estrutura da Catedral Metropolitana de Brasília, SANTOS JÚNIOR (2004) sobre a estrutura do Palácio do Itamaraty e MOREIRA (2007) sobre a estrutura do Palácio da Justiça. Somando-se a estes, este trabalho vai apresentar um estudo sobre as estruturas do Monumento a Caxias e o Teatro Pedro Calmon, duas das grandes obras de Oscar Niemeyer que compõem as instalações do Quartel General do Exército, como mostrado na Figura 1.1.



Legenda:

1 – Monumento a Caxias

2 – Teatro Pedro Calmon

Figura 1.1 – Vista área do Quartel General do Exército (Fonte: Google Earth)

O Monumento a Caxias e Teatro Pedro Calmon, objetos desta pesquisa, fascinam pela forma como foram idealizados pelo Arquiteto Oscar Niemeyer. As estruturas possuem grandes vãos livres que impressionam os visitantes como pode ser visto na Figura 1.2.



Figura 1.2 – Monumento a Caxias e Teatro Pedro Calmon (Fonte: Autor)

1.3 - OBJETIVOS

O objetivo principal deste estudo é, a partir de documentos e dados históricos, caracterizar as estruturas do Monumento a Caxias e Teatro Pedro Calmon: sua história, concepção, projeto estrutural e tecnologia construtiva, tendo em vista os aspectos de segurança estrutural, funcionalidade, durabilidade e estética.

Como objetivos específicos deste trabalho pretendem-se:

- Caracterizar a estrutura das edificações, relatando e analisando a sua história, projeto, tecnologia construtiva e intervenções;
- Quantificar o grau de deterioração das estruturas de concreto, utilizando a Metodologia GDE/UnB, na sua versão modificada por Fonseca (2007);
- Estudar o comportamento das estruturas, por meio de uma modelagem computacional, utilizando o programa SAP 2000;
- Elaborar um diagnóstico da atual situação das estruturas;
- Propor um programa de manutenção estrutural periódica para as estruturas dos monumentos.

1.4 – DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

Este trabalho está dividido em oito capítulos, incluindo esta introdução. Ao final do trabalho, existem três apêndices e dois anexos que trazem informações complementares.

O Capítulo 2 reúne alguns princípios fundamentais sobre a avaliação de estruturas de concreto, formando um guia prático de consulta. O desenvolvimento desse capítulo é resultado do estudo de recomendações para a avaliação de estruturas e baseado, principalmente, na norma ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – procedimento; do documento Análise, Conservação e Restauração do Patrimônio Arquitetônico, aprovado pelo comitê científico do ICOMOS (2001) e da apresentação da metodologia GDE/UnB para a quantificação do grau de deterioração de estruturas de concreto, que será aplicada nas estruturas estudadas no Capítulo 5.

O Capítulo 3 apresenta a história construtiva do monumento, neste é feita uma apresentação Monumento a Caxias, uma das edificações a serem estudadas neste trabalho, sendo descrita a história de sua construção, com referências a concepção, projeto estrutural, arquitetura, tecnologia construtiva, materiais e modificações. O objetivo deste capítulo é contribuir para o levantamento e registro de informações históricas relevantes sobre as estruturas dos monumentos, sendo também parte integrante da avaliação dos mesmos.

O Capítulo 4 apresenta a história construtiva do monumento, neste é feita uma apresentação do Teatro Pedro Calmon, uma das edificações a serem estudadas neste trabalho, sendo descrita a história de sua construção, com referências à concepção, projeto estrutural, arquitetura, tecnologia construtiva, materiais e modificações. O objetivo deste capítulo é também contribuir para o levantamento e registro de informações históricas relevantes sobre as estruturas dos monumentos, sendo também parte integrante da avaliação dos mesmos.

O Capítulo 5 mostra as condições atuais das estruturas do Monumento a Caxias e Teatro Pedro Calmon, sendo que para isso foram feitas vistorias “in loco” e aplicada à metodologia GDE/UnB para a quantificação do grau de deterioração e estruturas de concreto, na sua versão modificada por Fonseca (2007). Este capítulo tem por objetivo apresentar a análise dos principais mecanismos de deterioração encontrados nos elementos dos monumentos estudados.

O Capítulo 6 tem por objetivo analisar a concepção estrutural do Monumento a Caxias e do Teatro Pedro Calmon, de acordo com os projetos originais das estruturas. Para isso foi utilizado ferramenta computacional baseada nos métodos de análise corrente, software SAP 2000 V 11, onde são apresentados os modelos idealizados para a avaliação de deslocamentos e esforços atuantes na estrutura, submetida a combinações que envolvem cargas permanentes, acidentais, contemplados pela NBR 6118/2003.

O Capítulo 7, através dos conceitos e resultados obtidos nos capítulos anteriores, apresenta uma proposta de estratégias de manutenção a ser aplicado no Monumento a Caxias e Teatro Pedro Calmon, propondo um conjunto de medidas preventivas e a periodicidade e tipo de inspeções necessárias para garantir sua vida útil.

No Capítulo 8, apresentam-se as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

No Apêndice A são apresentadas tabelas de avaliação dos elementos que compõem a estrutura externa e outras internas do Monumento a Caxias, baseadas na Metodologia GDE/UnB (2007).

No Apêndice B são apresentadas tabelas de avaliação dos elementos que compõem a estrutura externa e outras internas do Teatro Pedro Calmon, baseadas na Metodologia GDE/UnB (2007).

No Apêndice C encontram-se um conjunto de tabelas que servem de auxílio para as inspeções rotineiras uma vez que evidenciam os principais pontos a serem investigados. Essas tabelas têm como objetivo fazer um “*check lists*” das estruturas, visando contribuir para a garantia e prolongamento da vida útil do monumento.

No Anexo A serão mostrados, sucintamente, os danos mais freqüentes nas estruturas de concreto com o objetivo de conceituá-los. Este texto é parte integrante do Roteiro de Inspeção da Metodologia GDE/UnB destinada à avaliação quantitativa do grau deterioração de estruturas de concreto na sua forma modificada por Fonseca (2007).

No Anexo B é apresentada a tabela do Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC), utilizada para a realização da atualização monetária dos custos das obras deste trabalho.

2 - PRINCÍPIOS GERAIS DE AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

2.1 – INTRODUÇÃO

A avaliação de estruturas de concreto é um conjunto de procedimentos que tem por objetivo obter um diagnóstico, o mais completo possível, das condições das estruturas de uma edificação, tendo em vista os aspectos de segurança, funcionalidade, durabilidade e estética.

As estruturas das edificações não devem apresentar sinais aparentes de desempenho patológico durante sua vida útil e sim cumprir os requisitos estabelecidos corresponde ao nível de desempenho mínimo a ser observado, pois a estrutura não deve apenas ser segura, mais sim aparentar segurança.

A estrutura é considerada segura quando durante sua vida útil mantêm as características de projeto com apenas manutenções rotineiras, em condições normais de utilização não apresenta falsos sinais de perigo e nem aparência que causem suspeitas sobre sua segurança estrutural, e quando sob utilização indevida apresenta sinais visíveis de estado de perigo.

Segundo recomendações ICOMOS (International Council on Monuments and Sites), documento com recomendações para Análise, Conservação e Restauração Estrutural do Patrimônio Arquitetônico (2001), quando se pretende mudar a funcionalidade da edificação, tem que se atender de maneira rigorosa todas as exigências referentes à conservação e condições de segurança da estrutura, uma vez que o valor do patrimônio arquitetônico não se refere unicamente ao aspecto interno, mas também a integridade de todos os componentes próprios da tecnologia construtiva da época em que foi construída a edificação.

No decorrer de sua vida útil, as estruturas de concreto necessitam passar por uma avaliação estrutural, sendo que esta avaliação pode ter diversos motivos como mudanças nas exigências de desempenho e nas cargas de serviço, podem ser suscitadas dúvidas sobre sua segurança através de indícios aparentes de deficiência estrutural, também podem ser levantadas suspeitas de erros de cálculo ou execução, possíveis acidentes que tenham

ocorrido na edificação (incêndio, choques, sismos, etc.), ou através da implantação de programas de manutenção periódica na estrutura.

A avaliação das estruturas pode ser analítica, onde são realizadas inspeções, medições e testes “*in situ*”, revisão do projeto estrutural e testes de modelos para a análise das estruturas; ou avaliação por testes de carga, sendo que esta será recomendada apenas em situação específicas que a exijam.

Todas as etapas pertencentes à avaliação estrutural requerem estudos completos sobre sua história bem organizada e definida em roteiros. Devem ser realizadas as etapas de anamnese, diagnóstico, tratamento e controle das patologias encontradas, sendo que estes estudos devem ser direcionados à busca de dados relevantes para a determinação das causas de deterioração e degradação, servir como dados para a proposta de medidas corretivas e preventivas, assim como controlar com eficácia as intervenções a serem realizadas.

Com o objetivo de unificar o procedimento de avaliação das estruturas, serão observados dados qualitativos, baseados na observação direta dos danos da edificação, e dados quantitativos, baseados em testes específicos realizados em outrora e modelos matemáticos usados na engenharia.

2.2 - DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

A longevidade e durabilidade das estruturas de concreto dependem da boa qualidade de projetos e execução e de programas de inspeção e manutenção adequadas.

A NBR 14037:1998 conceitua:

“Durabilidade é a propriedade da edificação e de suas partes constituintes de conservarem capacidade de atender aos requisitos funcionais para os quais foram projetadas, quando expostas às condições normais de utilização ao longo da vida útil projetada”; e vida útil é o “intervalo de tempo ao longo do qual a edificação e suas partes constituintes atendem aos requisitos funcionais para os quais foram projetadas, obedecidos os planos de operação, uso e manutenção previstos.”. (NBR 14037:1998)

Segundo a NBR 6118 (2003): “durabilidade consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto”. A norma conceitua o

termo durabilidade de forma qualitativa, e apresenta disposições sobre a solução estrutural adotada no projeto, que deve atender todos os requisitos de qualidades.

De acordo com a mesma norma, as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que conservem, durante toda a sua vida útil, a segurança, estabilidade e aptidão de serviço. Para isso, é indispensável o bom entendimento dos objetivos do projeto, das características dos materiais e dos métodos construtivos disponíveis, uma vez que a durabilidade também está ligada às inovações tecnológicas aplicadas no projeto.

A NBR 6118 (2003) define a vida útil de projeto como: "... período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor". A vida útil refere-se à estrutura como um todo, porém, determinados elementos da estrutura podem possuir valor de vida útil diferente, em função da sua importância estrutural.

Outro conceito pode ser analisado segundo a ASTM, apud Teatini e Nepomuceno (2005): "vida útil ou vida em serviço de um material ou componente de uma edificação é o período de tempo, após a instalação, em que todas as propriedades são ainda superiores a um valor mínimo aceitável, quando rotineiramente mantido". O texto da ASTM especifica que devem ser obedecidos os valores mínimos, estabelecidos em norma específica, para as estruturas e que, para isso, elas necessitam ser rotineiramente mantidas.

Ainda sobre o conceito de vida útil, o Código MC-90 (1990), apud Teatini e Nepomuceno (2005), prescreve:

"As estruturas de concreto armado devem ser projetadas, construídas e operadas de forma tal que, sob as condições ambientais previstas, elas mantenham sua segurança, funcionalidade e aparência aceitável durante um período de tempo, implícito ou explícito, sem requerer altos custos imprevistos de manutenção e reparo." (Código MC-90 (1990))

O Código MC-90 é bem explicativo nas condições que a estrutura deve apresentar no seu período de vida útil, não só quanto à funcionalidade, como da aparência e custos de manutenção e reparo, itens que não estão explícitos na NBR 6118 (2003).

Segundo a NBR 6118 (2003), diversos critérios de projeto devem ser respeitados com a finalidade de garantir maior durabilidade das estruturas. Entre eles, pode-se citar um bom sistema de drenagem da estrutura, evitar formas arquitetônicas e estruturais que possam reduzir a durabilidade, detalhamento correto das armaduras e controle de fissuração. Nos

casos de condições adversas, devem-se prever medidas especiais de proteção e conservação, além da inspeção e manutenção preventiva das estruturas.

De acordo com Neto no livro *Concreto: Ensino, pesquisa e realizações* publicado pelo Ibracon em 2005, a importância da qualidade do projeto, execução (mão-de-obra e materiais empregados), operação (utilização da estrutura), e manutenção das estruturas, podem ser resumidas na Figura 3.1 abaixo:

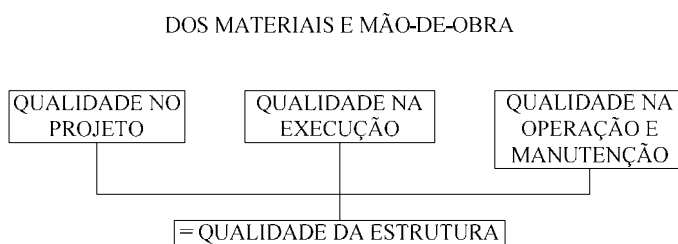


Figura 2.1 - A qualidade da estrutura de concreto é função da qualidade simultânea do projeto, da execução (dos materiais e mão-de-obra) e da operação e manutenção (Concreto: Ensino, pesquisas e realizações, Ibracon, Vol 1, 2005)

2.3 - INVESTIGAÇÃO

Esta é uma etapa onde serão feitos levantamentos e tratamentos de dados, sendo que estes devem ser realizados com prudência a fim de estabelecer um plano de atuação para os problemas reais das estruturas. Para obter tais informações, podem ser seguidas as seguintes etapas:

- Coleta de informações através de pesquisa histórica abrangendo a vida da estrutura, incluindo tanto modificações da sua forma como quaisquer intervenções estruturais anteriores, por meio de vistorias especializadas e análise da documentação da obra;
- Descrição dos materiais e técnicas da construção empregada;
- Descrição da estrutura no seu estado atual, incluindo a identificação dos danos, da deterioração e dos possíveis fenômenos progressivos existentes, usando testes apropriados;
- Revisão do projeto estrutural através da identificação das ações atuantes e previstas, do desempenho estrutural e dos tipos de materiais.

Segundo a ABECE (Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural), em sua publicação “*Check list* para vistoria de edificações em concreto armado”, mostra de modo simplificado as etapas da inspeção das estruturas.

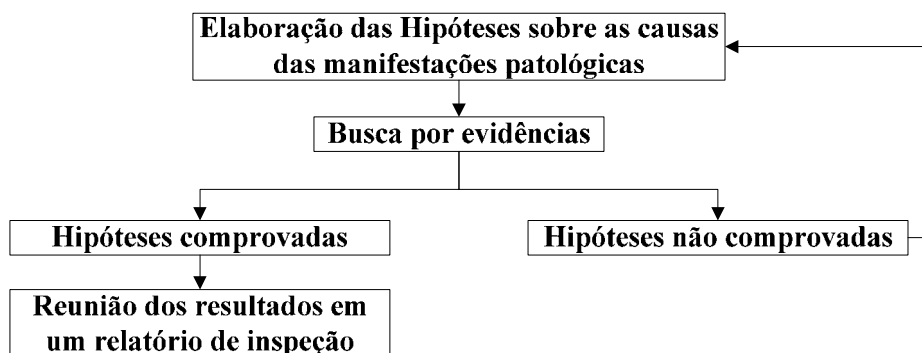


Figura 2.2 - Etapas da inspeção das estruturas da ABECE (2005) - Checklist para vistoria de edificações em concreto armado.

2.3.1 – Pesquisa Histórica

Inicialmente, é feito o levantamento das informações da fase de projeto onde obtemos informações sobre a estrutura em seu estado original, as técnicas construtivas empregadas, as alterações sofridas e seus efeitos, os possíveis fenômenos produzidos pelas modificações e as condições do seu estado atual.

Fazem parte da pesquisa histórica levantamento das datas de início e término de construção, das empresas que participaram de sua concepção e construção, e das intervenções realizadas.

É necessário o máximo de registros sobre as construções como memoriais de cálculo, projetos, controle tecnológico dos materiais empregados, laudos de sondagem, relatórios de inspeções anteriores realizadas, diário de obra, etc., são essenciais para a obtenção de informações confiáveis da edificação que possam contribuir com o histórico da estrutura em estudo.

2.3.2 – Inspeção da estrutura

A inspeção da estrutura é a etapa na qual é feita a avaliação do estado de conservação da edificação e de suas partes constituintes com o objetivo de orientar as atividades de manutenção. Nesta fase é feita a inspeção “in loco” da estrutura, onde serão avaliadas as

condições atuais em que se encontram as estruturas, através da criação de um roteiro de inspeção que será aplicado na edificação, que tem como finalidade examinar com atenção a edificação em estudo.

O termo manutenção, segundo o Guia para Inspeção e Manutenção de Estruturas de Concreto Armado e Protendido da Federação Internacional de Protensão – CEB/FIP (1986) é o “conjunto de ações necessárias para manter o funcionamento previsto de uma estrutura, a sua aparência original ou um padrão requerido”.

Com o intuito de realizar uma inspeção da estrutura o mais completa possível, segundo Teatini e Nepomuceno (2005), deve-se dividir a inspeção nas seguintes etapas:

- Inspeção visual, onde serão analisados os sinais de danos, formas de uso e procedimentos de inspeção como medições aproximadas com uso de equipamentos simples, documentação fotográfica e decisão sobre medidas emergenciais;
- Confecção dos croquis dos danos;
- Levantamento do histórico da obra, detalhes e condições especiais de execução, uso presente e mudanças prévias, intervenções anteriores, profissionais e firmas envolvidas em projetos, construção e execução;
- Estudo dos registros disponíveis como plantas das estruturas, fundações e instalações, memórias de cálculo, certificado de controle dos materiais, relatórios de sondagem do solo, relatórios de inspeções anteriores, relatório do comportamento do edifício após intervenções prévias;
- Avaliação de cargas atuantes considerando carregamentos atuais e anteriores;
- Consideração de fatores ambientais;
- Análise do comportamento estrutural levando em consideração as normas vigentes.

De acordo com o Guia CEB/FIP (1986) para inspeção e manutenção de estruturas de concreto armado e protendido, classifica as inspeções em rotineiras, que são realizadas em intervalos regulares; extensiva, inspeção mais minuciosa da estrutura sendo realizada em intervalos regulares intercalada com inspeções rotineiras; e especial realizada em situações

não usuais normalmente indicadas por indícios que comprometa segurança e funcionalidade encontrados nas inspeções rotineiras e extensivas.

O mesmo guia define que as condições ambientais e de carregamento a que as estruturas estão expostas podem ser divididas em muito severa, onde a estrutura encontra-se em ambiente é agressivo, com carregamentos cíclicos e possibilidade de fadiga; severa, onde a estrutura está submetida à ambiente agressivo com carregamento estático ou ambiente normal com carregamento cíclico e possibilidade de fadiga; e normal, onde a estrutura está sujeita a ambiente normal com carregamento estático.

A inspeção e as avaliações das estruturas visam contribuir para o diagnóstico das intervenções necessárias e a proposta de uma sistemática de manutenção. A seguir, é apresentada uma tabela do Guia CEB/FIP (1986), mostrando o tipo de inspeção a ser realizada dependendo das condições ambientais e de carregamento existentes.

Tabela 2.1 - Intervalo de inspeção em anos Guia CEB/FIP (1986).

Condições ambientais e de carregamento	Classe de estruturas					
	1		2		3	
	Inspeção Rotineira	Inspeção Extensiva	Inspeção Rotineira	Inspeção Extensiva	Inspeção Rotineira	Inspeção Extensiva
Muito severa	2*	2	6*	6	10*	10
Severa	6*	6	10*	10	10*	-
Normal	10*	10	10*	-	**	**

* Intercalada entre inspeções extensivas

** Apenas inspeções rotineiras

Entre os principais objetivos da inspeção se ressalta o levantamento de evidências que comprovem as hipóteses levantadas levando a um diagnóstico. Com este objetivo devem-se definir origens, causas e mecanismos de ocorrência para que sejam formuladas hipóteses sobre as possíveis causas das manifestações patológicas encontradas.

É preciso investigar, em campo, a ocorrência de intervenções posteriores à construção original, principalmente as que se referem a qualquer tipo de reparo, de reforço e obras que resultem na mudança de carregamentos da estrutura.

Ainda assim, podem surgir incertezas no ato da inspeção, para dirimir tais dúvidas é necessária a realização de ensaios “in loco” ou laboratoriais para se medir com precisão o que está ocorrendo na estrutura em estudo.

2.3.3 – Ensaios e procedimentos

As medições a serem realizadas e os testes “in loco” são importantes para o levantamento da situação real da estrutura e dos materiais que a compõem. Para a execução desses procedimentos, deve-se ter equipe técnica competente e experiente para garantir a precisão das medidas e interpretação correta dos dados.

A ABECE em sua publicação “*Check list* para vistoria de edificações em concreto armado”, cita exemplos de alguns ensaios e procedimentos que podem ser necessários para a realização da inspeção objetivando o diagnóstico, estes podem ser vistos na Tabela 2.2 abaixo.

Tabela 2.2 - Ensaios e procedimentos a serem realizados na inspeção, deduzido da ABECE (2005) – *Check list* para vistoria de edificações em concreto armado.

Do ponto de vista estrutural	Do ponto de vista da durabilidade
<ul style="list-style-type: none"> - Localização das armaduras; - Extração de testemunhos; - Velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas; - Entre outros. 	<ul style="list-style-type: none"> - Localização das armaduras e medida do cobrimento de concreto; - Taxa de corrosão; - Profundidade de carbonatação; - Teor de íons cloreto; - Reconstituição de traço de concreto; - Índice de vazios, absorção de água por imersão e massa específica; - Entre outros.

2.3.4 – Monitoração da estrutura

E certas ocasiões, podem ser encontradas dificuldades de se avaliar o grau de deterioração da estrutura, sendo difícil mensurar se a edificação obedece aos critérios de segurança

exigidos, seja por resultados positivos encontrados nas intervenções já existentes, seja pelas características observadas em inspeções “in loco”.

Nestes casos é recomendado que seja realizada uma monitoração da estrutura que consiste em um método de observação consistente contínuo da mesma. O ICOMOS cita um exemplo de monitoração de uma estrutura com atuação escalonada, onde inicialmente é realizada uma intervenção de baixa intensidade, de modo que permita ir adaptando uma série de medidas complementares corretoras.

2.4 – DESEMPENHO ESTRUTURAL

O desempenho em serviço, segundo a NBR 6118 (2003), “consiste na capacidade de a estrutura manter-se em condições plenas de utilização, não devendo apresentar danos que comprometam em parte ou totalmente o uso para o qual foi projetada”.

Para que a estrutura tenha desempenho em serviço, é imprescindível estabelecer programas de manutenção preventiva e corretiva de defeitos nas estruturas ou nos seus demais componentes. Segundo Albigés (1978), apud Teatini (2005), as estruturas merecem atenção especial nos três primeiros anos de construção, uma vez que é nesse período que se manifestam cerca de 65% dos defeitos nas obras.

2.4.1 – Modelo estrutural

A primeira etapa da modelagem computacional consiste no uso de ferramentas da análise estrutural para construir modelos físicos, matemáticos e computacionais, que representem a estrutura analisada em uma aproximação da realidade, a partir da concepção estrutural original.

O modelo estrutural a ser adotado deve ser na medida do possível, o mais próximo da realidade, ou seja, tem que descrever todos os fenômenos que estão ocorrendo na estrutura de forma precisa, contemplando certas considerações a respeito das propriedades dos materiais, seus comportamentos, suas alterações ao longo do tempo, ações atuantes, incluindo carregamentos verticais e externos de acordo com a utilização da estrutura e outros.

Nem sempre é possível descrever com exatidão o comportamento da estrutura, pois esta pode ser de tal complexidade que seja necessário utilizar modelos idealizados que tentem reproduzir o comportamento da estrutura mesmo que de modo aproximado da realidade.

Mesmo com a utilização de modelos estrutural idealizado deve-se atentar para a consideração de mudanças que tenham ocorrido na estrutura, sejam elas por mudanças na utilização, incidência de cargas acidentais, intervenções realizadas na estruturas, ou seja, todas as mudanças que possam ter influenciado significativamente no desempenho estrutural da estrutura.

Pretende-se, assim, estudar o comportamento das concepções estruturais adotadas para o Monumento a Caxias e Teatro Pedro Calmon, levando em consideração as ações às quais as estruturas estão submetidas.

2.4.2 – Propriedades e controle dos materiais

Para se obter um efetivo controle dos materiais é necessário que se tenha suas especificações técnicas, com suas propriedades básicas e características de desempenho, controle na recepção dos materiais estabelecendo critérios de aceitação e rejeição dos mesmos, cuidados no armazenamento dos materiais, descrição dos procedimentos que deverão ser tomados durante o manuseio, mistura e preparo dos materiais.

2.4.3 – Ações a considerar

Nas estruturas existem agentes, que quando se manifestam, provocam esforços ou deformações, esses são chamados de ações. De acordo com a NBR 8681:2002, Ações e segurança nas estruturas – Procedimento, do ponto de vista prático, de modo geral, as deformações impostas nas estruturas são, na maioria das vezes, designadas por ações indiretas, recalques, retração, etc, e as forças por ações diretas, como peso próprio, empuxo, etc.

