



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Naiara Guimarães de Oliveira Porto

AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA DETERIORAÇÃO
DE ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO NO SEU
COMPORTAMENTO – APLICAÇÃO A UM
RESERVATÓRIO ELEVADO

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Reabilitação de Edifícios – Reabilitação Estrutural II, orientada pelo Professore Doutor Hugo Pinheiro Rodrigues e pelo Professor Doutor João da Costa Pantoja e apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Julho de 2020

1 2 9 0



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Naiara Guimarães de Oliveira Porto

**AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA DETERIORAÇÃO
DE ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO NO SEU
COMPORTAMENTO – APLICAÇÃO A UM
RESERVATÓRIO ELEVADO**

**EVALUATION OF REINFORCED CONCRETE DETERIORATION EFFECTS ON
BEHAVIOR - APPLYING TO A WATER TOWER**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Reabilitação de Edifícios – Reabilitação Estrutural II, orientada pelo Professore Doutor Hugo Pinheiro Rodrigues e pelo Professor Doutor João da Costa Pantoja e apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Julho de 2020

RESUMO

O estudo de estruturas existentes é um desafio que visa fornecer técnicas de análise e cálculo que facilitem atingir um contexto mais próximo possível ao real do desempenho que a estrutura e seus componentes se encontram.

O presente trabalho aponta uma metodologia probabilística que associa uma análise de confiabilidade à um processo de inspeções e avaliações de uma estrutura existente de betão armado. A investigação dos danos presentes nos elementos da estrutura acontece em fases, chegando-se à um nível de degradação da mesma para a realização de uma avaliação estrutural.

Em primeiro lugar deve ser feita uma inspeção visual com registro das condições de uso da estrutura e das patologias existentes. Para complementar os dados da inspeção, ensaios in situ ou em laboratório devem ser realizados conforme necessidade. Por meio de uma metodologia, avalia-se o nível de criticidade dos danos presentes na estrutura e seu processo de degradação. Assim, é proposto um acoplamento dos níveis de segurança da estrutura, por meio de confiabilidade, à um modelo de integridade de sua deterioração.

A metodologia proposta, viabiliza um diagnóstico dos processos de degradação presentes e indica o nível de segurança da estrutura e seus componentes. Dessa forma, é possível entender o funcionamento do sistema e prever possíveis comportamentos do edifício, face ao que está sendo analisado.

Um reservatório em betão armado será utilizado como exemplo da capacidade do que está sendo proposto.

Palavras-chave: Estruturas Existentes, Betão Armado, Durabilidade, Patologias, Confiabilidade.

ABSTRACT

The study of existing structures is a challenge that aims to provide analysis and calculation techniques that facilitate reaching a context as close as possible to the real performance of the structure and its components.

The present work points out a probabilistic methodology that associates a reliability analysis with a process of inspections and evaluations of an existing reinforced concrete structure. The study of the damage in the elements of the structure takes place in phases, reaching a level of degradation of the structure for the purpose of a structural assessment.

First of all, a visual inspection must be made with a record of the conditions of the use of the structure and its pathologies. To complement the inspection data, on-site tests or laboratory tests should be performed as needed. Through a methodology, the critical level of of the damage in the structure and its degradation process are evaluated. Thus, it is proposed a link of the structure's security levels, through reliability, with the integrity state of deterioration.

The proposed methodology allows a diagnosis of the degradation processes and indicates the level of safety of the structure and its components. This way, it is possible to understand the functioning of the system and to predict possible behaviours of the building, given what is being analysed.

A reinforced concrete water tank will be used as an example of what is being proposed.

Key words: Existing Structures, Reinforced Concrete, Durability, Pathologies, Reliability.

AGRADECIMENTOS

Expresso o meu enorme agradecimento aos meus orientadores, pelos ensinamentos transmitidos, pela disponibilidade e paciência em ajudar. Professor João Pantoja, que já me acompanha há um tempo e está sempre ao meu lado me apoiando, incentivando e contribuindo para o meu aprendizado. Professor Hugo Pinheiro, que me acolheu neste mestrado e compartilhou comigo seus conhecimentos.

Agradeço à Universidade de Coimbra, por promover um mestrado de alto nível, com professores competentes que me proporcionaram uma trajetória educativa de evolução profissional e pessoal.

Agradeço, principalmente, aos meus pais, Carlos Henrique e Carem, que sempre acreditaram em mim e foram o meu maior suporte durante todo o meu mestrado e minha vida. Cada palavra de carinho e incentivo foram a minha base para conseguir ultrapassar os desafios encontrados no percurso.

Agradeço aos meus irmãos, Gabriela, Thiago e Denise, que são as pessoas que mais admiro e que estão sempre ao meu lado.

Agradeço à minha madrinha, Maria Elaine, que foi uma grande apoiadora na minha decisão de fazer um mestrado em Portugal.

Finalmente, agradeço à minha família, amigos e todos que me ajudaram direta ou indiretamente para a realização e conclusão deste trabalho.

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Âmbito	1
1.2 Apresentação do Estudo	1
1.3 Organização do Trabalho.....	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Reservatórios Em Betão Armado	3
2.2 Aspetos Básicos de Reservatórios	4
2.3 Durabilidade e Materiais	5
2.3.1 Regulamentação de Durabilidade.....	5
2.4 Patologias e Anomalias Mais Frequentes	8
2.4.1 Corrosão das armaduras.....	9
2.4.2 Fissuração	9
2.4.3 Lixiviação	10
2.4.4 Desagregação.....	11
2.4.5 Esfoliação	11
2.4.6 Perda de estanqueidade do reservatório.....	11
2.5 Metodologias de avaliação da durabilidade em estruturas de betão armado.....	12
2.5.1 Considerações sobre avaliação de estruturas existentes de betão armado.....	12
2.5.2 CEB: Estratégias para teste e avaliação de estruturas de betão	13
2.5.3 Alert-D.....	15
2.5.4 MEDIC	18
2.5.5 Metodologia para avaliação da durabilidade de betão armado – Gde/UnB	19
2.6 Confiabilidade Estrutural.....	27
2.6.1 Índice de Confiabilidade.....	28

3 METODOLOGIA PROBABILÍSTICA COM ACOPLAMENTO ENTRE DURABILIDADE E SEGURANÇA	31
3.1 Normatização das variáveis envolvidas.....	31
3.2 Avaliação do nível de segurança via confiabilidade	33
4 ESTUDO DE CASO	35
4.1 Apresentação do Reservatório Estudado	35
4.1.1 Modelo A.....	35
4.2 Avaliação do reservatório do modelo A	39
4.3 Análise linear	41
5 RESULTADOS	53
6 CONCLUSÃO.....	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Modelo de deterioração (adaptado de CEB-FIP Model Code 1990, 1993)	6
Figura 2.2 – Principais atividades envolvidas em avaliação de estruturas existentes (fib Bulletin No. 62, 2012)	12
Figura 2.3 – Fluxograma da metodologia Alert-D para avaliar danos em edifícios (adaptado de Valentino et al., 2019).....	15
Figura 2.4 – Estrutura do problema (adaptado de Valentino et al., 2019).....	16
Figura 2.5 – Exemplo de pesos, obtidos pelo processo otimizado de hierarquia analítica (adaptado de Valentino et al., 2019).....	17
Figura 2.6 – Curvas de probabilidade para as classes deterioração do elemento, apenas para ilustrar o método (adaptado de Flourentzoy et al., 1999).....	18
Figura 2.7 – Probabilidade acumulada das classes de deterioração (adaptado de Flourentzoy et al., 1999).....	19
Figura 2.8 – Fluxograma da metodologia para o cálculo do Grau de Deterioração da Estrutura (Gd).....	21
Figura 2.9 – Formulação para cálculo do grau de dano (Castro ,1994)	24
Figura 2.10 – Definição do domínio de falha (Porto, 2016).....	28
Figura 2.11 – Distribuição de margem de segurança (Porto, 2016)	29
Figura 3.1 – Modelo de Tuutti parametrizado (Pantoja, et al., 2018)	33
Figura 3.2 – Índices de confiabilidade de referência	34
Figura 4.1 – Reservatório modelo A	35
Figura 4.2 – Patamares, lajes e células	36
Figura 4.3 – Resumo dos valores obtidos pelo Esclerómetro de Schmidt	38
Figura 4.4 – Valores para definição da classe do betão.....	38
Figura 4.5 – Divisão dos níveis da estrutura com modelagem feita no robot	40
Figura 4.6 – Mapa de observações da cobertura	40
Figura 4.7 – Mapa de observações dos pilares	41
Figura 5.1 – Valores de Gdc obtidos para os Pilares	61
Figura 5.2 – Valores de Gdc obtidos para as Paredes	61
Figura 5.3 – Valores de Gdc obtidos para as Lajes	62
Figura 5.4 – Valores de Gdf	62
Figura 5.5 – Diagrama de forças	64

Figura 5.6 – Diagramas das forças normais máximas e mínimas	65
Figura 5.7 – Mapas de forças.....	66
Figura 5.8 – Diagrama de momentos.....	67
Figura 5.9 – Diagramas dos momentos máximos e mínimos.....	67
Figura 5.10 – Mapas de momentos.....	68
Figura 5.11 – Mapas de deslocamentos.....	70
Figura 5.12 – Diagramas dos deslocamentos máximos e mínimos	71
Figura 5.13 – Mapas das deformações na estrutura.....	71

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Categorias das classes de exposição (adaptado LNEC E 464:2007).....	6
Quadro 2.2 – Classes de exposição para cada elemento da estrutura (adaptado LNEC E 464:2007).....	7
Quadro 2.3 – Limite para as características do betão (adaptado LNEC E 464:2007).....	7
Quadro 2.4 – Limite para as características do betão sob acção do gelo/degelo (adaptado LNEC E 464:2016).....	8
Quadro 2.5 – Classes de deterioração (adaptado de Coronelli, 2006).....	14
Quadro 2.6 – Famílias de elementos estruturais, danos e fatores de ponderação (Fp) (adaptado de Castro, 1994).....	22
Quadro 2.7 – Classificação dos danos e fatores de intensidade (Fi) (adaptado de Castro, 1994)	23
Quadro 2.8 – Classificação dos níveis de deterioração do elemento (Castro, 1994)	26
Quadro 2.9 – Classificação dos níveis de deterioração do elemento (Castro, 1994)	27
Quadro 3.1 – Normatização do fator de ponderação da metodologia Gde/UnB.....	31
Quadro 3.2 – Normatização do fator de relevância estrutural e do fator de intensidade da metodologia Gde/UnB.....	32
Quadro 4.1 – Caracterização Geométrica.....	36
Quadro 4.2 – Resumo das patologias presentes no reservatório	37
Quadro 4.3 – Ensaio Realizados	37
Quadro 4.4 – Resumo das armaduras	38
Quadro 4.5 – Identificação dinâmica da estrutura.....	39
Quadro 4.6 – Divisão da estrutura.....	39
Quadro 4.7 – Combinações automáticas geradas pelo programa Robot.....	43
Quadro 5.1 – Fatores de Ponderação e Intensidade de cada elemento da estrutura	53
Quadro 5.2– Dano e grau de deterioração de cada elemento da classe dos pilares.....	54
Quadro 5.3– Dano e grau de deterioração de cada elemento da classe das paredes.....	57
Quadro 5.4 – Dano e grau de deterioração de cada elemento da classe das paredes	59
Quadro 5.5 – Fatores de relevância estrutural	59
Quadro 5.6 – Valores de referência para o nível de deterioração (Pantoja et. al, 2018)	60
Quadro 5.7 – Valores obtidos a partir da metodologia Gde/UnB	60
Quadro 5.8 – Fatores de integridade das classes, níveis e da estrutura	63

Quadro 5.9 – Extremos globais dos esforços atuantes na estrutura.....	64
Quadro 5.10 – Extremos globais dos deslocamentos na estrutura	69

SIMBOLOGIA

- F_m – Função de dano
 B_i – Valor base do i -ésimo dano
 K_{1i} – Fator do elemento estrutural
 K_{2i} – Fator de intensidade para o i -ésimo dano
 K_{3i} – Fator de extensão para o i -ésimo dano
 K_{4i} – Fator de urgência de intervenção para o i -ésimo dano
CR – Fator de condição de classificação
 F_{ref} – Dano máximo possível
 α_R – Fator de deterioração
 S_d – Solicitação
 R_d – Resistência
 Φ – Fator de deterioração da força
 B_R – Razão entre a capacidade real de um elemento e o seu valor nominal
 α_R – Fator de deterioração
 V_R – Coeficiente de variação da força
 β_c – O valor alvo do mínimo nível de segurança aceitável
 SD_d – Dano único
 Cr – Dano de um componente
 CCr_f – Dano de uma classe
 BCr_f – Dano da estrutura
 S_{tot} – Área total do edifício
 γ_k – Avaliação aproximada de componentes considerados por m^2
 γ_b – Avaliação aproximada de componentes considerados por m^2
 F_p – Fator de ponderação
 F_i – Fator de intensidade
 F_r – Fator de relevância
 k – Número de famílias de elementos
D – Grau de deterioração
 G_{de} – Grau de deterioração do elemento
 G_{df} – Grau de deterioração da família
-

G_d – Grau de deterioração da estrutura

C – Confiabilidade estrutural

P_f – Probabilidade de falha

$G(X)$ – Função de falha

β – Índice de confiabilidade

$\Phi()$ – Função de distribuição acumulada normal

f_{cm} – Resistência média à compressão do betão

ϕ - Diâmetro

V – Volume

A - Área

F - Força

1 INTRODUÇÃO

1.1 Âmbito

A avaliação de estruturas existentes é uma realidade cada vez mais presente no ramo da construção, sendo muito diferente do processo de dimensionamento de uma nova estrutura. Enquanto no dimensionamento o profissional se preocupa com as normas para as cargas gerais, índices de segurança, estados limites últimos e de serviço, modelos estruturais, na avaliação de estruturas existentes o processo de revisão de informações a respeito da estrutura, seus componentes e da sua utilização se torna o ponto de partida para melhorar ou corrigir o seu comportamento estrutural, sendo o objetivo final a garantia da sua segurança.

Alterações em estruturas estão associadas não somente às deficiências de projeto, mas sim às necessidades que se desenvolvem ao longo do tempo. Alterações das ações atuante, devido à uma nova utilização, modificações da geometria, correspondente a mudanças dos elementos estruturais, presença de patologias, conseqüente das variações que uma estrutura de betão armado sofre e até mesmo eventos da natureza, como sismos, são situações que estão relacionadas às intervenções em estruturas existentes.

A dificuldade, porém, de intervenção destas estruturas torna-se um desafio para os profissionais. Isso ocorre devido à complexidade das ações que devem ser tomadas em um ambiente já construído, com, muitas vezes, ausência de documentações à respeito do seu projeto, apresentando-se, assim, a evidente falta de regulamentações sobre reforço de estruturas.

Nesta conjuntura, empresas e profissionais estão cada vez mais interessados em processos que possam minimizar intervenções e diminuir custos desta área, sendo fundamental a busca de novas tecnologias e soluções que visem a durabilidade e segurança da estrutura.

É interessante, neste contexto, um método de avaliação do nível de criticidade que a estrutura e seus determinados elementos se encontram, podendo, concomitantemente, apontar a chance de falha dos mesmos. Com essas informações, fica muito mais fácil determinar soluções específicas para os diferentes níveis de problemas presentes na estrutura, adequando-se às realidades existentes, como verba disponível e prazos de entrega.

1.2 Apresentação do Estudo

Este estudo propõe uma metodologia de avaliação probabilística que considere, de forma acoplada, os parâmetros de durabilidade e segurança estrutural em estruturas existentes de betão armado.

Através de inspeções e uma metodologia para análise da estrutura de betão armado utilizando um modelo probabilístico, juntamente com um programa de análise estrutural, será possível chegar aos níveis críticos de segurança da estrutura e sua durabilidade.

Algumas aplicações em edifícios existentes de betão armado serão realizadas para exemplificar e mostrar o potencial da metodologia.

1.3 Organização do Trabalho

O capítulo 1 consiste na introdução do assunto abordado, falando um pouco à respeito de estruturas existentes e seus desafios na engenharia civil, iniciando a proposta de um método de avaliação de danos nestas estruturas.

O capítulo 2 é a revisão bibliográfica, com a reunião de temas que abordam toda a temática do trabalho proposto. Inicia-se com uma abordagem à respeito de reservatório, ligando-a às questões sobre durabilidade e, conseqüentemente, às patologias existentes neste tipo de estrutura. Passa-se para a apresentação de algumas metodologias de avaliação da durabilidade de estruturas de betão armado.

O capítulo 3 aborda a metodologia proposta neste trabalho, de forma normatizada.

O capítulo 4 utiliza-se de um exemplo de reservatório elevado como estudo de caso para aplicação da metodologia apresentada no capítulo 3.

O capítulo 5 contém os resultados obtidos com o estudo em questão.

O capítulo 6 concretiza as conclusões alcançadas a partir de todas as análises realizadas.

Por último, são fornecidas as referências bibliográficas utilizadas como consulta dos temas aqui abordados e propostos.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Reservatórios Em Betão Armado

Reservatórios são estruturas que tem como finalidade o armazenamento de todo o tipo de substâncias. O foco, porém, deste trabalho, são os reservatórios de água, consistindo em unidades hidráulicas que armazenam água e se destinam ao consumo humano, da agricultura, irrigação, industrial e outros.

Por terem uma condição muito importante em vários cenários do cotidiano humano, é significativo a melhor escolha do reservatório à sua função e ao local de sua instalação. É aceitável citar algumas exigências funcionais que confirmam uma boa articulação física e funcional, como a facilidade no acesso e operações de utilidade, na sua manutenção e uma boa interação paisagística.

Se tratando de um processo de reabilitação, o objetivo de uma intervenção funda-se na presença de anomalias em sua estrutura, na preservação da infraestrutura e no aumento da sua vida útil. A preocupação em eliminar perdas de água representa um grande ganho económico e ambiental nos dias atuais.

Para a intervenção, pois, demanda-se o conhecimento do sistema de abastecimento da região e uma eventual alternativa que garanta a distribuição e provimento de água à sociedade, fomentando na redução de impactos negativos que essa ação possa vir a causar.

A preocupação com a localização do sistema permite analisar a rede de distribuição como um todo e buscar a melhor solução no momento do processo de reabilitação da estrutura. Reservatórios a montante, em que são instalados antes da rede de distribuição, passando, assim, toda a água que é distribuída a jusante, exigem uma alternativa mais complexa, como por exemplo a utilização de caminhões pipa. Em reservatórios a jusante, em que se encontram após a rede de distribuição e tem a capacidade de armazenar água nos períodos em que a capacidade do próprio sistema consegue suprir as necessidades, completando o abastecimento em situação oposta, podem ter como alternativa apenas o desvio da rede de distribuição no período de uma intervenção.

De forma geral, o processo de reabilitação de um reservatório de água interfere diretamente na vida das pessoas, requerendo, além de um projeto que satisfaça os requisitos estruturais e de durabilidade, um planeamento de intervenção que consiga encontrar meios e recursos eficientes e com custos reduzidos.

2.2 Aspetos Básicos de Reservatórios

Os reservatórios podem ser classificados de acordo com:

- a. Posição em relação ao solo:
 - Depósitos térreos: são apoiados diretamente sobre o terreno, podendo ser parcial ou totalmente enterrados. Estes tipos de depósitos têm como vantagem um menor custo de execução para uma mesma capacidade, maior facilidade de inspeção e intervenções, de referir ainda um menor impacto urbanístico;
 - Depósitos elevados: geralmente são constituídos por um fuste, suportado por uma fundação e na parte superior encontra-se o reservatório propriamente dito, com diâmetro maior que o fuste. Já, estes depósitos, são normalmente utilizados quando há condições topográficas adversas e/ou não existe o fornecimento de carga suficiente à rede distribuidora.
- b. Geometria: destacam-se as bases circulares e ou retangulares.
- c. Presença de cobertura:
 - Reservatório aberto (tanque): sem cobertura;
 - Reservatório fechado.
- d. Compartimentação:
 - Depósito simples: uma célula apenas;
 - Depósitos múltiplos: várias células.
- e. Exigências de estanquidade: de acordo com a norma EN 1992-3:2006
 - Classe 0 – É aceitável algum grau de vazamento ou o vazamento de líquidos é irrelevante;
 - Classe 1 – O vazamento deve ser limitado a uma pequena quantidade. Algumas manchas na superfície ou manchas de umidade são aceitáveis;
 - Classe 2 – Vazamento deve ser mínimo. A aparência não deve ser comprometida por manchas.
 - Classe 3 – Não é permitido vazamento.

Dentro das classificações, estas estruturas em geral devem satisfazer exigências referentes à segurança estrutural e seu comportamento em serviço, devido aos reservatórios estarem sujeitos às cargas máximas durante a maior parte da sua vida útil.

À respeito a segurança estrutural, fundamenta-se a verificação da resistência dos elementos estruturais e a estabilidade global da estrutura, nomeadamente derrubamento e deslizamento.

Já, em relação ao comportamento em serviço, demanda-se o controle da fendilhação, estando diretamente relacionada à durabilidade da estrutura e sua função principal de impedir a percolação do líquido. Ademais, o controle da deformação da estrutura e assentamentos do terreno e fundação.

Relativamente as ações que os reservatórios estão sujeitos, incluem-se ações diretas (pesos próprios, sobrecargas, pressões exercidas pelo líquido e possíveis ações sísmicas) e ações indiretas (variações de temperatura, retração, fluência do betão).

Do ponto de vista estrutural, é mais vantajoso um reservatório de seção circular. Isto se deve ao fato dos momentos fletores serem reduzidos, estando a seção a funcionar essencialmente através de esforços normais.

2.3 Durabilidade e Materiais

Em Portugal, é comum a construção de reservatórios em betão armado ou betão armado pré-esforçado. A escolha deste material possibilita assegurar uma vida útil elevada da estrutura, além de baixos custos de manutenção. Reservatórios em aço, no entanto, tem a vantagem de proporcionar estanquidade total à estrutura.

Ainda sim, a seleção do tipo de material escolhido na construção ou reabilitação depende de alguns parâmetros gerais: tempo de vida útil, custo de fornecimento e manutenção, facilidade de instalação, rapidez da sua instalação e entrada de funcionários, tipo de reservatório já existente, capacidade de armazenamento.

Tratando-se de materiais, a sua durabilidade é determinada pela sua interação com o ambiente. As estruturas, entretanto, devem ser projetadas e construídas de forma a satisfazer um conjunto de exigências funcionais durante um certo período. Este período caracteriza-se como a vida útil da construção, devendo ser definido de antemão para se antecipar o grau de deterioração que a construção estará exposta. A Norma NP EN 1990:2009 define uma vida útil para os reservatórios de 50 anos, em que a estrutura deverá manter os requisitos de funcionalidade e segurança, sem a necessidade de grandes reparações, salvo as manutenções previstas.

Destacando o uso do betão armado, visto que representa os reservatórios aqui estudados, é de se apontar a fendilhação como um fator notável na durabilidade da estrutura, sendo possível recorrer à betões de baixa porosidade, com aditivos impermeabilizantes ou utilizando armaduras específicas.

2.3.1 Regulamentação de Durabilidade

A Norma NP EN 1990:2009 aponta alguns aspetos para garantir a durabilidade de uma estrutura:

- A utilização prevista ou futura da estrutura;
- Os critérios requeridos para o projeto;
- As condições ambientais previstas;
- A composição, as propriedades e o desempenho dos materiais e dos produtos;
- As propriedades do solo;
- A escolha do sistema estrutural;
- A forma dos seus elementos e as disposições construtivas;
- A qualidade da execução e o seu nível de controlo;
- As medidas específicas de proteção;
- A manutenção prevista durante o tempo de vida útil do projeto.

Esta norma, indica ainda que o grau de deterioração poderá ser avaliado com base em cálculos, na investigação experimental, na experiência obtida em construções anteriores ou por combinação destes diferentes processos.

De acordo com o CEB-FIP Model Code 90 (1993), por via de regra, quase todos os mecanismos de deterioração ocorrem com decorrer do tempo. Um modelo básico de duas etapas, fase de

iniciação e fase de propagação, aplica-se ao processo de deterioração de uma estrutura, conforme Figura 2.1.



Figura 2.1 – Modelo de deterioração (adaptado de CEB-FIP Model Code 90, 1993)

Na fase de iniciação não há sinais visíveis de deterioração nem perda significativa da resistência dos materiais ou da estrutura, porém as barreiras de proteção começam a ser danificadas pelo ambiente. Já na fase de propagação há uma evolução da deterioração, muitas vezes rápida, sendo percebida por sinais externos.

Este modelo de deterioração é compatível com o modelo de Tuutti (1982), em que é definido o período de iniciação e o período de propagação da corrosão das armaduras no betão armado.

Pensando em medidas de proteção com domínio dos mecanismos de deterioração, vê-se com propósito a caracterização das condições de exposição com identificação de substâncias agressivas, mecanismos de transporte e as reações implicadas na deterioração.

Como parâmetro de análise das ações ambientais, refere-se a norma NP EN 206-1:2007 com as categorias das classes de exposição que a estrutura está sujeita. O Quadro 2.1 a seguir é uma adaptação da especificação LNEC E 464:2007.

Quadro 2.1 – Categorias das classes de exposição (adaptado LNEC E 464:2007)

Descrição	Designações
Sem risco de corrosão de metais ou ataque ao betão	X0
Corrosão induzida por carbonatação	XC1 / XC2 / XC3 / XC4
Corrosão induzida por cloretos não provenientes da água do mar	XD1 / XD2 / XD3
Corrosão induzida por cloretos da água do mar	XS1 / XS2 / XS3
Ataque gelo-degelo	XF1 / XF2
Ataque químico	XA1 / XA2 / XA3

Na atualização da especificação, LNEC E 464:2016, a classificação da água do mar passa a ter classe de exposição XA1.

Ao que se refere às condições ambientais, estas devem ser identificadas na fase de projeto, uma vez que estão diretamente associadas à durabilidade da estrutura, permitindo que medidas de proteção para os materiais utilizados sejam feitas.

Tratando-se de reservatórios, o Quadro 2.2 elucida as classes de exposição para cada elemento da estrutura.

Quadro 2.2 – Classes de exposição para cada elemento da estrutura (adaptado LNEC E 464:2007)

Categorias	Classes			
	Cuba	Cobertura	Torre	Fundação
(1)	-	-	-	-
(2)	XC2	XC4	XC4	XC4
(3)	-	-	-	-
(4)	XS1	XS1	XS1	XS1
(5)	-	-	-	-
(6)	-	-	-	XA2

Neste contexto e pretendendo assegurar a durabilidade das estruturas, são impostos limites a determinadas características do betão segundo o ambiente que a estrutura está exposta. O Quadro 2.3 expõe um resumo dos limites atribuídos pela especificação LNEC E 464:2007 da norma NP EN 206-1:2007.

Quadro 2.3 – Limite para as características do betão (adaptado LNEC E 464:2007)

Tipo de cimento ⁽¹⁾	Classe de exposição	Recobrimento nominal mínimo	Dosagem de cimento mínima	Razão A/C máxima	Classe de resistência mínima	
					Betão Normal	Betão Leve
--	X0	--	--	--	C12/15	--
CEM I; CEM III/A ⁽²⁾	XC1	25 mm	240 kg/m ³	0,65	C25/30	LC25/28
	XC2	35 mm				
	XC3	35 mm				
	XC4	40 mm				
	XS1 / XD1 ⁽³⁾	45 mm	360 kg/m ³			
	XS2 / XD2 ⁽³⁾	50 mm				
	XS3 / XD3 ⁽³⁾	55 mm				
	XF1	--	280 kg/m ³			
	XF2 ⁽³⁾	--				
	XA1 ⁽⁴⁾	--	340 kg/m ³			
XA2 ⁽⁴⁾	--	360 kg/m ³				
XA3 ⁽⁴⁾	--	380 kg/m ³				
CEM II/B ⁽²⁾ ; CEM III/A ⁽²⁾ ; CEM IV ⁽²⁾ ; CEM V/A ⁽²⁾	XC1	25 mm	260 kg/m ³	0,65	C25/30	LC25/28
	XC2	35 mm				
	XC3	35 mm				
	XC4	40 mm	300 kg/m ³			
	XF1	--				
	XF2 ⁽³⁾	--				
CEM IV/A; CEM IV/B; CEM III/A; CEM III/B; CEM V; CEM II/B ⁽²⁾ ; CEM IV/A-D	XS1 / XD1	45 mm	320 kg/m ³	0,55	C30/37	LC30/33
	XS2 / XD2	50 mm				
	XS3 / XD3	55 mm				
	XA1	--	320 kg/m ³			
	XA2	--	340 kg/m ³			
	XA3	--	360 kg/m ³			

⁽¹⁾ De acordo com a especificação E 464, em vez dos cimentos indicados, podem ser utilizadas misturas, obtidas pela junção de um cimento do tipo CEM I ou CEM III/A com adições, cuja composição resultante seja equivalente à de um dos cimentos indicados.

⁽²⁾ Não aplicável aos cimentos III/A-T e III/A-W e aos cimentos II/B-T e II/B-W, respectivamente.

⁽³⁾ Não aplicável aos cimentos com percentagem inferior a 50% de clínquer Portland, em massa.

⁽⁴⁾ Não aplicável aos cimentos II-T, II-W, II/B-L e II/B-L-L.

⁽⁵⁾ Teor mínimo de ar de 4%.

Na atualização da especificação, LNEC E 464:2016, os limites da composição e da classe de resistência do betão sob acção do gelo/degelo, para uma vida útil de 50 anos, passam a ser:

Quadro 2.4 – Limite para as características do betão sob acção do gelo/degelo (adaptado LNEC E 464:2016)

Tipo de cimento	CEM I (Referência); CEM II/A ⁽¹⁾		CEM II/B ⁽¹⁾ ; CEM III; CEM IV ⁽²⁾ ; CEM V ⁽²⁾			
Classe de exposição	XF1	XF2		XF1	XF2 ⁽³⁾	
Máxima razão água/cimento	0,60	0,50	0,55	0,55	0,45	0,50
Mínima dosagem de cimento, C (kg/m ³)	280	320	300	300	340	320
Mínima classe de resistência	C30/37 LC30/33	C35/45 LC 35/38	C30/37 LC30/33	C30/37 LC30/33	C35/45 LC 35/38	C30/37 LC30/33
Teor mínimo de ar (%)	—	—	4,0	—	—	4,0

⁽¹⁾ Não aplicável aos cimentos II/A-P, II/A-T e II/A-W e aos cimentos II/B-L, II/B-T e II/B-W, respectivamente.
⁽²⁾ Apenas para a classe de exposição XF1. Não aplicável aos cimentos com percentagem inferior a 50% de clínquer portland, em massa.
⁽³⁾ Os cimentos CEM II/B-P ou Q e CEM III-C não devem ser utilizados nesta classe de exposição.

2.4 Patologias e Anomalias Mais Frequentes

Patologias e anomalias são frequentemente confundidas na construção e reabilitação. Para identificar suas principais diferenças, pode-se dizer que a patologia está associada ao estudo dos problemas construtivos que surgem durante ou após a execução da construção, caracterizando-se pela degradação ao longo do tempo. A anomalia é resultado de desvios ou afastamentos da regra, o que pode indicar defeitos visíveis e mensuráveis associados, frequentemente, à erros de projeto.

Entre as patologias em reservatório pode-se citar:

- Deterioração dos materiais;
- Delaminação do betão por corrosão das armaduras;
- Deficiente execução de juntas na fase de betonagem ou na colocação de elementos pré-fabricados;
- Fissuração;
- Degradação de revestimentos interiores e/ou exteriores (impermeabilizantes, argamassas, pinturas);
- Problemas de assentamento da fundação;
- Ataques químicos e físicos.

Já referente às anomalias, tem-se:

- Dimensões de entrada na laje de cobertura em reservatórios com dimensões reduzidas;
- Utilização de materiais impróprios para meios em água potável;
- Inclinação insuficiente na laje de fundo e na cobertura;
- Inexistência de mureta na laje de cobertura que evite as ocorrências das águas pluviais na parede exterior;

- Adução e descarga no reservatório colocados de forma errada, comprometendo a circulação e oxigenação da água no interior.

Neste trabalho vamos abordar as patologias e/ou anomalias presentes no reservatório que será analisado e que pode comprometer a vida útil da estrutura de betão armado.

2.4.1 Corrosão das armaduras

A principal causa de problemas relacionados à durabilidade do betão armado é a corrosão do aço, que ocorre com a presença de oxigénio e humidade, devido à carbonatação ou à penetração de cloretos.

A corrosão por carbonatação ocorre quando, em meio húmido, o CO_2 reage com o hidróxido de cálcio presente no betão e reduz o seu pH, despassivando a armadura, que antes era envolvida por um meio alcalino e protegida contra a corrosão. Essa carbonatação avança por difusão, sendo que a profundidade da frente de carbonatação depende do tempo. Já a taxa de carbonatação depende do teor de humidade da estrutura, da humidade relativa do ambiente, da concentração atmosférica de CO_2 , da porosidade, do tipo de cimento, razão A/C, compactação, cura e idade do betão.

Na corrosão por penetração de cloretos ocorre um processo eletroquímico que se inicia quando é atingido o teor crítico de cloretos junto à armadura, aumento a acidez. Os cloretos estão presentes no cimento, agregados, aditivos, ambiente marinho, produtos de limpeza, certas indústrias e em zonas frias que ocorre descongelamento. É preciso, porém, a presença de O_2 e H_2O para que o processo ocorra, pois ocorre uma reação anódica de oxidação do ferro com liberação de eletrões, uma reação catódica de redução de oxigénio gasoso em solução aquosa que reage com os eletrões e produz iões hidróxido e, por fim, a produção da ferrugem pela combinação dos iões ferro e hidróxido no meio aquoso. Os fatores determinantes para que ocorra esse tipo de corrosão são as condições ambientais, qualidade do betão e o recobrimento.

Um recobrimento íntegro é capaz de adiar o início de uma corrosão, desempenhando, também, funções de ligamento do aço ao betão e proteção do aço contra o fogo. Para que tenha um desempenho satisfatório, o recobrimento depende do betão, da sua espessura, de uma boa qualidade em termos de conceção e execução e da largura de fendas reduzidas.

A corrosão da armadura traz, portanto, a redução da secção e da aderência do betão ao aço, ocasionando outros problemas para a estrutura, como a sua expansão, fendilhação, delaminação e destacamento do betão.

2.4.2 Fissuração

Estruturas de betão armado são projetadas considerando a possibilidade de aparecimentos de fissuras, não sendo, em via de regra, um indicativo de problemas na resistência e/ou funcionamento da estrutura. A fissuração, portanto, deve ser analisada de acordo com normas e com o tipo de ambiente em que a estrutura está exposta, pois dependendo da espessura da fissura, pode ocorrer prejuízo no aspeto, na durabilidade ou ineficácia na estrutura.

As fendas ou fissuras no betão ocorrem pela diferença da resistência à tração e compressão, em que a tensão de tração máxima em uma zona é maior do que a resistência à tração do betão. Dessa forma, quando a fissura surge, ocorre uma redistribuição do campo de tensões, sendo que no betão armado, as tensões de tração mais significativas passam a ser resistidas pelo aço, podendo ocorrer também uma alteração significativa do mecanismo resistente ou o colapso do elemento.

A fissuração decorre-se, no entanto, quando o betão se encontra fresco ou endurecido. No betão fresco pode ocorrer fissuração por deformação visco-plástica, tanto por retração plástica de hidratação e secagem como por assentamento plástico; por movimentos da construção e pela geada matinal.

No assentamento plástico as armaduras ou a cofragem podem dificultar o assentamento das partículas sólidas do betão, podendo ocorrer, também, pelo assentamento diferencial das partículas. Já a fissuração por retração plástica ocorre, em seguida ao amassamento, quando a evaporação da água superficial é superior à exsudação, ocasionando forças capilares capazes de contrair o betão. Por outro lado, a fissuração devido à retração por secagem é um processo lento que ocorre pela redução de volume por secagem.

Já no betão endurecido, as causas para fissuração podem ser físicas, químicas, térmicas e estruturais:

- Físicas: retração por secagem;
- Químicas: corrosão da armadura, reação alcalis-agregados e carbonatação do cimento;
- Térmicas: Ciclos gelo-degelo, variação anual da temperatura e contração térmica inicial;
- Estruturais: Cargas de projeto, cargas acidentais excessivas e fluência.

Um risco decorrente do aparecimento de fissuras é a evolução da corrosão nessas regiões, estando vinculado à impermeabilidade do betão e da espessura do recobrimento da peça.

2.4.3 Lixiviação

Uma das manifestações patológicas mais comuns no betão é a lixiviação, podendo ocorrer em estruturas recém executadas ou com idades mais avançadas. É uma patologia que apresenta uma maior preocupação estética, suscitando problemas mais sérios apenas quando a manifestação atinge estágios mais avançados.

A lixiviação ocorre quando há a presença de água e consiste em um material branco, o carbonato de cálcio, resultante da reação entre o hidróxido de cálcio ($C_a(OH)_2$), que é formado durante o processo de hidratação do cimento, dissolvido e carregado para fora da superfície do betão pela água, e o CO_2 da atmosfera.

Em estágios mais avançados, em que há uma remoção excessiva da quantidade de sólidos da estrutura, a lixiviação pode abrir caminhos para a entrada de substâncias nocivas às armaduras e ao betão, ocasionando e/ou potencializando outras patologias, como a corrosão das armaduras.

Este fenômeno não causa danos nos revestimentos aplicados no betão, sendo estes, na verdade, capazes de proteger o betão, funcionando como barreira contra a retirada do hidróxido de cálcio.

2.4.4 Desagregação

A desagregação é caracterizada pela perda do poder aglomerante do cimento, que gera um destacamento dos agregados graúdos da argamassa, se desfazendo.

O primeiro sinal de aparecimentos desta patologia é a alteração da coloração do betão, seguido pelo surgimento de fissuras em todas as direções, aumentando rapidamente de abertura, em função da expansão da pasta de cimento. Um abaulamento da superfície do betão também pode ser observado.

As principais causas da desagregação são ataques químicos, reação álcali-agregado, águas que evaporam e condensam, microrganismos, substâncias orgânicas.

2.4.5 Esfoliação

A esfoliação, ou deslocamento, é definida pela rutura e destacamento do betão superficial, devido ao surgimento de tensões de tração acima da resistência do betão. Porém, mesmo se tratando de um betão disgregado, ele continua íntegro.

É normalmente provocada pela expansão do betão causada pela corrosão das armaduras, pelas deformações geradas por cargas excessivas, por desagregação interna, impactos, cavitação.

2.4.6 Perda de estanqueidade do reservatório

A impermeabilização de reservatórios de água, tem a função de, não somente manter a água dentro do tanque, mas de garantir a potabilidade da água adequada para o consumo.

Dessa forma, é essencial que não haja contaminação no reservatório por fungos, bactérias e até pelo próprio impermeabilizante aplicado.

Quando não há uma impermeabilização adequada no interior do reservatório, por tintas ou argamassas, por exemplo, arrisca-se o betão à delaminação e desagregação, provocados pela erosão da água associada ao meio agressivo com iões de cloro, sódio e oxigénio dissolvido. É comum que se desenvolva esta patologia, em particular intensidade, na face inferior da laje da cobertura, pelo acumulo frequente do vapor de água.

2.5 Metodologias de avaliação da durabilidade em estruturas de betão armado

2.5.1 Considerações sobre avaliação de estruturas existentes de betão armado

A avaliação de estruturas existentes é um processo para entender a estrutura e seus componentes a fim de encontrar as melhores soluções estruturais e de segurança de acordo com as patologias presentes.

O profissional em uma análise estrutural precisa conhecer o comportamento da estrutura e seus elementos, tendo conhecimento das circunstâncias de falha que esta estrutura está submetida, considerando os danos presentes, como fissuras, flechas, umidade, recalque, entre muitos outros. Identificar as causas e o que está contribuindo para a deterioração da estrutura, como falhas de projeto e/ou execução, ambiente hostil ou o seu uso inapropriado, são fundamentais para estimar a segurança em que a estrutura se encontra.

Portanto, a avaliação de estruturas existentes começa com a análise de diferentes dados e informações:

- Documentações existentes, como projetos estruturais, de fundação, topografia dos arredores, etc., se existente;
- Vistorias a fim de afirmar a localização, condição da estrutura, cargas, exposição climática e necessidade de ensaios;
- Ensaios laboratoriais e/ou in loco;
- Monitoramento dos danos e da estrutura;
- Possível uso de modelos e programas para verificação dos resultados obtidos.

Com a interpretação dos dados apresentados, é possível saber o nível de criticidade dos danos da estrutura e, conseqüentemente, o nível de segurança que esta se encontra. Um plano de ações de intervenções é necessário para garantir a durabilidade e segurança da mesma.

Um modelo de atividades e procedimentos para avaliação de estruturas existentes está representado na Figura 2.2 (fib Bulletin No. 62, 2012).