A seguir, será mostrado um fluxograma resumo dos tipos de ações que podem ocorrer nas estruturas. As ações que podem ocorrer nas estruturas estão divididas em permanentes, variáveis e excepcionais, de acordo com o fluxograma da Figura 2.3.

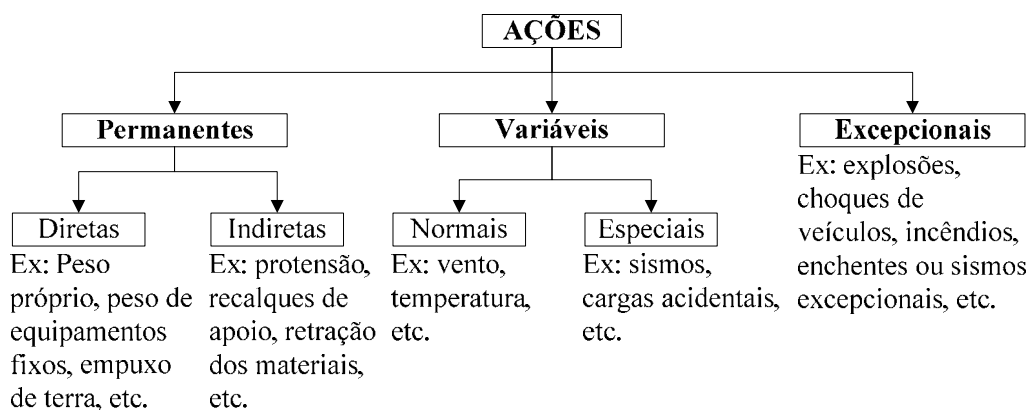


Figura 2.3 - Fluxograma dos tipos de ações nas estruturas, deduzido a partir da NBR 8681:2002.

As ações permanentes são aquelas que ocorrem com valores constantes ou de pequena variação em torno de sua média, durante praticamente toda a vida da construção. As ações permanentes se dividem em ações permanentes diretas, que são os pesos próprios dos elementos da construção, incluindo-se o peso próprio da estrutura e de todos os elementos construtivos permanentes, os pesos dos equipamentos fixos e os empuxos devidos ao peso próprio de terras não removíveis e de outras ações permanentes sobre elas aplicadas; e ações permanentes indiretas, que são a protensão, os recalques de apoio e a retração dos materiais.

As ações variáveis são aquelas que ocorrem com valores que apresentam variações significativas em torno de sua média durante a vida da construção. Consideram-se como ações variáveis as cargas acidentais das construções, bem como seus efeitos, tais como forças de frenagem, de impacto, centrífugas, os efeitos do vento, das variações de temperatura, do atrito nos aparelhos de apoio e, em geral, as pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas.

Em função de sua probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, as ações variáveis são classificadas em normais ou especiais: ações variáveis normais são ações variáveis com probabilidade de ocorrência suficientemente grande para que sejam obrigatoriamente consideradas no projeto das estruturas de um dado tipo de construção; as ações variáveis especiais são certas ações que devam ser consideradas e algumas estruturas, como ações sísmicas ou cargas acidentais de natureza ou de intensidade especiais, elas também devem ser admitidas como ações variáveis.

As ações excepcionais são aquelas que têm duração extremamente curta e muito baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, mas que devem ser consideradas nos projetos de determinadas estruturas. São consideradas como excepcionais as ações decorrentes de causas tais como explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes ou sismos excepcionais.

As ações (permanentes, variáveis e excepcionais) são inerentes as estruturas, não há como evitá-las em sua totalidade o que pode ser feito é amenizá-las, desde que as estruturas apresentem desempenho adequado às finalidades da construção.

Para isso, as estruturas não devem apresentar características que determinem a paralisação, no todo ou em parte, do uso da construção, nem características que, por sua ocorrência, repetição ou duração, causem efeitos estruturais que não respeitam as condições especificadas para o uso normal da construção, ou que são indícios de comprometimento da durabilidade da estrutura, respectivamente, estados limites últimos e estados limites de serviço.

2.5 – DIAGNÓSTICO

Essa é a etapa final do trabalho, em que será elaborado um diagnóstico da situação atual dos monumentos, identificação e descrição precisa dos mecanismos e as causas dos problemas de deterioração, visando à proposta de um programa de manutenção para cada estrutura estudada.

Segundo Pessoa (2002), um processo de manutenção preventiva de uma estrutura consiste de sete fases: cadastramento, inspeções periódicas, inspeções condicionadas, serviços de limpeza, reparos de pequena monta, reparos de segunda monta e reforços, quando necessários.

Constituem etapas do processo de diagnóstico a ser realizado na pesquisa: análise dos problemas identificados nas estruturas e dos fenômenos envolvidos, que devem ser interpretados em cada etapa (vistoria, histórico, ensaios realizados outrora, etc), redução das incertezas do levantamento de dados e redução de hipóteses, com vistas a um diagnóstico correto.

O diagnóstico para ser adequado e completo deve esclarecer todos os aspectos do problema como sintomas, mecanismos de propagação, origem, causas, conseqüências e oportunidade de intervenção.

Serão ainda caracterizadas e avaliadas as intervenções realizadas ao longo do tempo, buscando diagnosticar a situação atual dos monumentos, por meio de vistorias e registro fotográfico, propondo uma estratégia para sua manutenção estrutural, utilizando a metodologia GDE/UnB.

2.5.1 – Avaliação da segurança

A avaliação da segurança estrutural constitui a última fase do diagnóstico, onde é determinada a necessidade da realização de uma intervenção na estrutura, sendo que para isso é necessário realizar um estudo conjunto das conclusões das análises qualitativas e quantitativas, que foram levantadas na observação direta da estrutura no momento da inspeção, na investigação histórica, na análise estrutural, nos ensaios realizados na edificação, ou seja, em todos os resultados obtidos durante o estudo da estrutura.

Para a avaliação da segurança, a NBR 6118:2003, estabelece que para que uma estrutura tenha segurança, as resistências dos seus componentes não devem ser menores que as solicitações dos mesmos, e todas suas partes integrantes devem ser verificadas em relação a todos os estados limites e todos os carregamentos especificados para o tipo de construção considerada.

Segundo ICOMOS, é também necessário realizar um memorial descritivo após o estudo nas estruturas de modo que todos os aspectos relativos às informações obtidas no diagnóstico, em especial a avaliação da segurança estrutural e decisão de realizar ou não intervenção, formem um memorial onde se possa recorrer no caso de novas inspeções ou intervenções.

2.6 – TERAPIA

Nesta etapa são elaborados os projetos de recuperação e manutenção, caso necessário, da estrutura onde serão indicadas as proteções que devem ser realizadas, os reparos, reforços, as restrições de uso, etc.

Objetivando a recuperação da edificação devem ser elaboradas as medidas corretivas e de controle das patologias encontradas nas etapas anteriores. A terapia das estruturas deve estar mais dirigida para as raízes dos problemas do que aos sintomas, a partir deste conceito e da avaliação da segurança estrutural, devem-se propor medidas preventivas visando a conservação e consolidação da edificação.

2.6.1 – Solução e critérios a serem adotados

Toda ação a ser realizada nas estruturas da edificação deve ser tomadas com critérios, pois a solução a ser adotada deve estar sempre baseada em informações fundamentadas durante as etapas de investigação, inspeção e diagnóstico.

As intervenções a serem realizadas nas estruturas devem proporcionar o menor dano possível às características do patrimônio histórico, ou seja, a intensidade da intervenção vai se limitar a obter os objetivos a que se propõe: restabelecer na estrutura as condições mínimas de segurança e durabilidade estabelecidas pelas normas vigentes.

Chegando-se a necessidade de realizar a intervenção na estrutura é necessário eleger a técnica que será utilizada, sendo que entre as técnicas tradicionais e inovadoras, deve-se escolher a que mais se adapte a situação em estudo, a escolha deve ser por aquela que menos alterar as características da edificação e que seja compatível com o valor do patrimônio cultural.

A intervenção deve ser realizada baseando-se em um plano integral que considere os diferentes aspectos de arquitetura, estrutura, instalações e funcionalidade. Nestas etapas que envolvem a intervenção, devem ser efetuadas supervisões que permitam confirmar a eficácia das técnicas empregadas assim como os resultados obtidos, sendo que estas atividades precisam ser registradas documentalmente e serem conservadas como parte da história da construção.

Para a recuperação da estrutura deve ser elaborado um projeto de reabilitação, onde serão definidas as intervenções mais adequadas a serem executadas para cada caso com o máximo de detalhamento possível. Caso haja necessidade, especificar sistemas de proteção após realização da intervenção, definindo prazos para intervenções e escala de prioridades.

O projeto de reabilitação precisa detalhar todo o procedimento necessário para o serviço de reabilitação, além de definir os locais onde elas devem ser executadas, e no caso de

indicação de reforço estrutural, deve ser acompanhado de memorial descritivo e de cálculo que o justifique.

2.7 METODOLOGIA GDE/UnB PARA A QUANTIFICAÇÃO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

A metodologia GDE/UnB tem como objetivo avaliar quantitativamente as estruturas de concreto armado convencionais. Foi desenvolvida na dissertação de mestrado de Castro (1994) e chamada de metodologia GDE/UnB ou PECC/UnB. Castro tomou como ponto de partida a metodologia de Klein et alli (1991), desenvolvida para quantificar obras de arte, e constatou que a aplicação para estruturas convencionais resultava dados insatisfatórios. A partir daí ela foi aplicada em diversas estruturas, sofrendo modificações por Lopes (1998) e Boldo (2002) e Fonseca (2007). Esse último, sua dissertação de mestrado, propôs algumas mudanças na metodologia, principalmente no seu roteiro de inspeção, Anexo 01, no que diz respeito às conceituações de danos mais frequentes e a utilização da norma de concreto vigente. A seguir, a Figura 2.4 apresenta o fluxograma que descreve os passos para a aplicação da metodologia GDE/UnB.

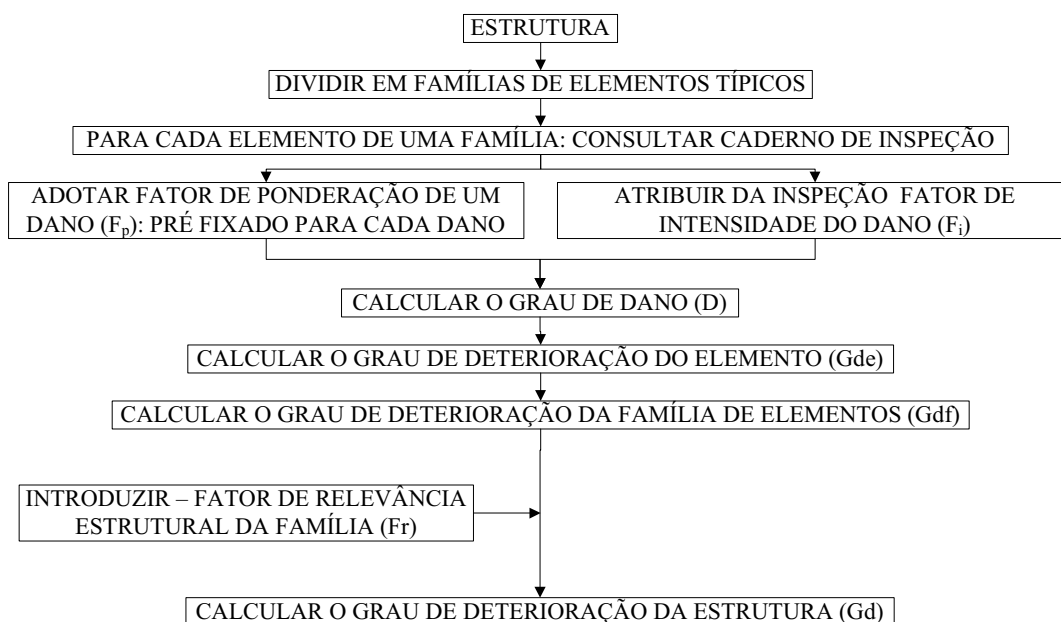


Figura 2.4 - Fluxograma para avaliação do grau de deterioração de estruturas de concreto da metodologia GDE/UnB (Fonseca, 2007).

2.7.1 Roteiro de inspeção

A avaliação da estrutura é feita mediante um programa de inspeções, utilizando o roteiro proposto, tendo como objetivo propor as ações necessárias para manter a durabilidade da edificação, nos aspectos de segurança, funcionalidade e estética. A metodologia é um instrumento para auxiliar os engenheiros e técnicos nas tomadas de decisão para manutenção e recuperação de estruturas.

2.7.1.1 Agressividade do ambiente

A NBR 6118 (ABNT, 2003) dispõe que, entre os requisitos de durabilidade, a agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre a estrutura de concreto, independente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas de concreto.

A Tabela 2.3 apresenta a classificação da agressividade do ambiente, a ser considerada nos projetos de estruturas correntes pode ser avaliada, simplificada, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

Tabela 2.3 - Classes de agressividade ambiental (Tabela 6.1 da NBR-6118:2003).

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para cada efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	
<p>1) Pode-se admitir um micro clima 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).</p> <p>2) 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.</p> <p>3) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.</p>			

2.7.1.2 Identificação dos elementos estruturais

Para a aplicação da metodologia, são necessárias representações gráficas da estruturas, como plantas, croquis, etc, que permitam localizar e identificar de forma mais clara possível, os elementos vistoriados.

2.7.1.3 Registro Fotográfico

A documentação fotográfica é uma das principais maneiras de analisar o que está realmente ocorrendo na estrutura e contribuindo para a descrição correta dos problemas identificados.

2.7.1.3 Tipos de danos em estruturas

O Roteiro de Inspeção apresenta uma conceituação sucinta dos danos mais comuns na estruturas de concreto, enfatizando que é importante buscar em bibliografia complementar sobre o tema mais informações sobre os conceitos, afim de melhor entender o problema. Os danos mais freqüentes nas estruturas foram descritos por Fonseca (2007) em seu roteiro de inspeção (Metodologia GDE/UnB para avaliação quantitativa da deterioração de estruturas de concreto).

2.7.2 Cálculo do Grau de Deterioração dos elementos e da Estrutura

Para o cálculo do grau de deterioração da estrutura é necessário, inicialmente, o cálculo dos graus de deterioração dos elementos componentes. Para isso, são utilizados os ‘fatores de ponderação’ e ‘de intensidade’ dos danos nos elementos.

A partir desses fatores, faz-se a determinação seqüencial dos graus dos danos existentes em cada elemento estrutural, nas famílias de elementos de mesma natureza, e, no final, calcula-se o grau de deterioração da estrutura, conforme Equações 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 e 2.5, a seguir.

2.7.2.1 Fator de ponderação do dano (F_p)

Esse fator determinístico visa quantificar a importância relativa de um determinado dano, no que se refere às condições gerais de estética, funcionalidade e segurança dos elementos de uma família, tendo em vista as manifestações patológicas passíveis de serem neles detectadas.

Para cada manifestação patológica, e em função da família de elementos que apresenta um dano, foi estabelecido um grau em uma escala de 1 a 5.

2.7.2.2 Fator de ponderação intensidade do dano (F_i)

É o fator que classifica a gravidade e evolução de uma manifestação de dano em um determinado elemento, com base nas inspeções realizadas, segundo uma escala de 1 a 4, como mostra a Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Gravidade e evolução de uma manifestação em um elemento

Elementos sem lesões	$F_i = 0$
Elementos com lesões leves	$F_i = 1$
Elementos com lesões toleráveis	$F_i = 2$
Elementos com lesões graves	$F_i = 3$
Elementos em estado crítico	$F_i = 4$

2.7.2.3 Grau do dano (D) e graus de deterioração do elemento (G_{de}), de uma família de elementos (G_{df}) e da estrutura (G_d)

O grau de cada dano no elemento estrutural é calculado em função do fator de ponderação (F_p) e do respectivo fator de intensidade (F_i), conforme o Roteiro de Inspeção da Metodologia GDE/UnB.

A seguir, são apresentadas as fórmulas e tabelas necessárias para o cálculo do grau de dano (D), grau de deterioração do elemento (G_{de}), grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df}) e grau de deterioração da estrutura (G_d):

a) Grau do dano (D)

O grau do dano foi calculado a partir dos valores do fator de ponderação ($0 \leq F_p \leq 10$) e fator de intensidade ($0 \leq F_i \leq 4$) levando em consideração o modelo de evolução da corrosão de armadura proposto por Tuutti (1982).

Com a reformulação proposta por Fonseca (2007), o grau do dano (D) passou a ser em função de duas variáveis, o fator de ponderação ($0 \leq F_p \leq 5$) inerente a cada manifestação de dano e pré-estabelecido para a família, e o fator de intensidade do dano atribuído pelo profissional responsável pela inspeção estrutural ($0 \leq F_i \leq 4$).

$$D = 0,8F_i F_p \quad \text{Para } F_i \leq 2,0 \quad (2.1)$$

$$D = (12F_i - 28)F_p \quad \text{Para } F_i > 2,0 \quad (2.2)$$

b) Grau de deterioração de um elemento (G_{de})

$$G_{de} = D_{máx} \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^m D_i - D_{máx}}{\sum_{i=1}^m D_i} \right] \quad (2.3)$$

Através da Tabela 2.5, pode-se avaliar o nível de deterioração do elemento, e a partir dele, obtém-se os tipos de ações que devem ser adotadas.

Tabela 2.5 – Classificação dos níveis de deterioração do elemento.

Nível de deterioração	G_{de}	Ações a serem adotadas
Baixo	0 – 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 – 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máx. 2 anos).
Alto	50 – 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 1 ano).
Sofrível	80 – 100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio curto prazo (máx. 6 meses).
Crítico	> 100	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

A metodologia GDE/UnB, além de classificar o estado dos elementos, ainda define através da determinação do G_{de} , as ações a serem adotadas e o tempo máximo para se planejar intervenção nos elementos já classificados.

c) Grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df})

Para o cálculo do grau de deterioração de uma família de elementos é utilizada a Equação 2.4 (Fonseca, 2007), onde são considerados somente os elementos que apresentaram um nível de deterioração médio ou superior, ou seja, tomam-se como base apenas os elementos com $G_{de} \geq 15$, de acordo com a Tabela 2.5.

$$G_{df} = G_{demáx} \left[\sqrt{1 + \frac{\sum_{i=1}^m D_i - D_{máx}}{\sum_{i=1}^m D_i}} \right] \quad (2.4)$$

Portanto, quando em uma família de elementos forem verificados graus de deterioração $G_{de} < 15$ para todos os elementos, o grau de deterioração da família será $G_{de} = 0$, ou seja, não contribui para o cálculo do grau de deterioração da estrutura.

d) Fator de relevância estrutural (F_r)

O fator de relevância estrutural determina a importância que o elemento analisado possui para a estabilidade global da estrutura. Assim, elementos como pilares e vigas principais possuem fator de relevância superior a elementos de composição arquitetônica como descrito a seguir.

- Elementos de composição arquitetônica	$F_r = 1,0$
- Reservatório superior	$F_r = 2,0$
- Escadas/rampas, reservatório inferior, cortinas, lajes secundárias, juntas de dilatação.	$F_r = 3,0$
- Lajes, fundações, vigas secundárias, pilares secundários.	$F_r = 4,0$
- Vigas e pilares principais	$F_r = 5,0$

e) Grau de deterioração da estrutura (G_d)

$$G_d = \frac{\sum_{i=1}^K F_{r(i)} G_{df(i)}}{\sum F_{r(i)}} \quad (2.5)$$

Através da Fórmula 2.5 e Tabela 2.6 a seguir, pode-se avaliar o nível de deterioração da estrutura, e a partir dele, obtém-se os tipos de ações que devem ser adotadas, evidenciando os tipos de vistorias e os prazos de intervenção.

Tabela 2.6 – Classificação dos níveis de deterioração da estrutura.

Nível de deterioração	G_d	Ações a serem adotadas
Baixo	0 – 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 – 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máx. 2 anos).
Alto	50 – 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 1 ano).
Sofrível	80 – 100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio curto prazo (máx. 6 meses).
Crítico	> 100	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

Através do nível de deterioração da estrutura obtido na Equação 2.5, pode-se obter os tipos de ações que devem ser adotadas para a estrutura em análise, como prazos e natureza para inspeções e intervenções.

3 - O MONUMENTO A CAXIAS

3.1 HISTÓRICO

O Monumento a Caxias foi projetado por Oscar Niemeyer, com a finalidade de abrigar as autoridades militares nos atos de solenidades militares. A estrutura em concreto aparente foi idealizada em homenagem ao patrono do Exército Brasileiro, Luís Alves de Lima e Silva, o Duque de Caxias. O monumento se divide em duas partes: o palanque de solenidades, que possui o formato do copo da espada de Caxias, e o obelisco, logo a frente do palanque, que possui o formato da lâmina da espada. A estrutura pode ser vista na Figura 3.1 a seguir.



Figura 3.1 - Estrutura do Monumento a Caxias – Obelisco e o Palanque de Solenidades, ao fundo o QGEx. (Fonte: Autor)

A edificação possui 816 m² de área construída, com o início das obras em 03 de junho de 1969. No dia 18 de julho do mesmo ano, foram entregues pela firma Estacas Franki Ltda, as fundações do palanque de solenidades, que constavam de 94 tubulões no total, com diâmetros diferentes: 49 tubulões de Φ 400 mm, 29 tubulões de Φ 450 mm, 7 tubulões de Φ 700 mm e 9 tubulões de Φ 800 mm. Fotos da construção são apresentadas na Figura 3.2.

Em 06 de abril de 1970 já havia sido concluída a concretagem da casca do palanque que estava aguardando tempo necessário para iniciar a desforma da estrutura. Até então o rendimento obtido não correspondia ao prazo teórico pré-estabelecido devido exclusivamente à complexidade da obra e as dificuldades intrínsecas à sua própria execução que por sua natureza não permitiam que fosse impresso um ritmo mais intenso de trabalho.

Na primeira etapa da obra onde foi executada a plataforma foi seguido o prazo da obra, embora este fosse curto, já na etapa posterior isto não aconteceu, embora aparentemente o desenvolvimento das duas etapas de serviço fossem o mesmo para cada seção.

O Engenheiro Felix Vieira de Almeida, representante da empresa Kosmos Engenharia S.A., em carta enviada para a Comissão Especial de Obras (CEO), localizada na Pasta de Obras 143A, aponta as dificuldades encontradas durante as etapas da obra:

“... à medida que nos aproximávamos do trecho elíptico (seção 9 em diante) as dificuldades de execução aumentavam segundo uma progressão difícil de prever – fomos traídos em nosso otimismo ao supor que com a conclusão das formas estaríamos em condições de calcular o prazo pra conclusão da concretagem. Tal não sucedeu, e às dificuldades das formas, vieram a se juntar às de armação e até a concretagem, teve que ser executada segundo critérios excepcionais, exigidos pela segurança da obra.”(Felix Vieira de Almeida, 1970)

Tais observações eram pertinentes vista a complexidade da estrutura, e a partir deste fato a CEO atendeu ao pedido de prorrogação de prazo de conclusão das obras pela empresa responsável.

A seguir, a Figura 3.2 mostra a estrutura do Monumento a Caxias em fase de acabamento. Nas fotos é possível verificar os serviços de conclusão do palanque de solenidades e a construção do obelisco ao fundo.



a) Fachada norte do monumento – obelisco ao fundo.
b) Fachada sul do monumento – obelisco ao fundo.

Figura 3.2 - Monumento a Caxias em fase de acabamento (Fonte: Arquivos CRO-11).

Em 23 de novembro de 1972 foi dada a Ordem de Serviço para que a firma Ludiplás - Engenharia, Comércio e Impermeabilizações S.A. desse início aos serviços de impermeabilização do tipo “imperflex solução” da casca do palanque de solenidades militares, com garantia pelo prazo de 10 anos.

Por tratar-se de impermeabilização de superfície de dupla curvatura, foi necessário utilizar impermeabilização do tipo aplicação direta com acabamento na tonalidade próxima da cor do concreto.

A “imperflex solução” utilizada é um elastômero sintético à base de izobutileno-isopreno (butyl), para aplicação direta com ciclo de auto-vulcanização de seis horas. A aplicação foi feita em três etapas: inicialmente a aplicação do “primer” para imprimir as superfícies e aumentar a aderência ao “imperflex solução”; depois a aplicação do têxtil – B50, têxtil em algodão, e o plástico polietileno de 0,05 mm de espessura para a execução das juntas (trincas); e a aplicação do “brancap” que é uma solução a base de elastômeros sintéticos e pigmentos de alta resistência ao gás ozônio e as intempéries, foi utilizada para dar o acabamento da impermeabilização a tonalidade do concreto aparente.