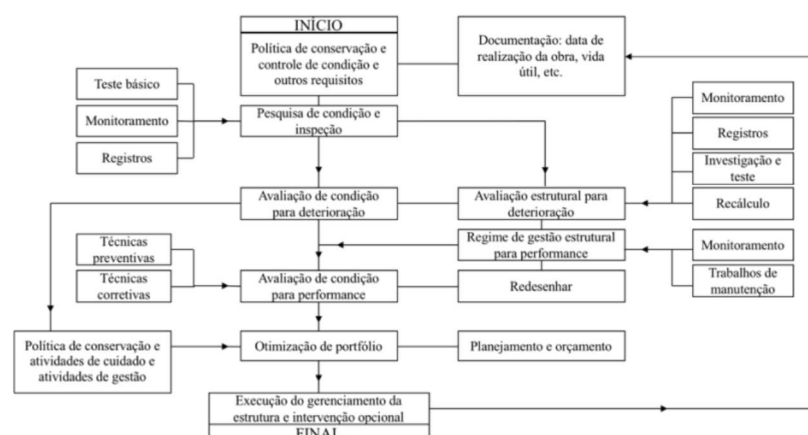


Figura 2.2 – Principais atividades envolvidas em avaliação de estruturas existentes (adaptado de fib Bulletin No. 62, 2012)

A norma ISO 13822:2010 define três níveis de performance estrutural para a análise de estruturas existentes:

- Garantir a segurança de quem utiliza a estrutura;
- Prover a função de estruturas especiais, como hospitais e pontes, em caso de eventos sísmicos;
- Reduzir perda econômica.

A abordagem atual para a análise de estruturas de betão armado, requer a definição de modelos para quantificar os processos de deterioração, com a finalidade de projetar uma estrutura com uma vida útil realista.

Existem vários métodos para análise de durabilidade da estrutura, com sistemas de classificação estrutural que utilizam de parâmetros e pesos nos fatores que geram a perda do desempenho da estrutura. Serão apresentados neste capítulo, algumas metodologias que abordam a classificação e quantificação do dano na estrutura.

2.5.2 CEB: Estratégias para teste e avaliação de estruturas de betão

Esta metodologia está presente no fib Bulletin No. 243 (1998) e se fundamenta em estratégias para teste e avaliação de estruturas de betão, utilizando atividades de preparação e inspeções para chegar a propostas de intervenção.

O CR foi proposto originalmente para grandes estruturas, como pontes, com o intuito de identificar casos mais deteriorados por um índice de danos e um fator de deterioração e criar análises mais detalhadas de intervenções de reparo. O método foi posteriormente adaptado às construções de betão armado (Coronelli, 2007).

O método se desenvolve da seguinte forma, primeiro é feita a observação visual e avaliação da eficiência da estrutura, objetivando compreender a ação estrutural e a hierarquia dos elementos estruturais no caminho de carga. São identificadas as regiões mais deterioradas e todas as regiões críticas do ponto de vista estrutural, além de executar as medições geométricas dos elementos e as propriedades mecânicas e físico-químicas dos materiais através de ensaios in situ e em laboratório.

É seguido para a classificação de sua condição, um índice numérico do nível de dano dos elementos e de toda a estrutura, com base nos testes e observações da intensidade e extensão do dano, admitindo sua urgência de reparo.

Chega-se a avaliação de segurança, com cálculo da resistência residual dos elementos por um fator de deterioração da resistência, avaliação das forças e momentos internos (análise estrutural) e verificações do estado limite usando os valores de resistência reduzidos.

Portanto, é definido um grupo de tipos de danos, como fenômenos de corrosão, deterioração do betão, fissuras, defeitos de construção e outros. A função de dano (F_m) é calculada para cada dano observado na estrutura.

$$F_m = \sum_i B_i K_{1i} K_{2i} K_{3i} K_{4i} \quad (1)$$

Em que,

B_i = o valor base do i-ésimo tipo de dano, expressando seu potencial efeito na segurança e durabilidade do componente estrutural que está sendo avaliado;

K_{1i} = o fator do elemento estrutural, caracterizando sua importância para a segurança da estrutura ou parte dela;

K_{2i} = o fator de intensidade para o i-ésimo dano, determinado por critérios visuais qualitativos e medições experimentais, variando em quatro graus de 0,5 a 2;

K_{3i} = o valor de extensão para o i-ésimo dano do elemento que está sendo avaliado, variando de 0,5 a 2;

K_{4i} = o fator de urgência de intervenção para o i-ésimo dano, variando de 1 a 5.

Um fator de condição de classificação (CR) é calculado com a razão da função de dano apresentada anteriormente e o dano máximo possível (F_{ref}).

$$CR = \frac{F_m}{F_{ref,m}} \quad (2)$$

Baseado nos valores de CR, é definida uma classe de deterioração apropriada e os respectivos valores do fator de deterioração (α_R).

Quadro 2.5 – Classes de deterioração (adaptado de Coronelli, 2006)

Classe	Descrição da condição	CR	α_R
I	Sem defeitos, apenas deficiências construtivas	0-5	0,3
II	Baixo nível de deterioração, em que apenas depois de um longo período de tempo, se não reparado no tempo apropriado, pode ser a causa de reduzida manutenção ou durabilidade do componente estrutural afetado	3-10	0,4
III	Médio nível de deterioração, em que pode ser a causa de reduzida manutenção e durabilidade do componente estrutural afetado, se não reparado no tempo apropriado, mas ainda não necessita de limitações no uso da estrutura	7-15	0,5
IV	Alto nível de deterioração, com reduzida manutenção e durabilidade da estrutura, mas ainda não necessita sérias limitações de uso	15-25	0,6
V	Muito alto nível de deterioração, necessita limitações de uso, com escora para os componentes mais críticos ou outras medidas protetivas	22-35	0,7
VI	Deterioração crítica, requer imediata ação de escora da estrutura e grande limitação de uso, fechamento	≥ 30	0,8

O procedimento de avaliação é baseado na aplicação de um fator de redução para os estados limites últimos.

$$S_d < \Phi R_d \quad (3)$$

O fator de deterioração da força pode ser determinado pela expressão:

$$\Phi = B_R \cdot e^{-\alpha_R \beta_C V_R} \quad (4)$$

Em que,

B_R = a razão entre a capacidade real de um elemento e o seu valor nominal, calculada a partir de suposições e fórmulas, sem considerar a força de deterioração;

α_R = fator de deterioração (Quadro 2.5);

V_R = coeficiente de variação da força, determinado a partir de testes e dados de inspeções nos materiais, considerando a confiabilidade dessas medições (10-20%);

β_C = o valor alvo do mínimo nível de segurança aceitável (coeficiente de segurança), entre 3,3 e 4,3 no dimensionamento, com um valor comum de 3,8. Na publicação CEB é indicado o uso de 2,5 para predições relacionadas à um curto período de tempo até após avaliações ou 3,5 para vida útil normal.

O fator Φ varia entre 0,5, nos casos de estruturas muito deterioradas, sem manutenção e inspeções regulares, até 1, nos casos de estruturas em boas condições e submetidas a inspeções precisas.

O fator de deterioração da força pode ser obtido usando o valor da classificação da condição da fórmula global ou local.

2.5.3 Alert-D

Esta metodologia visa formular e criar passos para quantificar a degradação de edifícios, propondo um modelo com fases de avaliação, como mostra a Figura 2.3.

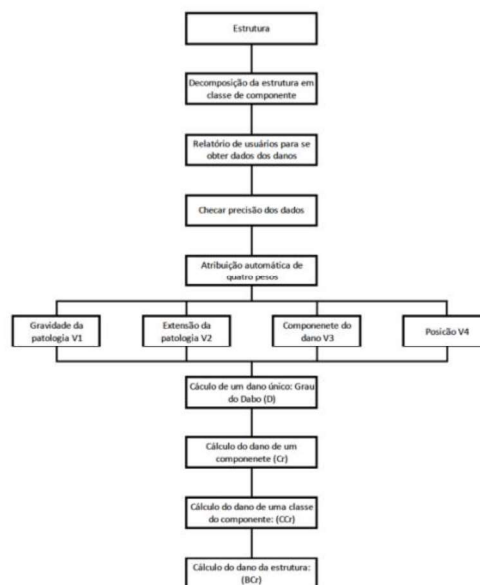


Figura 2.3 – Fluxograma da metodologia Alert-D para avaliar danos em edifícios (adaptado de Valentino et al., 2019)

A metodologia inicia-se com a divisão da estrutura em um conjunto $F = \{f = 1, \dots, N_F\}$ de classes de componentes (parede, pilar, viga, etc.) e em um conjunto $E = \{e = 1, \dots, N_E\}$ de possíveis componentes. Cada f-ésimo classe de componente inclui um subconjunto de componentes (por exemplo, a classe de pilar inclui o subconjunto dos componentes de pilares).

Um relatório é gerado com base nas análises visuais para cada patologia do edifício, sendo que cada relatório é composto por um levantamento fotográfico e informações adicionais sobre a estrutura, organizados de acordo com sua gravidade, extensão, componente e posição do dano na estrutura.

Cada patologia presente terá, consequentemente, um peso designado.

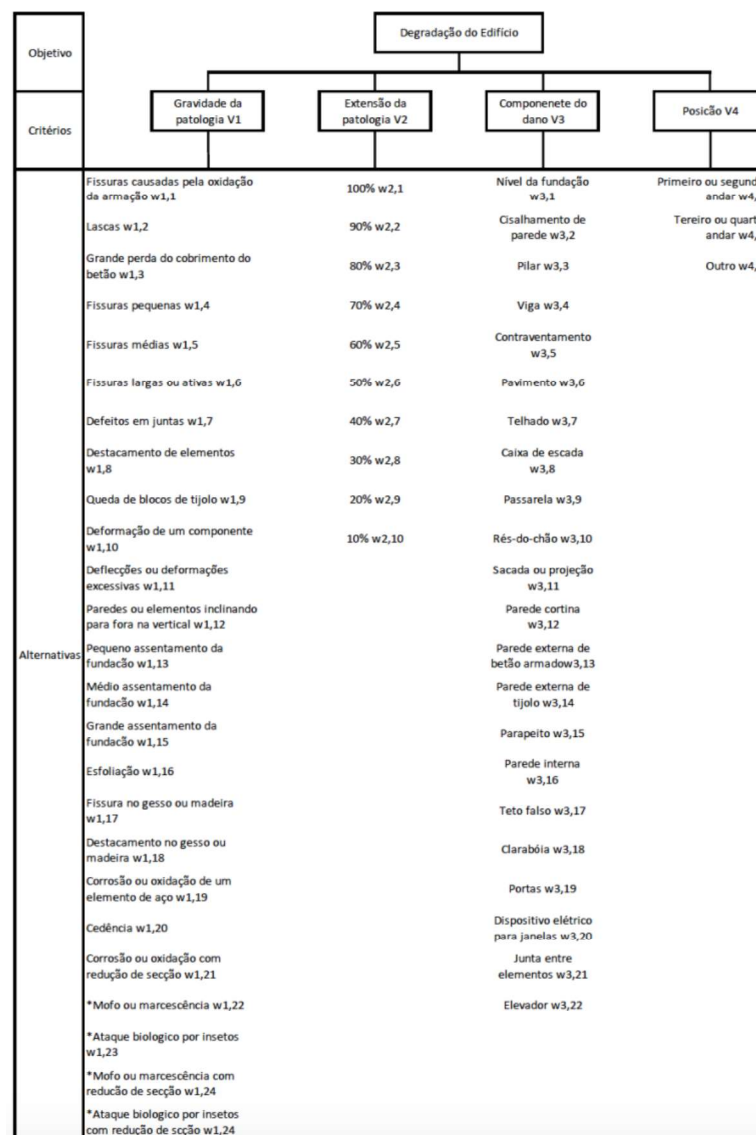


Figura 2.4 – Estrutura do problema (adaptado de Valentino et al., 2019)

Critério geral ou alternativas	Critério ou peso alternativo	Valor
v_i	v_1	0.44
	v_2	0.43
	v_3	0.10
	v_4	0.03
$w_{1,j}$	$w_{1,1}$	3.0
	$w_{1,2}$	3.9
	$w_{1,3}$	8.8
	$w_{1,4}$	3.0
	$w_{1,5}$	4.4
	$w_{1,6}$	9.5
	$w_{1,7}$	3.0
	$w_{1,8}$	3.9
	$w_{1,9}$	3.9
	$w_{1,10}$	3.5
	$w_{1,11}$	9.0
	$w_{1,12}$	9.5
	$w_{1,13}$	5.1
	$w_{1,14}$	5.1
	$w_{1,15}$	10.0
	$w_{1,16}$	2.0
	$w_{1,17}$	3.0
	$w_{1,18}$	3.9
	$w_{1,19}$	1.0
	$w_{1,20}$	4.9
	$w_{1,21}$	4.9
	$w_{1,22}$	1.0
	$w_{1,23}$	1.0
	$w_{1,24}$	4.9
	$w_{1,25}$	4.9
$w_{2,j}$	$w_{2,1}$	10.0
	$w_{2,2}$	9.0
	$w_{2,3}$	8.0
	$w_{2,4}$	7.0
	$w_{2,5}$	6.0
	$w_{2,6}$	5.0
	$w_{2,7}$	4.0
	$w_{2,8}$	3.0
	$w_{2,9}$	2.0
	$w_{2,10}$	1.0
$w_{3,j}$	$w_{3,1}$	10.0
	$w_{3,2}$	9.1
	$w_{3,3}$	7.9
	$w_{3,4}$	6.1
	$w_{3,5}$	6.1
	$w_{3,6}$	6.1
	$w_{3,7}$	6.1
	$w_{3,8}$	6.1
	$w_{3,9}$	6.1
	$w_{3,10}$	6.1
	$w_{3,11}$	5.5
	$w_{3,12}$	2.4
	$w_{3,13}$	2.2
$w_{4,j}$	$w_{4,1}$	10.0
	$w_{4,2}$	6.2
	$w_{4,3}$	1.1

Figura 2.5 – Exemplo de pesos, obtidos pelo processo otimizado de hierarquia analítica (adaptado de Valentino et al., 2019)

Considerando uma componente genérica e e o dano detetado relacionado Δ , o índice associado com o dano único SD_d com $d = 1, \dots, \Delta$ é obtido pela seguinte fórmula (Sangiorgio, 2018).

$$SD_d = \sum_{i=1}^m v_i \cdot w_{ij} \quad \text{com} \quad j \in \{1, \dots, ali\} \quad (5)$$

Em que cada i tem apenas um j associado.

O valor de CCr_f e BCr_f são calculados de acordo com as seguintes fórmulas:

$$CCr_f = \frac{\sum_e .Cr_e}{\gamma_k .S_{tot}} \quad (6)$$

Onde,

S_{tot} = área total do edifício;

γ_k = avaliação aproximada de componentes considerados por m^2 .

$$BCr_f = \frac{\sum_{e=1}^{N_E} .Cr_e}{\gamma_b .S_{tot}} \quad (7)$$

Onde,

S_{tot} = área total do edifício;

γ_b = avaliação aproximada de componentes considerados por m^2 .

2.5.4 MEDIC

Esse é um método para prever a vida útil residual, destinado ao uso com EPIQR, um projeto Europeu de deterioração de materiais de edifícios e suas componentes, que usa um sistema de classificação com quatro classes para descrever a condição de deterioração dos elementos.

Classe a representa um elemento em boa condição, classe b um elemento com uma leve deterioração, classe c um elemento com grave deterioração e classe d um elemento que necessita de substituição.

A base da metodologia consiste em quatro curvas de probabilidade para cada elemento da estrutura, Figura 2.6. Para determinado elemento, essas curvas mostram, em qualquer durante a vida útil do elemento, a probabilidade de deterioração ser classe a , b , c , ou d .

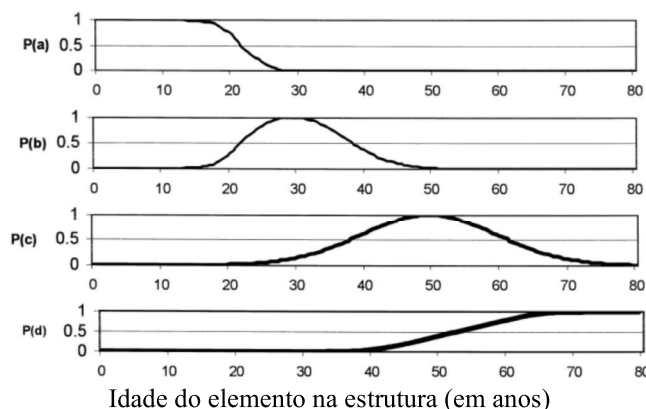


Figura 2.6 – Curvas de probabilidade para as classes deterioração do elemento, apenas para ilustrar o método (adaptado de Flourentzoy et al., 1999)

Na Figura 2.7, temos um espaço $Q = [0,1]$, chamado de espaço de qualidade, representado pelo universo de todas as prováveis elementos da estrutura, eixo y . Qualquer elemento específico, $q \in Q$, situado em algum lugar entre 0 e 1, depende de sua qualidade. Se é conhecida a posição exata do elemento no eixo y do gráfico, é possível fazer a leitura do tempo de passagem de uma classe para a outra.

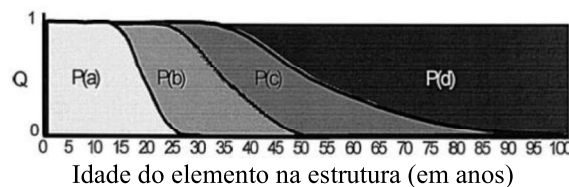


Figura 2.7 – Probabilidade acumulada das classes de deterioração (adaptado de Flourentzoy et al., 1999)

O valor $q = 0$ representa uma boa estrutura com uma vida útil longa e as transições entre as classes de deterioração demoram muito tempo. O valor $q = 1$, em contrapartida, apresenta o pior cenário.

Na prática, é impossível determinar a posição de um elemento específico, exatamente no espaço Q , mas é possível definir ou avaliar uma região em que é provável encontrá-lo. Um elemento em condições ruins ou que foi exposto à condições climáticas adversas, pertence à $q \in [0.5, 1]$, enquanto um elemento em boas condições pertence à $q \in [0, 0.5]$.

Se é conhecido que $q \in [0, B]$, a probabilidade condicional fornece:

$$P(\text{classe } i | q \in [0, B]) = P(\text{classe } i) / |0B| \quad (8)$$

Se $q \in [0, B]$, temos:

$$P(\text{classe } i | q \in [B, 1]) = (P(\text{classe } i) - |0B|) / (1 - |0B|) \quad (9)$$

Em que, $i \in \{a, b, c, d\}$.

2.5.5 Metodologia para avaliação da durabilidade de betão armado – Gde/UnB

Edifícios em betão armado apresentam com o tempo deterioração na sua estrutura. Um fator que se destaca para a manifestação de danos é a falta ou ausência de programas de manutenção preventiva das estruturas, fato este que está direcionando à uma maior investigação dos conceitos de durabilidade e vida útil.

É conhecido que a vida útil da estrutura depende, em grande parte, da sua manutenção, sendo capaz de diminuir os efeitos e custos de reparo de forma que antecipem ou sejam descobertos de início eventuais problemas estruturais. A normatização relativa à manutenção estrutural,

porém, ainda está caminhando para ter a mesma atenção do que normas de projetos e execução, que têm como base a durabilidade das estruturas.

Para auxiliar no estudo de estruturas existentes e na manutenção de estruturas de betão armado, a metodologia para avaliação da durabilidade de betão armado Gde/UnB parametrizada, foi escolhida. O seu objetivo é avaliar, quantitativamente, o grau de deterioração de elementos isolados e da estrutura como um todo, fundamentando-se em parâmetros que considerem as manifestações de danos mais frequentes, sua evolução e a influência do meio ambiente em que se encontra a estrutura.

Esta metodologia foi inicialmente desenvolvida por Castro (1994), sendo modificada em trabalhos de mestrado por Lopes (1998), Boldo (2002) e Fonseca (2007).

Castro (1994) cita no processo de desenvolvimento de sua metodologia, algumas normas de referência relativas à projeto e execução com foco em durabilidade, sendo estas Código MC-90 (CEB, 1991); EUROCODE N°2 (1989); NB1/78 (ABNT, 1992). Para estruturação de uma avaliação quantitativa do desempenho estrutural, o trabalho busca informações no Technical Committee 104 – Damage classification of concrete structures (104 – DCC), instituído pelo RILEM, que tem como finalidade a busca da unificação, a nível Europeu, de métodos de teste e diagnóstico relacionados à classificação de danos em estruturas de betão e, também, na metodologia desenvolvida por Klein et al (1991), em convênio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul com a prefeitura de Porto Alegre, que tem como objetivo implementar um processo de vistorias sistematizadas em pontes e viadutos para manutenção periódica e priorização das intervenções necessárias.

Isto posto, a metodologia desenvolvida por Castro (1994) – Gde/UnB – tem como base um programa de inspeções sistemáticas que consiga identificar a necessidade, o momento correto e a extensão da intervenção em uma estrutura, sendo que as inspeções devem considerar aspetos de segurança, funcionalidade e estética, estando estes atrelados às condições ambientais e ao tempo de utilização.

A metodologia Gde/UnB compreende-se na realização de inspeções periódicas em estruturas de betão armado, por um profissional da área com informações básicas sobre a estrutura, seguindo uma série de procedimentos apresentados no fluxograma da Figura 2.8 e baseando-se em um *Caderno de Inspeção* que reúne informações básicas sobre a estrutura e diversas matrizes que reúnem os dados necessários do fluxograma.