De acordo com a Pasta de Obras 145, arquivos da CRO-11, os serviços contratados assim como as empresas vencedoras da concorrência com os respectivos valores dos serviços são mostrados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Discriminação dos serviços contratados para a construção do Monumento a Caxias (Fonte: Pasta de Obras 145, arquivos CRO-11).

Discriminação		Firma	Valores		
			Contratado e aplicado	Total (Cr\$)	Total (R\$)
Cercamento		Elite	251.198,60	320.928,35	154.734,89
		Elite	44.380,00		
		Ir. Gravia	25.349,75		
Arquibancadas		Enar	14.985,00	78.899,27	38.041,11
		Paviplan	26.864,27		
		Kosmos	37.050,00		
Palanque	Cálculo	Pedro Parga	15.000,00	2.468.069,08	1.189.973,99
	Fundações	Estacas Franki	108.163,25		
	Estrutura	Kosmos	1.214.288,05		
	Acabamento	Kosmos	160.291,28		
		Clay Mendes	807.192,00		
	Controle de recalque	Tecnosolo	24.332,60		
	Impermeabilização	Ludiplás Eng.	124.001,90		
	Obelisco	Carvan Postes	14.800,00		
TOTAL:			2.867.896,70	1.382.749,99	

***Cálculo de Atualização Monetária para simples verificação (dólar comercial em reais 2,319) Correção a partir de Março/1965 INPC atualizado até Agosto/2008**

Como pode ser visto na citação do Engenheiro Felix Vieira de Almeida, representante da empresa Kosmos Engenharia S.A., os trabalhos não se desenvolveram como estavam previstos no cronograma físico-financeiro, em virtude de diversas causas administrativas e técnicas, fazendo com que além de prolongar o tempo gasto nessa obra, os gastos também aumentassem, elevando o valor inicialmente contratado.

No período de 1969 a 1972, foi gasto na construção do Monumento a Caxias o Valor de Cr\$ 2.867.896,70 (R\$ 1.382.749,99), incluindo todos os serviços preliminares, cálculo estrutural, acabamentos e aditivos decorrentes de atrasos na obra, sendo que todos os trabalhos decorreram de concorrência pública.

Em 30 de março de 1972, as obras de construção, incluindo o obelisco, foram concluídas e entregues, com o termo de recebimento de obra expedido pela Comissão Especial de Obras (CEO), representando o Exército Brasileiro.

3.2 INTERVENÇÕES

Durante a pesquisa histórica realizada sobre o Monumento a Caxias foram constatadas duas intervenções realizadas na estrutura: a primeira foi realizada no ano de 1970, quando ocorreu a ruptura de um tubulão das fundações da estrutura, e outra no ano de 2003 quando foram atestados problemas na manta asfáltica responsável pela impermeabilização da cobertura do monumento.

3.2.1 Primeira intervenção

No primeiro semestre de 1970, quando se iniciava a retirada do escoramento metálico, notou-se que houve movimentação da estrutura. Logo em seguida, o escoramento foi recolocado e reapertado e procedeu-se uma inspeção das fundações do apoio central do monumento.

Segundo Veloso, Naegueli e Videira (Capítulo 9, Acidentes Estruturais na Construção Civil, 1998) foram constatadas que um tubulão do apoio central estava rompido, com um deslocamento relativo visível na direção horizontal. O deslocamento ocorrido na estrutura pode ser visto na Figura 3.3 a seguir.

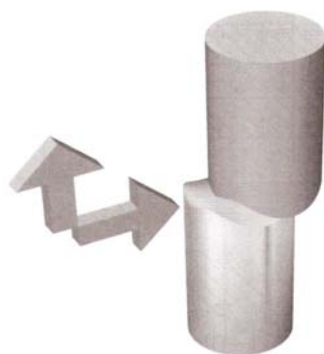


Figura 3.3 - Tubulão (não armado) rompido na direção transversal (Veloso, Naegueli e Videira; Capítulo 9, Acidentes Estruturais na Construção Civil, 1998).

O tipo de ruptura do tubulão indicava a ação de cargas na estrutura que não estavam previstas no projeto de fundações. A firma Estacas Franki, responsável pelo projeto de fundações e pela sua execução, solicitou ao Exército que fosse refeito o cálculo estrutural do monumento.

Na inspeção constatou-se que no apoio esquerdo a estrutura existia trincas simétricas no bloco de fundação. Foram encontradas quatro fendas na parte superior da casca, no sentido transversal, diversas fendas interligadas, sendo às mesmas com distâncias variadas.

Próximas ao apoio central foram constatadas duas fendas por baixo da casca, distantes 10 e 15 metros do referido apoio. Na tribuna também foram encontradas diversas fendas, sendo uma em diagonal de pequena dimensão no peitoril, outra no peitoril que ia pelo piso até o pilar central, e uma fenda a 30 cm do piso no sentido horizontal do peitoril da tribuna, conforme Figura 3.4 e 3.5, a seguir.

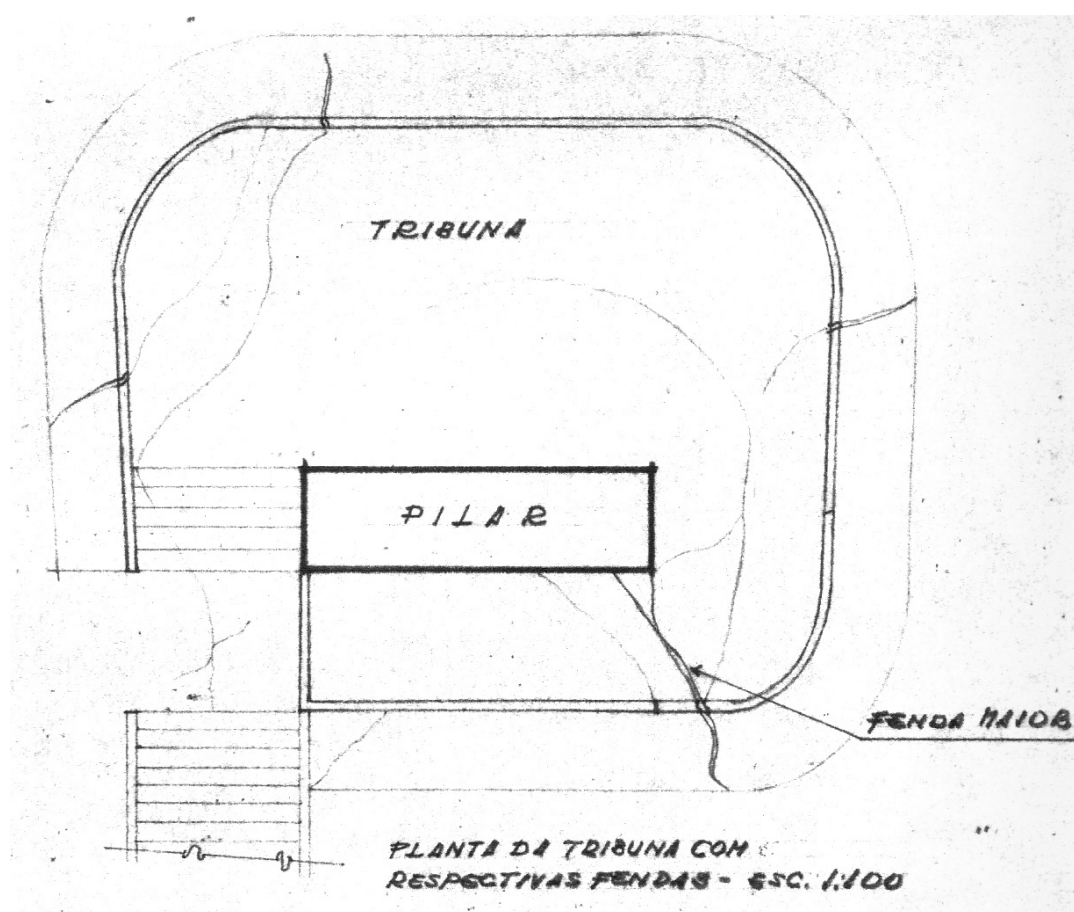


Figura 3. 4 – Vista superior da tribuna (Fonte: Pasta da Obra n° 1438, CRO-11, Brasília – 1974)

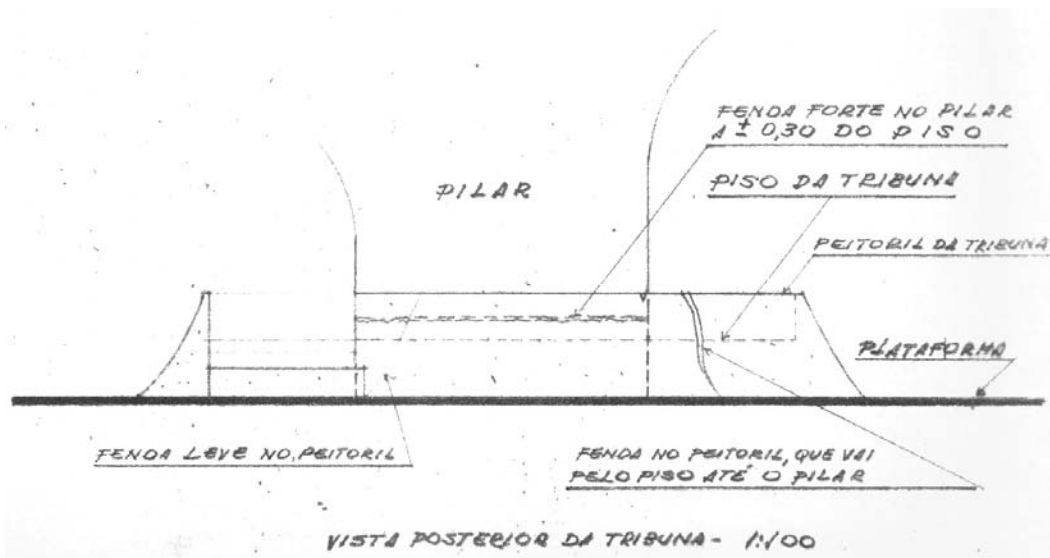


Figura 3. 5 – Vista posterior da coluna (Fonte: Pasta da Obra n° 1438, CRO-11, Brasília – 1974)

Ainda no apoio central, foram constatadas duas estacas trincadas na extremidade do bloco, Figura 3.6. Foi averiguado que na extremidade do apoio central, que existia abertura entre a laje e o bloco de aproximadamente 6 cm, no trecho pertencente à viga 14 que chegava ao pilar, este trecho estava esmagado. A viga 59 que também chegava ao mesmo pilar estava avariada apresentando três trincas a 45° a partir do bloco, Figura 3.7.

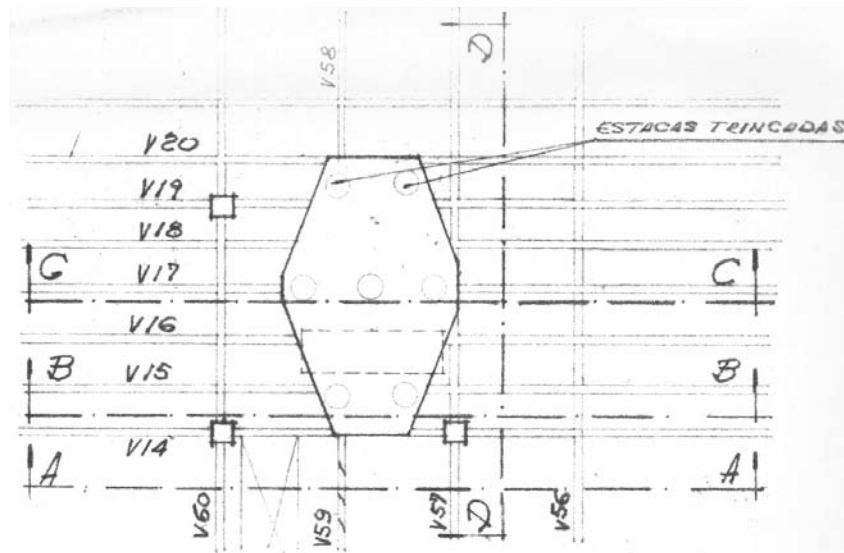


Figura 3. 6 – Vista superior do apoio central (Fonte: Pasta da Obra n° 1438, CRO-11, Brasília – 1974)

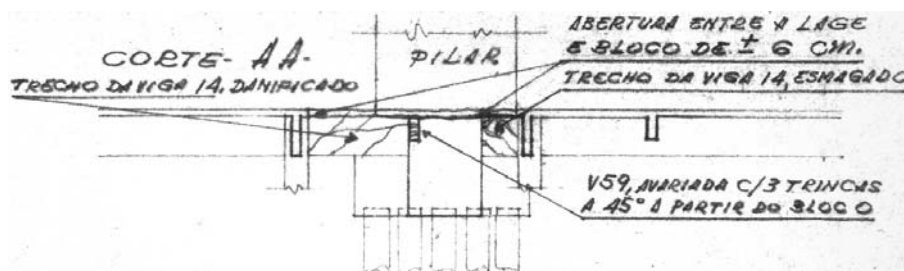


Figura 3. 7 – Corte A-A do apoio central (Fonte: Pasta da Obra n° 1438, CRO-11, Brasília – 1974)

Ao se aproximar do centro do apoio central, foi constatado uma abertura entre a laje e o bloco de aproximadamente 4 cm. A viga 15 que se apoiava no bloco também apresentava trechos danificados, Figura 3.8.

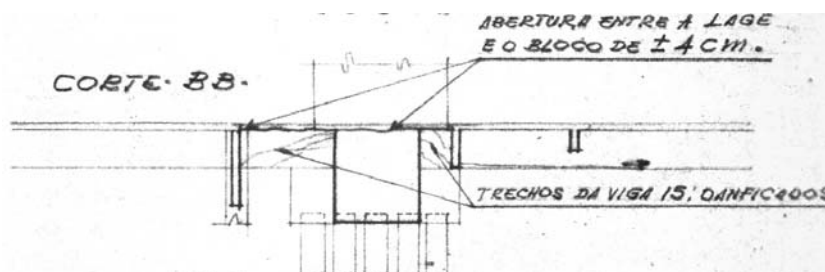


Figura 3. 8 – Corte B-B do apoio central (Fonte: Pasta da Obra n° 1438, CRO-11, Brasília – 1974)

Nos tubulões localizados em uma das extremidades do bloco foram encontradas trincas no início dos tubulões no sentido horizontal a primeira a 10 cm e a segunda a 50 cm do bloco, Figura 3.9.

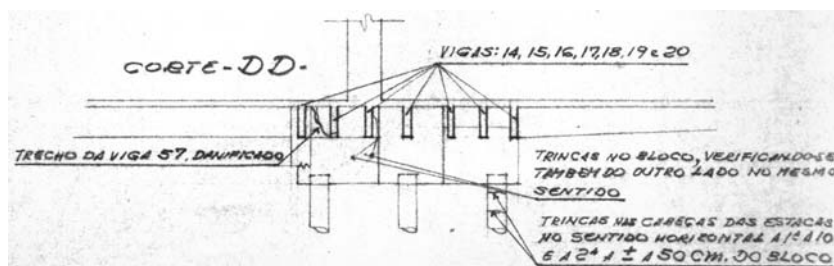


Figura 3. 9 – Corte D-D do apoio central (Fonte: Pasta da Obra n° 1438, CRO-11, Brasília – 1974)

A partir daí, o Instituto Militar de Engenharia (IME), representando o Exército Brasileiro, solicitou novo cálculo estrutural do monumento à COPPE (Coordenação dos Programas de

Pós-graduação de Engenharia), da Universidade Federal do Rio de Janeiro. O eminente professor Fernando Luiz Lobo Carneiro, juntamente com os professores Paulo Alcântara Gomes e Sergio Ferreira Villaça, realizaram um novo cálculo estrutural do monumento e obtiveram resultados mais desfavoráveis que do cálculo original, como mostrados na Tabela 3.2, a seguir.

Tabela 3.2 - Valores das solicitações nos apoios, comparando o cálculo original com o cálculo realizado pela COPPE (Fonte: Veloso, Naegueli e Videira; Capítulo 9, Acidentes Estruturais na Construção Civil, 1998).

Apoio	Cálculo	Reação (V) kN	Momento (M_L) kNm	Momento (M_T) kNm
A	Original	25.000	-	-
	COPPE	35.270	148.600	3.530
B	Original	14.850	-	26.000
	COPPE	33.970	58.940	41.450
C	Original	6.650	-	-
	COPPE	7.790	53.500	38.140

De acordo com a Tabela 3.2 pode-se notar que os valores das reações verticais no cálculo da COPPE são muito superiores aos do cálculo original, chegando a mais do dobro no apoio B, mostrado na Figura 3.2. Nos apoios A e C, não foram levados em consideração os momentos fletores na direção longitudinal (M_L); no apoio B, onde o momento foi considerado, ele era apenas quase 63% do valor encontrado pelo novo cálculo.

Os novos cálculos das reações mostraram claramente que poderia ter ocorrido no monumento um notável colapso estrutural, caso o problema não tivesse sido constatado precocemente e não tivessem sido tomadas as providencias cabíveis. O Professor Lobo Carneiro, reuniu em um Parecer Técnico (Pasta da Obra n° 144, CRO-11) as razões determinantes e as recomendações que deveriam ser procedidas para sanar os problemas estruturais do Monumento a Caxias.

No dia 25 de agosto de 1970, a Comissão Especial de Obras, pela Ordem de Serviço n° 45/70, autorizou a firma Estacas Franki Ltda a dar início às obras de reforço das fundações do Palanque de Solenidade.

No apoio A, foram acrescentadas 16 tubulões de Φ 900 mm, com base alargada de Φ 2700 mm; no apoio B, acrescentadas 14 tubulões de Φ 900 mm, com base alargada de Φ 2700 mm; e no apoio C, 16 tubulões de Φ 700 mm, com base alargada de Φ 2200 mm. A Figura 3.10 mostra a planta das fundações de reforço, em relação às originais.

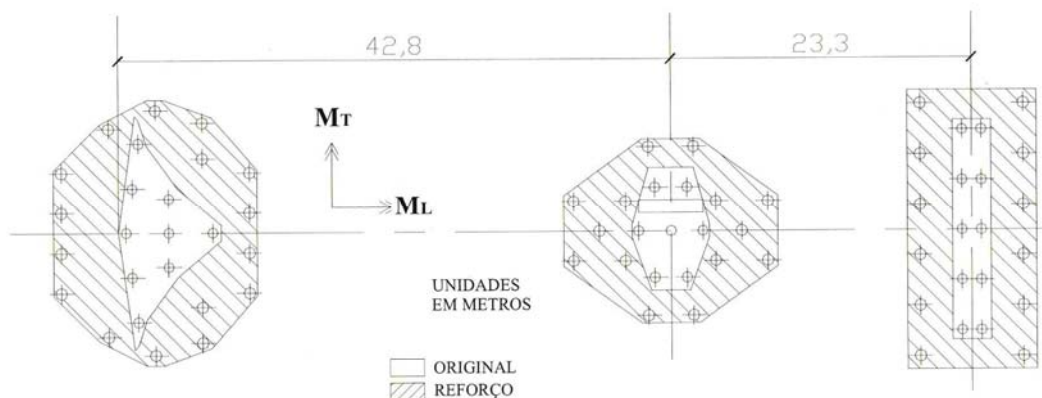
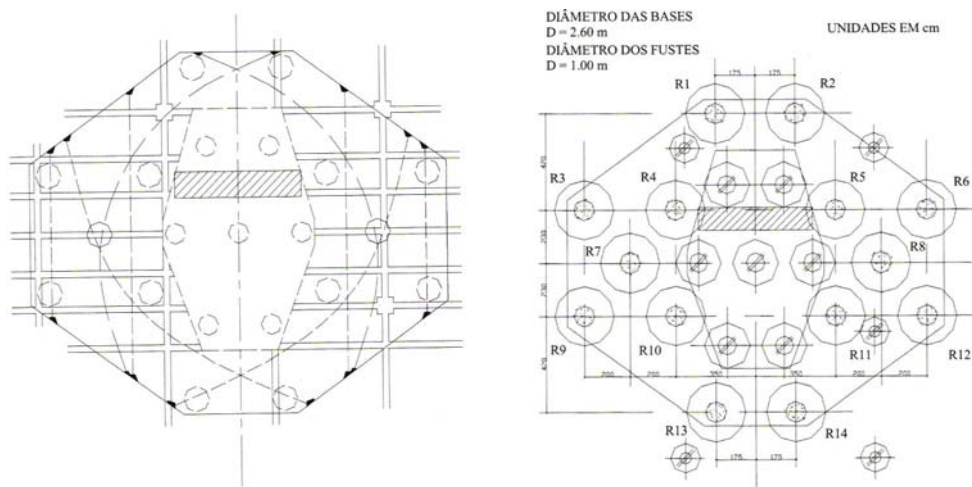


Figura 3.10 - Planta do conjunto das fundações originais e reforço (Fonte: Veloso, Naegueli e Videira; Capítulo 9, Acidentes Estruturais na Construção Civil, 1998).

As fundações foram dimensionadas para uma pressão admissível do solo de 0,6 MPa. A fim de melhorar a aderência entre os blocos de reforço e o original, foi proposto um sistema misto de concreto armado e protendido, em que foram utilizados cabos de protensão dispostos em planos horizontais, conforme Figura 3.11 (a e b), pois, ao contrário do projeto original, a nova fundação foi dimensionada e armada para a solicitação de flexão composta.



a) Cabos de protensão no bloco reforçado. b) Novos tubulões no bloco reforçado.

Figura 3.11 - Blocos de fundação após reforço (Fonte: Veloso, Naegueli e Videira; Capítulo 9, Acidentes Estruturais na Construção Civil, 1998).

Os serviços de proteção realizado nas fundações da estrutura foram realizados pela empresa STUP – Sociedade Técnica para Utilização da Pré-tensão (Processos Fresyssinet) S.A. onde foram utilizadas as quantidades de material relacionadas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Quantidades de materiais utilizados na protensão do reforço das fundações do Monumento a Caxias (Fonte: Pasta de Obras 143ª – CRO 11 Arquivos).

Materiais	Quantidades
Aço duro Φ 7 mm	2.820 kg
Mola central 12 Φ 7 mm	56 kg
Bainha metálica Φ 5/8"	715m
Cone de ancoragem 12 Φ 7 mm	76 unid
Placa de ancoragem morta 12 Φ 7 mm	20 unid
Macacos tóricos Φ 35 mm	42 unid
Niple	58 unid
Registros	16 unid

A Tabela 3.4 mostra um quadro resumo sobre os detalhes do dimensionamento dos apoios a protensão. No apoio C foram dispensados os cabos de protensão uma vez que foi constatado que a relação entre a tensão média de compressão, devida a flexão, e a tensão normal a ser garantida na face do bloco existente, segundo o Parecer Técnico, era suficiente.

Tabela 3.4 - Quadro resumo referente à protensão dos apoios (Fonte: Pasta de Obras 143ª – CRO 11 Arquivos).

Apoios	Cabos	Cabos inferiores (und)	Cabos horizontais (und)	Tensão inicial (σ_0) em kg/cm²
Apoio A	12 Φ 7 mm – CP 125	14	12	11.000
Apoio B	12 Φ 7 mm – CP 125	-	16	11.000
Apoio C	-	-	-	-

Após o reforço das fundações, o escoramento foi retirado e os deslocamentos foram monitorados. A empresa Tecnosolo Engenharia e Tecnologia de Solos e Materiais S. A., realizou a instalação de dois marcos de referência (Bench Mark) e pinos para o controle dos recalques.

O marco de referência foi obtido com a execução de sondagem Φ 2” capaz de determinar a camada de grande resistência. Em seguida, por dentro do tubo de revestimento foi descido um tubo de Φ 1” com uma sapata especial; procedeu-se então a injeção de cimento para servir de apoio a esse tubo. Os citados marcos de referência totalizaram um consumo de 59,20 ml de cimento. Os pinos para controle de recalque foram locados não somente na região das fundações que sofreram reforço, mais também ao longo de toda a estrutura.

A equipe da COPPE-UFRJ monitorou o ensaio realizado e pelos dados obtidos foi concluído que os deslocamentos encontrados foram pequenos, podendo ser considerados desprezíveis.

3.2.2 Segunda intervenção

A segunda intervenção realizada na estrutura foi realizada a partir de 22 de outubro de 2003, através do ofício n° 276, onde a SGEx (Secretária Geral do Exército) solicitou a CRO-11 (Comissão Regional de Obras da 11° Região Militar) que fosse elaborado

relatório visando descrever o problema existente na superestrutura do Monumento a Caxias.

O relatório técnico nº10/2004 apresentado pela CRO-11 teve como objetivo descrever as verificações encontradas durante as inspeções e nos ensaios realizados no monumento, assim como concluir sobre as necessidades de realização de futuras intervenções para a correção dos problemas encontrados.

Durante as inspeções visuais foram constatados afloramentos de água com coloração amarronzada nas superfícies interior e exterior da superestrutura do monumento, como pode ser visto nos pontos indicados na Figura 3.12.

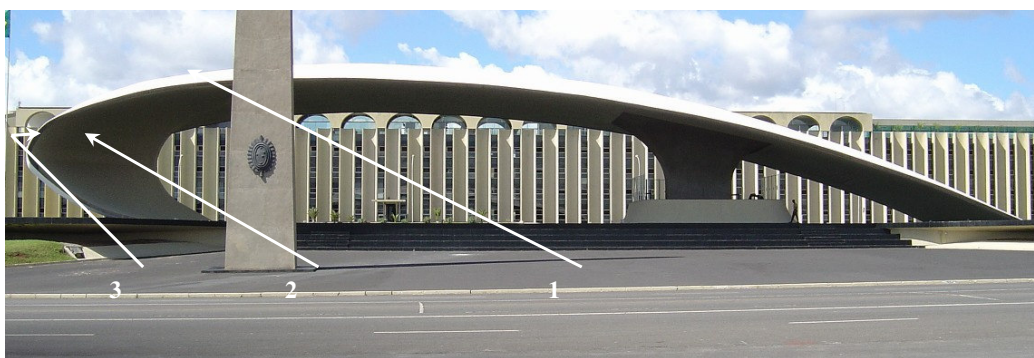


Figura 3.12 - Localização dos afloramentos nas superfícies interna e externa do monumento (Fonte: Relatório técnico nº10/2004 da CRO-11).

Pode-se verificar que cada ponto indicado na Figura 3.6 anterior, é mostrado na Figura 3.13 com detalhes dos afloramentos encontrados no relatório técnico nº10/2004 da CRO-11.



a) Afloramento na superfície interna – Ponto 1.
 b) Afloramento na superfície interna – Ponto 2.
 c) Afloramento na superfície externa – Ponto 3.

Figura 3.13 - Afloramentos na parte interna e externa do monumento (Fonte: Relatório técnico n°10/2004 da CRO-11).

Inicialmente, foram feitas algumas inspeções visuais na superfície externa do monumento. Esse procedimento mostrou a existência de diversas trincas conforme mostrado no esquema de localização dos pontos na Figura 3.14.

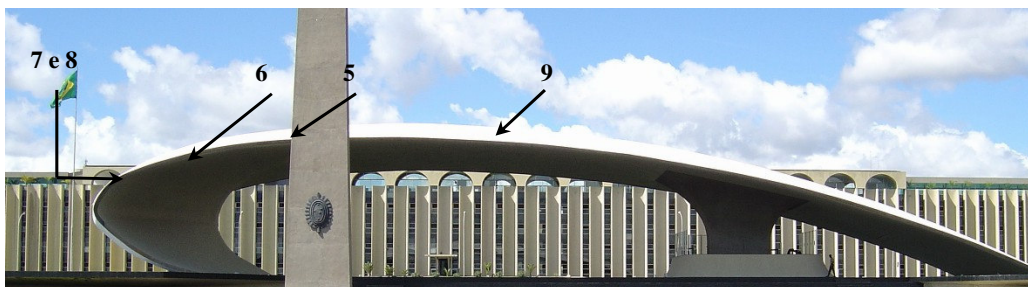
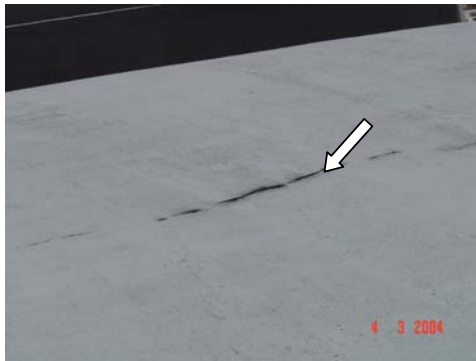


Figura 3.14 – Localização das trincas na superfície superior da estrutura (Fonte: Relatório técnico n°10/2004 da CRO-11).

As trincas encontradas na superfície externa do monumento podem ser vistas em detalhes nas ilustrações da Figura 3.15.



a) Trinca na superfície externa – Ponto 5. b) Trinca na superfície externa – Ponto 6.



c) Trincas na superfície externa – Ponto 7 d) Trincas na superfície externa – Ponto 8.

Figura 3.15 – Detalhe da localização das trincas na superfície externa e superior da estrutura (Fonte: Relatório técnico nº10/2004 da CRO-11).

Além dos afloramentos de água e trincas encontrados na superestrutura do monumento, também foi constatado a presença de vegetação brotando, Figura 3.16, de uma das trincas existentes, posição 9.



Figura 3.16 – Trinca na superfície externa do monumento com vegetação brotando (Fonte: Relatório técnico nº10/2004 da CRO-11).

A partir dos problemas encontrados, foram propostos e realizados ensaios para verificar o estado da estrutura. Foram feitos dois cortes retangulares na superfície externa do monumento atingindo a profundidade aproximada de 10 cm, exatamente nos pontos de afloramento de água existentes na extremidade norte do monumento, Figura 3.17.



Figura 3.17 - Cortes executados na superfície externa do monumento (Fonte: Relatório técnico n°10/2004 da CRO-11).

O procedimento realizado permitiu a verificação do atual estado no qual se encontrava o concreto e a armadura nos locais selecionados. A Figura 3.18, mostra em detalhes a situação encontrada.



- a) Corte 2 - A seta indica a água acumulada no local.
- b) Afloramento de água na interface entre a argamassa de revestimento e o concreto no corte 2.
- c) Barra de aço da armadura no corte 1.

Figura 3.18 – Detalhes do concreto durante a inspeção na superfície externa do monumento (Fonte: Relatório técnico n°10/2004 da CRO-11).

Posteriormente, foi executado um corte na superfície interna no local de afloramento de água na posição 2 indicado na Figura 3.19. Foi verificada no local a existência de um ninho de concretagem devido à grande densidade de armadura no local (barras de ferro sem espaçamento suficiente impedindo a passagem do concreto), conforme mostrado na Figura 3.19 (b). A armadura localizada foi inspecionada apenas visualmente.



a) Corte executado na superfície interna b) Nicho de concretagem e barras da armadura passiva

Figura 3.19 – Detalhes do concreto e armadura durante a inspeção na superfície interna do monumento (Fonte: Relatório técnico nº10/2004 da CRO-11).

A fim de verificar as condições de durabilidade da estrutura, foram feitos três cortes na argamassa de revestimento e no concreto das superfícies externa e interna, nas posições dos cortes mostradas na Figura 3.20.

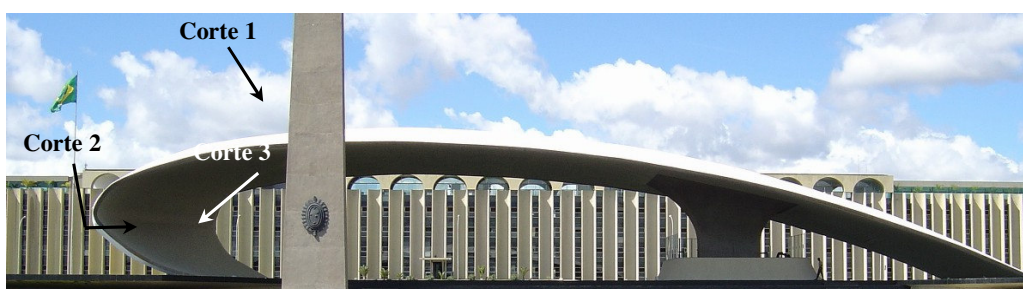


Figura 3.20 - Localização dos cortes onde foram realizados os ensaios (Fonte: Relatório técnico nº10/2004 da CRO-11).

Os cortes já executados tinham dimensões aproximadas de 15 cm por 20 cm, foram executados com talhadeira e podem ser observados na Figura 3.21.



a) Corte 1 - A seta indica trinca na estrutura. b) Corte 2 em execução. c) Esclerômetro utilizado na obtenção da resistência mecânica do concreto.

Figura 3.21 - Localização dos cortes onde foram realizados os ensaios (Fonte: Relatório técnico n°10/2004 da CRO-11).

Foram realizados ensaios “in loco” de dureza superficial do concreto, utilizando o método do esclerômetro de reflexão, e de profundidade de carbonatação, utilizando o reagente fenolftaleína, mostrados na Figura 3.22.



a) Esclerômetro em utilização no corte 1. b) Fenolftaleína utilizada no corte 1.



c) Fenolftaleína utilizada no corte 2. d) Fenolftaleína utilizada no corte 3.

Figura 3.22 – Ensaio de profundidade de carbonatação (Fonte: Relatório técnico n°10/2004 da CRO-11).

A inspeção e ensaios realizados mostraram que havia grande número de trincas na superfície externa da estrutura, atingindo a camada de impermeabilização formada por uma camada inferior de neoprene, aplicada sobre o revestimento, e uma superior de emulsão asfáltica, aplicada sobre a pintura de neoprene, a argamassa de revestimento e o concreto, conforme apresentado na Figura 3.23.



Figura 3.23 - Detalhe da camada de impermeabilização. A seta indica a pintura de neoprene (Fone: Relatório técnico nº10/2004 da CRO-11).

A percolação de água por dentro do concreto armado não causou danos à armadura. Há alguns pontos de ferrugem nas barras da armadura que, entretanto, ainda apresenta seções transversais de aço compatíveis com aquelas existentes à execução da obra.

O ensaio realizado com o auxílio do esclerômetro de reflexão permitiu estabelecer, através de correlações, os resultados de 36,4 MPa e 45,5 MPa para os valores mínimo e máximo, respectivamente, de resistência mecânica do concreto. Esses valores permitem concluir que o concreto ainda apresenta valores satisfatórios dessa característica. O ensaio realizado com a fenolftaleína permitiu verificar que as armaduras ainda se encontram protegidas da carbonatação pelo recobrimento de concreto. Isso evidencia a ausência de ataques dos agentes químicos da atmosfera.

Após a realização de inspeções e ensaios ficou explícito que a estrutura apresentava suas características de capacidade resistente, desempenho em serviço e durabilidade em níveis satisfatórios. Esses três grupos distintos foram avaliados através da Norma Brasileira NBR 6118:2003 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, em sua versão atualizada de 31 de março de 2004, sendo observados os requisitos de qualidade da estrutura. Entretanto, a percolação de água pela estrutura expunha seus constituintes a algum dos mecanismos de envelhecimento e deterioração citados na norma.

Considerando ainda a norma, é possível deduzir que as estruturas de concreto devem ser projetadas de modo que sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizados em projeto conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil. A durabilidade das estruturas de concreto requer cooperação e esforços coordenados de todos os envolvidos nos processos de projeto, construção e utilização.

Do acima exposto, e a fim de evitar o aumento de alguns dos tipos de agressão anteriormente citados, foi realizada intervenção na estrutura pela PMB (Prefeitura militar de Brasília) que substituiu a camada de impermeabilização existente e executou tratamento das trincas, conforme recomendado pelo relatório técnico da CRO-11.

3.2 A ESTRUTURA

Uma análise dos últimos 80 anos, mostra que o seguimento profissional voltado para a área de projetos em casca, tem ganhado grandes proporções, pois a estética tem sido a maior motivação para os projetos que podem ser identificados como uma nova forma de expressão de arte, denominada de arte estrutural, BILLINGTON (1985). Nesse sentido o Monumento a Caxias foi uma estrutura concebida em meio a esse novo modo de projetar, onde o arrojo estrutural é um dos seus principais atributos.

As estruturas com cobertura em cascas finas de concreto armado, como a do Monumento a Caxias, surgiram na década de 1920 como uma possibilidade de se cobrir grandes áreas com a redução, e até sem a necessidade, de pilares internos. No caso da estrutura em questão existem três apoios sendo um deles central.

Na fase de investigação dos documentos referentes a este trabalho, consegui-se ter acesso a parte das plantas e dos projetos do Monumento a Caxias, que se encontram em arquivos da CRO-11 no QGEx. Através destes projetos foi possível identificar a maioria dos elementos pertencentes à estrutura assim como entender seu comportamento estrutural.

As especificações contidas no projeto para a estrutura do monumento estão reproduzidas na Tabela 3.5. As cargas atuantes na estrutura que foram consideradas no projeto estrutural como sobrecargas, revestimentos, alvenarias, etc, não foram encontradas na pasta da obra.

Tabela 3.5 – Especificações de projeto para a estrutura do Monumento a Caxias (Pasta de Obras 143 A – CRO 11 Arquivos).

CONCRETO	AÇO	EXECUÇÃO
NB-1 / 1960 ARTIGO 8	NB-1 / 1960 ARTIGO 8	De acordo com as Normas Brasileiras
$\sigma_{c-28} \geq 230 \text{ kg/cm}^2$ (22,55 MPa)	CAT 50: $\sigma_e \geq 5000 \text{ kg/cm}^2$	

O Monumento a Caxias possui uma estrutura monolítica de concreto armado, que pode ser dividida em estrutura da casca, pilares de sustentação (apoios), plataforma, fundação e túnel de ligação com o bloco A do QGEx.

A solução estrutural adotada para a cobertura do monumento foi uma estrutura em casca formada por superfícies de dupla curvatura, onde a dimensão da sua espessura é muito menor que as outras dimensões, sendo que esta é ainda variável ao longo da casca. A geometria da casca é definida pela sua espessura que é variável ao longo do seu perfil longitudinal. As curvas ao longo do perfil, características da estrutura, são definidas por mais de uma equação, uma vez que existe a concordância de uma parte elíptica, localizada nas extremidades da estrutura e com outra parte circular, no vão central.

A estrutura em casca sustenta-se em três apoios, denominados de apoio A, apoio B e apoio C, como mostrado na Figura 3.24. Os apoios A e C estão distantes 66,10 metros e marcam o início e o fim da estrutura em casca dando continuidade ao seu formato. O apoio B é um pilar localizado a 23,30 metros do apoio C e possui superfície variável, sendo mais alargada na base e no seu topo e mais estreito na sua altura média.

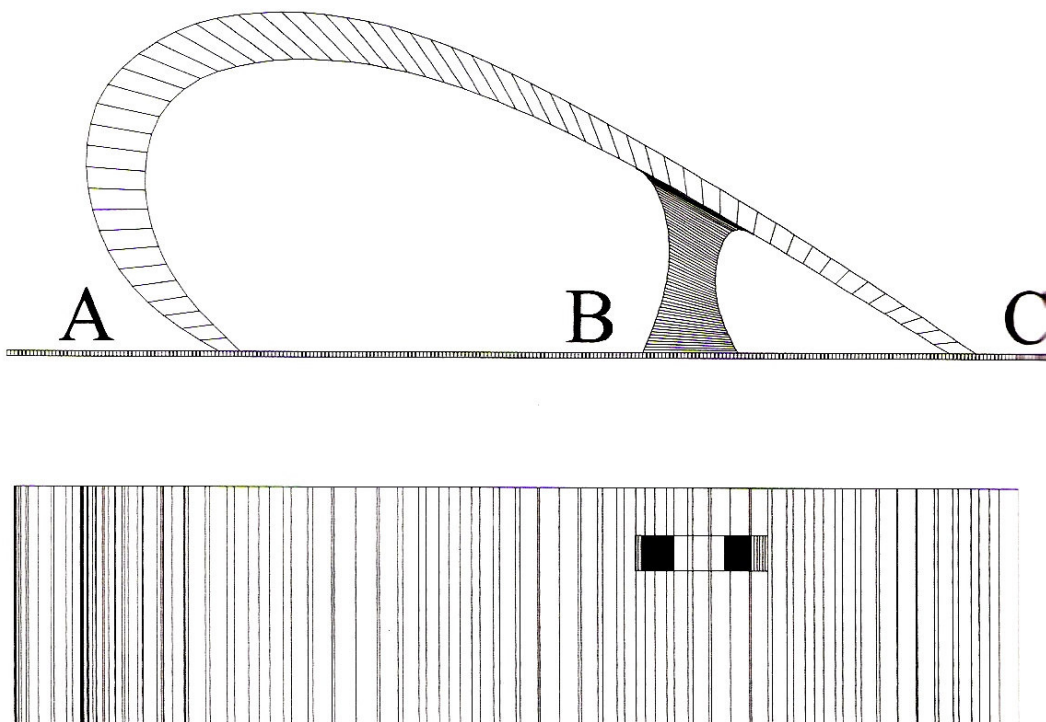


Figura 3.24 - Forma esquemática do monumento – planta e elevação (Capítulo 9, Acidentes Estruturais na Construção Civil, 1998).

A plataforma constituída por uma laje em concreto armado possui na parte frontal do monumento uma arquibancada também em concreto armado, caracterizando o acesso principal a estrutura.

As fundações do monumento são grandiosas evidenciadas a partir do reforço estrutural que sofreu na década de 70 após a ruptura do tubulão do apoio central (apoio B). Após a 1ª intervenção, caracterizada pelo reforço das fundações, foram inseridos 46 tubulões nos apoios A, B e C, perfazendo um total de 72 tubulões nos três apoios, e um total de 140 tubulões em distribuídos em toda a estrutura.

Os blocos de fundação possuem cabos de protensão dispostos em planos horizontais, com a finalidade de melhorar a aderência entre o bloco de reforço e o bloco original, como parte integrante do reforço realizado na 1ª intervenção sofrida pelas fundações do monumento.

O obelisco do Monumento a Caxias, que contém o mastro da bandeira consiste em um poste de concreto armado de seção circular, possuindo formato bi-cônico, com altura livre de 33 metros e altura total de 36 metros, e peso aproximado de 7600 kilogramas.

O túnel de ligação entre o monumento e o bloco A do QGEx é em concreto armado e possui escada de ligação ao lado do palanque.

4 - TEATRO PEDRO CALMON

4.1 - INTRODUÇÃO

O teatro Pedro Calmon está situado na Praça de Solenidades Militares, em frente ao Quartel General do Exército (QGEx), no Setor Militar Urbano (SMU), em Brasília. O monumento possui projeto arquitetônico de Oscar Niemeyer e cálculo estrutural da empresa Projectum Engenharia Ltda.

Com 5800 m² de área construída, o Teatro Pedro Calmon é utilizado para atividades culturais compatíveis com sua dimensão e vocação, notadamente instruções, encontros e seminários militares, além de dar espaço para espetáculos e encontros de âmbito nacional e internacional.

Por volta da década de 1980, a empresa responsável pelo projeto estrutural do auditório, Projectum Engenharia Ltda, foi incorporada a hoje conhecida como Promon Engenharia. A Projectum possuía excelente reputação técnica em estruturas, e trabalhava com cálculo estrutural nos projetos do arquiteto Oscar Niemeyer. Essa ligação permaneceu depois que a empresa foi incorporada à Promon, resultando em vários empreendimentos importantes, como o projeto e o gerenciamento da Passarela do Samba e dos Centros Integrados de Ensino Profissional – CIEPs, no Rio de Janeiro, e do Memorial da América Latina, em São Paulo.

As obras de construção do Teatro Pedro Calmon foram executadas pela firma CONIC (Cia de Construção Indústria e Comércio), hoje sucedida pela empresa CONIC Construções e Incorporações Ltda, possuía na época uma de suas sedes em Brasília.

4.2 – HISTÓRICO DA CONSTRUÇÃO

O Teatro Pedro Calmon é uma construção com estrutura em concreto armado aparente que representa com suas formas uma barraca de acampamento, muito utilizada pelos militares em treinamento, missões, atividades de natureza operacional ou em momentos de combate. A estrutura está localizada ao lado do Monumento a Caxias e possui capacidade no auditório para 1300 pessoas sentadas, circuito fechado de televisão e cinema.

No saguão do auditório, há uma Exposição Permanente de peças do Exército Brasileiro (ExPerEx), Figura 4.1, onde são apresentadas um acervo com materiais militares entre eles peças e uniformes históricos, e painéis fotográficos sobre a história do Exército Brasileiro, os quais proporcionam uma visão ampla do passado, do presente e uma projeção do futuro das Forças Armadas, esta se encontra sempre aberta para visitação.



Figura 4.1 - Exposição Permanente do Exército no saguão do Teatro Pedro Calmon (Fonte: Autor).

As obras da estrutura do Teatro Pedro Calmon, que também já foi conhecido pelo nome de Auditório do Ministério do Exército, na época em que o Exército ainda constituía um ministério, deu-se início em 21 de dezembro de 1972 quando foi expedida a Ordem de Serviço nº 137/72 (Pasta de Obra nº 525), dando validade ao contrato de construção da edificação.

Sendo assim, de acordo com os termos do contrato, em 22 de dezembro de 1972 foi contratada a firma SEEBLA (Serviços de Engenharia Emílio Baumgart Ltda), para consultoria na revisão de cálculo estrutural.

Com isso, foram levantadas algumas divergências entre a SEEBLA, empresa que prestava consultoria a empresa CONIC, e a Projectum, empresa que realizou o cálculo estrutural do auditório.

Após a resolução das divergências encontradas no projeto estrutural do auditório, citadas a seguir no sub-item 4.4.2, deu-se o início as obras de construção, que em 10 de março de 1976 foram dadas como concluídas.

4.3 – A ARQUITETURA

A estrutura do Teatro Pedro Calmon é marcante, tanto pela grandiosidade da construção, como pelas formas arquitetônicas que ela apresenta. Isso se dá principalmente pela composição da estrutura externa, que é constituída por dez pórticos com formas arquitetônicas lineares e outras arqueadas, com variações na altura dos elementos estruturais.

Os pórticos partem da fachada norte da estrutura uns próximos aos outros e chega à fachada sul mais afastados, aspecto que atribui beleza a construção. Sua estrutura foi toda construída em concreto armado, sendo de concreto aparente externamente e em grande parte do seu interior.

Durante a pesquisa histórica, foram encontradas cópias de alguns desenhos manuscritos que, segundo o arquivista da CRO-11 Senhor José Wilson, seriam de autoria do Arquiteto Oscar Niemeyer. Infelizmente, não foi possível precisar o autor dos desenhos encontrados na Pasta de Obras N° 526, pois não contava a assinatura do autor, uns destes se encontram na Figura 4.2.

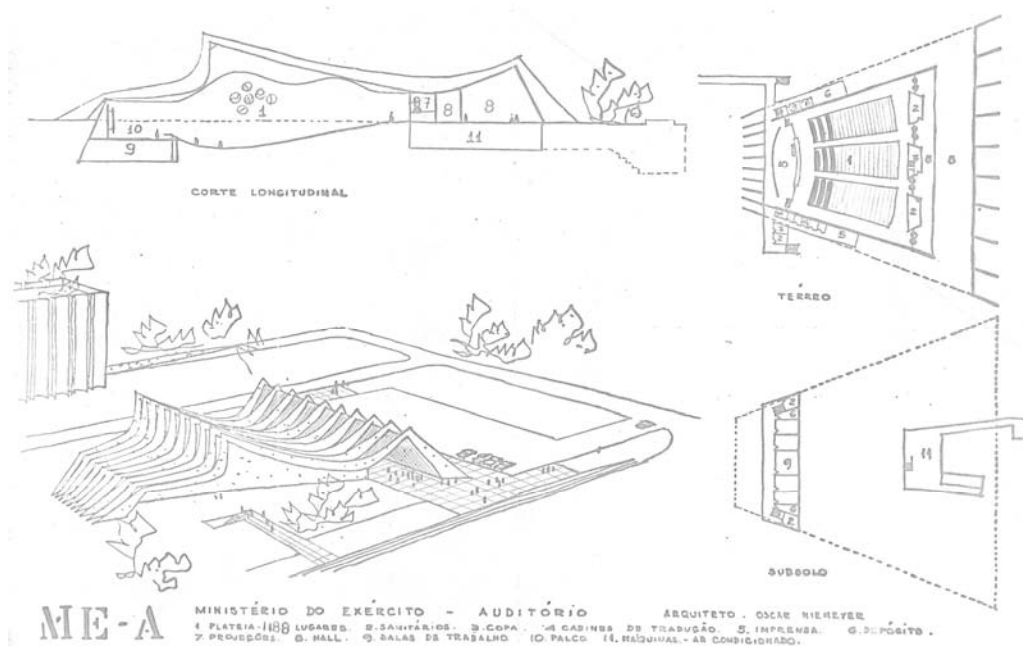


Figura 4.2 - Teatro Pedro Calmon – Rascunhos de desenhos (Fonte: Arquivos CRO-11 – Pasta da Obra N°526).

Outro dado relevante sobre o auditório são os consumos de concreto e de ferro que chegaram a cerca de 5000 m³ e 500 ton, respectivamente. Fotos externas e internas, do Teatro Pedro Calmon quando estavam sendo realizadas às etapas de acabamento podem ser vistas na Figura 4.3, 4.4 e 4.5, a seguir.



Figura 4.3 - Teatro Pedro Calmon em fase de acabamento – vista da fachada sul (Fonte: Arquivos CRO-11 – Pasta da Obra N°525).



Figura 4.4 - Teatro Pedro Calmon em fase de acabamento – vista da fachada norte (Arquivos CRO-11 – Pasta da Obra N°525).



Figura 4.5 - Teatro Pedro Calmon em fase de acabamento (Fonte: Arquivos CRO-11 – Pasta da Obra N°525).