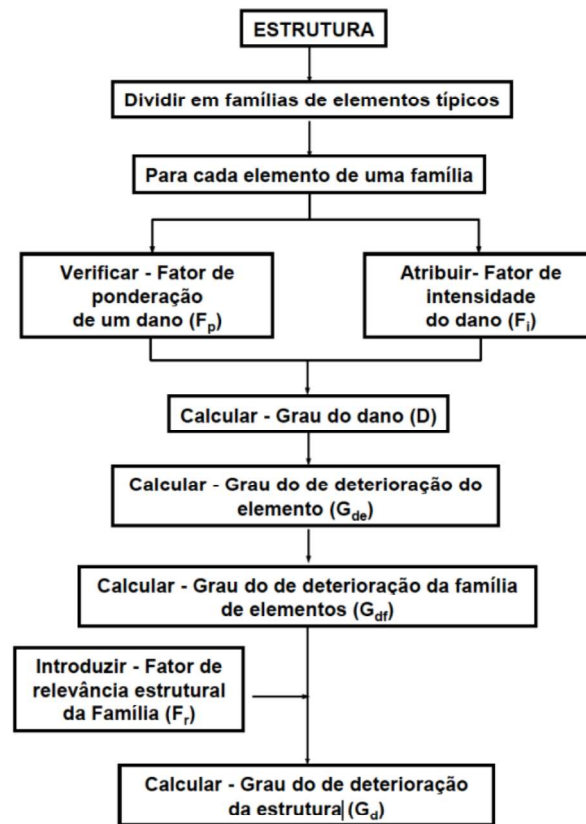


Figura 2.8 – Fluxograma da metodologia para o cálculo do Grau de Deterioração da Estrutura (G_d)

O fluxograma, portanto, inicia-se com a divisão da estrutura em *famílias* de elementos estruturais típicos. O critério adotado para a divisão das famílias é feito pelo profissional, podendo ser feito de acordo com o tipo do componente da estrutura. De modo geral, podem ser definidas as seguintes famílias:

- Pilares;
- Vigas;
- Lajes;
- Cortinas;
- Escadas e rampas;
- Reservatório superior e inferior;
- Blocos;
- Juntas de dilatação;
- Elementos de composição arquitetónica.

Para cada elemento de uma família é elaborada uma matriz que reúne as suas possíveis *manifestações de danos* – Quadro 2.6 – juntamente com o Fator de *Ponderação do Dano* (F_p). O fator de ponderação é um valor pré-fixado que quantifica a importância relativa do dano, referente a condições de estética, funcionalidade e segurança dos elementos de uma família.

Quadro 2.6 – Famílias de elementos estruturais, danos e fatores de ponderação (F_p) (adaptado de Castro, 1994)

Pilar		Vigas	
Danos	F_p	Danos	F_p
Desvio de geometria	8	Segregação	4
Recalque	10	Lixiviação	5
Infiltração na base	6	Esfoliação	8
Segregação	6	Desagregação	7
Lixiviação	5	Cobrimto deficiente	6
Esfoliação	8	Manchas de corrosão	7
Desagregação	7	Flechas	10
Sinais de esmagamento	10	Fissuras	10
Cobrimto deficiente	6	Carbonatação	7
Manchas de corrosão	7	Infiltração	6
Fissuras	10	Presença de cloretos	10
Carbonatação	7	Manchas	5
Presença de cloretos	10		
Manchas	5		
Laje		Cortinas	
Danos	F_p	Danos	F_p
Segregação	5	Sinais de esmagamento	10
Lixiviação	3	Desvio de geometria	6
Esfoliação	8	Infiltração	6
Desagregação	7	Segregação	5
Cobrimto deficiente	6	Lixiviação	5
Manchas de corrosão	7	Esfoliação	8
Flechas	10	Desagregação	7
Fissuras	10	Deslocamento por empuxo	10
Carbonatação	7	Cobrimto deficiente	6
Infiltração	6	Manchas de corrosão	7
Presença de cloretos	10	Fissuras	10
Manchas	5	Carbonatação	7
		Presença de cloretos	10
		Manchas	5
Escadas/Rampas		Reservatório Superior e Inferior	
Danos	F_p	Danos	F_p
Segregação	4	Impermeabilização danificada	8
Lixiviação	5	Vazamento	10
Esfoliação	8	Segregação	5
Desagregação	7	Lixiviação	7
Cobrimto deficiente	6	Esfoliação	10
Manchas de corrosão	7	Desagregação	7
Flechas	10	Cobrimto deficiente	7
Fissuras	10	Manchas de corrosão	9
Carbonatação	7	Fissuras	10
Infiltração	6	Carbonatação	7
Presença de cloretos	10	Presença de cloretos	10
Manchas	5		

Na matriz de um elemento deve ser atribuído o *Fator de Intensidade do Dano* (F_i), um valor atribuído pelo profissional que classifica o nível da gravidade e evolução do dano em um

determinado elemento. Sendo assim, o Quadro 2.7 apresenta o fator de intensidade do dano variando de 1 a 4, em que 4 representa uma situação crítica da estrutura, seguindo o nível de gravidade das lesões e sua evolução, juntamente com a influência do meio ambiente em virtude das condições de exposição e proteção do elemento estrutural.

Quadro 2.7 – Classificação dos danos e fatores de intensidade (F_i) (adaptado de Castro, 1994)

Tipos de Danos	F_i	Tipos de Manifestação
Segregação	1	Superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça
	2	Significante em relação às dimensões da peça
	3	Profunda em relação às dimensões da peça, com ampla exposição da armadura
	4	Perda relevante da secção da peça
Eflorescência	1	Início de manifestação
	2	Manchas de pequenas dimensões
	3	Manchas acentuadas, em grandes extensões
Esfoliação	2	Pequenas escamações do betão
	3	Lascamento, de grandes proporções, com exposição da armadura
	4	Lascamento acentuado com perda relevante de secção
Desagregação	2	Início de manifestação
	3	Manifestações leves
	4	Por perda acentuada de secção e esfarelamento do betão
Cobrimento	1	Menores que os previstos em norma sem, no entanto, permitir a localização da armadura
	2	Menor do que o previsto em norma, permitindo a localização da armadura ou armadura exposta em pequenas extensões
	3	Deficiente com armaduras expostas em extensões significativas
Manchas de Corrosão / Corrosão da Armadura	2	Manifestações leves
	3	Grandes manchas e/ou fissuras de corrosão
	4	Corrosão acentuada na armadura principal, com perda relevante de secção
Flechas	1	Não perceptíveis a olho nu
	2	Perceptíveis a olho nu, dentro dos limites previstos em norma
	3	Superiores em até 40% às previstas na norma
	4	Excessivas
Recalque	2	Indícios, pelas características de trincas na alvenaria
	3	Recalque estabilizado com fissuras em peças estruturais
	4	Recalque não estabilizado com fissuras em peças estruturais
Fissuras	1	Aberturas menores do que as máximas previstas em norma
	2	Estabilizadas, com abertura até 40% acima dos milites de norma
	3	Aberturas excessivas, estabilizadas
	4	Aberturas excessivas, não estabilizadas
Carbonatação	1	Localizada, com algumas regiões com $ph < 9$, sem atingir a armadura
	2	Localizada, atingindo a armadura, em ambiente seco
	3	Localizada, atingindo a armadura, em ambiente húmido
	4	Generalizada, atingindo a armadura, em ambiente húmido
Infiltração	1	Indícios de humidade
	2	Pequenas manchas
	3	Grandes manchas
	4	Generalizada
Presença de Cloretos	2	Em elementos no interior sem humidade
	3	Em elementos no exterior sem humidade
	4	Em ambientes húmidos

Manchas	2	Manchas escuras de pouca extensão, porém significativas
	3	Manchas escuras em todo o elemento estrutural
Sinais de Esmagamento	3	Desintegração do betão na extremidade superior do pilar, causada por sobrecarga ou movimentação da superestrutura. Fissuras diagonais isoladas
	4	Fissuras de cisalhamento bidiagonais, com intenso lascamento (esmagamento) do betão devido ao cisalhamento e a compressão, com perda substancial de secção, deformação residual aparente. Exposição e início de flambagem de barras da armadura.
Desvio de Geometria	2	Pilares e cortinas com excentricidade $\leq h/100$ (h = altura)
	3	Pilares e cortinas com excentricidade $\geq h/100$ (h = altura)
Infiltração na base	3	Indícios de vazamento em tubulações enterradas que podem comprometer as fundações
	4	Vazamentos em tubulações enterradas causando erosão aparente junto às fundações
Junta de Dilatação Obstruída	2	Perda de elasticidade do material da junta
	3	Presença de material não compressível na junta
Fissuras vizinhas às juntas de dilatação	2	Lajes com início de fissuras adjacentes às juntas
	3	Grande incidência de lajes com fissuras adjacentes às juntas
	4	Idem, com prolongamento das fissuras em vigas e/ou pilares de suporte
Deslocamento por empuxo	3	Deslocamento lateral no sentido horizontal, com excentricidade, porém estável
	4	Deslocamento lateral no sentido horizontal, instável

Os fatores de ponderação dos danos são comuns para uma família de elementos enquanto os fatores de intensidade vão depender da situação física específica e da gravidade dos danos em cada um dos elementos da família (Castro, 1994).

Após as inspeções e levantamento de dados, determina-se para cada elemento de uma família, um *Grau do Dano* (D), correspondentes aos fatores de ponderação (F_p) e fatores de intensidade (F_i).

A Figura 2.9 mostra a formulação proposta para o cálculo do grau de um dano com a ponderação mais desfavorável possível ($F_p = 10$). As fases de iniciação e propagação do dano são representadas nas abcissas em uma escala de 0 a 4, segundo o fator de intensidade (F_i).

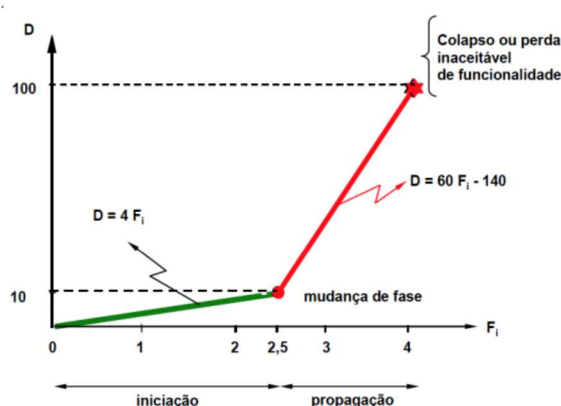


Figura 2.9 – Formulação para cálculo do grau de dano (Castro, 1994)

O valor 2,5 nas abcissas indica um valor intermediário entre o fator 2, lesões toleráveis, e 3, lesões graves, com limite máximo nas ordenadas de $D = 100$ para o grau correspondente $F_i = 4$, caracterizando-se pelo estado crítico de uma manifestação de dano.

Caso determinado elemento apresente uma manifestação de dano com grau de dano $D < 10$, não deve haver sinais de comprometimento ou necessidade de intervenção imediata naquele elemento. Porém, quando algum dano em determinado elemento esteja próximo da mudança de fase, a intervenção, dentro de um programa de manutenção, traduz-se na prevenção da propagação do dano e da futura necessidade de intervenção em estado grave.

Quando $D > 10$, a propagação do dano é mais rápida e aguda, devendo-se fazer uma previsão de limites em que a intervenção passa a ser necessária, urgente e imprescindível à funcionalidade ou segurança, ou mesmo indicando o estado crítico do elemento.

Numericamente, para $F_p = 10$:

$$D = 4 F_i, \text{ para } F_i \leq 2,0 \quad (10)$$

$$D = 60 F_i \cdot 140, \text{ para } F_i \geq 3,0 \quad (11)$$

Para danos com fator de ponderação inferiores ao máximo ($F_p < 10$), o grau do dano será:

$$D = 0,4 F_i \cdot F_p, \text{ para } F_i \leq 2,0 \quad (12)$$

$$D = (6 F_i \cdot 14) F_p, \text{ para } F_i \geq 3,0 \quad (13)$$

O Grau de Deterioração de um Elemento Estrutural Isolado (Gde) é calculado em função dos valores do grau de dano das “m” manifestações verificadas no elemento. Este resultado nos permite adotar ações de intervenção de acordo nível de criticidade que o elemento se encontra, variando desde manutenção preventiva à intervenção imediata do elemento.

Dessa forma,

$$G_{de} = D_{m\acute{a}x} \cdot \left(1 + \frac{\sum_{i=1}^m D_i - D_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^m D_i} \right) \quad (14)$$

O Quadro 2.8 a seguir baseia-se na aplicação e ajuste da metodologia a situações reais com recomendações para elementos isolados, não sendo, portanto, mandatório, apenas indicativo.

Quadro 2.8 – Classificação dos níveis de deterioração do elemento (Castro, 1994)

Nível de Deterioração	G_{de}	Medidas a serem adotadas
Baixo	0 – 15	Estado aceitável
Médio	15 – 50	Observação periódica e necessidade de intervenção a médio prazo
Alto	50 – 80	Observação Periódica minuciosa e necessidade de intervenção a curto prazo
Crítico	> 80	Necessidade de intervenção imediata para restabelecer funcionalidade e/ou segurança

O Grau de Deterioração da Família de Elementos (G_{df}) é calculado de acordo com os valores obtidos dos vários elementos de uma família, a partir da expressão:

$$G_{df} = G_{de_{máx.}} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sum_{i=1}^m G_{de(i)} - G_{de_{máx.}}}{\sum_{i=1}^m G_{de(i)}}} \quad (15)$$

Obtidos os graus de deterioração das diversas famílias de elementos que compõe a estrutura e entrando com um Fator de Relevância Estrutural da Família (Fr), previamente estabelecido segundo a importância relativa na funcionalidade e segurança estrutural, determina-se o Grau de Deterioração da Estrutura (G_d).

O fator de relevância estrutural da família de elementos tem como objetivo considerar a importância relativa dos elementos que compõem a estrutura.

O grau de deterioração da estrutura é calculado de acordo com os valores dos graus de deterioração das “k” famílias, tendo como “peso” o fator de relevância.

O valor do grau de deterioração da estrutura é expresso pela fórmula:

$$G_d = \frac{\sum_{i=1}^k Fr(i) \cdot G_{df(i)}}{\sum_{i=1}^k Fr(i)} \quad (16)$$

Onde,

k = Número de famílias de elementos presentes na edificação;

Fr = Fator de relevância de cada família;

G_{df} = Grau de deterioração da família.

Este resultado nos permite adotar ações de intervenção de acordo nível de criticidade que a estrutura se encontra, podendo ser observado no Quadro 2.9 medidas indicativas de intervenção, mas que não exclui a análise individual do profissional qualificado.

Quadro 2.9 – Classificação dos níveis de deterioração do elemento (Castro, 1994)

Nível de Deterioração	G_{de}	Medidas a serem adotadas
Baixo	0 – 15	Estado aceitável
Médio	15 – 50	Observação periódica e necessidade de intervenção a médio prazo
Alto	50 – 80	Observação periódica minuciosa e necessidade de intervenção a curto prazo
Crítico	> 80	Necessidade de intervenção imediata para restabelecer funcionalidade e/ou segurança

Foi feita uma inclusão, por Lopes (1998), de ensaios na metodologia, decorrente da necessidade da investigação mais minuciosa na estrutura.

Neste trabalho, será feita a normatização da metodologia Gde/Unb, com o intuito de se obter um valor probabilístico do Grau de Deterioração da Estrutura. Este valor será acoplado a um programa de análise estrutural, pela matriz de rigidez, e, assim, o profissional consegue controlar a segurança da estrutura e sua durabilidade.

2.6 Confiabilidade Estrutural

Na reabilitação estrutural é observado que a estrutura não desempenha satisfatoriamente todas as funções a qual foi projetada. Isto está diretamente relacionado à sua segurança estrutural, sendo que uma probabilidade de falha se associa a um desempenho inadequado como medida de segurança.

Ao se tratar de probabilidade de falha como indicador de segurança, o problema torna-se probabilístico (Pantoja, 2012).

Neste trabalho, a confiabilidade estrutural será atribuída de acordo com o método probabilístico, em que as incertezas são atribuídas às próprias variáveis (Santos, 2012). A segurança é, então, garantida quando a probabilidade de solicitação for menor do que a de resistência.

A confiabilidade estrutural pode ser definida como um evento complementar da probabilidade de falha, sendo representado por:

$$C = 1 - P_f \quad (17)$$

Onde:

C = Confiabilidade estrutural;

P_f = Probabilidade de falha.

Na confiabilidade estrutural existe um espaço generalizado das variáveis aleatórias de um problema. Uma região concentra os pontos em que todas as exigências de projeto são atendidas e outra região em que essas exigências não são, total ou parcialmente, atendidas. Isso ocorre devido às incertezas referentes às variáveis de projeto.

Para identificação das variáveis aleatórias do problema, modos de falhas são determinados, chegando-se, assim, a um vetor $X = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$.

Assim, a função de falha $G(X)$ define-se como:

$$G(X) = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) = 0 \quad (18)$$

Quando $G(X) > 0$ a estrutura está segura, $G(X) \leq 0$ ocorre a falha e $G(X) = 0$ caracteriza-se como superfície de falha.

Para que a estrutura mantenha o seu desempenho seguro, a função de fala deverá ser:

$$G(X) = R(X) - S(X) \quad (19)$$

Onde:

$R(X)$ = Resistência do elemento;

$S(X)$ = Solicitação imposta ao elemento.

Portando, a função utilizada para determinar a probabilidade de ocorrência da falha, será:

$$P_f = P\{G(X) \leq 0\} \quad (20)$$

A Figura 2.10 ilustra o domínio de falha para duas variáveis aleatórias.

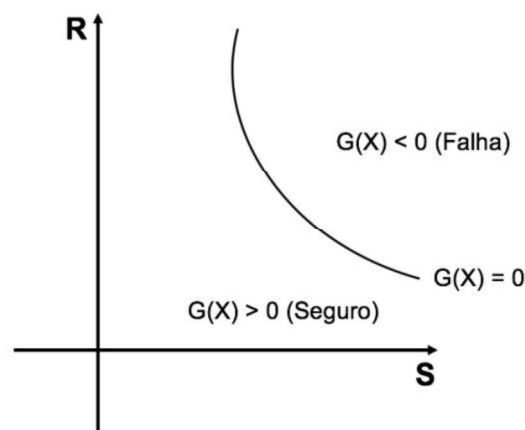


Figura 2.10 – Definição do domínio de falha (Porto, 2016)

2.6.1 Índice de Confiabilidade

A probabilidade de falha por ser definida como o somatório da probabilidade de todos os pontos pertencentes ao domínio de falha, na forma:

$$P_f = P[R \leq S] = P\{[R - S] \leq 0\} \quad (21)$$

Sendo R e S os valores correspondentes à resistência e à solicitação de uma determinada realização.

A probabilidade de falha pode ser representada pela integral da função de falha:

$$P_f = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^S f_{RS}(r, s) dr ds \quad (22)$$

Onde $f_{RS}(r, s)$ é a função de densidade e probabilidade de R e S.

A Figura 2.11 ilustra a função densidade de probabilidade de margem de segurança:

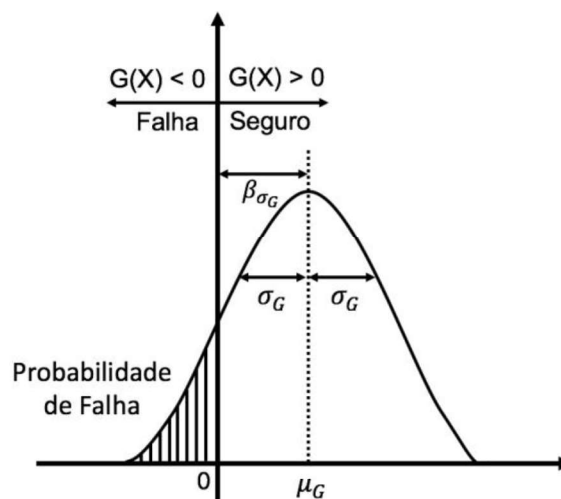


Figura 2.11 Distribuição de margem de segurança (Porto, 2016)

Dessa forma, quanto maior for o coeficiente de variação das variáveis, maior será a probabilidade de falha, em que coeficientes elevados caracterizam maiores incertezas relativas às variáveis consideradas no problema.

O índice de confiabilidade é utilizado como um valor de normalização para medir o nível de confiança da estrutura.

De acordo com Moraes (2015), “[...] o índice de confiabilidade β é a distância entre o valor médio da variável G (aleatória) e o ponto limite do estado de falha ($G = 0$) medido em unidades de desvio padrão [...]”, para funções de falha normais, podendo ser representado por:

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 - \sigma_S^2}} \quad (23)$$

Onde:

μ_R = Média da resistência;
 μ_S = Média da solicitação;
 σ_R = Desvio padrão da resistência;
 σ_S = Desvio padrão da solicitação.

Valores de referência de β são utilizados para garantir uma probabilidade de falha, sendo estes, diferentes para estruturas novas e estruturas existentes.