As esquadrias presentes nas instalações são diversificadas, utilizando madeira revestida de fórmica nos banheiros, metal e vidro (temperado e cristal, fumê de espessura 10 mm). A laje de cobertura foi impermeabilizada durante a fase de construção. No decorrer das obras foram realizados os projetos de instalações especiais em hidráulica, sanitária, elétrica, de som, projetores e ar condicionado.

O auditório foi construído em um pavimento térreo e subsolo, com 5800 m² de área construída e 4524 m² de área coberta. As instalações possuem acesso principal para o público e duas saídas de emergência. Possui também salão de conferências para 1188 pessoas, contando ainda com sanitários, sala de projeções, sala para imprensa, quatro cabines de tradução simultânea em até cinco idiomas, sanitários privativos para a imprensa, seis salas para trabalhos de assessorias e comissões, com instalações sanitárias próprias, depósitos e casa de máquinas. Na Figura 4.6 e mostrada a platéia e palco do auditório.



Figura 4.6 - Platéia e palco do Teatro Pedro Calmon (Fonte: Autor).

O Teatro Pedro Calmon abriga obras de arte, como os painéis de concreto de Athos Bulcão, Figura 4.7, arte que muito contribui para “realçar” o concreto aparente e o embelezamento da platéia do auditório.



Figura 4.7 - Painéis de concreto do Teatro Pedro Calmon (Fonte: Autor).

Para a concretagem da estrutura foram utilizadas fôrmas de madeira na forma de tábuas, estas podem ser observadas em toda a estrutura através da falta de uniformidade dos elementos estruturais.



Figura 4.8 - Formato dado pelas fôrmas de madeira (Fonte: Autor).

A construção teve custo total de Cr\$ 9.052.431,00 (R\$ 2.396.891,21), estes valores são referentes às diversas etapas da obra que são descritas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Preços detalhados do cronograma físico-financeiro – concorrência 04/72
(Arquivos CRO-11 – Pasta da Obra N°773).

Discriminação	Valores	
	Total (Cr\$)	Total (R\$)
Canteiro e instalações provisórias	440.000,00	116.502,64
Fundações	760.000,00	201.231,84
Escavações	115.000,00	30.449,55
Blocos e cintas	120.000,00	31.773,45
Estrutura	840.000,00	222.414,14
Laje do piso armada	210.000,00	55.603,53
Escoramento da cobertura	450.000,00	119.150,43
Laje da cobertura	660.000,00	174.753,96
Vigas da cobertura	850.000,00	225.061,92
Canaletas do ar condicionado	110.000,00	29.125,66
Suportes para alvenaria	110.000,00	29.125,66
Impermeabilização das cortinas e reaterro	150.000,00	39.716,81
Alvenaria, chapisco e reboco	80.000,00	21.182,30
Reboco e forro de gesso/ tapetes nas paredes	100.000,00	26.477,87
Forro de ipê encerado	280.000,00	74.138,05
Impermeabilização da cobertura	180.000,00	47.660,17
Tapetes no piso	335.000,00	88.700,88
Oxiret de mármore de pisos	200.000,00	52.955,75
Divisória de mármore e mármore nas paredes	65.000,00	17.210,62
Instalações elétricas	750.000,00	198.584,05
Colocações de luminárias	120.000,00	31.773,45
Instalações hidráulicas e louças	300.000,00	79.433,62
Instalações de CO2	150.000,00	39.716,81
Instalações de ar condicionado	880.000,00	233.005,29
Divisórias de madeira	110.000,00	29.125,66
Esquadrias de ferro	203.000,00	53.750,08
Vidros de blindex	203.000,00	53.750,08
Portas de madeira	70.000,00	18.534,51
Bolhas das cabines	72.000,00	19.064,07
Bancas de mármore e madeira, espelhos e sancas	36.000,00	9.532,03
Painéis decorativos e pinturas	80.000,00	21.182,30
Limpeza da obra	23.431,00	6.204,03
	9.052.431,00	2.396.891,21

*Cálculo de Atualização Monetária para simples verificação (dólar comercial em reais 2,319)
Correção a partir de Março/1965
INPC atualizado até Agosto/2008

As paredes da edificação foram erguidas com dois tipos de materiais, dependendo de sua localização: em tijolos furados, para as áreas externas de fechamento, e divisórias de fórmica branca semi-fosca, em ambientes internos.

Todas as superfícies das paredes externas que não foram impermeabilizadas receberam pintura, inclusive com aplicação de um hidro-repelente do tipo silicone. A Figura 4.9 abaixo mostra a situação atual da estrutura do Teatro Pedro Calmon, vista do bloco A do QGEx



Figura 4.9 - Estrutura do Teatro Pedro Calmon

4.4 – A ESTRUTURA

4.4.1 – O projeto original

A estrutura do Teatro Pedro Calmon é formada por dez pórticos de estrutura linear plana, constituída por barras inclinadas e curvas ligadas entre si. A estrutura divide-se em térreo e subsolo.

No pavimento térreo localizam-se o auditório propriamente dito, com a área para o palco e platéia, constituindo a maior parte do monumento. O piso do palco é constituído por uma laje de concreto armado, o mesmo ocorrendo com o piso da platéia, executado com concreto de resistência 150 kg/cm^2 (15MPa).

O pavimento inferior, no subsolo da estrutura, ocupa uma pequena área que abriga a casa de máquinas, ar condicionado, depósitos e áreas de vivência. O subsolo possui acessos ao exterior do auditório através de dois túneis.

No projeto do auditório não foi considerado o efeito do vento, pois conforme explicado pela empresa Projectum, na carta nº 105/73 (pasta de obras nº 525), as dimensões da estrutura e a existência de elementos estruturais de grandes dimensões garantem a transmissão das ações às fundações, sendo as solicitações decorrentes do vento desprezíveis.

Na mesma carta, é explicitado que não foram consideradas cargas horizontais atuando nos tubulões, tendo em vista que a estrutura é enterrada e que não há componente horizontal relevante das forças que atuam em toda a estrutura. Por outro lado, existe em toda a extensão da obra uma laje de concreto armado de 15 cm de espessura, que permite o equilíbrio das forças horizontais.

Segundo a Projectum, o dimensionamento dos tubulões partiu da dimensão mínima compatível com o processo de execução: diâmetro de 80 cm. Para as cargas atuantes nos tubulões, não haveria, teoricamente, necessidade de armação. Mesmo assim foi adotada uma armação mínima de 0,5% da área da seção transversal do tubulão, até a base, tendo em vista que, em geral, a qualidade do concreto na parte inferior do tubulão poderia não ser de boa qualidade, em função dos processos de lançamento empregados na época da construção.

A utilização de armação mínima em toda a extensão do tubulão atende as especificações atuais recomendadas pela NBR 6122: 1996: Projeto e execução de fundações, que recomenda o uso de camisa metálica na peça, que deve ser armada em todo o comprimento, inclusive a base, com taxa não inferior a 0,5% da seção do elemento de fundação.

Todos os tubulões foram armados, no seu topo, em duas direções, por blocos, paredes ou cintas, com capacidade para absorver momentos oriundos de eventuais erros de locação do tubulão, da ordem de 7 a 8 cm. A armação existente também tem como função impedir a fissuração do topo do tubulão.

De acordo com a mesma carta, os pilares P42, P43, P44 e P45 têm seção transversal 30x70 cm² e uma taxa de armadura longitudinal da ordem de 1,5%, absorvendo uma força normal de 244 ton (2440kN).

4.4.1.1 – Materiais

A SILTEC (Sociedade Civil de Estudos Geotécnicos) foi à empresa responsável pela sondagem a percussão do solo para a construção do auditório. Foram realizados sete furos de sondagem a percussão sem circulação de água, com o tubo de guia de 63,5 mm de diâmetro nominal sendo perfurados um total de 201,20 m.

Durante a execução dos serviços, segundo o relatório n°593 da SILTEC (pasta de obras n° 526), foi observada a resistência oferecida pelo terreno à penetração de um barrilete amostrador padrão, com diâmetros, interno e externo, de respectivamente, 35,6 mm e 50,8 mm.

O cimento utilizado nas obras do Teatro Pedro Calmon foi fornecido pela empresa Cimento Tocantins S/A.

Para a construção, foram necessárias as quantidades de materiais abaixo indicadas para a confecção dos elementos que compõem a estrutura:

- 2630 m³ de volume de concreto, com tensão resistente 180 kgf/cm² (18 MPa), destinado aos elementos estruturais da superestrutura;
- 1700 m³ de volume de concreto, com tensão resistente 150 kgf/cm² (15 MPa), destinado aos blocos, tubulões, canaletas e laje armada de piso;
- 220 m³ de volume de concreto magro (1:3:6), que consiste em uma camada de 10 cm em toda a extensão da obra;
- 400.000 kg de aço CAT 50 ($\sigma_e \geq 5000 \text{ kgf/cm}^2 = 500\text{MPa}$);

Foram realizados ensaios de controle de resistência do concreto, para cada volume de concretagem de 20 m³ ou fração. Foi adotado o controle de nível rigoroso, conforme NB-1/1960, norma vigente da época.

As fôrmas utilizadas para a moldagem da estrutura em concreto aparente foram confeccionadas em tábuas de pinho com dimensões de 2,50 x 30,50 cm², 2,50 x 15,50 cm² e 2,50 x 23 cm², aplicadas em quantidades iguais de forma alternada. Todas as juntas entre as tábuas das fôrmas, tanto no sentido horizontal como no vertical, foram vedadas com ripas de madeira, para evitar perdas de concreto durante a execução. As lajes de concreto da cobertura foram impermeabilizadas com o material “imperflex solução” (izoedtileno-izopreno), em oito demãos. Sobre as oito demãos, foram feitos acabamentos, com a aplicação de duas demãos de “brancap” na tonalidade do concreto aparente, todos de acordo com as recomendações do fabricante. A impermeabilização da cobertura recebeu da construtora um certificado de garantia válido por dez anos.

As cortinas e galerias foram impermeabilizadas com emulsão hidro-asfáltica com camada de “vidrasfalt”, com 2,5 kg de emulsão por metro quadrado, sobre a imprimação. A cisterna do auditório também foi impermeabilizada com Sika-1, conforme recomendações do fabricante datados da época da construção.

A estrutura apóia-se sobre fundação superficial com sapatas de concreto armado, composta por 97 sapatas isoladas e associadas, de diferentes dimensões.

A estrutura é formada por elementos estruturais moldados *in loco* e outros pré-moldados, com o emprego de juntas do tipo “*compriband*” e “*Fungenband*”, Figura 4.10. A junta do tipo “*compriband*” é auto-aderente pela sua natureza esponjosa e elástica; segundo informações do *site* na Internet do fabricante, tem garantia de eficiência de 20 anos. A junta do tipo “*Fungenband*”, também conhecida como “Mata Junta”, é constituída por perfis de PVC de alta densidade, formulados para apresentar as características exigidas de flexibilidade e durabilidade.



a) Junta do tipo “*Compriband*” - b) Junta do tipo “*Fungenband*” -
<http://www.geocities.com/fmendes.geo/compriband.html> – dia 03/03/08 às 20:00 hs. http://www.diprotec.com.br/nossas_linhas_juntas.htm - dia 03/03/08 às 20:00 hs.

Figura 4.10 - Juntas do tipo “*Compriband*” e “*fungenband*” usadas na construção do Teatro Pedro Calmon (Fonte: Indicada).

4.4.2 – Modificações na estrutura

No ano de 1973, foram introduzidas modificações no projeto estrutural do Teatro Pedro Calmon pela Comissão de Obras, após o início da construção.

Segundo a carta nº 434/73 (pasta de obras nº 525) da empresa Projectum Engenharia Ltda, por exigência da Comissão de Obras, as bases dos tubulões foram aumentadas de modo a transmitir ao terreno uma pressão inferior ou no máximo igual a 5 kgf/cm². Inicialmente, a empresa Projectum havia projetado as fundações para uma taxa de 8 kgf/cm², considerada admissível para o tipo de solo indicado na sondagem, já que esta taxa já havia sido adotada pela empresa em outras obras em Brasília, com sondagens muito semelhantes a do auditório, sem a ocorrência de problemas.

De acordo com a mesma carta, foram introduzidos quatro novos pilares sob os quadros V3, V4, V7 e V8, atendendo à sugestão do engenheiro Jermann, consultor da empresa SEEBLA Serviços de Engenharia Emílio Baumgart, contratada pela construtora CONIC (Cia da Construção Indústria e Comércio), para prestar consultoria na revisão do cálculo estrutural.

Conforme a carta nº 042/73 (pasta de obras nº 525) do engenheiro José de Moura Villas Boas, diretor da Projectum, para o Ministério do Exército foram aceitas as sugestões do consultor da SEEBLA, nos seguintes termos:

“A meu ver, não há qualquer inconveniente para a estrutura, com a criação de novos pilares sob o nó 5 dos quadros V3, V4, V7, V8, conforme a sugestão do Dr. Jermann. Gostaria de salientar, entretanto, que não considero esses pilares necessários para a estabilidade da obra, porém concordo que a determinação das condições de deformação da estrutura fica mais simples e clara, com a criação desses pilares. Caso os Arquitetos da obra estejam de acordo com a inclusão desses pilares – que ficariam em paredes de banheiros – não temos nenhuma objeção fazer.” (José de Moura Villas Boas, 1973, p.1)

A empresa Projectum julgou mais prática a introdução dos pilares, pois não tinham expressão econômica em relação ao todo da obra, sem estender uma discussão que se poderia prolongar por muito tempo.

A partir deste consenso, a empresa Projectum projetou os novos pilares com dimensões mínimas da seção transversal e taxa relativamente elevada de armação (3%). Atendendo a sugestão do engenheiro Jermann, foram aumentadas as dimensões da seção até um valor que não exigisse um detalhe especial na ligação com o quadro e reduzindo a taxa de armação do pilar para 1,5%. O consultor sugeriu o aumento na seção do pilar ou uma demonstração de que o pilar, com as dimensões projetadas, seria capaz de absorver as rotações do nó do quadro e os momentos introduzidos por variações de temperatura.

Tendo em vista que as modificações acabariam comprometendo o prazo da obra, a Projectum decidiu por fazer as demonstrações solicitadas e não modificar os pilares, conforme as cartas nº 105/73 e 140/73 (pasta de obras nº 525), que apresentam o memorial de cálculos que demonstram a viabilidade dos pilares calculados pela empresa Projectum Engenharia Ltda.

Com a interferência realizada entre os blocos dos novos pilares sob os quadros V4 e V7, foi necessário modificar as canaletas do ar condicionado que por ali passavam e os níveis desses blocos. Além disso, devido a uma modificação no projeto do ar condicionado, foi necessário fazer diversas outras modificações nas canaletas e em furos de paredes de concreto e na estrutura suporte das paredes de alvenaria, junto aos quadros V2 e V9.

No nó dos quadros, houve aumento na força de reação na base 1, causada pelas flechas da casca, o que só havia sido verificado após a entrega dos desenhos para o Ministério do Exército, fato que obrigou o aumento das bases desses tubulões.

Com as mudanças foram introduzidas algumas juntas de movimento, para previsão de eventual recalque do terreno nas galerias subterrâneas, e substituídas algumas juntas do tipo “*Compriband*” por outras do tipo “*Fungenband*”, mais adequadas ao padrão de acabamento da obra.

Houve modificações no túnel de ligação com o antigo Ministério do Exército, uma vez que o levantamento realizado indicou que a altura de terra sobre o túnel era maior do que se admitia inicialmente no projeto (75 cm).

A empresa Tecnosolo apresentou recomendações para que fosse aumentado o diâmetro dos fustes dos tubulões com carga de 300 tf, de 80 cm para 85 cm, e que também fossem feitas pequenas modificações nas cotas de fundação.

Após as modificações mencionadas, não foram constatadas outras no Teatro Pedro Calmon, no que se refere a intervenções realizadas em sua estrutura. Pelo que consta nos arquivos acessados, foram realizadas poucas intervenções nas instalações em todos esses anos. Entre estas, pode-se citar a aplicação de manta de impermeabilização nas lajes da cobertura, pintura anual da estrutura com tinta na cor de concreto. Atualmente, foi feita uma passarela de ligação entre a Avenida do Exército até as escadas que dão acesso ao túnel do auditório, como mostrado na Figura 4.11.



Figura 4.11 - Passarela de ligação da Avenida do Exército e o túnel do Teatro Pedro Calmon (Fonte: Autor).

5 - AVALIAÇÃO DAS ESTRUTURAS COM A APLICAÇÃO DA METODOLOGIA GDE/UnB

5.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo descrever as condições atuais do Monumento a Caxias e Teatro Pedro Calmon, considerando os conceitos de vida útil referidos na NBR 6118:2003, assim como a aplicação da Metodologia GDE/UnB para avaliação quantitativa da deterioração de estruturas de concreto armado, na versão modificada por Fonseca (2007).

Por meio da aplicação da Metodologia GDE/UnB, serão realizadas a identificação dos danos e da deterioração e a análise de eventuais fenômenos progressivos instalados nos elementos estruturais.

5.2 AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA DO MONUMENTO A CAXIAS

5.2.1 – Identificação da estrutura

Para a análise da estrutura do Monumento a Caxias e seguindo as orientações do roteiro de inspeção para estruturas de concreto armado da Metodologia GDE/UnB (Fonseca, 2007, modificado), será feita a identificação da estrutura, tomando como base as considerações da ficha descritiva da edificação, do referido roteiro.

- 1) Nome: Monumento a Caxias.
- 2) Localização: Avenida do Exército, em frente ao Quartel General do Exército (QGEx), na Praça Duque de Caxias, no Setor Militar Urbano (SMU), Brasília – DF.
- 3) Área construída aproximada: 816 m².
- 4) Idade: 36 anos (conclusão das obras em março de 1972).
- 5) Número de pavimentos: 1 (um)
- 6) Sistema construtivo: Casca em concreto armado aparente moldado *in loco*.

7) Classes de agressividade ambiental / condições de exposição (Tabela 6.1 da NBR 6118:2003): Classe de agressividade ambiental II (ver item 5.2.2, abaixo).

8) Observações:

- Umidade relativa do ar, variando anualmente, de 40% a 80%.

- A estrutura possui um túnel de ligação com outra estrutura.

- A construção possui cobertura em forma de casca de concreto impermeabilizada.

- A estrutura já teve suas fundações reforçadas.

9) Data das inspeções: 01 de novembro de 2007, 10 de março de 2008, 28 de março de 2008 e 08 de agosto de 2008.

5.2.2 – Aplicação da Metodologia GDE/UnB.

Para a presente avaliação, será considerada a estrutura do Monumento a Caxias como um todo, ou seja, sem subdivisões, uma vez que a estrutura é totalmente aberta e exposta ao meio ambiente, não havendo, portanto, definição efetiva de estruturas interna e externa. O tipo de agressividade que atua sobre a estrutura, como foi mostrado na descrição da estrutura, é classificada como II, como segue na Tabela 5.1.

Tabela 5. 1 – Classificação da agressividade do Monumento a Caxias.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para cada efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno

O grau de agressividade do ambiente é de grande importância para a especificação dos projetos, pois a partir dele deve-se estabelecer o cobrimento mínimo das peças estruturais, fator importante para a proteção das armaduras a agentes externos.

Outro fator importante são os valores de cobrimento mínimos e da resistência do concreto estabelecidos pela NBR 6118:2003, apresentados na Tabela 5.2 e fazendo uma comparação com os valores constantes nas especificações de projeto no Monumento a Caxias.

Tabela 5.2 – Resistência do concreto e cobrimento (NBR 6118:2003) em relação às especificações de projeto do Monumento a Caxias.

Elementos	NBR 6118:2003		Especificações do Monumento a Caxias			
	Qualidade do concreto		Cobrimento	Qualidade do concreto		Cobrimento
	Relação a/c	Resistência		Relação a/c	Resistência	
Lajes	≤ 0,60	≥ 25 MPa	25 mm	0,54	22,55 MPa (Projeto) e entre 36,4 e 45,5 MPa (estimativa a partir de ensaios)	10 mm
Vigas			30 mm			10 mm
Pilares			30 mm			15 mm

É importante notar a grande diferença nos valores adotados no projeto para o cobrimento mínimos do concreto, muito inferiores aos exigidos pela versão atual da norma.

5.2.2.1 – Fator de ponderação (F_p).

Seguindo o roteiro de inspeção da Metodologia GDE/UnB (Fonseca, 2007), as tabelas prescritas para cada família de elementos da estrutura do Monumento a Caxias são apresentadas na Tabela 5.3, com os danos possíveis e respectivos fatores de ponderação.

Tabela 5.3 – Família de elementos do Monumento a Caxias, danos e fatores de ponderação.

Pilares	
Danos	F_p
Carbonatação	3
Cobrimento deficiente	3
Contaminação por cloretos	4
Corrosão de armaduras	5
Desagregação	3
Desplacamento	3
Desvio de geometria	4
Eflorescência	2
Falhas de concretagem	3
Fissuras	2
Manchas	3
Recalque	5
Sinais de esmagamento	5
Umidade na base	3

Cortinas	
Danos	F_p
Carbonatação	3
Cobrimento deficiente	3
Contaminação por cloretos	4
Corrosão de armaduras	5
Desagregação	3
Deslocamento por empuxo	5
Desplacamento	3
Desvio de geometria	3
Eflorescência	2
Falhas de concretagem	2
Fissuras	2
Manchas	3
Sinais de esmagamento	4
Umidade	3

Vigas	
Danos	F_p
Carbonatação	3
Cobrimento deficiente	3
Contaminação por cloretos	4
Corrosão de armaduras	5
Desagregação	3
Desplacamento	3
Eflorescência	2
Fissuras	2
Falhas de concretagem	2
Flechas	5
Manchas	3
Sinais de Esmagamento	4
Umidade	3

Escadas	
Danos	F_p
Carbonatação	3
Cobrimento deficiente	3
Contaminação por cloretos	4
Corrosão de armaduras	5
Desagregação	3
Desplacamento	3
Eflorescência	2
Falhas de concretagem	2
Fissuras	2
Flechas	5
Manchas	3
Sinais de esmagamento	4
Umidade	3

Casca	
Danos	F_p
Carbonatação	3
Cobrimento deficiente	3
Contaminação por cloretos	3
Corrosão de armaduras	5
Desagregação	3
Desplacamento	3
Eflorescência	2
Falhas de concretagem	2
Fissuras	2
Flechas	5
Manchas	3
Umidade	3

Laje (pisos)	
Danos	F_p
Carbonatação	3
Cobrimento deficiente	3
Contaminação por cloretos	3
Corrosão de armaduras	5
Desagregação	3
Desplacamento	3
Eflorescência	2
Falhas de concretagem	2
Fissuras	2
Flechas	5
Manchas	3
Umidade	3

5.2.2.2 – Fator de intensidade (F_i).

A Figura 5.1 exemplifica os valores do F_i atribuídos nas vistorias para alguns elementos que compõem a estrutura do Monumento a Caxias. As imagens foram obtidas durante as vistorias realizadas na estrutura, seguindo as indicações do roteiro de inspeção.



a) Laje de cobertura – Vão norte.
Cobrimento deficiente - $F_i = 2$

b) Laje do piso – Vão sul.
Eflorescência - $F_i = 3$ Fissuras - $F_i = 1$



c) Laje do piso – Vão norte.
Cobrimento deficiente - $F_i = 2$
Corrosão - $F_i = 2$

d) Escada de acesso – fachada norte.
Deslocamento - $F_i = 2$ Umidade - $F_i = 1$

Figura 5.1 – Fator de intensidade, F_i , para alguns elementos da estrutura do Monumento a Caxias.

As Tabelas 5.4, 5.5 e 5.6 a seguir são exemplos dos resultados obtidos nas inspeções realizadas em elementos de famílias diferentes: pilar, viga e laje. No Apêndice A, seguem as tabelas para os elementos avaliados.

Tabela 5.4 – Modelo de planilha utilizada para avaliação das vigas.


Nome do elemento:		V1				Data da vistoria: 1/11/2007
Local:		Viga do piso - Fachada sul				Realizada por: Lyssya Silva
Danos	F _p	F _i	D	Croquis / Observações	Fotos	
Cabonatação	3			<p>As vigas do piso do Monumento a Caxias são de difícil visualização, pois encontram-se na parte inferior da estrutura.</p> <p>A viga em questão localiza-se na fachada sul da estrutura onde a laje sofreu desabamento.</p>		
Cobrimento deficiente	3	1	3			
Contaminação por cloretos	4					
Corrosão de armaduras	5	2	10			
Desagregação	3					
Deslocamento	3					
Eflorescência	2					
Fissuras (2 a 5)	2	1	2			
Falhas de concretagem	2	1	2			
Flechas	5					
Manchas	3	2	6			
Sinais de Esmagamento	4					
Umidade	3	1	3			
Grau de deterioração do elemento Gde =					16,2	
					Gde 15 - 50: Nível de Deterioração MÉDIO	

Tabela 5.5 – Modelo de planilha utilizada para avaliação das escadas.