De acordo com Verzenhassi (2008), a partir de uma função de distribuição acumulada de variável normal padrão $\Phi()$, com média nula e desvio padrão unitário, a probabilidade de falha para cada modo de falha será:

$$P_f = \Phi(-\beta) \quad (24)$$

Neste trabalho será utilizada a metodologia Gde/UnB, de forma normatizada, para análise de uma estrutura em betão armado. Dentre as metodologias apresentadas anteriormente, esta foi a escolhida por possibilitar um estudo da perda de desempenho da estrutura acoplado à um modelo experimental, modelo de Tuutti, que será apresentado no capítulo 3.

3 METODOLOGIA PROBABILÍSTICA COM ACOPLAMENTO ENTRE DURABILIDADE E SEGURANÇA

De acordo com Pantoja (2008), para fazer a adequação das variáveis existentes na metodologia Gde/UnB é preciso realizar um processo de parametrização, no qual seja possível adotar diferentes escalas juntamente com outros tipos de avaliações.

As modificações a serem feitas para a avaliação do grau de deterioração serão descritas a seguir e tem como intuito chegar-se à integridade dos elementos estruturais. Ressalta-se que as escalas de valores propostos pelo trabalho original são mantidas, uma vez que representam a contribuição dos autores sobre os fenómenos atuantes no processo de deterioração da estrutura.

3.1 Normalização das variáveis envolvidas

Os Quadros 3.1 e 3.2 mostram como os valores do fator de ponderação, relevância estrutural e intensidade, presentes na metodologia original, são normalizadas.

Quadro 3.1 – Normalização do fator de ponderação da metodologia Gde/UnB

Pilar		Vigas	
Danos	F_p	Danos	F_p
Desvio de geometria	0,8	Segregação	0,4
Recalque	1	Lixiviação	0,5
Infiltração na base	0,6	Esfoliação	0,8
Segregação	0,6	Desagregação	0,7
Lixiviação	0,5	Cobrimento deficiente	0,6
Esfoliação	0,8	Manchas de corrosão	0,7
Desagregação	0,7	Flechas	1
Sinais de esmagamento	1	Fissuras	1
Cobrimento deficiente	0,6	Carbonatação	0,7
Manchas de corrosão	0,7	Infiltração	0,6
Fissuras	1	Presença de cloretos	1
Carbonatação	0,7	Manchas	0,5
Presença de cloretos	1		
Manchas	0,5		
Laje		Cortinas	
Danos	F_p	Danos	F_p
Segregação	0,5	Sinais de esmagamento	1
Lixiviação	0,3	Desvio de geometria	0,6
Esfoliação	0,8	Infiltração	0,6
Desagregação	0,7	Segregação	0,5
Cobrimento deficiente	0,6	Lixiviação	0,5
Manchas de corrosão	0,7	Esfoliação	0,8
Flechas	1	Desagregação	0,7

Fissuras	1	Deslocamento por empuxo	1
Carbonatação	0,7	Cobrimento deficiente	0,6
Infiltração	0,6	Manchas de corrosão	0,7
Presença de cloretos	1	Fissuras	1
Manchas	0,5	Carbonatação	0,7
		Presença de cloretos	1
		Manchas	0,5
Escadas/Rampas		Reservatório Superior e Inferior	
Danos	F_p	Danos	F_p
Segregação	0,4	Impermeabilização danificada	0,8
Lixiviação	0,5	Vazamento	1
Esfoliação	0,8	Segregação	0,5
Desagregação	0,7	Lixiviação	0,7
Cobrimento deficiente	0,6	Esfoliação	1
Manchas de corrosão	0,7	Desagregação	0,7
Flechas	1	Cobrimento deficiente	0,7
Fissuras	1	Manchas de corrosão	0,9
Carbonatação	0,7	Fissuras	1
Infiltração	0,6	Carbonatação	0,7
Presença de cloretos	1	Presença de cloretos	1
Manchas	0,5		

Quadro 3.2 – Normatização do fator de relevância estrutural e do fator de intensidade da metodologia Gde/UnB

Estrutura de Betão Armado			
Fator de relevância estrutural		Fator de intensidade	
Tipo de Família	F_R	Gravidade	F_i
Família 1	0,05	Sem lesões	0
Família 2	0,125	Lesões leves	0,25
Família 3	0,34	Lesões toleráveis	0,50
...	...	Lesões graves	0,75
Família N	0,222	Lesões intoleráveis	1
$\sum F_{R_i} = 1$			

Para transformação do fator de deterioração em fatores de integridade e conectar a metodologia aos valores dos índices de confiabilidade nas estruturas existentes, é necessária uma normatização no modelo de Tuutti, mostrado na Figura 3.1 abaixo.

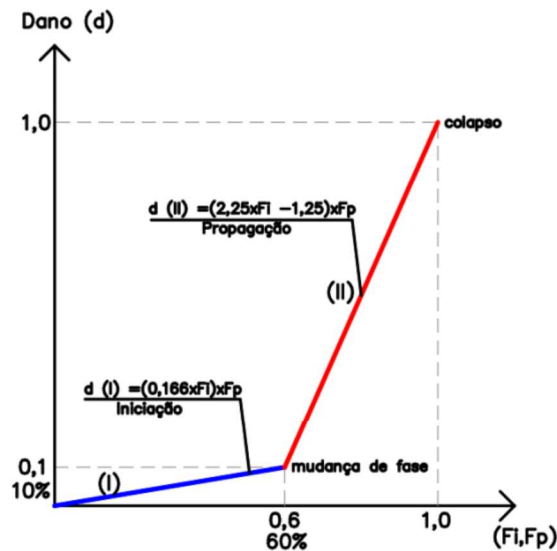


Figura 3.1 – Modelo de Tuutti normalizado (Pantoja et al., 2018)

Assim temos,

$$Integr = [1 - D(F_i, F_p)] \quad (25)$$

Essa transformação é necessária para ser utilizada como ponderadora da resistência junto á matriz de rigidez dos elementos.

Para consideração dos fatores de integridade de cada elemento de uma mesma família, considera-se uma média direta de todos os danos presentes no elemento, diferentemente da versão original. Sendo assim, apenas valores de $d(F_i, F_p)$ maiores que 0,2 serão contabilizados. Isso visa evitar disfarçar valores superiores na presença de outros menores. Para uma família de elementos deve-se também determinar uma média dos valores.

Para uma família de elementos deve-se também determinar uma média dos valores. Finalmente, para os valores de integridade da estrutura completa deverão ser definidos pesos para as famílias., de acordo com a sua importância estrutural.

3.2 Avaliação do nível de segurança via confiabilidade

O acoplamento do nível de segurança da estrutura é feito de forma simples, seguindo a conjectura de que a variação do índice de confiabilidade dos elementos, famílias e da estrutura segue a mesma ordem de comportamento que o fator de integridade.

$$\beta \approx \text{Integridade} (F_i, F_p) \cdot \varphi$$

Os valores mínimo e máximo de φ , que representa o nível de confiabilidade dos elementos, seguem os valores de referência para estruturas existentes, presentes na Figura 3.2,

Índices de confiabilidade de referência - fib Bulletin 62 (Volume 5)

Classe de consequência	Período Mínimo de referência para estruturas existentes	β Nova		β Reparada		β Existente	
		WN	WD	WN	WD	WN	WD
CCO	1 ano	3.3	2.3	2.8	1.8	1.8	0.8
CC1 - Baixa	15 anos	3.3	2.3	2.8	1.8	1.8	1.1
CC2 - Média	15 anos	3.8	2.8	3.3	2.5	2.5	2.5
CC3 - Alta	15 anos	4.3	3.3	3.8	3.3	2.5	3.3

Classes de 0 a 1 (CCO e CC1) - aplicadas apenas em situações onde não houver dano humano envolvido

WN - Forças devido ao vento não são dominantes

WD - Forças devido ao vento são dominantes

Figura 3.2 – Índices de confiabilidade de referência

De forma que:

$$P(C/I) = \frac{P(C \cap I)}{P(I)}$$

O agrupamento do índice de confiabilidade de cada família, para a obtenção do índice de confiabilidade estrutural, segue a regra de probabilidade condicionada.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Apresentação do Reservatório Estudado

Este trabalho tem como escopo a análise e aplicação de metodologia em um reservatório de água para descobrir o nível de criticidade que a estrutura se encontra e, finalmente, realizar a análise linear da estrutura suscitando em alternativas de reabilitação.

4.1.1 Modelo A

O reservatório a ser analisado compreende-se por um reservatório de abastecimento de água elevado de betão armado, composto por cinco patamares mais uma célula (depósito simples), de acordo com Figura 4.1 apresentada a seguir.



Figura 4.1 – Reservatório modelo A

A sua caracterização geométrica está descrita no Quadro 4.1 e na Figura 4.2.

Quadro 4.1 – Caracterização Geométrica

PATAMARES	ALTURA (m)		DIÂMETRO INTERNO (m)
1º Patamar (Piso Térreo)	3,10		1,90
2º Patamar	3,23		1,90
3º Patamar	3,23		1,90
4º Patamar	3,23		1,90
5º Patamar	3,23		1,90
Apoio ao depósito	3,33		1,90
LAJES	ALTURA (m)		
1º Patamar / 2º Patamar	0,1		
2º Patamar / 3º Patamar	0,1		
3º Patamar / 4º Patamar	0,1		
4º Patamar / 5º Patamar	0,1		
Apoio ao depósito	0,2		
PAREDES	ALTURA (m)		
Betão armado circular	0,17		
PILARES	DIMENSÃO (m)		
Até 4º patamar	0,2 x 0,4		
CÉLULA	BASE INFERIOR (m)	SUPERIOR (m)	ALTURA (m)
Cônica	4,60	5,40	2,67

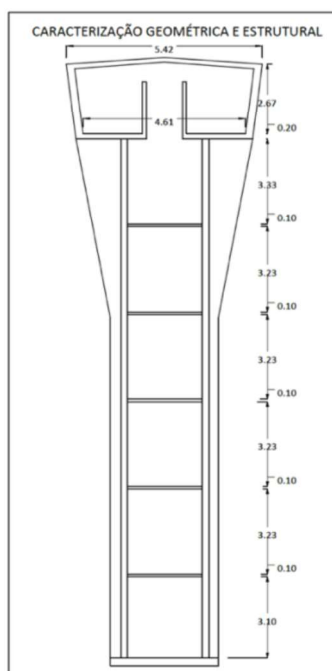


Figura 4.2 – Patamares, lajes e células

De acordo com a inspeção visual e ensaios realizados, identificam-se algumas patologias existentes no reservatório em estudo. O Quadro 4.2 traz um resumo das patologias, possíveis causas e consequências destas em cada nível do reservatório, que intende uma orientação para a análise seguinte do reservatório.

Quadro 4.2 – Resumo das patologias presentes no reservatório

NÍVEL	PATOLOGIAS	CAUSAS	CONSEQUÊNCIAS
Nível 0 até 1	Armadura exposta	Carbonatação	Corrosão das armaduras de betão armado (dano estrutural)
	Destacamento do recobrimento		
Nível 1 até 2	Armadura exposta	Penetração de Cloretos	
	Destacamento do recobrimento		
Nível 2 até 3	Armadura exposta	Lixiviação	
Nível 3 até 4	Armadura exposta	Manutenção	
Nível 4 até 5	Armadura exposta		
Nível 5 até reservatório	Armadura exposta	Contato das peças com água da chuva	
	Destacamento do recobrimento		
	Betão degradado		
Base do reservatório	Perda de Estanqueidade	Manutenção Porosidade do betão Fendas nas juntas de betonagem	Dano não estrutural

Durante a inspeção descrita, ensaios foram realizados com o propósito de determinar o tipo de betão existente, a sua capacidade resistente e as armaduras existentes. No Quadro 4.3 identificam-se os ensaios não destrutivos realizados e o propósito de cada um.

Quadro 4.3 – Ensaios Realizados

ENSAIO	PROPÓSITO
Esclerómetro de Schmidt	Dureza Superficial
	Homogeneidade do Betão
Pacómetro	Identificação das armaduras
Solução alcoólica de fenolftaleína	Profundidade de Carbonatação
Identificação Dinâmica (com Acelerómetros)	Frequências Próprias
	Modos de Vibração

O ensaio do Esclerómetro de Schmidt tem como finalidade, a determinação da resistência mecânica do betão para definir a sua classe. Este ensaio foi realizado in-situ, em quatro pontos na face interior da parede do reservatório, nos níveis 1 e 3. Fez-se 12 leituras em cada um dos pontos, eliminando-se o maior e o menor valor obtidos.

Definiu-se, portanto, a resistência média global à compressão dos 4 pontos de $f_{cm} = 43.9 \text{ MPa}$.

A Figura 4.3 apresenta os valores obtidos no ensaio.

Nº. PONTOS	PISO 0		PISO 2	
	ENSAIO 1 (MPa)	ENSAIO 2 (MPa)	ENSAIO 3 (MPa)	ENSAIO 4 (MPa)
1	36.7	44.3	42.1	38.6
2	49.6	37.4	40	4.8
3	54.1	38.4	43	38.4
4	37.7	44.2	39.5	43
5	48.8	43.6	42.1	39.9
6	36.9	42.6	32	39.3
7	37.4	39.5	42.8	40.4
8	38.8	45.3	41.7	40.8
9	39.5	45.5	42.1	38.7
10	46.6	43.9	35.2	40.3
Media	46.2	45.9	41.7	41.6
σ (%)	10.9	4.9	6.1	2.3

Figura 4.3 – Resumo dos valores obtidos pelo Esclerómetro de Schmidt

Dessa forma, definiu-se a classe do betão como C16/20, equivalente à um betão B180.

A Figura 4.4 reúne os valores de referência para definição da classe do betão.

DADOS	δ (%)	Classificação	f_{ck} (28 dias) MPa	Classificação do betão
Ensaio 1	23.50	Mau	20.782	C16/20
Ensaio 2	10.73	Excelente	26.661	C20/25
Ensaio 3	14.69	Bom	22.497	C16/20
Ensaio 4	5.57	Laboratorial	26.344	C20/25

Figura 4.4 – Valores para definição da classe do betão

O uso do pacómetro possibilitou analisar o espaçamento das armaduras presentes, de acordo com o Quadro 4.4, apresentando um recobrimento médio nos pilares e paredes de 4cm.

Quadro 4.4 – Resumo das armaduras

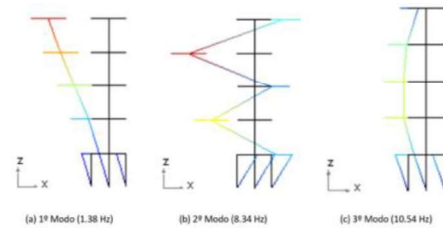
Local	Armadura Longitudinal		Armadura Transversal
Pilares exteriores	Cantos	4 Varões $\phi 12$	$\phi 6$ espaçados de 15cm
	Faces dos pilares	2 Varões $\phi 8$	
Paredes	Horizontal	$\phi 6$ espaçados 30cm	$\phi 8$ espaçados de 25cm
	Vertical	$\phi 6$ espaçados 10cm	

No ensaio de carbonatação constatou-se uma profundidade de carbonatação entre 2,5 e 3cm.

Por fim, na identificação dinâmica foram feitas acelerações horizontais com excitação natural, principalmente do vento, chegando-se aos valores de frequência e amortecimentos presentes no quadro 4.5.

Quadro 4.5 – Identificação dinâmica da estrutura

Frequência [Hz]	Amortecimento %
1.38	1.48
8.34	0.44
10.54	1.61
17.69	3.25



4.2 Avaliação do reservatório do modelo A

O reservatório apresentado no item 4.1.1 será utilizado para aplicação da metodologia proposta.

Inicialmente, portanto, é necessário fazer a divisão da estrutura. Para uma melhor análise do nível de criticidade local e global, é proposto neste trabalho uma divisão da estrutura em famílias, classes e elementos, em que as famílias se subdividem nos níveis do reservatório, como mostra o Quadro 4.6 e a Figura 4.5.

Para este trabalho, foi acrescido à divisão da estrutura as “classes”. Assim, é possível fazer mais um estudo da estrutura relacionada aos níveis do reservatório.

Quadro 4.6 – Divisão da estrutura

Estrutura	Família	Classe	Elemento	Família	Classe	Elemento	
	Nível 1	Pilares		P1.1	Nível 2	Pilares	P1.2
			P2.1	P2.2			
			P3.1	P3.2			
			P4.1	P4.2			
			P5.1	P5.2			
Paredes			PAR1.1	PAR1.2			
			PAR2.1	PAR2.2			
			PAR3.1	PAR3.2			
			PAR4.1	PAR4.2			
			Superior.1	Superior.2			
Nível 3		Pilares		P1.3	Nível 4	Pilares	P1.4
				P2.3			P2.4
				P3.3			P3.4
				P4.3			P4.4
				P5.3			P5.4
		Paredes		P6.3	P6.4		
				PAR1.3	PAR1.4		
				PAR2.3	PAR2.4		
				PAR3.3	PAR3.4		
				PAR4.3	PAR4.4		
Nível 5	Pilares		Superior.3	Nível 6	Pilares	Superior.4	
			P1.5			P1.6	
			P2.5			P2.6	
			P3.5			P3.6	
			P4.5			P4.6	
	Paredes		P5.5	P5.6			
			P6.5	P6.6			
			PAR1.5	PAR1.6			
			PAR2.5	PAR2.6			
			PAR3.5	PAR3.6			
Lajes		PAR4.5	PAR4.6				
		Superior.5	Tampa do Reservatório				
Nível 7	Paredes		PAR1.7				
			PAR2.7				
			PAR3.7				
			PAR4.7				
	Lajes		Laje Superior do Reservatório				

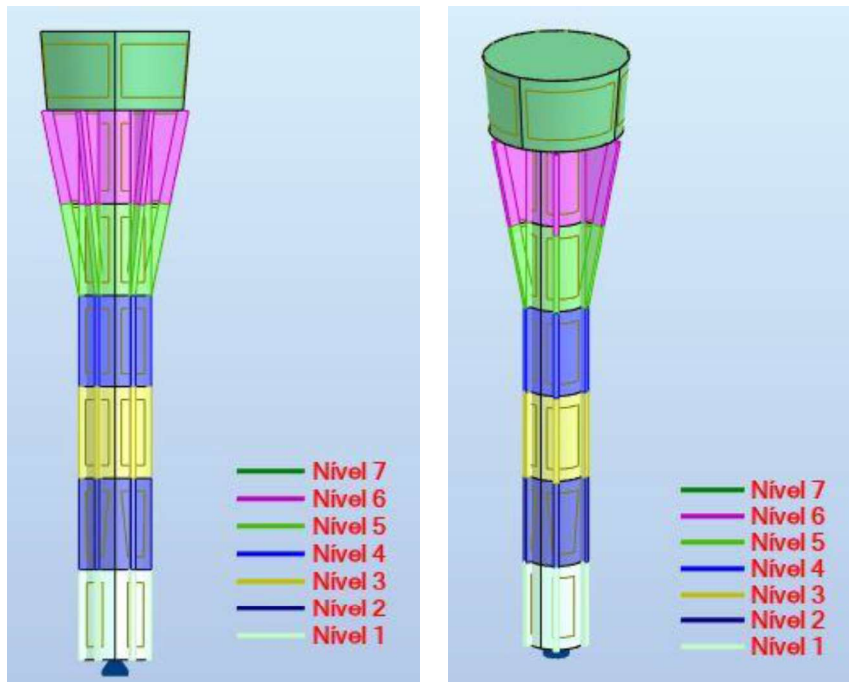


Figura 4.5 – Divisão dos níveis da estrutura com modelagem feita no robot

De acordo com as Figuras 4.6 e 4.7, a seguir, é possível observar a localização e os danos na estrutura.