Nome do elemento:		E 03 - Fachada norte				Data da vistoria:	10/3/2008
Local:		Escada				Realizada por:	Lyssya Silva
Danos	F _p	F _i	F _d	D	Croquis / Observações	Fotos	
Carbonatação	3				 <p>Escada de acesso da fachada norte.</p>		
Cobrimento deficiente	3	1		2,4			
Contaminação por cloretos	4						
Corrosão de armaduras	5						
Desagregação	3	3		7,2			
Desplacamento	3	2		4,8			
Eflorescência	2	1		1,6			
Falhas de concretagem	2	1		1,6			
Fissuras	2						
Flechas	5						
Manchas	3	2		4,8			
Sinais de esmagamento	4						
Umidade	3	1		2,4			
Grau de deterioração do elemento Gde =				12,3	Gde 0 - 15: Nível de Deterioração BAIXO		

Tabela 5.6 – Modelo de planilha utilizada para avaliação das lajes.

Nome do elemento:	L4				Data da vistoria: 28/3/2008
	Laje Plataforma Sul				
Local:	F _p	F _i	F _d	Croquis / Observações	Fotos
Danos					
Carbonatação	3				
Cobrimento deficiente	3				
Contaminação por cloretos	3				
Corrosão de armaduras	5	1	4		
Desagregação	3				
Desplacamento	3	4	60		
Eflorescência	2	3	16		
Falhas de concretagem	2				
Fissuras (2 a 5)	2	1	1,6		
Flechas	5				
Manchas	3	2	4,8		
Umidade	3	2	4,8		
Grau de deterioração do elemento Gde = 80,5					Gde 80 - 100 : Nível de Deterioração SOFRIVEL

5.3.2.3 – Grau de deterioração das famílias de elementos (G_{df}).

Os resultados dos graus de deterioração das famílias de elementos do Monumento a Caxias, calculados com a Equação 2.3, apresentada no Capítulo 2, são mostrados na Figura 5.2.

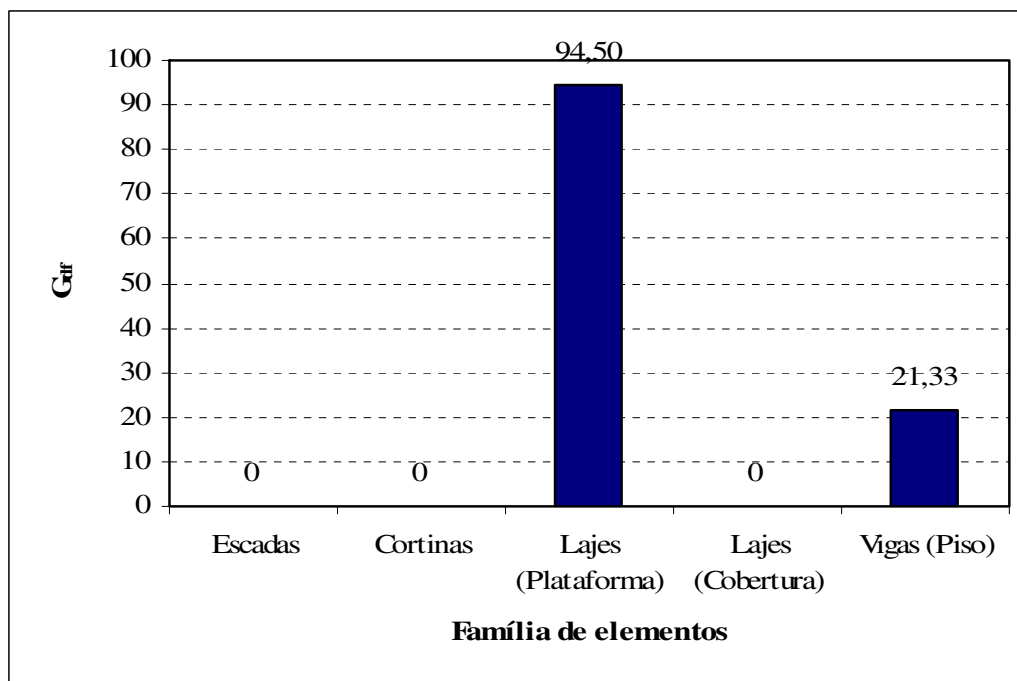


Figura 5.2 – Grau de deterioração das famílias de elementos do Monumento a Caxias.

As famílias de escadas, cortinas e lajes de cobertura, apresentaram valores do grau de deterioração baixos, caracterizados por $G_{df} < 15$. Na família das escadas, pouco se pode quantificar, pois elas se encontram revestidas com mármore. Na família das lajes da plataforma, o grau de deterioração foi classificado como “sofável”, com valor do G_{df} entre 80 e 100. Os fatores que contribuíram para esse fato foram umidade e o deslocamento e a eflorescência do concreto, com índices elevados.

5.2.2.4 – Grau de deterioração global da estrutura (G_d).

Com os dados do grau de deterioração das famílias de elementos (G_{df}) e adotando os fatores de relevância para cada famílias da estrutura do Monumento a Caxias, aplica-se

a Equação 2.5, apresentada no Capítulo 2, para obter o grau de deterioração global da estrutura (G_d), como pode ser visto na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Determinação do grau de deterioração global da estrutura do Monumento a Caxias.

Família de elementos	G_{df}	F_r	$Fr \times G_{df}$	G_d
Escadas	0	3	0	27,58
Cortinas	0	3	0	
Lajes (Plataforma)	94,50	5	472,50	
Lajes (Cobertura)	0	5	0	
Vigas (Piso)	21,33	5	106,67	
	$\Sigma =$	21	579,16	

O grau de deterioração global da estrutura, G_d , igual a 27,58, corresponde ao nível de deterioração médio, Tabela 5.8, o que indica que a estrutura necessita de novas inspeções, recomendadas para um prazo de, no máximo, 2 anos, a fim de verificar se os danos encontrados nos elementos se agravaram.

Tabela 5.8 – Nível de deterioração da estrutura do Monumento a Caxias.

Nível de deterioração	G_d	Ações a serem adotadas
Médio	15 - 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máx. 2 anos).

5.3 AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA DO TEATRO PEDRO CALMON

5.3.1 – Identificação da estrutura

Assim como a estrutura do Monumento a Caxias, o Teatro Pedro Calmon também será avaliado utilizando a metodologia *GDE/UnB* para estruturas de concreto armado, na sua versão modificada por Fonseca (2007), seguindo as orientações do roteiro de inspeção.

- 1) Nome: Teatro Pedro Calmon.
- 2) Localização: Avenida do Exército, em frente o Quartel General do Exército (QGEx), na Praça Duque de Caxias, no Setor Militar Urbano (SMU), Brasília – DF.
- 3) Área construída aproximada: 5800 m².
- 4) Idade: 32 anos (conclusão das obras em março de 1976).
- 5) Número de pavimentos: 2 (dois)
- 6) Sistemas construtivo: Pórtico em concreto armado aparente moldado *in loco*.
- 7) Classes de agressividade ambiental / condições de exposição (Tabela 6.1 da NBR 6118:2003): Classe de agressividade ambiental II.
- 8) Observações:
 - Umidade relativa do ar, variando anualmente, e 40% a 80%.
 - A estrutura possui dois acessos externos que levam ao subsolo.
 - A construção possui cobertura impermeabilizada.
- 9) Data das inspeções: 02 de novembro de 2007, 11 de março de 2008, 29 de março de 2008 e 09 de agosto de 2008.

5.3.2 – Aplicação da Metodologia *GDE/UnB*.

Na avaliação, será levada em consideração a estrutura do Teatro Pedro Calmon como um todo, sem subdivisões, apesar de existir distinção entre as estruturas interna e externa, com a parte interna formada, em sua maioria, por divisórias. A classe de agressividade da estrutura do Teatro Pedro Calmon é a mesma do Monumento a Caxias, como foi mostrado na descrição da estrutura, e classificada como II, como segue na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Classificação da agressividade do Teatro Pedro Calmon

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para cada efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno

Os valores de cobertura mínimos e resistência do concreto estabelecidos pela NBR 6118:2003, com uma comparação com os valores verificados nas especificações de projeto no Teatro Pedro Calmon, são apresentados na Tabela 5.10.

Tabela 5. 10 – Resistência do concreto e cobertura (NBR 6118:2003) em relação às especificações de projeto do Teatro Pedro Calmon.

Elementos	NBR 6118:2003			Especificações do Teatro Pedro Calmon		
	Qualidade do concreto		Cobrimento	Qualidade do concreto		Cobrimento
	Relação a/c	Resistência		Relação a/c	Resistência	
Lajes	≤ 0,60	≥ 25 MPa	25 mm	Não obtido	17,65 MPa (projeto), e 22,55 MPa (Ensaio a compressão aos 28 dias)	10 mm
Vigas			30 mm			10 mm
Pilares			30 mm			15 mm

5.3.2.1 – Fator de ponderação (F_p).

Assim como no Monumento a Caxias, também no Teatro Pedro Calmon foi seguido o roteiro de inspeção da Metodologia GDE/UnB (Fonseca, 2007). As tabelas adotadas para cada família de elementos, com os danos possíveis e respectivos fatores de ponderação assumidos para esta estrutura são apresentadas na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 – Família de elementos do Teatro Pedro Calmon, danos e fatores de ponderação.

Pilares	
Danos	F_p
<i>Carbonatação</i>	3
<i>Cobrimento deficiente</i>	3
<i>Contaminação por cloretos</i>	4
<i>Corrosão de armaduras</i>	5
<i>Desagregação</i>	3
<i>Desplacamento</i>	3
<i>Desvio de geometria</i>	4
<i>Eflorescência</i>	2
<i>Falhas de concretagem</i>	3
<i>Fissuras</i>	2
<i>Manchas</i>	3
<i>Recalque</i>	5
<i>Sinais de esmagamento</i>	5
<i>Umidade na base</i>	3

Cortinas	
Danos	F_p
<i>Carbonatação</i>	3
<i>Cobrimento deficiente</i>	3
<i>Contaminação por cloretos</i>	4
<i>Corrosão de armaduras</i>	5
<i>Desagregação</i>	3
<i>Deslocamento por empuxo</i>	5
<i>Desplacamento</i>	3
<i>Desvio de geometria</i>	3
<i>Eflorescência</i>	2
<i>Falhas de concretagem</i>	2
<i>Fissuras</i>	2
<i>Manchas</i>	3
<i>Sinais de esmagamento</i>	4
<i>Umidade</i>	3

Vigas	
Danos	F_p
<i>Carbonatação</i>	3
<i>Cobrimento deficiente</i>	3
<i>Contaminação por cloretos</i>	4
<i>Corrosão de armaduras</i>	5
<i>Desagregação</i>	3
<i>Desplacamento</i>	3
<i>Eflorescência</i>	2
<i>Fissuras</i>	2
<i>Falhas de concretagem</i>	2
<i>Flechas</i>	5
<i>Manchas</i>	3
<i>Sinais de Esmagamento</i>	4
<i>Umidade</i>	3

Escadas	
Danos	F_p
<i>Carbonatação</i>	3
<i>Cobrimento deficiente</i>	3
<i>Contaminação por cloretos</i>	4
<i>Corrosão de armaduras</i>	5
<i>Desagregação</i>	3
<i>Desplacamento</i>	3
<i>Eflorescência</i>	2
<i>Falhas de concretagem</i>	2
<i>Fissuras</i>	2
<i>Flechas</i>	5
<i>Manchas</i>	3
<i>Sinais de esmagamento</i>	4
<i>Umidade</i>	3

Lajes	
Danos	F_p
<i>Carbonatação</i>	3
<i>Cobrimento deficiente</i>	3
<i>Contaminação por cloretos</i>	3
<i>Corrosão de armaduras</i>	5
<i>Desagregação</i>	3
<i>Desplacamento</i>	3
<i>Eflorescência</i>	2
<i>Falhas de concretagem</i>	2
<i>Fissuras</i>	2
<i>Flechas</i>	5
<i>Manchas</i>	3
<i>Umidade</i>	3

5.3.2.2 – Fator de intensidade (F_i).

A aplicação da Metodologia GDE/UnB para atribuir os valores do F_i para alguns elementos que compõem a estrutura do Teatro Pedro Calmon é exemplificada na Figura 5.3.

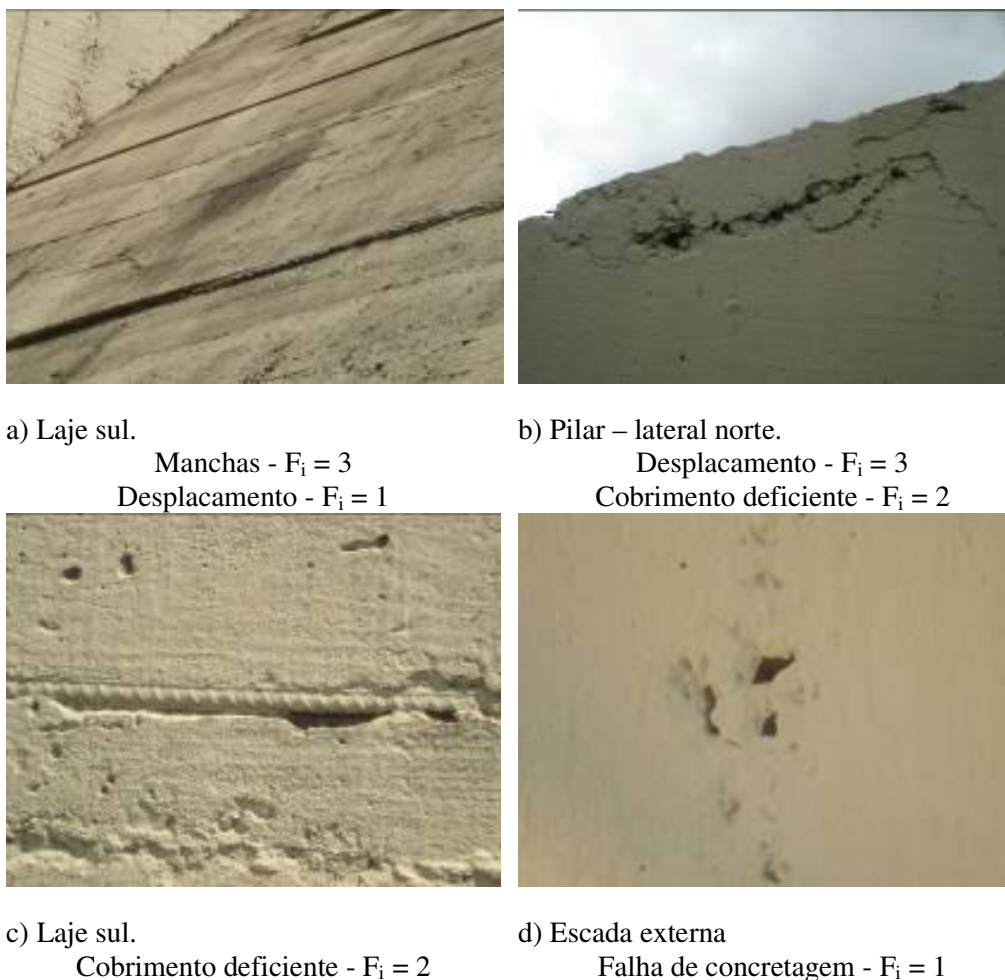


Figura 5.3 – Fator de intensidade, F_i , para alguns elementos da estrutura do Teatro Pedro Calmon.

As Tabelas 5.12, 5.13 e 5.14 a seguir são exemplos dos resultados obtidos nas inspeções realizadas em elementos de famílias diferentes: pilar, viga e laje. No Apêndice B, seguem as tabelas para os elementos avaliados.

Tabela 5.12 – Modelo de planilha utilizada para avaliação dos pilares.

Nome do elemento:	P15				Data da vistoria: 2/11/2007	Realizada por: Lyssya Silva
	Pilar da Lateral Norte					
Local:	F _p	F _i	F _d	Croquis / Observações	Fotos	
Danos						
Carbonatação	3					
Cobrimento deficiente	3	2	4,8			
Contaminação por cloretos	4					
Corrosão de armaduras	5					
Desagregação	3					
Desplacamento	3	3	24			
Desvio de geometria	4					
Eflorescência	2					
Falhas de concretagem	3	1	2,4			
Fissuras (2 a 5)	2	1	1,6			
Manchas	3					
Recalque	5					
Sinais de esmagamento	5					
Umidade na base	3					
Grau de deterioração do elemento Gde =				30,4	Gde 15 - 50: Nível de Deterioração MÉDIO	

Tabela 5.13 – Modelo de planilha utilizada para avaliação das vigas.




Nome do elemento:	V9				Data da vistoria: 11/3/2008	Realizada por: Lyssya Silva
	Viga Superior					
Local:	F _p	F _i	F _d	D	Croquis / Observações	Fotos
Danos						
Cabonatação	3					
Cobrimento deficiente	3	2		4,8		
Contaminação por cloretos	4					
Corrosão de armaduras	5					
Desagregação	3					
Desplacamento	3	3		24		
Eflorescência	2					
Fissuras (2 a 5)	2	2		3,2		
Falhas de concretagem	2	1		1,6		
Flechas	5					
Manchas	3					
Sinais de Esmagamento	4					
Umidade	3					
Grau de deterioração do elemento Gde = 30,9					Gde 15 - 50: Nível de Deterioração MÉDIO	

Tabela 5.14 – Modelo de planilha utilizada para avaliação das lajes.

Nome do elemento: Local:	L8 Laje da Lateral Sul				Data da vistoria: Realizada por:	Fotos
	F _p	F _i	F _l	D		
Danos						
Carbonatação	3					
Cobrimento deficiente	3	2		4,8		
Contaminação por cloretos	3					
Corrosão de armaduras	5					
Desagregação	3					
Desplacamento	3	2		4,8		
Eflorescência	2					
Falhas de concretagem	2	1		1,6		
Fissuras (2 a 5)	2					
Flechas	5					
Manchas	3	3		24		
Umidade	3					
Grau de deterioração do elemento Gde =				31,6	Gde 15 - 50 : Nível de Deterioração MÉDIO	

5.3.2.3 – Grau de deterioração das famílias de elementos (G_{df}).

A Figura 5.4 apresenta os resultados obtidos para os graus de deterioração das famílias de elementos da estrutura do Teatro Pedro Calmon, calculados pela Equação 2.3, apresentada no Capítulo 2.

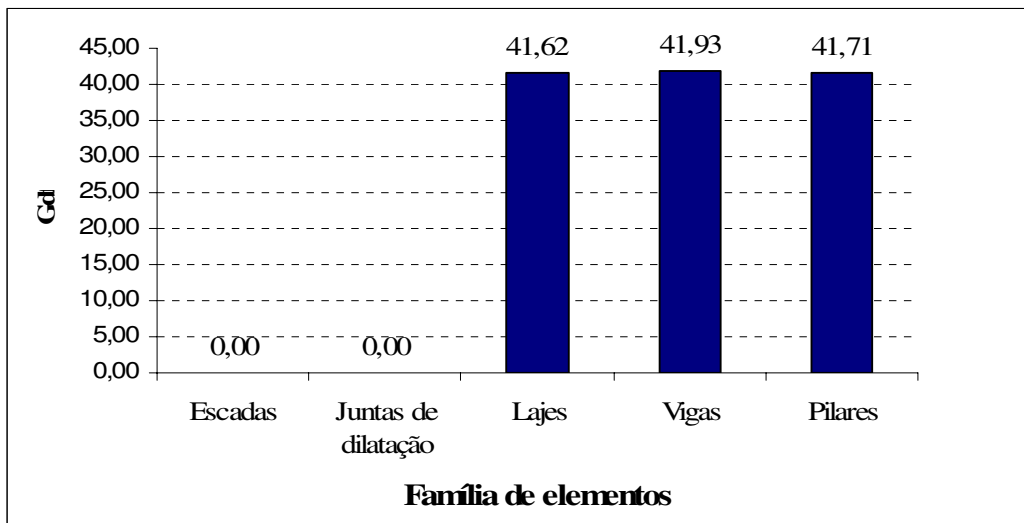


Figura 5.4 – Grau de deterioração das famílias de elementos do Teatro Pedro Calmon.

As famílias de escadas e juntas de dilatação apresentaram graus de deterioração baixos, caracterizados por $G_{df} < 15$. Assim como no Monumento a Caxias, pouco se pode quantificar na família das escadas, uma vez que elas também se encontram revestidas com mármore. Nas famílias das lajes, vigas e pilares, foi obtido um grau de deterioração classificado como médio, apresentando G_{df} entre 15 e 80.

5.3.2.4 – Grau de deterioração global da estrutura (G_d).

A partir dos dados do grau de deterioração das famílias de elementos (G_{df}) e adotando os fatores de relevância para as famílias de elementos do Teatro Pedro Calmon, assim como foi utilizado para o Monumento a Caxias, aplicou-se também a Equação 2.5 para obter o grau de deterioração global da estrutura (G_d), o que pode ser observado na Tabela 5.15 a seguir.

Tabela 5.15 – Determinação do grau de deterioração global da estrutura do Teatro Pedro Calmon.

Família de elementos	G_{df}	F_r	Fr x G_{df}	G_d
Escadas	0,00	3	0,00	29,82
Juntas de dilatação	0,00	3	0,00	
Lajes	41,62	5	208,12	
Vigas	41,93	5	209,63	
Pilares	41,71	5	208,55	
	$\Sigma =$	21	626,31	

As famílias das escadas e juntas de dilatação apresentaram $G_{df} < 15$, por isso não contribuem para o cálculo do grau de deterioração global da estrutura.

O grau de deterioração global da estrutura, G_d , igual a 29,82, corresponde ao nível de deterioração médio, Tabela 5.16, o que indica que a estrutura necessita de novas inspeções no prazo de, no máximo, 2 anos.

Tabela 5.16 – Determinação do grau de deterioração global da estrutura do Teatro Pedro Calmon.

Nível de deterioração	G_d	Ações a serem adotadas
Médio	15 - 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máx. 2 anos).

5.4 CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

Com a aplicação da Metodologia GDE/UnB para a quantificação do grau de deterioração das estruturas de concreto do Monumento a Caxias e Teatro Pedro Calmon foi possível confirmar as constatações oriundas das inspeções realizadas *in loco* nas estruturas.

As estruturas do Monumento a Caxias e Teatro Pedro Calmon, apresentaram G_d iguais a 28 e 30, respectivamente. O grau de deterioração global encontrado em ambas as estruturas, de acordo com a Metodologia GDE/UnB, na sua versão modificada por Fonseca (2007), se

enquadram em nível de deterioração médio, o que significa que as estruturas necessitam de novas inspeções em prazo máximo de 2 anos.

O resultado obtido mostra que, em geral, as estruturas se encontram em boas condições de conservação, fato que pôde ser observado já nas inspeções visuais iniciais. É importante salientar que falta a essas estruturas um plano de manutenção periódica, para que seja possível manter a sua longevidade.

6 - ANÁLISE DAS ESTRUTURAS DO MONUMENTO A CAXIAS E TEATRO PEDRO CALMON

6.1 - MODELAGEM ESTRUTURAL COM O PROGRAMA SAP 2000 - versão V11

A modelagem computacional consiste no uso de ferramentas da análise estrutural para construir modelos físicos, matemáticos e computacionais que representem a estrutura analisada em uma aproximação da realidade, a partir da concepção estrutural original.

Conforme o Icomos (2001), a essência da análise estrutural é a identificação de modelos que consigam, de maneira significativa, representar tanto a estrutura como os fenômenos associados, com a complexidade adequada à natureza do problema estudado e tornando possível aplicar as teorias disponíveis.

Neste trabalho, foi feita uma análise das estruturas do Monumento a Caxias e Teatro Pedro Calmon, utilizando o programa computacional corrente SAP 2000 (Structural Analysis Program) na versão V11, que fornece modelos para o cálculo dos esforços solicitantes e deslocamentos das peças. Além disso, foi feita uma análise do projeto das estruturas de concreto segundo as disposições da norma brasileira NBR 6118: 2003.

O SAP2000 é um programa estrutural, baseado em elementos finitos para a análise e o projeto de estruturas. O programa dispõe de muitas ferramentas para ajudar na construção rápida e precisa dos modelos, junto com as técnicas analíticas sofisticadas necessárias para fazer os mais complexos projetos. O SAP2000 é um software baseado em modelos criados usando os elementos que representam a realidade física. Os múltiplos elementos que são modelados nele são criados como um único objeto, pela necessidade de criar modelos que assegurem a conectividade entre os elementos, garantida internamente pelo programa. Os resultados para a análise e o projeto são relatados para um objeto total, e não para cada sub-elemento que compõe o objeto, fornecendo uma informação mais fácil de interpretar e mais consistente para a estrutura física (SAP 2000, 2006).

O Programa SAP 2000 versão 10 é um programa de análise estrutural que analisa as estruturas através do Método dos Elementos Finitos (MEF), sendo empregado para dimensionar estruturas de aço, alumínio e concreto armado. Segundo a sua representante

no Brasil, a Empresa Multiplus, o SAP é a família de software para estruturas mais usada no mundo, tendo sido utilizado para calcular as maiores e mais famosas estruturas.

O software foi elaborado e é aperfeiçoado pela empresa CSI (Computer and Structures, Inc.) para a análise de estruturas pelo Método de Elementos Finitos (MEF), dispondo dos elementos tipo frames, para barras, tais como vigas e pilares, e shells, para placas, cascas e lajes. O autor do software SAP 2000 é o Professor Edward L. Wilson professor emeritus da Universidade da Califórnia Berkeley. No Brasil, o SAP foi introduzido pelo Professor Dr. Harold Hirth, em 1982, Ph.D. pela Universidade da Califórnia Berkeley, aluno de doutorado do Professor Wilson.

Com o auxílio do software, pretende-se assim estudar o comportamento das concepções estruturais adotadas para o Monumento a Caxias e Auditório Pedro Calmon, levando em consideração as ações às quais as estruturas estão submetidas.

6.1.1 - Lançamento da Estrutura

As estruturas não puderam ser criadas diretamente no SAP 2000 por apresentarem formas arquitetônicas não convencionais. Por este motivo, o lançamento foi feito graficamente no computador utilizando o Software AutoCAD versão 2007, sobre as plantas fornecidas pelo CRO-11. Foram observados rigorosamente todos os aspectos da arquitetura para elaboração dessa parte importante do projeto estrutural. No AutoCAD foram inicialmente criados layers para cada elemento das estruturas com o objetivo de facilitar a importação dos elementos para o SAP, e em seguida foram lançados os eixos centrais das peças estruturais.

Após o término do lançamento da estruturada no AutoCAD, importaram-se os elementos estruturais para o SAP 2000, em grupos para facilitar a seleção dos elementos durante as análises, e se atribuíram as propriedades do concreto armado tais como módulo de elasticidade, tensão de ruptura do concreto, resistência característica do aço, etc, descritos a seguir no subitem 6.2.

6.2 – DADOS GERAIS DAS ESTRUTURAS

O concreto foi idealizado como um material isotrópico, com tensão de ruptura, $f_{ck} = 22,55MPa$ para o Monumento a Caxias e $f_{ck} = 25MPa$ para o Teatro Pedro Calmon.

Segundo o item 8.2.8 da NBR 6118:2003, quando não forem feitos ensaios e não existirem dados mais precisos sobre o concreto na idade de 28 dias, nas análises elásticas de projeto toma-se o módulo de elasticidade secante, usando a expressão (6.1).

$$E_{cs} = 4760.f_{ck}^{1/2} \quad (6.1)$$

Onde, E_{cs} é o módulo de elasticidade secante e f_{ck} é a resistência característica do concreto à compressão, são dados em mega pascal.

Os valores dos módulos de elasticidade dos concretos do Monumento a Caxias e Teatro Pedro Calmon, são respectivamente, 22300 MPa e 23800 MPa.

O aço utilizado foi o CAT-50, com resistência de escoamento característica $f_y = 500MPa$. O Programa SAP 2000 forneceu os esforços em cada nó da estrutura e os deslocamentos dos mesmos.

Para o dimensionamento no SAP 2000, ainda foi realizado o lançamento das seções das vigas, pilares e lajes, com os elementos encontrados nos projetos originais. Para os elementos que não se obteve acesso nos projetos, o SAP 2000 utilizou os valores “*default*” do programa.

6.3 - MONUMENTO A CAXIAS

6.3.1 - Concepção Estrutural do Monumento a Caxias

O Monumento a Caxias por ser uma casca foi concebido como um elemento *shell*. A casca é um tipo de estrutura com superfícies delgadas, não planas, que recebem cargas distribuídas e reagem através de esforços solicitantes, predominantemente de tração e compressão.

A análise da estrutura foi realizada como pórtico espacial, representado por elemento de barra pelo software SAP 2000. Foram considerados em cada nó, 6 graus de liberdade e 6 esforços. O arco foi subdividido em 26 elementos e o pilar em um elemento, totalizando 28 nós.

Outro fato relevante é que a capacidade resistente de cascas de dupla curvatura, como o caso do Monumento a Caxias é maior que as de curvatura simples, sendo deste modo mais utilizado para coberturas de grandes espaços. O comportamento desse tipo de casca é como se houvesse duas famílias de curvas ortogonais, em cada ponto resistindo aos esforços (analogia com grelhas). Para a estrutura foi realizada a discretização em elementos finitos, através do SAP 2000.

6.3.1.1 – Concepção de vigas e pilares

Para simplificar os modelos, no lançamento dos elementos estruturais foram desenhados seus eixos centrais apoiando-os diretamente nos eixos das vigas. Os vãos das lajes foram divididos em uma malha retangular, funcionando como elementos finitos. Para isso, convencionaram-se dimensões ortogonais x e y da malha iguais a $1/10$ dos vãos das lajes, com a relação entre y e x iguais $1 \leq y/x < 2$, conforme recomendações Dieguez e Costa (2004).

6.3.2 – Condições de contorno e carregamentos

Para as condições de contorno nas ligações de pilares e fundações, foram adotados no modelo como apoios do terceiro gênero como apoios elásticos, resultando em um modelo estrutural hiperestático, tornando a estrutura menos suscetível às deformações. Nas Figuras 6.1 e 6.2 podemos verificar a representação dos apoios e a numeração dos nós, respectivamente, e na Figura 6.3, 6.4 e 6.5 podemos ver o modelo estudado em três dimensões.

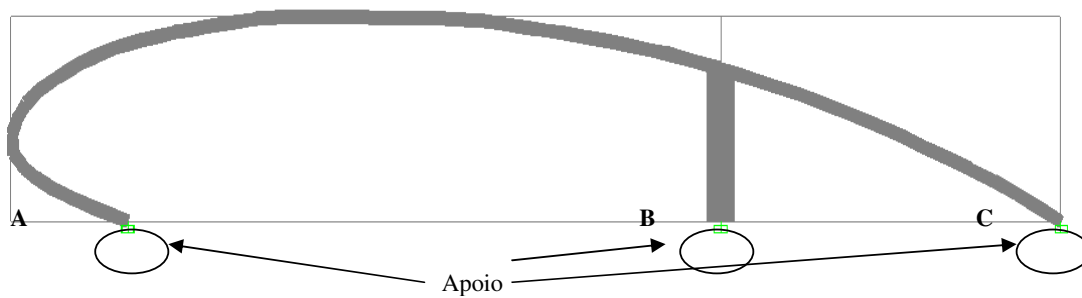


Figura 6. 1 – Representação dos apoios.

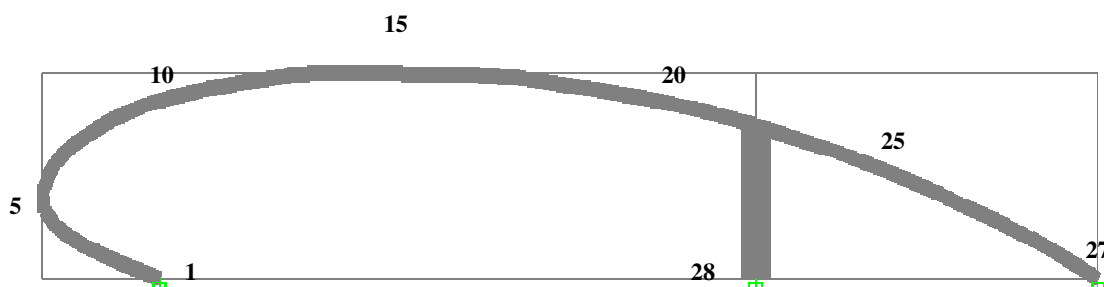


Figura 6. 2 – Modelo estrutural do Monumento a Caxias no SAP 2000 V11 com a numeração dos nós.

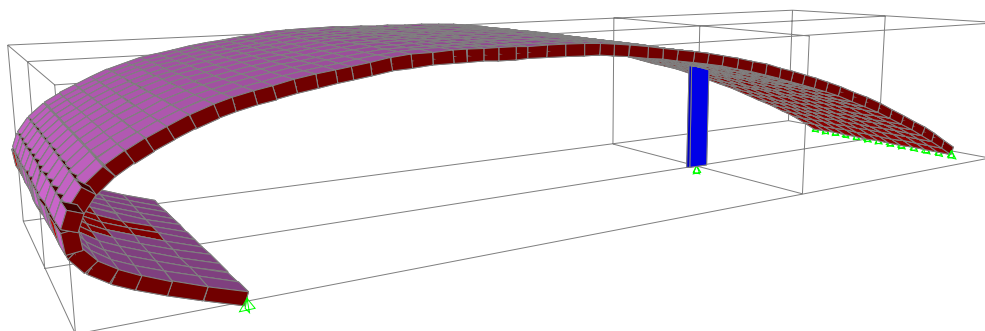


Figura 6. 3 – Modelo estrutural do Monumento a Caxias no SAP 2000 V11 em três dimensões (direita).

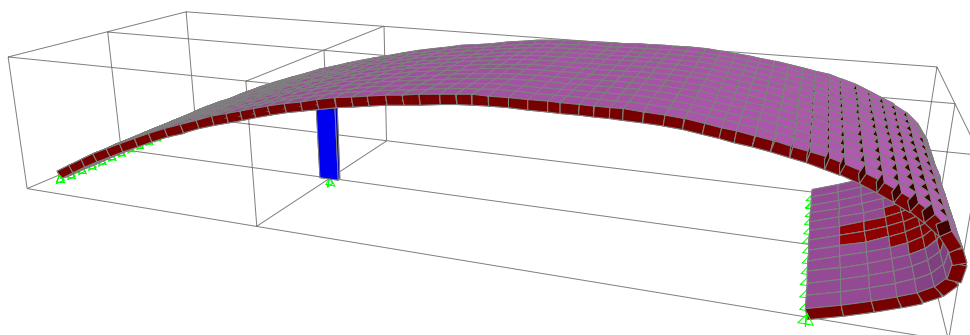


Figura 6. 4 – Modelo estrutural do Monumento a Caxias no SAP 2000 V11 em três dimensões (esquerda).

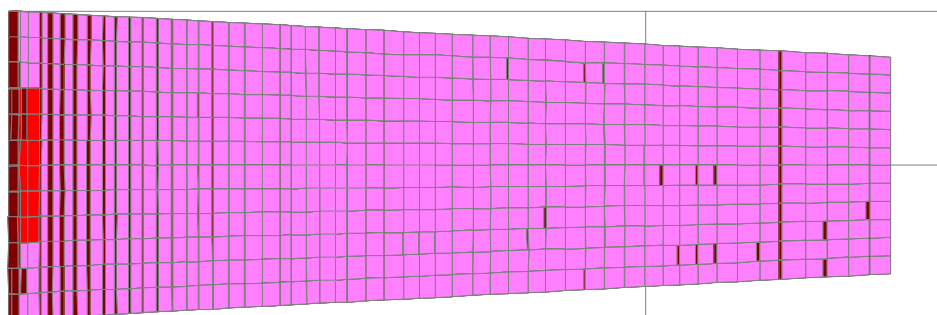


Figura 6. 5 – Modelo estrutural do Monumento a Caxias no SAP 2000 V11 em três dimensões (vista superior).

No levantamento histórico de plantas e projetos não foram encontrados valores de sobrecarga para a estrutura, porém no Relatório Técnico realizado pela COPPE/UFRJ em 1970 foram consideradas cargas verticais constituídas pelo peso próprio da estrutura e sobrecarga uniformemente distribuída de $0,5 \text{ kN/m}^2$. Deve-se ressaltar que o peso próprio foi calculado diretamente pelo programa, em torno de 25 kN/m^3 .

Para a presente análise não foi considerada a ação do vento, pois segundo FUSCO (1981), “a ação do vento deve ser considerada obrigatoriamente no caso de estruturas com nós deslocáveis, nas quais a altura seja maior que quatro vezes a largura menor, ou em que,

numa dada direção, o número de filas de pilares seja inferior a quatro”. O Monumento a Caxias possui apenas três apoios, porém de larguras de 24 e 17 metros e o pilar central de 5 metros, o que a torna uma estrutura estável em relação ao vento.

6.3.3 – Análise dos resultados

6.3.3.1 – Deslocamentos

Para a análise dos deslocamentos foram considerados 28 nós na estrutura. Na Tabela 6.1 são apresentados os valores dos deslocamentos.

Tabela 6. 1 – Deslocamentos nos nós principais.

Nós	Deslocamentos (m)			Nós	Deslocamentos (m)		
	X	Y	Z		X	Y	Z
1	0,0100	0,0090	0,0000	15	0,0350	-0,0570	0,0160
2	0,0190	0,0180	0,0000	16	0,0320	-0,0430	0,0150
3	0,0350	0,0270	0,0010	17	0,0300	-0,0300	0,0140
4	0,0500	0,0090	0,0050	18	0,0280	-0,0210	0,0130
5	0,0550	-0,0080	0,0070	19	0,0250	-0,0150	0,0120
6	0,0540	-0,0210	0,0080	20	0,0210	-0,0130	0,0100
7	0,0590	-0,0430	0,0110	21	0,0050	-0,0050	0,0030
8	0,0580	-0,0630	0,0120	22	0,0160	-0,0170	0,0080
9	0,0560	-0,0790	0,0140	23	0,0130	-0,0220	0,0060
10	0,0520	-0,0890	0,0150	24	0,0090	-0,0220	0,0040
11	0,0480	0,0930	0,0150	25	0,0070	-0,0170	0,0030
12	0,0440	-0,0910	0,0160	26	0,0060	-0,0110	0,0010
13	0,0410	-0,0830	0,0160	27	0,0050	0,0040	0,0000
14	0,0370	-0,0710	0,0160	28	0,0040	0,0020	0,0000

6.3.3.2 – Reações

As reações atuantes nas fundações da estrutura foram obtidas e comparadas com os das cargas transmitidas às fundações previstas em projeto, conforme Tabela 6.2.

Tabela 6. 2 – Carga transmitida pelos pilares para as fundações.

Apoio	Cálculo	Reação (V) kN	Momento (M_L) kNm	Momento (M_T) kNm
A	SAP 2000	35.050	148.100	3.350
	Projeto	35.500	148.600	3.600
B	SAP 2000	33.900	58900	41.100
	Projeto	34.000	59.000	41.500
C	SAP 2000	7.710	53.400	37.800
	Projeto	8.000	53.500	38.500

A partir da Tabela 6.3, é possível inferir que uma diferença bastante reduzida entre o projeto original e os valores calculados neste trabalho pelo SAP 2000, sendo que em todos os apoios a diferença encontrada é favorável à segurança da estrutura. Também é possível verificar que os valores encontrados são muito próximos aos valores encontrados no relatório realizado pela COPPE em 1970, fato que mais uma vez ratifica a necessidade de ter sido realizada a intervenção com o reforço das fundações do monumento.

6.4 – TEATRO PEDRO CALMON

6.4.1 - Concepção Estrutural do Teatro Pedro Calmon

6.4.1.1 – Concepção de vigas e pilares

O Teatro Pedro Calmon tem uma estrutura simétrica em planta formada por dez grandiosos pórticos. Pelas características da estrutura, optou-se por analisar a estrutura como um pórtico espacial, para obtenção e análise dos esforços. As Figuras 6.5 e 6.6 a seguir mostram as seções das peças estruturais e numeração dos principais apoios.

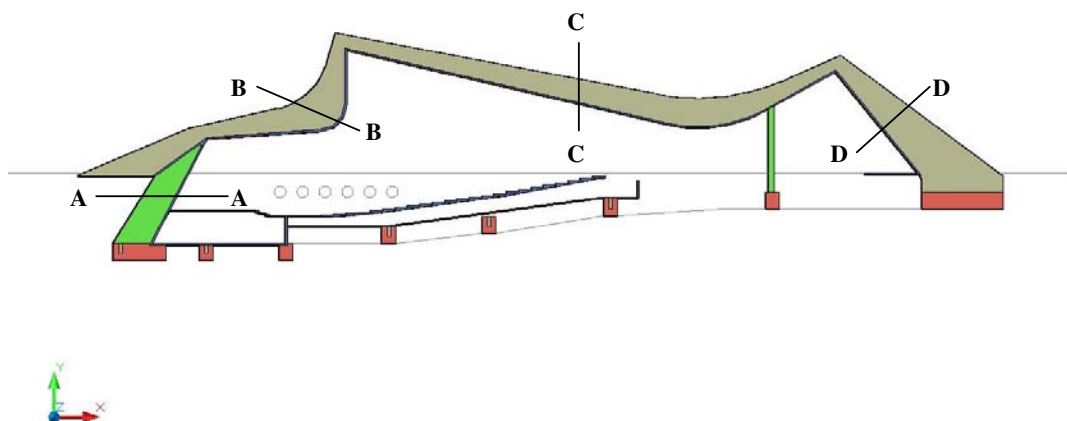


Figura 6. 6 – Modelo esquemático do corte transversal do Teatro Pedro Calmon no AutoCAD.

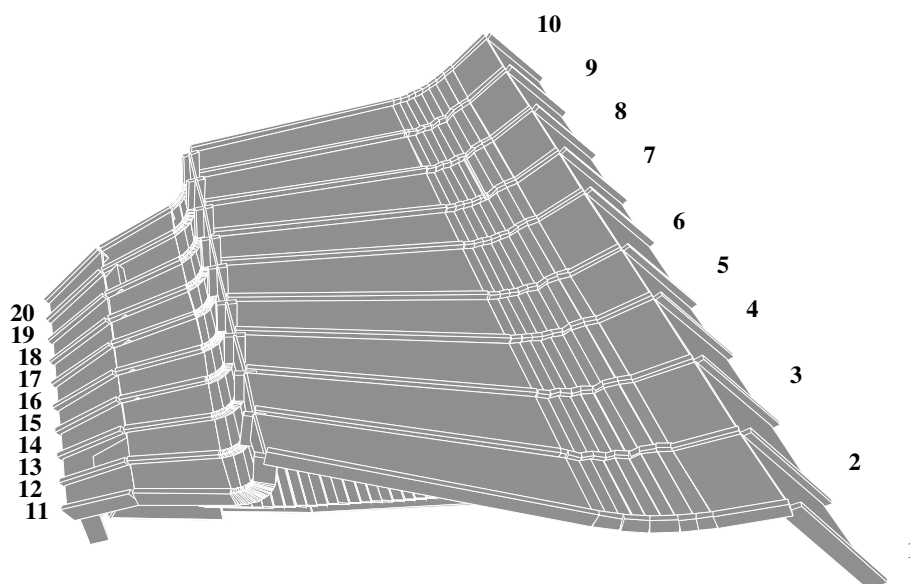


Figura 6. 7 – Modelo estrutural do Teatro Pedro Calmon no SAP 2000 V11 com a numeração dos apoios principais.

O modelo estrutural utilizado para realizar a modelagem neste trabalho é mostrado nas Figuras 6.8, 6.9 e 6.10 a seguir.

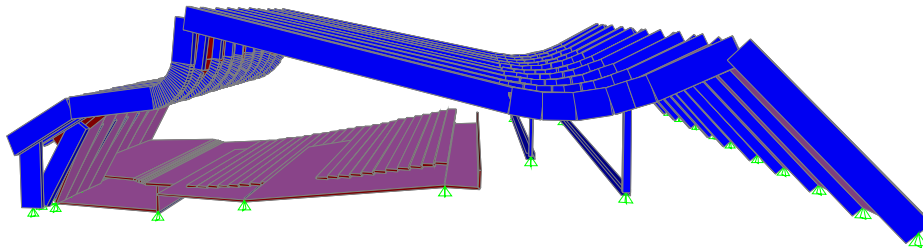


Figura 6. 8 – Modelo estrutural do Teatro Pedro Calmon no SAP 2000 V11 em três dimensões (vista esquerda).

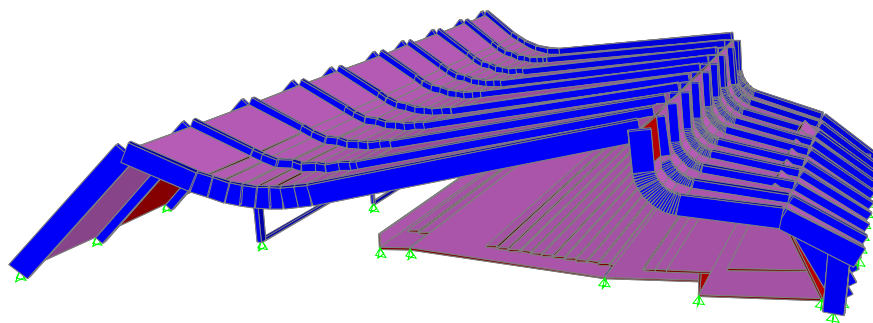


Figura 6. 9 – Modelo estrutural do Teatro Pedro Calmon no SAP 2000 V11 em três dimensões (vista direita).

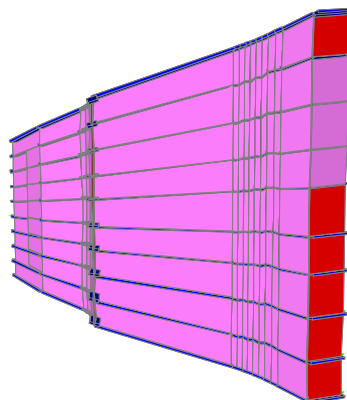


Figura 6. 10 – Modelo estrutural do Teatro Pedro Calmon no SAP 2000 V11 em três dimensões (vista superior).

6.4.2 – Condições de contorno e carregamentos

Para os elementos de pórtico e laje de cobertura da estrutura foram considerados peso próprio da estrutura e pelo peso de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes. Para o palco e platéia do teatro, foi considerada uma carga accidental que é toda aquela que pode atuar sobre a estrutura de edificações em função do seu uso, que segundo a NBR 6120/80 – Cargas para o cálculo de elementos de estruturas de edificações - é de 5 kN/m² para palco, e platéia com assentos fixos 3 kN/m².

Assim como na análise do Monumento a Caxias, o Teatro Pedro Calmon também não se enquadra nos quesitos citados por FUSCO (1998), por isso nesta análise também não foi estudado o efeito do vento na edificação.

6.4.3 – Análise dos resultados

6.4.3.1 – Deslocamentos

Foram verificados os deslocamentos nos apoios dos pórticos considerados os pontos mais críticos da estrutura. A Tabela 6.3 abaixo mostra os deslocamentos encontrados.

Tabela 6. 3 – Deslocamentos nos apoios principais.

Nós	Deslocamentos (m)			Nós	Deslocamentos (m)		
	X	Y	Z		X	Y	Z
1	0,0019	-0,0863	0,0021	11	0,0009	0,0549	0,0001
2	0,0003	-0,1056	-0,0010	12	-0,0002	0,0544	0,0001
3	-0,0036	-0,1207	0,0017	13	0,0005	0,0530	0,0005
4	0,0021	-0,1357	-0,0008	14	0,0001	0,0522	-0,0002
5	0,0011	-0,1529	0,0011	15	0,0001	0,0517	0,0003
6	-0,0015	0,1720	-0,0005	16	0,0001	0,0507	-0,0003
7	-0,0036	-0,1636	0,0014	17	0,0001	0,0516	0,0002
8	0,0045	-0,0010	-0,0013	18	-0,0005	0,0530	-0,0004
9	0,0005	0,0229	0,0012	19	0,0001	0,0531	-0,0001
10	-0,0004	0,0030	-0,0004	20	-0,0009	0,0538	0,0001

6.4.3.2 – Reações

As reações de apoio foram calculadas pelo SAP 2000 e depois comparadas as reações previstas em projeto para a fundação. Na Tabela 6.4 é possível verificar essa comparação em termos percentuais.

Tabela 6. 4 – Comparação das reações calculadas e as previstas no projeto original.

Apoio	SAP 2000 (kN)	Projeto Original (kN)	Diferença (%)
P1	2765,50	2854,23	-3,11
P2	4250,00	4383,28	-3,04
P3	4307,60	4536,19	-5,04
P4	4307,60	4536,19	-5,04
P5	4307,60	4536,19	-5,04
P6	4307,60	4536,19	-5,04
P7	4307,60	4536,19	-5,04
P8	4307,60	4536,19	-5,04
P9	4250,00	4383,28	-3,04
P10	2765,50	2854,23	-3,11
P11	2300,00	2446,48	-5,99
P12	2250,00	2344,55	-4,03
P13	2250,00	2344,55	-4,03
P14	2250,00	2344,55	-4,03
P15	2400,00	2650,36	-9,45
P16	2400,00	2650,36	-9,45
P17	2250,00	2344,55	-4,03
P18	2250,00	2344,55	-4,03
P19	2250,00	2344,55	-4,03
P20	2300,00	2446,48	-5,99

6.5 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

As Tabelas 6.1 e 6.3 apresentam os deslocamentos nos principais nós das estruturas do Monumento a Caxias e Teatro Pedro Calmon, respectivamente. Segundo a NBR 6118: 2003, no seu item 13.3, deslocamentos limites são valores práticos utilizados para a verificação e serviço do estado limite de deformações excessivas da estrutura. As

deformações devem obedecer aos limites estabelecidos conforme Tabela 6.5, extraída da tabela 13.2 da NBR 6118:2003.