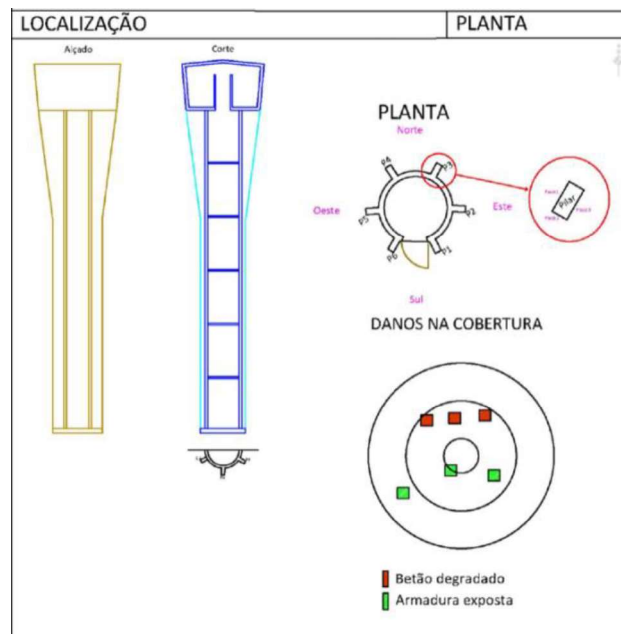


Figura 4.6 – Mapa de observações da cobertura

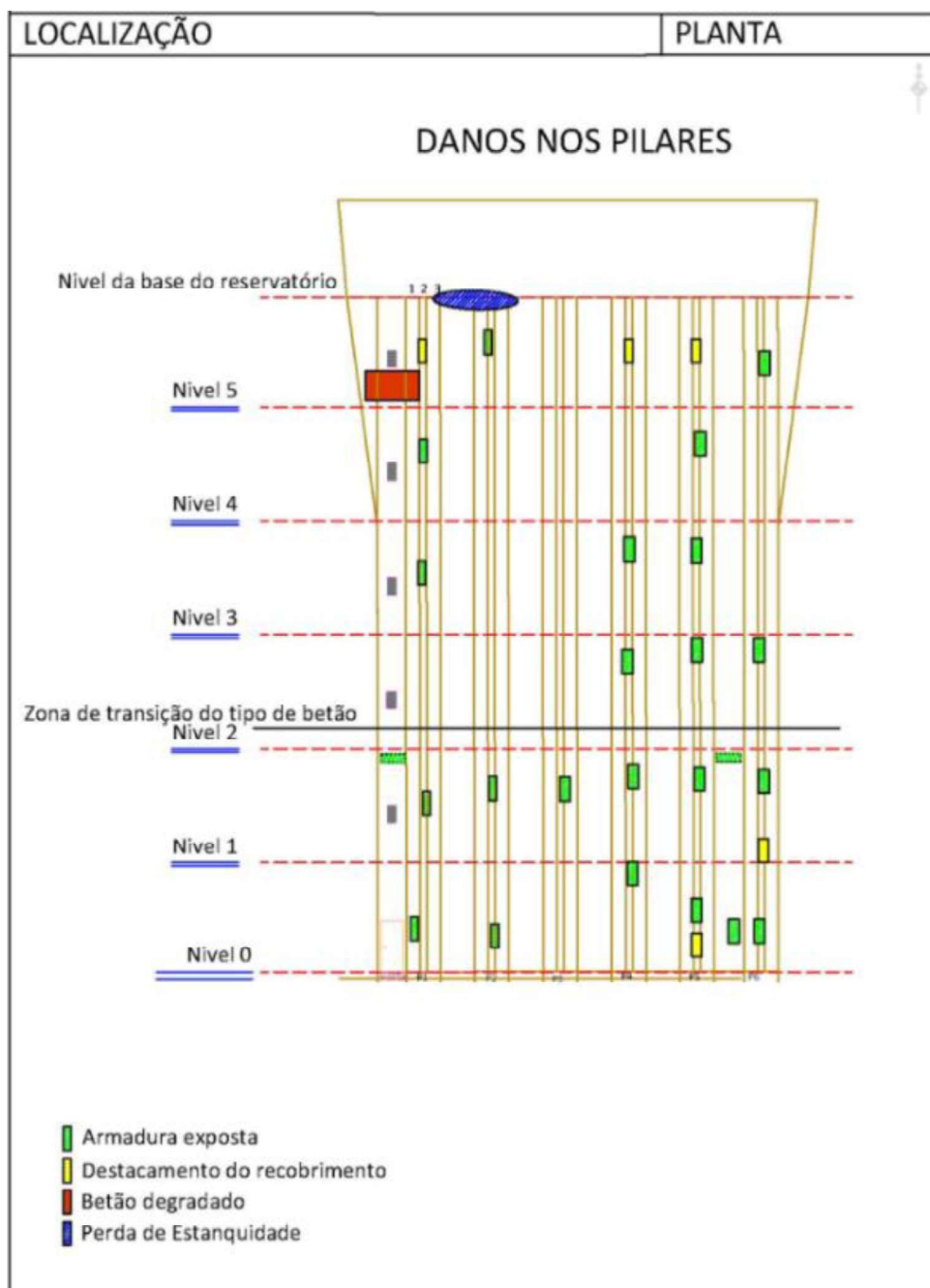


Figura 4.7 – Mapa de observações dos pilares

4.3 Análise linear

Será utilizado programa Robot Análise Estrutural como ferramenta para análise linear do reservatório apresentado.

Para a avaliação de segurança da estrutura serão utilizados os seguintes valores de referência na análise linear:

- Pesos próprios:
Gerado pelo próprio programa, para betão C16/20
- Sobrecarga:
Terraços não acessíveis: uma sobrecarga uniformemente distribuída de $1,0 \text{ KN/m}^2$.
- Impulso Hidrostático:
Tomou-se o valor de 1000 Kgf/m^3 para o peso volúmico da água na determinação dos pesos e impulsos sobre as paredes do reservatório. Considerou-se a água na totalidade da altura para a determinação dos esforços nas paredes e soleira.

Assim, calcula-se:

Volume do tronco de cone:

$$V = \frac{\pi \cdot h}{3} \cdot (R^2 + Rr + r^2) \quad (26)$$

$$V = \frac{\pi \cdot 2,67}{3} \cdot (5,4^2 + 5,4 \cdot 4,6 + 4,6^2) = 210,15 \text{ m}^3 \quad (27)$$

Área do tronco de cone:

$$A = \pi \cdot [(R + r) \cdot g + R^2 + r^2] \quad (28)$$

$$A = \pi \cdot [(5,4 + 4,6) \cdot 2,79 + 5,4^2 + 4,6^2] = 245,65 \text{ m}^2 \quad (29)$$

Sendo,

$$g^2 = (R - r)^2 + h^2$$

$$g^2 = (5,4 - 4,6)^2 + 2,79^2 = 2,79$$

Peso específico da água:

$$1000 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^3} \cdot 210,15 \text{ m}^3 = 210150 \text{ Kgf} \quad (30)$$

$$\frac{F}{A} = \frac{210150 \text{ kgf}}{245,65 \text{ m}^2} = 855,48 \text{ KPa (KN/m}^2) \quad (31)$$

- Vento:
Gerado automaticamente pelo programa, com o fluxo do vento em todas as direções (X+, X-, Y+, Y-, X+Y+, X+Y-, X-Y+, X-Y-), com uma velocidade de 20m/s.
- Combinação de ações:
Os valores de cálculos para os esforços atuantes nos estados limites últimos, foram obtidos a partir da envolvente das combinações obtidas automaticamente no programa Robot, mostradas no Quadro 4.26.

A ações compreendem em:

- 1: Peso Próprio;
- 2: Sobrecarga;
- 3: Impulso Hidrostático;
- 4: Simulação do vento X + 20m/s
- 5: Simulação do vento X + Y + 20m/s
- 6: Simulação do vento Y + 20m/s
- 7: Simulação do vento X - Y + 20m/s
- 8: Simulação do vento X - 20m/s
- 9: Simulação do vento X - Y - 20m/s
- 10: Simulação do vento Y - 20m/s
- 11: Simulação do vento X + Y - 20m/s

Quadro 4.7 – Combinações automáticas geradas pelo programa Robot

Combinações	Nome	Tipo de análise	Tipo de combinação	Natureza do caso	Definição
12 (C)	$ULS/1=1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50$	Combinação linear		morto	$1*1.35+(2+3)*1.50$
13 (C)	$ULS/2=1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 4*0.90$	Combinação linear		morto	$1*1.35+(2+3)*1.50+4*0.90$
14 (C)	$ULS/3=1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 5*0.90$	Combinação linear		morto	$1*1.35+(2+3)*1.50+5*0.90$
15 (C)	$ULS/4=1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 6*0.90$	Combinação linear		morto	$1*1.35+(2+3)*1.50+6*0.90$
16 (C)	$ULS/5=1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 7*0.90$	Combinação linear		morto	$1*1.35+(2+3)*1.50+7*0.90$
17 (C)	$ULS/6=1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 8*0.90$	Combinação linear		morto	$1*1.35+(2+3)*1.50+8*0.90$
18 (C)	$ULS/7=1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 9*0.90$	Combinação linear		morto	$1*1.35+(2+3)*1.50+9*0.90$
19 (C)	$ULS/8=1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 10*0.90$	Combinação linear		morto	$1*1.35+(2+3)*1.50+10*0.90$
20 (C)	$ULS/9=1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 11*0.90$	Combinação linear		morto	$1*1.35+(2+3)*1.50+11*0.90$
21 (C)	$ULS/10=1*1.35$	Combinação linear		morto	$1*1.35$
22 (C)	$ULS/11=1*1.35 + 2*1.50$	Combinação linear		morto	$1*1.35+2*1.50$
23 (C)	$ULS/12=1*1.35 + 2*1.50 + 4*0.90$	Combinação linear		morto	$1*1.35+2*1.50+4*0.90$
24 (C)	$ULS/13=1*1.35 + 2*1.50 + 5*0.90$	Combinação linear		morto	$1*1.35+2*1.50+5*0.90$
25 (C)	$ULS/14=1*1.35 + 2*1.50 + 6*0.90$	Combinação linear		morto	$1*1.35+2*1.50+6*0.90$

26 (C)	ULS/15=1*1.35 + 2*1.50 + 7*0.90	Combinação linear		morto	1*1.35+2*1.50+7*0.90
27 (C)	ULS/16=1*1.35 + 2*1.50 + 8*0.90	Combinação linear		morto	1*1.35+2*1.50+8*0.90
28 (C)	ULS/17=1*1.35 + 2*1.50 + 9*0.90	Combinação linear		morto	1*1.35+2*1.50+9*0.90
29 (C)	ULS/18=1*1.35 + 2*1.50 + 10*0.90	Combinação linear		morto	1*1.35+2*1.50+10*0.90
30 (C)	ULS/19=1*1.35 + 2*1.50 + 11*0.90	Combinação linear		morto	1*1.35+2*1.50+11*0.90
31 (C)	ULS/20=1*1.35 + 3*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+3*1.50
32 (C)	ULS/21=1*1.35 + 3*1.50 + 4*0.90	Combinação linear		morto	1*1.35+3*1.50+4*0.90
33 (C)	ULS/22=1*1.35 + 3*1.50 + 5*0.90	Combinação linear		morto	1*1.35+3*1.50+5*0.90
34 (C)	ULS/23=1*1.35 + 3*1.50 + 6*0.90	Combinação linear		morto	1*1.35+3*1.50+6*0.90
35 (C)	ULS/24=1*1.35 + 3*1.50 + 7*0.90	Combinação linear		morto	1*1.35+3*1.50+7*0.90
36 (C)	ULS/25=1*1.35 + 3*1.50 + 8*0.90	Combinação linear		morto	1*1.35+3*1.50+8*0.90
37 (C)	ULS/26=1*1.35 + 3*1.50 + 9*0.90	Combinação linear		morto	1*1.35+3*1.50+9*0.90
38 (C)	ULS/27=1*1.35 + 3*1.50 + 10*0.90	Combinação linear		morto	1*1.35+3*1.50+10*0.90
39 (C)	ULS/28=1*1.35 + 3*1.50 + 11*0.90	Combinação linear		morto	1*1.35+3*1.50+11*0.90
40 (C)	ULS/29=1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+(2+3)*1.50
41 (C)	ULS/30=1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 4*0.90	Combinação linear		morto	1*1.00+(2+3)*1.50+4*0.90
42 (C)	ULS/31=1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 5*0.90	Combinação linear		morto	1*1.00+(2+3)*1.50+5*0.90
43 (C)	ULS/32=1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 6*0.90	Combinação linear		morto	1*1.00+(2+3)*1.50+6*0.90
44 (C)	ULS/33=1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 7*0.90	Combinação linear		morto	1*1.00+(2+3)*1.50+7*0.90
45 (C)	ULS/34=1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 8*0.90	Combinação linear		morto	1*1.00+(2+3)*1.50+8*0.90
46 (C)	ULS/35=1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 9*0.90	Combinação linear		morto	1*1.00+(2+3)*1.50+9*0.90
47 (C)	ULS/36=1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 10*0.90	Combinação linear		morto	1*1.00+(2+3)*1.50+10*0.90
48 (C)	ULS/37=1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 11*0.90	Combinação linear		morto	1*1.00+(2+3)*1.50+11*0.90
49 (C)	ULS/38=1*1.00	Combinação linear		morto	1*1.00

50 (C)	ULS/39=1*1.00 + 2*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+2*1.50
51 (C)	ULS/40=1*1.00 + 2*1.50 + 4*0.90	Combinação linear		morto	1*1.00+2*1.50+4*0.90
52 (C)	ULS/41=1*1.00 + 2*1.50 + 5*0.90	Combinação linear		morto	1*1.00+2*1.50+5*0.90
53 (C)	ULS/42=1*1.00 + 2*1.50 + 6*0.90	Combinação linear		morto	1*1.00+2*1.50+6*0.90
54 (C)	ULS/43=1*1.00 + 2*1.50 + 7*0.90	Combinação linear		morto	1*1.00+2*1.50+7*0.90
55 (C)	ULS/44=1*1.00 + 2*1.50 + 8*0.90	Combinação linear		morto	1*1.00+2*1.50+8*0.90
56 (C)	ULS/45=1*1.00 + 2*1.50 + 9*0.90	Combinação linear		morto	1*1.00+2*1.50+9*0.90
57 (C)	ULS/46=1*1.00 + 2*1.50 + 10*0.90	Combinação linear		morto	1*1.00+2*1.50+10*0.90
58 (C)	ULS/47=1*1.00 + 2*1.50 + 11*0.90	Combinação linear		morto	1*1.00+2*1.50+11*0.90
59 (C)	ULS/48=1*1.00 + 3*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+3*1.50
60 (C)	ULS/49=1*1.00 + 3*1.50 + 4*0.90	Combinação linear		morto	1*1.00+3*1.50+4*0.90
61 (C)	ULS/50=1*1.00 + 3*1.50 + 5*0.90	Combinação linear		morto	1*1.00+3*1.50+5*0.90
62 (C)	ULS/51=1*1.00 + 3*1.50 + 6*0.90	Combinação linear		morto	1*1.00+3*1.50+6*0.90
63 (C)	ULS/52=1*1.00 + 3*1.50 + 7*0.90	Combinação linear		morto	1*1.00+3*1.50+7*0.90
64 (C)	ULS/53=1*1.00 + 3*1.50 + 8*0.90	Combinação linear		morto	1*1.00+3*1.50+8*0.90
65 (C)	ULS/54=1*1.00 + 3*1.50 + 9*0.90	Combinação linear		morto	1*1.00+3*1.50+9*0.90
66 (C)	ULS/55=1*1.00 + 3*1.50 + 10*0.90	Combinação linear		morto	1*1.00+3*1.50+10*0.90
67 (C)	ULS/56=1*1.00 + 3*1.50 + 11*0.90	Combinação linear		morto	1*1.00+3*1.50+11*0.90
68 (C)	ULS/57=1*1.35 + 2*1.05 + 3*1.05 + 4*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+(2+3)*1.05+4*1.50
69 (C)	ULS/58=1*1.35 + 2*1.05 + 3*1.05 + 5*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+(2+3)*1.05+5*1.50
70 (C)	ULS/59=1*1.35 + 2*1.05 + 3*1.05 + 6*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+(2+3)*1.05+6*1.50
71 (C)	ULS/60=1*1.35 + 2*1.05 + 3*1.05 + 7*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+(2+3)*1.05+7*1.50
72 (C)	ULS/61=1*1.35 + 2*1.05 + 3*1.05 + 8*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+(2+3)*1.05+8*1.50
73 (C)	ULS/62=1*1.35 + 2*1.05 + 3*1.05 + 9*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+(2+3)*1.05+9*1.50

74 (C)	ULS/63=1*1.35 + 2*1.05 + 3*1.05 + 10*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+(2+3)*1.05+10*1.50
75 (C)	ULS/64=1*1.35 + 2*1.05 + 3*1.05 + 11*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+(2+3)*1.05+11*1.50
76 (C)	ULS/65=1*1.35 + 4*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+4*1.50
77 (C)	ULS/66=1*1.35 + 5*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+5*1.50
78 (C)	ULS/67=1*1.35 + 6*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+6*1.50
79 (C)	ULS/68=1*1.35 + 7*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+7*1.50
80 (C)	ULS/69=1*1.35 + 8*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+8*1.50
81 (C)	ULS/70=1*1.35 + 9*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+9*1.50
82 (C)	ULS/71=1*1.35 + 10*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+10*1.50
83 (C)	ULS/72=1*1.35 + 11*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+11*1.50
84 (C)	ULS/73=1*1.35 + 2*1.05 + 4*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+2*1.05+4*1.50
85 (C)	ULS/74=1*1.35 + 2*1.05 + 5*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+2*1.05+5*1.50
86 (C)	ULS/75=1*1.35 + 2*1.05 + 6*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+2*1.05+6*1.50
87 (C)	ULS/76=1*1.35 + 2*1.05 + 7*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+2*1.05+7*1.50
88 (C)	ULS/77=1*1.35 + 2*1.05 + 8*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+2*1.05+8*1.50
89 (C)	ULS/78=1*1.35 + 2*1.05 + 9*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+2*1.05+9*1.50
90 (C)	ULS/79=1*1.35 + 2*1.05 + 10*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+2*1.05+10*1.50
91 (C)	ULS/80=1*1.35 + 2*1.05 + 11*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+2*1.05+11*1.50
92 (C)	ULS/81=1*1.35 + 3*1.05 + 4*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+3*1.05+4*1.50
93 (C)	ULS/82=1*1.35 + 3*1.05 + 5*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+3*1.05+5*1.50
94 (C)	ULS/83=1*1.35 + 3*1.05 + 6*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+3*1.05+6*1.50
95 (C)	ULS/84=1*1.35 + 3*1.05 + 7*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+3*1.05+7*1.50
96 (C)	ULS/85=1*1.35 + 3*1.05 + 8*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+3*1.05+8*1.50
97 (C)	ULS/86=1*1.35 + 3*1.05 + 9*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+3*1.05+9*1.50

98 (C)	ULS/87=1*1.35 + 3*1.05 + 10*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+3*1.05+10*1.50
99 (C)	ULS/88=1*1.35 + 3*1.05 + 11*1.50	Combinação linear		morto	1*1.35+3*1.05+11*1.50
100 (C)	ULS/89=1*1.00 + 2*1.05 + 3*1.05 + 4*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+(2+3)*1.05+4*1.50
101 (C)	ULS/90=1*1.00 + 2*1.05 + 3*1.05 + 5*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+(2+3)*1.05+5*1.50
102 (C)	ULS/91=1*1.00 + 2*1.05 + 3*1.05 + 6*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+(2+3)*1.05+6*1.50
103 (C)	ULS/92=1*1.00 + 2*1.05 + 3*1.05 + 7*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+(2+3)*1.05+7*1.50
104 (C)	ULS/93=1*1.00 + 2*1.05 + 3*1.05 + 8*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+(2+3)*1.05+8*1.50
105 (C)	ULS/94=1*1.00 + 2*1.05 + 3*1.05 + 9*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+(2+3)*1.05+9*1.50
106 (C)	ULS/95=1*1.00 + 2*1.05 + 3*1.05 + 10*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+(2+3)*1.05+10*1.50
107 (C)	ULS/96=1*1.00 + 2*1.05 + 3*1.05 + 11*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+(2+3)*1.05+11*1.50
108 (C)	ULS/97=1*1.00 + 4*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+4*1.50
109 (C)	ULS/98=1*1.00 + 5*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+5*1.50
110 (C)	ULS/99=1*1.00 + 6*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+6*1.50
111 (C)	ULS/100=1*1.00 + 7*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+7*1.50
112 (C)	ULS/101=1*1.00 + 8*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+8*1.50
113 (C)	ULS/102=1*1.00 + 9*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+9*1.50
114 (C)	ULS/103=1*1.00 + 10*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+10*1.50
115 (C)	ULS/104=1*1.00 + 11*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+11*1.50
116 (C)	ULS/105=1*1.00 + 2*1.05 + 4*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+2*1.05+4*1.50
117 (C)	ULS/106=1*1.00 + 2*1.05 + 5*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+2*1.05+5*1.50
118 (C)	ULS/107=1*1.00 + 2*1.05 + 6*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+2*1.05+6*1.50
119 (C)	ULS/108=1*1.00 + 2*1.05 + 7*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+2*1.05+7*1.50
120 (C)	ULS/109=1*1.00 + 2*1.05 + 8*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+2*1.05+8*1.50
121 (C)	ULS/110=1*1.00 + 2*1.05 + 9*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+2*1.05+9*1.50