Tabela 6.5 – Limites para deslocamentos, deduzida da Tabela 13.2 da NBR 61618:2003.

Tipo de efeito	Razão limite	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$l/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$l/350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$l/250$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	$l/350$ + contraflecha
	Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após a construção do piso	$l/600$
Efeitos em elementos estruturais	Afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas	Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-os ao modelo estrutural adotado.		
<p>1) Os deslocamentos podem ser parcialmente compensados pela especificação de contraflecha. Entretanto, a atuação isolada da contraflecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que $l/350$.</p> <p>2) O vão l deve ser tomado na direção na qual a parede ou a divisória se desenvolve.</p> <p>3) Rotação nos elementos que suportam paredes.</p> <p>4) O valor de l refere-se a distância entre o pilar externo e primeiro pilar interno.</p>				

Para a estrutura do Monumento a Caxias, encontraram-se deslocamentos verticais de ordem de 0,093 m no nó 11 aproximadamente no meio do maior vão do arco de 42,80 metros, entre o apoio A e B. Quando analisadas as disposições da Tabela 13.2 da NBR 61618:2003, verificou-se que o valor encontrado está dentro do limite quanto à aceitabilidade sensorial, igual a 0,17 m.

Para o Teatro Pedro Calmon, encontraram-se deslocamentos verticais de ordem de 0,1720 m no nó 9, no trecho C-C, que pode ser visto na Figura 6.2. Quando analisadas as disposições da Tabela 13.2 da NBR 61618:2003, verificou-se que o valor encontrado está dentro dos limites quanto à aceitabilidade sensorial, igual a 0,18 m .

Em ambas as estruturas, quanto à comparação das reações de apoio encontradas e as previstas em projeto, pode-se dizer que os valores encontrados, sem coeficiente de segurança, são menores no modelo usado e próximos aos que constam do projeto original de locação e carga dos pilares. O resultado obtido nos dois casos é a favor da segurança, mostrando que a modelagem escolhida para representar as estruturas foi compatível com o projeto original.

7 - PROPOSTA DE MANUTENÇÃO PARA AS ESTRUTURAS ESTUDADAS

O Monumento a Caxias e o Teatro Pedro Calmon são estruturas que estão sob a responsabilidade do Exército, sendo a primeira vinculada a Secretaria Geral do Exército (SGEx), enquanto a segunda está vinculada a Prefeitura Militar de Brasília (PMB). Durante a pesquisa foi levantado que em ambas as organizações militares não existe uma equipe responsável exclusivamente pela manutenção das construções, e também não existe um plano de manutenções periódicas a serem realizadas. As intervenções que já foram efetuadas nas estruturas ocorreram por motivos referentes à funcionalidade das edificações e eram extremamente necessárias suas realizações.

Outro fato relevante é que em 08 de julho de 2008, através do Ofício Circular nº 02/2008, a Superintendência do IPHAN no Distrito Federal, versa sobre o tombamento provisório do conjunto da obra do arquiteto Oscar Niemeyer. Entre outras edificações do Exército estão incluídas o Teatro Pedro Calmon e Monumento a Caxias através do Processo de Tombamento nº 1550-T-07, que no momento encontra-se em tramitação no Departamento de Patrimônio Material (DEPAM) do IPHAN. Segundo o Decreto-Lei nº 25/37, Art 10, Parágrafo único: “Para todos os efeitos, salvo a disposição do art. 13 desta lei, o tombamento provisório se equipara ao definitivo”.

De acordo com o exposto deve-se ressaltar que é de interesse do Exército a elaboração de estratégias de manutenção para o Teatro Pedro Calmon e Monumento a Caxias, uma vez que antes deste estudo realizado nunca havia sido feita uma inspeção detalhada nas edificações, uma vez que em outrora as intervenções realizadas não eram planejadas.

7.1 - MANUTENÇÃO DA ESTRUTURA

De acordo com a NBR 5674/1999, Manutenção de edificações – Procedimento: “A manutenção de edificações visa preservar ou recuperar as condições ambientais adequadas ao uso previsto para as edificações”. As estruturas devem se mantidas periodicamente afim de que possuam os requisitos de qualidade da estrutura, como capacidade resistente desempenho em serviço e durabilidade, preconizados na NBR 6118/2003.

Ainda segundo a NBR 5674/1999, estudos mostram que para diferentes tipos de edificações, os custos anuais envolvidos na operação e manutenção das edificações em uso

variam entre 1% e 2% do custo inicial de construção. Tais percentuais são relevantes e por isso não se pode realizar a manutenção da estrutura de modo improvisado, sem planejamento e sem a atuação de profissionais capacitados.

Tendo em vista estes fatos, e apesar do presente trabalho ter objetivos acadêmicos, pode-se considerar que a inspeção e avaliações realizadas, podem auxiliar os profissionais responsáveis pela manutenção das estruturas, assim como contribuir para a implementação de uma sistemática de manutenção de acordo com as recomendações internacionais.

Segundo Souza e Ripper (1998), pode-se caracterizar as fases do processo de manutenção preventiva conforme abaixo descrito:

a) Cadastramento

Segundo a ABECE (Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural) no “*Check list* para vistoria de edificações em concreto armado”, nesta etapa devem ser listados dados cadastrais como nome da edificação, endereço, data da construção, motivo da solicitação, nome do síndico ou órgão responsável pela obra, agressividade do ambiente.

Ainda é importante obter informações gerais como identificação da construtora, identificar os projetistas, verificar a utilização da edificação *versus* a sua concepção de projeto, caracterizar a edificação, como por exemplo, aferir número de andares, tipo de lajes, croquis do esqueleto e tipo da fundação, entre outros, verificar registros de intervenções anteriores (data de execução, empresa responsável, projeto, motivo e locais de intervenção), e analisar os projetos da edificação.

b) Inspeções periódicas

São inspeções realizadas em um período de tempo que visam avaliar as condições da integridade da estrutura, no que se refere ao seu grau de deterioração e vida útil.

A FIP-CEB (Federação Internacional e Protensão) apresenta as recomendações internacionais para as inspeções nas estruturas, como se mostra na Tabela 7.1.

Tabela 7. 1 – Indicação de intervalos de inspeção FIP-CEB (em anos)

Condições ambientais e de carregamento	Classes das estruturas					
	1		2		3	
	Inspeção Rotineira	Inspeção Extensiva	Inspeção Rotineira	Inspeção Extensiva	Inspeção Rotineira	Inspeção Extensiva
Muito severa	2 *	2	6 *	6	10 *	10
Severa	6 *	6	10 *	10	10 *	-
Normal	10 *	10	10 *	-	**	**
* Intercalada entre inspeções extensivas						
** Apenas inspeções superficiais						

c) Serviços de limpeza

Como por exemplo, pode-se citar remoção de fuligem ácida e a limpeza de fachadas, estucamento (revestimento com estuque - espécie de argamassa feita geralmente com pó de mármore, cal fina, gesso e areia) ou reestucamento de superfícies aparentes, pinturas com vernizes e hidrofugantes, e outras medidas de proteção.

d) Reparos de pequena monta

Como por exemplo, renovação ou construção de rufos, pingadeiras, beirais, “brise soleils”, entre outros.

e) Reparos de grande monta

São semelhantes aos reparos de pequena monta citados, porém em maiores extensões na estrutura.

f) Reforços

Nesta etapa é realizada a manutenção corretiva da estrutura, que corresponde aos trabalhos de diagnóstico, prognóstico, reparo e proteção das estruturas que já apresentam patológicas, ou seja, correção de problemas já evidentes.

A Tabela 7.2 apresenta uma análise percentual de problemas patológicos que influenciam na redução de vida útil das estruturas, realizada por diversos autores (SOUZA e RIPPER, 1998).

Tabela 7. 2 - Análise percentual das causas de problemas patológicos em estruturas de concreto (SOUZA E RIPPER, 1998)

Fonte de pesquisa	Causas dos problemas patológicos em estruturas de concreto			
	Concepção de projeto	Materiais	Execução	Utilização e outros
Edward Grunau Paulo Helene (1992)	44	18	28	10
D.E Allen (Canadá 1979)	55	49		
C.S.T.C. (Bélgica) Vercosa (1991)	46	15	22	17
CEB Boletim 157 (1982)	50	40		10
Faculdade de Engenharia da Fundação Armando Álvares Penteado Vercosa (1991)	18	6	52	24
B.R.E.A.S Reino Unido (1972)	58	12	35	11
Bureau Securitas (1972)	88			12
E. N. R. (U.S.A) (1968 - 1978)	9	6	75	10
S.I.A. (Suíça, 1979)	46		44	10
Dov. Kaminetzkv (1991)	51	40		16
Jean Blévtot (França, 1974)	35		65	
L.E.M.I.T. (Venezuela, 1965 - 1975)	19	5	57	19

Diante desse cenário, diversos modelos de previsão de vida útil vêm sendo estudados, uma vez que a durabilidade passou a ser tratada com mais ênfase por projetistas e construtores de estruturas de concreto, especialmente nas últimas décadas.

7.2 – CADASTRAMENTO DAS EDIFICAÇÕES

Os Capítulos 3 e 4 deste trabalho comentam sobre os dados técnicos encontrados sobre as edificações em estudo. Para o cadastramento dos foram acionadas várias Organizações Militares entre elas SGEx (Secretária Geral do Exército), CEDOC (Centro de Documentação), PMB (Prefeitura Militar de Brasília), DOM (Diretoria de Obras Militares) e CRO-11 (Comissão Regional de Obras). Os projetos localizados encontram-se como descrito a seguir:

a) Projeto arquitetônico

Para as duas edificações foram encontrados os projetos arquitetônicos bem detalhados, porém somente em versão impressa da época da construção.

b) Projeto estrutural

Este projeto foi encontrado incompleto para ambas as estruturas. Para o Monumento a Caxias foram encontradas as plantas da cobertura, do pilar central e plataforma; quanto as fundações foram encontradas plantas de locação e algumas plantas de fundação. Para o Teatro Pedro Calmon foram encontradas as plantas das vigas e pilares principais, das lajes e das fundações; não foram localizadas as plantas das vigas de ligação entre os pilares centrais.

c) Demais projetos

O Monumento a Caxias não possui outros projetos para o cadastramento, já para o Teatro Pedro Calmon foram encontrados todos os projetos especiais como citados no Capítulo 4.

É recomendável a localização de todos os projetos referentes às estruturas do Monumento a Caxias e Teatro Pedro Calmon, assim como a localização dos diários de obras. Estes documentos devem ser arquivados em locais apropriados para que sejam consultados durante a realização de um programa de manutenção das edificações.

7.3 – INSPEÇÃO PERIÓDICA

As inspeções periódicas ou rotineiras a serem realizadas para as edificações têm por objetivo o monitoramento das patologias que possam a vir ocorrer nas construções, atuando no início da degradação. Para as estruturas é necessário um conjunto de planilhas na forma de um “*check lists*” enumerando os elementos que estão sendo estudados e os tipos de danos que podem ocorrer. É importante salientar que sempre que possível, as inspeções devem vir acompanhadas da elaboração de croquis, registro fotográfico e indicações em planta baixa e fachada, se for o caso, para que sejam documentados os sintomas encontrados.

É importante observar que após a identificação de qualquer das patologias listadas nas planilhas de “*check lists*”, devem ser planejadas inspeções detalhadas ou extensivas para a complementação de informações e verificar o real grau dos danos dos elementos. Mazer e Wiczick (2008) reafirmam a importância mapear e quantificar todas as patologias encontradas através de questionários e tabelas que facilitem as inspeções.

No Apêndice C são mostradas as planilhas contendo os “*check lists*” de cada elemento analisado nas construções. Estas planilhas poderão ser utilizadas para auxiliar as inspeções periódicas que devem ser realizadas nas estruturas.

7.4 – INSPEÇÕES SUGERIDAS

Como decorrência das evidências apresentadas neste trabalho e seguindo os prazos máximos de intervenção para cada elemento estrutural recomendados pela Metodologia GDE/UnB, na sua versão modificada por Fonseca (2007), devem ser sanadas primeiramente as patologias identificadas no Capítulo 5, para as duas edificações estudadas.

Para o Monumento a Caxias, a Metodologia GDE/UnB, sugere que sejam realizadas intervenções a longo prazo, no máximo em 2 anos. Nesta intervenção deve ser verificada a laje da plataforma que se encontra com deslocamento, apresentando um trecho que sofreu desabamento, e a integridade da impermeabilização da cobertura, que já apresenta descolamento da manta de proteção.

Para o Teatro Pedro Calmon, a Metodologia GDE/UnB, assim como para o Monumento a Caxias, também recomenda que sejam feitas intervenções a longo prazo, no máximo em 2 anos. Deve se atentar para as armaduras que se encontram expostas em algumas vigas principais e lajes de cobertura, assim como para uma infiltração que proveniente da obstrução das tubulações de águas pluviais na cobertura.

8 - CONCLUSÕES

8.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

O objetivo principal deste trabalho foi realizar uma avaliação das estruturas do Monumento a Caxias e Teatro Pedro Calmon, visando propor um programa de manutenção preventiva que contribua para a preservação das edificações, com a caracterização das estruturas, relatando e analisando a sua história, projeto, tecnologia construtiva e intervenções realizadas. Um fato de grande relevância que evidencia o estudo realizado foi o tombamento provisório dessas edificações pelo IPHAN, fato que mostra a importância das duas obras de Oscar Niemeyer, tanto para o Exército Brasileiro quanto para a cidade de Brasília.

Houve grande dificuldade durante a pesquisa da documentação histórica das construções. Inicialmente, foram procurados nas Organizações Militares os responsáveis pelas estruturas em estudo, SGEx e PMB, que não possuíam registros sobre as edificações. Os documentos utilizados neste trabalho foram localizados na Comissão Regional de Obras, CRO-11, onde foram fornecidos plantas, projetos e demais informações.

Neste trabalho, foram descritas as condições atuais do Monumento a Caxias e Teatro Pedro Calmon, considerando os conceitos de vida útil referidos na NBR 6118:2003, assim como a aplicação da Metodologia GDE/UnB para avaliação quantitativa da deterioração de estruturas de concreto armado (Capítulo 5) na versão modificada por Fonseca (2007). Com a Metodologia GDE/UnB foi possível realizar a identificação dos danos e a quantificação da deterioração bem como a previsão de eventuais fenômenos progressivos instalados nos elementos estruturais.

Foi realizada também uma análise do projeto estrutural (Capítulo 6), utilizando o programa computacional corrente SAP 2000 (Structural Analysis Program) na versão V11, que fornece modelos para o cálculo dos esforços solicitantes e deslocamentos das peças, considerando também as disposições da norma brasileira NBR 6118:2003. Com esse programa, foi possível estudar o comportamento das concepções estruturais adotadas para o Monumento a Caxias e Teatro Pedro Calmon, levando em consideração as ações às quais as estruturas estão submetidas.

Com as conclusões obtidas da aplicação da Metodologia GDE/UnB, foram feitas propostas de estratégias de manutenção para as edificações estudadas, sugerindo o tipo de vistoria e os prazos para a realização de intervenções.

A partir de ensaios de dureza superficial do concreto, com esclerômetro de impacto, foi feita uma estimativa da resistência a compressão do concreto das estruturas do Monumento a Caxias e Teatro Pedro Calmon, encontrando-se os valores de 36 MPa e 25 MPa, respectivamente, considerados bons para a época. Foi adotado na obra o controle tecnológico rigoroso, tanto para os materiais constituintes como para o processo executivo.

8.2 – MODELAGEM DAS ESTRUTURAS DO MONUMENTO A CAIXAS E TEATRO PEDRO CALMON

No Capítulo 6, verifica-se que os modelos computacionais utilizados no presente trabalho para as estruturas do Monumento a Caxias e Teatro Pedro Calmon indicaram uma coerência satisfatória com os valores obtidos projetos originais, podendo ser considerados adequados para as duas estruturas, bastante arrojadas em sua concepção.

O trabalho mostra que, apesar da carência de programa de manutenção preventiva adequada, as estruturas apresentam-se em estado satisfatório, salvo alguns problemas localizados citados no Capítulo 2.

8.3 – AVALIAÇÃO E ESTRATEGIAS DE MANUTENÇÃO

Para a realização do trabalho foram encontradas dificuldades para a obtenção de documentação histórica dos monumentos, assim como os seus projetos estruturais. Apesar das dificuldades, os documentos obtidos ajudaram a registrar algumas das intervenções e/ou modificações realizadas nas estruturas e instalações das edificações.

Os resultados da aplicação da metodologia PECC/UnB e avaliação estrutural se mostraram coerentes com as condições físicas atuais das estruturas. Os resultados obtidos foram comparados com as prescrições normativas vigentes, mostrando que as estruturas

construídas na década de 1970 ainda atendem as exigências de segurança e funcionalidade atuais.

Para a melhor utilização e conservação dos monumentos, foram propostas estratégias para manutenção periódica, com o objetivo de que as estruturas mantenham níveis aceitáveis de desempenho e assegurem maior vida útil. É importante também que sejam digitalizados todos os projetos referente ao Monumento a Caixas e Tetro Pedro Calmon, de modo a facilitar o acesso e preservar tais documentos.

8.4 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho se insere dentro da linha de pesquisa Patologia, Recuperação e Manutenção de Estruturas de Concreto, do Programa de Pós-graduação e Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília (PECC/UnB). Antes deste, foram desenvolvidos diversos trabalhos visando valorizar os registros históricos e suprir a notória carência de publicações sobre aspectos estruturais dos monumentos de Brasília. No PECC/UnB foram desenvolvidas as dissertações de PESSOA (2002), SANTOS JÚNIOR (2004) e MOREIRA (2007). Estão em andamento duas outras dissertações, sobre as estruturas do Teatro Nacional e da Estação Rodoviária de Brasília.

Além dos trabalhos já realizados, existem em Brasília diversas outras edificações que fazem parte do patrimônio histórico cultural do Brasil e se constituem em obras de arte caracterizadas pelo arrojo arquitetônico e estrutural, exigindo que sua história e condições atuais de conservação sejam avaliadas. Dentre elas, podemos citar algumas edificações marcantes na paisagem de Brasília que ainda não tiveram um estudo similar ao realizado, destacam-se:

- Palácio da Alvorada;
- Palácio do Buriti;
- Palácio do Planalto;
- Palácio do Supremo Tribunal Federal;
- Congresso Nacional;

- Quartel General do Exército;

- Oratório do Soldado.

Outra sugestão seria adotar em outras cidades trabalhos que sigam esta linha de pesquisa, com o objetivo de preservar o patrimônio histórico da Engenharia brasileira e fortalecer a implantação de programas de manutenção.

Outra sugestão de interesse, com um estudo que não foi realizado neste trabalho, é a avaliação dos efeitos das variações de temperatura nas estruturas o Monumento a Caxias e Teatro Pedro Calmon.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acidentes Estruturais na Construção Civil, Volume 2, Editora PINI, São Paulo – 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL, ABECE. **Checklist para vistoria de edificações em concreto armado**. Recife, PE, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. NBR 8681:2003**. Rio de Janeiro, RJ, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **Manual de operação, uso e manutenção das edificações - Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação. NBR 14037:1998**. Rio de Janeiro, RJ, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **Manutenção de edificações – Procedimento. NBR 5674:1999**. Rio de Janeiro, RJ, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **Projeto de estruturas de concreto – procedimento. NBR 6118:2003**. Rio de Janeiro, RJ, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **Projeto e execução de fundações. NBR 6122:1996**. Rio de Janeiro, RJ, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT: **Cargas para o cálculo de estruturas de edifícios – Procedimento. NBR 6120**. Rio de Janeiro, RJ, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT: **Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Armado. NB-1**. Rio de Janeiro, RJ, 1960.

Auditório Pedro Calmon, Pasta da Obra n° 525, Comissão Regional de Obras (CRO-11), Brasília – 1973.

Auditório Pedro Calmon, Pasta da Obra n° 525A, Comissão Regional de Obras (CRO-11), Brasília – 1973.

- Auditório Pedro Calmon**, Pasta da Obra n° 526, Comissão Regional de Obras (CRO-11), Brasília – 1973.
- Auditório Pedro Calmon**, Pasta da Obra n° 773, Comissão Regional de Obras (CRO-11), Brasília – 1973.
- BILLINGTON, D. P. - **The Tower and the Bridge**. The New Art of Structural Engineering. Princeton Univ. Press. New Jersey 1985.
- BOLDO, P., **Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro**. Dissertação de Mestrado, Brasília, DF, 2002 – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília.
- BRASIL. Decreto-Lei n° 25, de 30 de novembro de 1937. **Patrimônio histórico artístico e nacional**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil/Decreto-Lei/Del0025.htm>. Acesso em: 01 out. 2008.
- CASTRO, E. K., **Desenvolvimento de metodologia para a manutenção de estruturas de concreto armado**. Dissertação de Mestrado, Brasília, DF, 1994 – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília.
- CEB/FIP Model Code 1986 FIP **Guia para inspeção e manutenção de estruturas de concreto armado e protendido** (1986).
- CLÍMACO, J. C. T., NEPOMUCENO, A. A., **Patologia, Recuperação e Manutenção de Estruturas – Notas de Aula**, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2005..
- Concreto: Ensino, pesquisa e realizações**. IBRACON Volume 1, São Paulo – 2005.
- DIEGUEZ, A. B., COSTA, F. O. – **Apostila para utilização passo a passo do SAP 2000, versão 8.3.5 para projetos de edifícios de concreto armado**. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2004.
- FONSECA, R. P. da, **A Estrutura do Instituto Central de Ciências da Universidade de Brasília: Aspectos históricos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção**. Dissertação de Mestrado, Brasília, DF, 2007 – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília.

FUSCO, P. B. – **Estruturas de Concreto, Solicitações normais**. Ed. Guanabara Dois, Rio de Janeiro – 1981.

INTERNATIONAL COUNCIL ON MONUMENTS AND SITES, ICOMOS. **Cartas Internacionais sobre La Conservación y La Restauración, Monumentos y Sitios**. Paris, 2001.

KLEIN, D.; GASTAL, F.; CAMPANOLO, J.L.; SILVA FILHO, L.C. (1991) - “**Crítérios adotados na vistoria e avaliação de obras de arte**”. XXV Jornadas Sul americanas de Engenharia Estrutural, Porto Alegre, Anais, pp 185-196, Novembro.

LOPES, B. A. R., **Sistema de manutenção predial para grandes estoques de edifícios: estudo para inclusão do componente estrutura de concreto**. Dissertação de Mestrado, Brasília, DF, 1998 – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília.

MAZER, W., WICZICK, L. F. - **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto - Curso Superior de Tecnologia do Concreto**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2008.

Monumento a Caxias, Pasta da Obra n° 1438, Comissão Regional de Obras (CRO-11), Brasília – 1974.

Monumento a Caxias, Pasta da Obra n° 143A, Comissão Regional de Obras (CRO-11), Brasília – 1974.

Monumento a Caxias, Pasta da Obra n° 144, Comissão Regional de Obras (CRO-11), Brasília – 1974.

MOREIRA, A. L. A., **A Estrutura do Palácio da Justiça em Brasília: Aspectos históricos, projeto, execução, intervenções e proposta de estratégias para a manutenção**. Dissertação de Mestrado, Brasília, DF, 2007 – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília.

PESSOA, D. F., **A Estrutura da Catedral de Brasília: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção**.

Dissertação de Mestrado, Brasília, DF, 2002 – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília.

RELATÓRIO TÉCNICO Nº 010/2004. Comissão Regional de Obras da 11ª Região Militar (CRO/11) Exército Brasileiro (EB) Ministério da Defesa (MD). Brasília, DF, 2004.

SANTOS JÚNIOR, E. C. R. dos, **A Estrutura do Palácio do Itamaraty: Aspectos históricos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e recomendações de manutenção.** Dissertação de Mestrado, Brasília, DF, 2004 – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília.

SAP 2000: Linear and Nonlinear Static and Dynamic Analysis and Design of Three-Dimensional Structures - Basic Analysis Reference Manual (Version 11) – Computers and Structures Inc, Berkeley, California, USA – Outubro de 2006.

SAP2000: Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures - Concrete Design Manual (Version 7.4) – Computers and Structures Inc, Berkeley, California, USA – Revisado em Maio de 2000.

SAP2000: Linear and Nonlinear Static and Dynamic Analysis and Design of Three-Dimensional Structures - Introductory Tutorial (Version 11) – Computers and Structures Inc, Berkeley, California, USA – Outubro de 2006.

SOUZA, V. C. M. e RIPPER, T. – **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** Editora PINI, São Paulo – 1998.

TUUTTI, K. (1982) - “**Corrosion Steel in Concrete**”. Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockolm, 469p.

VASCONCELOS, A. C. de - **O concreto no Brasil: Recordes, Realizações, História.** Volume 1. São Paulo, Editora PINI, 1992.