122 (C)	ULS/111=1*1.00 + 2*1.05 + 10*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+2*1.05+10*1.50
123 (C)	ULS/112=1*1.00 + 2*1.05 + 11*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+2*1.05+11*1.50
124 (C)	ULS/113=1*1.00 + 3*1.05 + 4*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+3*1.05+4*1.50
125 (C)	ULS/114=1*1.00 + 3*1.05 + 5*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+3*1.05+5*1.50
126 (C)	ULS/115=1*1.00 + 3*1.05 + 6*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+3*1.05+6*1.50
127 (C)	ULS/116=1*1.00 + 3*1.05 + 7*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+3*1.05+7*1.50
128 (C)	ULS/117=1*1.00 + 3*1.05 + 8*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+3*1.05+8*1.50
129 (C)	ULS/118=1*1.00 + 3*1.05 + 9*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+3*1.05+9*1.50
130 (C)	ULS/119=1*1.00 + 3*1.05 + 10*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+3*1.05+10*1.50
131 (C)	ULS/120=1*1.00 + 3*1.05 + 11*1.50	Combinação linear		morto	1*1.00+3*1.05+11*1.50
132 (C)	SLS:CHR/1=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+2+3)*1.00
133 (C)	SLS:CHR/2=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*0.60	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+2+3)*1.00+4*0.60
134 (C)	SLS:CHR/3=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 5*0.60	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+2+3)*1.00+5*0.60
135 (C)	SLS:CHR/4=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 6*0.60	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+2+3)*1.00+6*0.60
136 (C)	SLS:CHR/5=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 7*0.60	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+2+3)*1.00+7*0.60
137 (C)	SLS:CHR/6=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 8*0.60	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+2+3)*1.00+8*0.60
138 (C)	SLS:CHR/7=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 9*0.60	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+2+3)*1.00+9*0.60
139 (C)	SLS:CHR/8=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 10*0.60	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+2+3)*1.00+10*0.60
140 (C)	SLS:CHR/9=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 11*0.60	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+2+3)*1.00+11*0.60
141 (C)	SLS:CHR/10=1*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	1*1.00
142 (C)	SLS:CHR/11=1*1.00 + 2*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+2)*1.00
143 (C)	SLS:CHR/12=1*1.00 + 2*1.00 + 4*0.60	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+2)*1.00+4*0.60
144 (C)	SLS:CHR/13=1*1.00 + 2*1.00 + 5*0.60	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+2)*1.00+5*0.60
145 (C)	SLS:CHR/14=1*1.00 + 2*1.00 + 6*0.60	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+2)*1.00+6*0.60

146 (C)	SLS:CHR/15=1*1.00 + 2*1.00 + 7*0.60	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+2)*1.00+7*0.60
147 (C)	SLS:CHR/16=1*1.00 + 2*1.00 + 8*0.60	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+2)*1.00+8*0.60
148 (C)	SLS:CHR/17=1*1.00 + 2*1.00 + 9*0.60	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+2)*1.00+9*0.60
149 (C)	SLS:CHR/18=1*1.00 + 2*1.00 + 10*0.60	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+2)*1.00+10*0.60
150 (C)	SLS:CHR/19=1*1.00 + 2*1.00 + 11*0.60	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+2)*1.00+11*0.60
151 (C)	SLS:CHR/20=1*1.00 + 3*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+3)*1.00
152 (C)	SLS:CHR/21=1*1.00 + 3*1.00 + 4*0.60	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+3)*1.00+4*0.60
153 (C)	SLS:CHR/22=1*1.00 + 3*1.00 + 5*0.60	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+3)*1.00+5*0.60
154 (C)	SLS:CHR/23=1*1.00 + 3*1.00 + 6*0.60	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+3)*1.00+6*0.60
155 (C)	SLS:CHR/24=1*1.00 + 3*1.00 + 7*0.60	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+3)*1.00+7*0.60
156 (C)	SLS:CHR/25=1*1.00 + 3*1.00 + 8*0.60	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+3)*1.00+8*0.60
157 (C)	SLS:CHR/26=1*1.00 + 3*1.00 + 9*0.60	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+3)*1.00+9*0.60
158 (C)	SLS:CHR/27=1*1.00 + 3*1.00 + 10*0.60	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+3)*1.00+10*0.60
159 (C)	SLS:CHR/28=1*1.00 + 3*1.00 + 11*0.60	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+3)*1.00+11*0.60
160 (C)	SLS:CHR/29=1*1.00 + 2*0.70 + 3*0.70 + 4*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+4)*1.00+(2+3)*0.70
161 (C)	SLS:CHR/30=1*1.00 + 2*0.70 + 3*0.70 + 5*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+5)*1.00+(2+3)*0.70
162 (C)	SLS:CHR/31=1*1.00 + 2*0.70 + 3*0.70 + 6*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+6)*1.00+(2+3)*0.70
163 (C)	SLS:CHR/32=1*1.00 + 2*0.70 + 3*0.70 + 7*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+7)*1.00+(2+3)*0.70
164 (C)	SLS:CHR/33=1*1.00 + 2*0.70 + 3*0.70 + 8*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+8)*1.00+(2+3)*0.70
165 (C)	SLS:CHR/34=1*1.00 + 2*0.70 + 3*0.70 + 9*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+9)*1.00+(2+3)*0.70
166 (C)	SLS:CHR/35=1*1.00 + 2*0.70 + 3*0.70 + 10*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+10)*1.00+(2+3)*0.70
167 (C)	SLS:CHR/36=1*1.00 + 2*0.70 + 3*0.70 + 11*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+11)*1.00+(2+3)*0.70
168 (C)	SLS:CHR/37=1*1.00 + 4*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+4)*1.00
169 (C)	SLS:CHR/38=1*1.00 + 5*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+5)*1.00

170 (C)	SLS:CHR/39=1*1.00 + 6*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+6)*1.00
171 (C)	SLS:CHR/40=1*1.00 + 7*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+7)*1.00
172 (C)	SLS:CHR/41=1*1.00 + 8*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+8)*1.00
173 (C)	SLS:CHR/42=1*1.00 + 9*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+9)*1.00
174 (C)	SLS:CHR/43=1*1.00 + 10*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+10)*1.00
175 (C)	SLS:CHR/44=1*1.00 + 11*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+11)*1.00
176 (C)	SLS:CHR/45=1*1.00 + 2*0.70 + 4*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+4)*1.00+2*0.70
177 (C)	SLS:CHR/46=1*1.00 + 2*0.70 + 5*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+5)*1.00+2*0.70
178 (C)	SLS:CHR/47=1*1.00 + 2*0.70 + 6*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+6)*1.00+2*0.70
179 (C)	SLS:CHR/48=1*1.00 + 2*0.70 + 7*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+7)*1.00+2*0.70
180 (C)	SLS:CHR/49=1*1.00 + 2*0.70 + 8*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+8)*1.00+2*0.70
181 (C)	SLS:CHR/50=1*1.00 + 2*0.70 + 9*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+9)*1.00+2*0.70
182 (C)	SLS:CHR/51=1*1.00 + 2*0.70 + 10*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+10)*1.00+2*0.70
183 (C)	SLS:CHR/52=1*1.00 + 2*0.70 + 11*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+11)*1.00+2*0.70
184 (C)	SLS:CHR/53=1*1.00 + 3*0.70 + 4*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+4)*1.00+3*0.70
185 (C)	SLS:CHR/54=1*1.00 + 3*0.70 + 5*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+5)*1.00+3*0.70
186 (C)	SLS:CHR/55=1*1.00 + 3*0.70 + 6*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+6)*1.00+3*0.70
187 (C)	SLS:CHR/56=1*1.00 + 3*0.70 + 7*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+7)*1.00+3*0.70
188 (C)	SLS:CHR/57=1*1.00 + 3*0.70 + 8*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+8)*1.00+3*0.70
189 (C)	SLS:CHR/58=1*1.00 + 3*0.70 + 9*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+9)*1.00+3*0.70
190 (C)	SLS:CHR/59=1*1.00 + 3*0.70 + 10*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+10)*1.00+3*0.70
191 (C)	SLS:CHR/60=1*1.00 + 3*0.70 + 11*1.00	Combinação linear	SLS:CHR	morto	(1+11)*1.00+3*0.70
192 (C)	SLS:FRE/61=1*1.00 + 2*0.50 + 3*0.50	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+(2+3)*0.50
193 (C)	SLS:FRE/62=1*1.00	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00

194 (C)	SLS:FRE/63=1*1.00 + 2*0.50	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+2*0.50
195 (C)	SLS:FRE/64=1*1.00 + 3*0.50	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+3*0.50
196 (C)	SLS:FRE/65=1*1.00 + 2*0.30 + 3*0.30 + 4*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+(2+3)*0.30+4*0.20
197 (C)	SLS:FRE/66=1*1.00 + 2*0.30 + 3*0.30 + 5*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+(2+3)*0.30+5*0.20
198 (C)	SLS:FRE/67=1*1.00 + 2*0.30 + 3*0.30 + 6*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+(2+3)*0.30+6*0.20
199 (C)	SLS:FRE/68=1*1.00 + 2*0.30 + 3*0.30 + 7*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+(2+3)*0.30+7*0.20
200 (C)	SLS:FRE/69=1*1.00 + 2*0.30 + 3*0.30 + 8*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+(2+3)*0.30+8*0.20
201 (C)	SLS:FRE/70=1*1.00 + 2*0.30 + 3*0.30 + 9*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+(2+3)*0.30+9*0.20
202 (C)	SLS:FRE/71=1*1.00 + 2*0.30 + 3*0.30 + 10*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+(2+3)*0.30+10*0.20
203 (C)	SLS:FRE/72=1*1.00 + 2*0.30 + 3*0.30 + 11*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+(2+3)*0.30+11*0.20
204 (C)	SLS:FRE/73=1*1.00 + 4*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+4*0.20
205 (C)	SLS:FRE/74=1*1.00 + 5*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+5*0.20
206 (C)	SLS:FRE/75=1*1.00 + 6*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+6*0.20
207 (C)	SLS:FRE/76=1*1.00 + 7*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+7*0.20
208 (C)	SLS:FRE/77=1*1.00 + 8*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+8*0.20
209 (C)	SLS:FRE/78=1*1.00 + 9*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+9*0.20
210 (C)	SLS:FRE/79=1*1.00 + 10*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+10*0.20
211 (C)	SLS:FRE/80=1*1.00 + 11*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+11*0.20
212 (C)	SLS:FRE/81=1*1.00 + 2*0.30 + 4*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+2*0.30+4*0.20
213 (C)	SLS:FRE/82=1*1.00 + 2*0.30 + 5*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+2*0.30+5*0.20
214 (C)	SLS:FRE/83=1*1.00 + 2*0.30 + 6*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+2*0.30+6*0.20
215 (C)	SLS:FRE/84=1*1.00 + 2*0.30 + 7*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+2*0.30+7*0.20
216 (C)	SLS:FRE/85=1*1.00 + 2*0.30 + 8*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+2*0.30+8*0.20
217 (C)	SLS:FRE/86=1*1.00 + 2*0.30 + 9*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+2*0.30+9*0.20

218 (C)	SLS:FRE/87=1*1.00 + 2*0.30 + 10*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+2*0.30+10*0.20
219 (C)	SLS:FRE/88=1*1.00 + 2*0.30 + 11*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+2*0.30+11*0.20
220 (C)	SLS:FRE/89=1*1.00 + 3*0.30 + 4*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+3*0.30+4*0.20
221 (C)	SLS:FRE/90=1*1.00 + 3*0.30 + 5*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+3*0.30+5*0.20
222 (C)	SLS:FRE/91=1*1.00 + 3*0.30 + 6*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+3*0.30+6*0.20
223 (C)	SLS:FRE/92=1*1.00 + 3*0.30 + 7*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+3*0.30+7*0.20
224 (C)	SLS:FRE/93=1*1.00 + 3*0.30 + 8*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+3*0.30+8*0.20
225 (C)	SLS:FRE/94=1*1.00 + 3*0.30 + 9*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+3*0.30+9*0.20
226 (C)	SLS:FRE/95=1*1.00 + 3*0.30 + 10*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+3*0.30+10*0.20
227 (C)	SLS:FRE/96=1*1.00 + 3*0.30 + 11*0.20	Combinação linear	SLS:FRE	morto	1*1.00+3*0.30+11*0.20
228 (C)	SLS:QPR/97=1*1.00 + 2*0.30 + 3*0.30	Combinação linear	SLS:QPR	morto	1*1.00+(2+3)*0.30
229 (C)	SLS:QPR/98=1*1.00	Combinação linear	SLS:QPR	morto	1*1.00
230 (C)	SLS:QPR/99=1*1.00 + 2*0.30	Combinação linear	SLS:QPR	morto	1*1.00+2*0.30
231 (C)	SLS:QPR/100=1*1.00 + 3*0.30	Combinação linear	SLS:QPR	morto	1*1.00+3*0.30

- Fator de integridade:
Este fator, calculado pela parametrização da metodologia Gde/UnB, será utilizado como ponderador da resistência do betão e do aço.

Foram considerados nos cálculos, apenas os valores de $d(F_i, F_p)$ maiores que 0,2.

Os valores do índice de intensidade foram adotados de acordo com a minha análise da intensidade de cada patologia no elemento. Para essa análise, foram utilizadas fotos do reservatório e seus elementos, juntamente com os dados apresentados no capítulo 4.

Com os valores obtidos no Quadro 5.1, foi calculado o grau de dano (D) e o grau de deterioração de cada elemento.

Dessa forma, para a classe dos pilares foram encontrados os seguintes resultados:

Quadro 5.2 – Dano e grau de deterioração de cada elemento da classe dos pilares

P1.1					P4.1				
	fp	fi	D	Gde		fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5		0,00	0,13	Lixiviação	0,5		0,00	0,13
Esfolição	0,8	0,5	0,07		Esfolição	0,8	0,5	0,07	
Desagregação	0,7	0,25	0,03		Desagregação	0,7	0,25	0,03	
Cobrimto deficiente	0,6	0,5	0,05		Cobrimto deficiente	0,6	0,5	0,05	
Manchas de Corrosão	0,7	0,25	0,03		Manchas de Corrosão	0,7	0,25	0,03	
Fissuras	1	0,5	0,08		Fissuras	1	0,5	0,08	
Carbonatação	0,7	0,5	0,06		Carbonatação	0,7	0,5	0,06	
Vazamento	1		0,00		Vazamento	1		0,00	
P2.1					P5.1				
	fp	fi	D	Gde		fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5		0,00	0,13	Lixiviação	0,5		0,00	0,64
Esfolição	0,8	0,5	0,07		Esfolição	0,8	0,75	0,35	
Desagregação	0,7	0,25	0,03		Desagregação	0,7	0,5	0,06	
Cobrimto deficiente	0,6	0,5	0,05		Cobrimto deficiente	0,6	0,75	0,26	
Manchas de Corrosão	0,7	0,25	0,03		Manchas de Corrosão	0,7	0,5	0,06	
Fissuras	1	0,5	0,08		Fissuras	1	0,75	0,44	
Carbonatação	0,7	0,5	0,06		Carbonatação	0,7	0,75	0,31	
Vazamento	1		0,00		Vazamento	1		0,00	
P3.1					P6.1				
	fp	fi	D	Gde		fp	fi	D	Gde
Lixiviação			0,00	0,00	Lixiviação	0,5		0,00	0,13
Esfolição			0,00		Esfolição	0,8	0,5	0,07	
Desagregação			0,00		Desagregação	0,7	0,25	0,03	
Cobrimto deficiente			0,00		Cobrimto deficiente	0,6	0,5	0,05	
Manchas de Corrosão			0,00		Manchas de Corrosão	0,7	0,25	0,03	
Fissuras			0,00		Fissuras	1	0,5	0,08	
Carbonatação			0,00		Carbonatação	0,7	0,5	0,06	
Vazamento			0,00		Vazamento	1		0,00	
P1.2					P4.2				
	fp	fi	D	Gde		fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5		0,00	0,13	Lixiviação	0,5		0,00	0,13
Esfolição	0,8	0,5	0,07		Esfolição	0,8	0,5	0,07	
Desagregação	0,7	0,25	0,03		Desagregação	0,7	0,25	0,03	
Cobrimto deficiente	0,6	0,5	0,05		Cobrimto deficiente	0,6	0,5	0,05	
Manchas de Corrosão	0,7	0,25	0,03		Manchas de Corrosão	0,7	0,25	0,03	
Fissuras	1	0,5	0,08		Fissuras	1	0,5	0,08	
Carbonatação	0,7	0,5	0,06		Carbonatação	0,7	0,5	0,06	
Vazamento	1		0,00		Vazamento	1		0,00	
P2.2					P5.2				
	fp	fi	D	Gde		fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5		0,00	0,13	Lixiviação	0,5		0,00	0,13
Esfolição	0,8	0,5	0,07		Esfolição	0,8	0,5	0,07	
Desagregação	0,7	0,25	0,03		Desagregação	0,7	0,25	0,03	
Cobrimto deficiente	0,6	0,5	0,05		Cobrimto deficiente	0,6	0,5	0,05	
Manchas de Corrosão	0,7	0,25	0,03		Manchas de Corrosão	0,7	0,25	0,03	
Fissuras	1	0,5	0,08		Fissuras	1	0,5	0,08	
Carbonatação	0,7	0,5	0,06		Carbonatação	0,7	0,5	0,06	
Vazamento	1		0,00		Vazamento	1		0,00	
P3.2					P6.2				
	fp	fi	D	Gde		fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5		0,00	0,13	Lixiviação	0,5		0,00	0,64
Esfolição	0,8	0,5	0,07		Esfolição	0,8	0,75	0,35	
Desagregação	0,7	0,25	0,03		Desagregação	0,7	0,5	0,06	
Cobrimto deficiente	0,6	0,5	0,05		Cobrimto deficiente	0,6	0,75	0,26	
Manchas de Corrosão	0,7	0,25	0,03		Manchas de Corrosão	0,7	0,5	0,06	
Fissuras	1	0,5	0,08		Fissuras	1	0,75	0,44	
Carbonatação	0,7	0,5	0,06		Carbonatação	0,7	0,75	0,31	
Vazamento	1		0,00		Vazamento	1		0,00	

P1.3				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5	0,5	0,04	0,00
Esfolição	0,8		0,00	
Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,6		0,00	
Manchas de Corrosão	0,7		0,00	
Fissuras	1		0,00	
Carbonatação	0,7		0,00	
Vazamento	1		0,00	

P4.3				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5	0,5	0,04	0,14
Esfolição	0,8	0,5	0,07	
Desagregação	0,7	0,25	0,03	
Cobrimento deficiente	0,6	0,5	0,05	
Manchas de Corrosão	0,7	0,5	0,06	
Fissuras	1	0,5	0,08	
Carbonatação	0,7	0,5	0,06	
Vazamento	1	0,5	0,08	

P2.3				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5	0,5	0,04	0,00
Esfolição	0,8		0,00	
Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,6		0,00	
Manchas de Corrosão	0,7		0,00	
Fissuras	1		0,00	
Carbonatação	0,7		0,00	
Vazamento	1		0,00	

P5.3				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5	0,5	0,04	0,14
Esfolição	0,8	0,5	0,07	
Desagregação	0,7	0,25	0,03	
Cobrimento deficiente	0,6	0,5	0,05	
Manchas de Corrosão	0,7	0,5	0,06	
Fissuras	1	0,5	0,08	
Carbonatação	0,7	0,5	0,06	
Vazamento	1	0,5	0,08	

P3.3				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5	0,5	0,04	0,00
Esfolição	0,8		0,00	
Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,6		0,00	
Manchas de Corrosão	0,7		0,00	
Fissuras	1		0,00	
Carbonatação	0,7		0,00	
Vazamento	1		0,00	

P6.3				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5	0,5	0,04	0,14
Esfolição	0,8	0,5	0,07	
Desagregação	0,7	0,25	0,03	
Cobrimento deficiente	0,6	0,5	0,05	
Manchas de Corrosão	0,7	0,5	0,06	
Fissuras	1	0,5	0,08	
Carbonatação	0,7	0,5	0,06	
Vazamento	1	0,5	0,08	

P1.4				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5	0,25	0,02	0,13
Esfolição	0,8	0,5	0,07	
Desagregação	0,7	0,25	0,03	
Cobrimento deficiente	0,6	0,5	0,05	
Manchas de Corrosão	0,7	0,25	0,03	
Fissuras	1	0,5	0,08	
Carbonatação	0,7	0,5	0,06	
Vazamento	1		0,00	

P4.4				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5	0,25	0,02	0,13
Esfolição	0,8	0,5	0,07	
Desagregação	0,7	0,25	0,03	
Cobrimento deficiente	0,6	0,5	0,05	
Manchas de Corrosão	0,7	0,25	0,03	
Fissuras	1	0,5	0,08	
Carbonatação	0,7	0,5	0,06	
Vazamento	1		0,00	

P2.4				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5	0,5	0,04	0,00
Esfolição	0,8		0,00	
Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,6		0,00	
Manchas de Corrosão	0,7		0,00	
Fissuras	1		0,00	
Carbonatação	0,7		0,00	
Vazamento	1		0,00	

P5.4				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5	0,25	0,02	0,13
Esfolição	0,8	0,5	0,07	
Desagregação	0,7	0,25	0,03	
Cobrimento deficiente	0,6	0,5	0,05	
Manchas de Corrosão	0,7	0,25	0,03	
Fissuras	1	0,5	0,08	
Carbonatação	0,7	0,5	0,06	
Vazamento	1		0,00	

P3.4				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5	0,5	0,04	0,00
Esfolição	0,8		0,00	
Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,6		0,00	
Manchas de Corrosão	0,7		0,00	
Fissuras	1		0,00	
Carbonatação	0,7		0,00	
Vazamento	1		0,00	

P6.4				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5	0,5	0,04	0,00
Esfolição	0,8		0,00	
Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,6		0,00	
Manchas de Corrosão	0,7		0,00	
Fissuras	1		0,00	
Carbonatação	0,7		0,00	
Vazamento	1		0,00	

P1.5				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5	0,25	0,02	0,13
Esfolição	0,8	0,5	0,07	
Desagregação	0,7	0,25	0,03	
Cobrimento deficiente	0,6	0,5	0,05	
Manchas de Corrosão	0,7	0,25	0,03	
Fissuras	1	0,5	0,08	
Carbonatação	0,7	0,5	0,06	
Vazamento	1		0,00	

P2.5				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5	0,5	0,04	0,00
Esfolição	0,8		0,00	
Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,6		0,00	
Manchas de Corrosão	0,7		0,00	
Fissuras	1		0,00	
Carbonatação	0,7		0,00	
Vazamento	1		0,00	

P3.5				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5	0,5	0,04	0,00
Esfolição	0,8		0,00	
Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,6		0,00	
Manchas de Corrosão	0,7		0,00	
Fissuras	1		0,00	
Carbonatação	0,7		0,00	
Vazamento	1		0,00	

P1.6				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5	0,5	0,04	0,51
Esfolição	0,8	0,75	0,35	
Desagregação	0,7	0,75	0,31	
Cobrimento deficiente	0,6	0,75	0,26	
Manchas de Corrosão	0,7	0,5	0,06	
Fissuras	1	0,5	0,08	
Carbonatação	0,7	0,75	0,31	
Vazamento	1	0,5	0,08	

P2.6				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5	0,5	0,04	0,60
Esfolição	0,8	0,75	0,35	
Desagregação	0,7	0,5	0,06	
Cobrimento deficiente	0,6	0,75	0,26	
Manchas de Corrosão	0,7	0,5	0,06	
Fissuras	1	0,5	0,08	
Carbonatação	0,7	0,75	0,31	
Vazamento	1	0,75	0,44	

P3.6				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5	0,5	0,04	0,00
Esfolição	0,8		0,00	
Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,6		0,00	
Manchas de Corrosão	0,7		0,00	
Fissuras	1		0,00	
Carbonatação	0,7		0,00	
Vazamento	1		0,00	

P4.5				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5	0,5	0,04	0,00
Esfolição	0,8		0,00	
Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,6		0,00	
Manchas de Corrosão	0,7		0,00	
Fissuras	1		0,00	
Carbonatação	0,7		0,00	
Vazamento	1		0,00	

P5.5				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5	0,5	0,04	0,13
Esfolição	0,8	0,5	0,07	
Desagregação	0,7	0,25	0,03	
Cobrimento deficiente	0,6	0,5	0,05	
Manchas de Corrosão	0,7	0,25	0,03	
Fissuras	1	0,5	0,08	
Carbonatação	0,7	0,5	0,06	
Vazamento	1		0,00	

P6.5				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5	0,5	0,04	0,00
Esfolição	0,8		0,00	
Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,6		0,00	
Manchas de Corrosão	0,7		0,00	
Fissuras	1		0,00	
Carbonatação	0,7		0,00	
Vazamento	1		0,00	

P4.6				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5	0,5	0,04	0,11
Esfolição	0,8	0,5	0,07	
Desagregação	0,7	0,5	0,06	
Cobrimento deficiente	0,6	0,5	0,05	
Manchas de Corrosão	0,7	0,25	0,03	
Fissuras	1	0,25	0,04	
Carbonatação	0,7	0,25	0,03	
Vazamento	1		0,00	

P5.6				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5	0,5	0,04	0,11
Esfolição	0,8	0,5	0,07	
Desagregação	0,7	0,5	0,06	
Cobrimento deficiente	0,6	0,5	0,05	
Manchas de Corrosão	0,7	0,25	0,03	
Fissuras	1	0,25	0,04	
Carbonatação	0,7	0,25	0,03	
Vazamento	1		0,00	

P6.6				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,5	0,5	0,04	0,13
Esfolição	0,8	0,5	0,07	
Desagregação	0,7	0,25	0,03	
Cobrimento deficiente	0,6	0,5	0,05	
Manchas de Corrosão	0,7	0,25	0,03	
Fissuras	1	0,5	0,08	
Carbonatação	0,7	0,5	0,06	
Vazamento	1		0,00	

Para a classe das paredes foram encontrados os seguintes resultados:

Quadro 5.3 – Dano e grau de deterioração de cada elemento da classe das paredes

PAR1.1					PAR3.1				
	fp	fi	D	Gde		fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,7		0,00	0,00	Lixiviação	0,7		0,00	0,00
Esfolição	1		0,00		Esfolição	1		0,00	
Desagregação	0,7		0,00		Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,7		0,00		Cobrimento deficiente	0,7		0,00	
Manchas de Corrosão	0,9		0,00		Manchas de Corrosão	0,9		0,00	
Fissuras	1		0,00		Fissuras	1		0,00	
Carbonatação	0,7		0,00		Carbonatação	0,7		0,00	
Vazamento	1		0,00		Vazamento	1		0,00	
Impermeabilização danificada	0,8		0		Impermeabilização danificada	0,8		0	
PAR2.1					PAR4.1				
	fp	fi	D	Gde		fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,7		0,00	0,00	Lixiviação	0,7		0,00	0,14
Esfolição	1		0,00		Esfolição	1	0,5	0,08	
Desagregação	0,7		0,00		Desagregação	0,7	0,25	0,03	
Cobrimento deficiente	0,7		0,00		Cobrimento deficiente	0,7	0,5	0,06	
Manchas de Corrosão	0,9		0,00		Manchas de Corrosão	0,9	0,25	0,04	
Fissuras	1		0,00		Fissuras	1	0,5	0,08	
Carbonatação	0,7		0,00		Carbonatação	0,7	0,5	0,06	
Vazamento	1		0,00		Vazamento	1		0,00	
Impermeabilização danificada	0,8		0		Impermeabilização danificada	0,8		0	
PAR1.2					PAR3.2				
	fp	fi	D	Gde		fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,7		0,00	0,14	Lixiviação	0,7		0,00	0,00
Esfolição	1	0,5	0,08		Esfolição	1		0,00	
Desagregação	0,7	0,25	0,03		Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,7	0,5	0,06		Cobrimento deficiente	0,7		0,00	
Manchas de Corrosão	0,9	0,25	0,04		Manchas de Corrosão	0,9		0,00	
Fissuras	1	0,5	0,08		Fissuras	1		0,00	
Carbonatação	0,7	0,5	0,06		Carbonatação	0,7		0,00	
Vazamento	1		0,00		Vazamento	1		0,00	
Impermeabilização danificada	0,8		0		Impermeabilização danificada	0,8		0	
PAR2.2					PAR4.2				
	fp	fi	D	Gde		fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,7		0,00	0,00	Lixiviação	0,7		0,00	0,14
Esfolição	1		0,00		Esfolição	1	0,5	0,08	
Desagregação	0,7		0,00		Desagregação	0,7	0,25	0,03	
Cobrimento deficiente	0,7		0,00		Cobrimento deficiente	0,7	0,5	0,06	
Manchas de Corrosão	0,9		0,00		Manchas de Corrosão	0,9	0,25	0,04	
Fissuras	1		0,00		Fissuras	1	0,5	0,08	
Carbonatação	0,7		0,00		Carbonatação	0,7	0,5	0,06	
Vazamento	1		0,00		Vazamento	1		0,00	
Impermeabilização danificada	0,8		0		Impermeabilização danificada	0,8		0	
PAR1.3					PAR3.3				
	fp	fi	D	Gde		fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,7	0,5	0,06	0,00	Lixiviação	0,7	0,5	0,06	0,00
Esfolição	1		0,00		Esfolição	1		0,00	
Desagregação	0,7		0,00		Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,7		0,00		Cobrimento deficiente	0,7		0,00	
Manchas de Corrosão	0,9		0,00		Manchas de Corrosão	0,9		0,00	
Fissuras	1		0,00		Fissuras	1		0,00	
Carbonatação	0,7		0,00		Carbonatação	0,7		0,00	
Vazamento	1		0,00		Vazamento	1		0,00	
Impermeabilização danificada	0,8		0		Impermeabilização danificada	0,8		0	
PAR2.3					PAR4.3				
	fp	fi	D	Gde		fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,7	0,5	0,06	0,00	Lixiviação	0,7	0,5	0,06	0,00
Esfolição	1		0,00		Esfolição	1		0,00	
Desagregação	0,7		0,00		Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,7		0,00		Cobrimento deficiente	0,7		0,00	
Manchas de Corrosão	0,9		0,00		Manchas de Corrosão	0,9		0,00	
Fissuras	1		0,00		Fissuras	1		0,00	
Carbonatação	0,7		0,00		Carbonatação	0,7		0,00	
Vazamento	1		0,00		Vazamento	1		0,00	
Impermeabilização danificada	0,8		0		Impermeabilização danificada	0,8		0	

PAR1.4				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,7	0,5	0,06	0,00
Esfolição	1		0,00	
Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,7		0,00	
Manchas de Corrosão	0,9		0,00	
Fissuras	1		0,00	
Carbonatação	0,7		0,00	
Vazamento	1		0,00	
Impermeabilização danificada	0,8		0	

PAR3.4				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,7	0,5	0,06	0,00
Esfolição	1		0,00	
Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,7		0,00	
Manchas de Corrosão	0,9		0,00	
Fissuras	1		0,00	
Carbonatação	0,7		0,00	
Vazamento	1		0,00	
Impermeabilização danificada	0,8		0	

PAR2.4				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,7	0,5	0,06	0,00
Esfolição	1		0,00	
Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,7		0,00	
Manchas de Corrosão	0,9		0,00	
Fissuras	1		0,00	
Carbonatação	0,7		0,00	
Vazamento	1		0,00	
Impermeabilização danificada	0,8		0	

PAR4.4				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,7	0,5	0,06	0,00
Esfolição	1		0,00	
Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,7		0,00	
Manchas de Corrosão	0,9		0,00	
Fissuras	1		0,00	
Carbonatação	0,7		0,00	
Vazamento	1		0,00	
Impermeabilização danificada	0,8		0	

PAR1.5				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,7	0,5	0,06	0,00
Esfolição	1		0,00	
Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,7		0,00	
Manchas de Corrosão	0,9		0,00	
Fissuras	1		0,00	
Carbonatação	0,7		0,00	
Vazamento	1		0,00	
Impermeabilização danificada	0,8		0	

PAR3.5				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,7	0,5	0,06	0,00
Esfolição	1		0,00	
Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,7		0,00	
Manchas de Corrosão	0,9		0,00	
Fissuras	1		0,00	
Carbonatação	0,7		0,00	
Vazamento	1		0,00	
Impermeabilização danificada	0,8		0	

PAR2.5				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,7	0,5	0,06	0,00
Esfolição	1		0,00	
Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,7		0,00	
Manchas de Corrosão	0,9		0,00	
Fissuras	1		0,00	
Carbonatação	0,7		0,00	
Vazamento	1		0,00	
Impermeabilização danificada	0,8		0	

PAR4.5				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,7	0,5	0,06	0,00
Esfolição	1		0,00	
Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,7		0,00	
Manchas de Corrosão	0,9		0,00	
Fissuras	1		0,00	
Carbonatação	0,7		0,00	
Vazamento	1		0,00	
Impermeabilização danificada	0,8		0	

PAR1.6				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,7	0,5	0,06	0,57
Esfolição	1		0,08	
Desagregação	0,7	0,75	0,31	
Cobrimento deficiente	0,7	0,5	0,06	
Manchas de Corrosão	0,9	0,5	0,07	
Fissuras	1	0,5	0,08	
Carbonatação	0,7	0,25	0,03	
Vazamento	1	0,75	0,44	
Impermeabilização danificada	0,8	0,75	0,35	

PAR3.6				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,7	0,5	0,06	0,00
Esfolição	1		0,00	
Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,7		0,00	
Manchas de Corrosão	0,9		0,00	
Fissuras	1		0,00	
Carbonatação	0,7		0,00	
Vazamento	1		0,00	
Impermeabilização danificada	0,8		0	

PAR2.6				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,7	0,5	0,06	0,56
Esfolição	1		0,00	
Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,7		0,00	
Manchas de Corrosão	0,9	0,5	0,07	
Fissuras	1	0,5	0,08	
Carbonatação	0,7	0,25	0,03	
Vazamento	1	0,75	0,44	
Impermeabilização danificada	0,8	0,75	0,35	

PAR4.6				
	fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,7	0,5	0,06	0,00
Esfolição	1		0,00	
Desagregação	0,7		0,00	
Cobrimento deficiente	0,7		0,00	
Manchas de Corrosão	0,9		0,00	
Fissuras	1		0,00	
Carbonatação	0,7		0,00	
Vazamento	1		0,00	
Impermeabilização danificada	0,8		0	

PAR1.7					PAR3.7				
	fp	fi	D	Gde		fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,7	0,75	0,31	0,60	Lixiviação	0,7	0,75	0,31	0,60
Esfolição	1	0,5	0,08		Esfolição	1	0,5	0,08	
Desagregação	0,7	0,25	0,03		Desagregação	0,7	0,25	0,03	
Cobrimento deficiente	0,7	0,25	0,03		Cobrimento deficiente	0,7	0,25	0,03	
Manchas de Corrosão	0,9	0,75	0,39		Manchas de Corrosão	0,9	0,75	0,39	
Fissuras	1	0,25	0,04		Fissuras	1	0,25	0,04	
Carbonatação	0,7	0,5	0,06		Carbonatação	0,7	0,5	0,06	
Vazamento	1	0,75	0,44		Vazamento	1	0,75	0,44	
Impermeabilização danificada	0,8	0,75	0,35		Impermeabilização danificada	0,8	0,75	0,35	

PAR2.7					PAR4.7				
	fp	fi	D	Gde		fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,7	0,75	0,31	0,60	Lixiviação	0,7	0,75	0,31	0,60
Esfolição	1	0,5	0,08		Esfolição	1	0,5	0,08	
Desagregação	0,7	0,25	0,03		Desagregação	0,7	0,25	0,03	
Cobrimento deficiente	0,7	0,25	0,03		Cobrimento deficiente	0,7	0,25	0,03	
Manchas de Corrosão	0,9	0,75	0,39		Manchas de Corrosão	0,9	0,75	0,39	
Fissuras	1	0,25	0,04		Fissuras	1	0,25	0,04	
Carbonatação	0,7	0,5	0,06		Carbonatação	0,7	0,5	0,06	
Vazamento	1	0,75	0,44		Vazamento	1	0,75	0,44	
Impermeabilização danificada	0,8	0,75	0,35		Impermeabilização danificada	0,8	0,75	0,35	

Para a classe das lajes foram encontrados os seguintes resultados:

Quadro 5.4 – Dano e grau de deterioração de cada elemento da classe das paredes

Laje Inferior do Reservatório					Tampa Reservatório				
	fp	fi	D	Gde		fp	fi	D	Gde
Lixiviação	0,7	0,5	0,06	0,64	Lixiviação	0,7	0,25	0,03	0,66
Esfolição	1	0,5	0,08		Esfolição	1	0,5	0,08	
Desagregação	0,7	0,75	0,31		Desagregação	0,7	0,5	0,06	
Cobrimento deficiente	0,7	0,5	0,06		Cobrimento deficiente	0,7	0,75	0,31	
Manchas de Corrosão	0,9	0,75	0,39		Manchas de Corrosão	0,9	0,75	0,39	
Fissuras	1	0,5	0,08		Fissuras	1	0,75	0,44	
Carbonatação	0,7	0,75	0,31		Carbonatação	0,7	0,75	0,31	
Vazamento	1	0,75	0,44		Vazamento	1		0,00	
Impermeabilização danificada	0,8	0,75	0,35		Impermeabilização danificada	0,8	0,75	0,35	

A partir dos valores dos danos e dos graus de deterioração obtidos em cada elemento, foi possível calcular os valores do grau de deterioração para a classe (Gdc), família (Gdf) e da estrutura (Gd).

Para o cálculo do grau de deterioração das famílias, foram utilizados os fatores de relevância estrutural do Quadro 5.5, sendo que estes foram ponderados para que cada família tenha a soma das suas respectivas classes igual à 1.

Para o cálculo do grau de deterioração da estrutura, foram consideradas todas as famílias com a mesma importância, dividindo o valor apenas pelo número de famílias existentes.

Quadro 5.5 – Fatores de relevância estrutural

Fator de Relevância Estrutural :	1,0
Pilares	0,33
Laje Inferior do Reservatório	0,27
Paredes	0,20
Lajes	0,13
Tampa do reservatório	0,07

Logo, os resultados obtidos estão expressos no Quadro 5.7, fazendo a respectiva correspondência ao seu nível de deterioração, no qual os valores de referência estão presentes no Quadro 5.6.

Quadro 5.6 – Valores de referência para o nível de deterioração (Pantoja et.al, 2018)

Nível de deterioração	Grau do dano
Leve	$\leq 0,15$
Baixo	$0,15 < Gd \leq 0,35$
Médio	$0,35 < Gd \leq 0,55$
Alto	$0,55 < Gd \leq 0,75$
Crítico	$0,75 < Gd \leq 1$

Quadro 5.7 – Valores obtidos a partir da metodologia Gde/UnB

Família	Classe	Elemento	Gde	Gdc	Gdf	Gd
Estrutura	Nível 1	Pilares	P1.1	0,13 Leve	0,11 Leve	0,06 Leve
			P2.1	0,13 Leve		
			P3.1	0 Leve		
			P4.1	0,13 Leve		
			P5.1	0,64 Alto		
			P6.1	0,13 Leve		
		Paredes	PAR1.1	0 Leve	0,04 Leve	
			PAR2.1	0 Leve		
			PAR3.1	0 Leve		
	Lajes	PAR4.1	0,14 Leve	0 Leve		
	Nível 2	Pilares	P1.2	0,13 Leve	0,22 Baixo	0,13 Leve
			P2.2	0,13 Leve		
			P3.2	0,13 Leve		
			P4.2	0,13 Leve		
			P5.2	0,13 Leve		
			P6.2	0,64 Alto		
		Paredes	PAR1.2	0,14 Leve	0,07 Leve	
			PAR2.2	0 Leve		
			PAR3.2	0 Leve		
	Lajes	PAR4.2	0,14 Leve	0 Leve		
	Nível 3	Pilares	P1.3	0 Leve	0,07 Leve	0,04 Leve
P2.3			0 Leve			
P3.3			0 Leve			
P4.3			0,14 Leve			
P5.3			0,14 Leve			
P6.3			0,14 Leve			
Paredes		PAR1.3	0 Leve	0 Leve		
		PAR2.3	0 Leve			
		PAR3.3	0 Leve			
Lajes	PAR4.3	0 Leve	0 Leve			
Nível 4	Pilares	P1.4	0,13 Leve	0,07 Leve	0,18 Baixo	
		P2.4	0 Leve			
		P3.4	0 Leve			
		P4.4	0,13 Leve			
		P5.4	0,13 Leve			
		P6.4	0 Leve			
	Paredes	PAR1.4	0 Leve	0 Leve		
		PAR2.4	0 Leve			
		PAR3.4	0 Leve			
Lajes	PAR4.4	0 Leve	0 Leve			
Nível 5	Pilares	P1.5	0,13 Leve	0,02 Leve	0,01 Leve	
		P2.5	0 Leve			
		P3.5	0 Leve			
		P4.5	0 Leve			
		P5.5	0,13 Leve			
		P6.5	0 Leve			
	Paredes	PAR1.5	0 Leve	0 Leve		
		PAR2.5	0 Leve			
		PAR3.5	0 Leve			
Lajes	PAR4.5	0 Leve	0 Leve			
Nível 6	Pilares	P1.6	0,51 Médio	0,24 Baixo	0,39 Médio	
		P2.6	0,6 Alto			
		P3.6	0 Leve			
		P4.6	0,11 Leve			
		P5.6	0,11 Leve			
		P6.6	0,13 Leve			
	Paredes	PAR1.6	0,57 Alto	0,28 Baixo		
		PAR2.6	0,56 Alto			
		PAR3.6	0 Leve			
Lajes	PAR4.6	0 Leve	0 Leve			
Nível 7	Paredes	Laje Inferior do Reservatório	0,64 Alto	0,64 Alto		
		PAR1.7	0,6 Alto	0,62 Alto		
		PAR2.7	0,6 Alto			
Lajes	PAR3.7	0,6 Alto	0,66 Alto			
	PAR4.7	0,6 Alto				
		Tampa do Reservatório	0,66 Alto	0,66 Alto		

É possível observar que a maioria dos elementos possui um nível de deterioração leve, havendo pontos mais críticos nos pilares, paredes e lajes dos níveis 6 e 7, locais que apresentam a perda de estanqueidade do reservatório, ocasionando e intensificando outras patologias.

De forma comparativa, as Figuras 5.1, 5.2 e 5.3 mostram os níveis de deterioração das classes da estrutura por níveis.

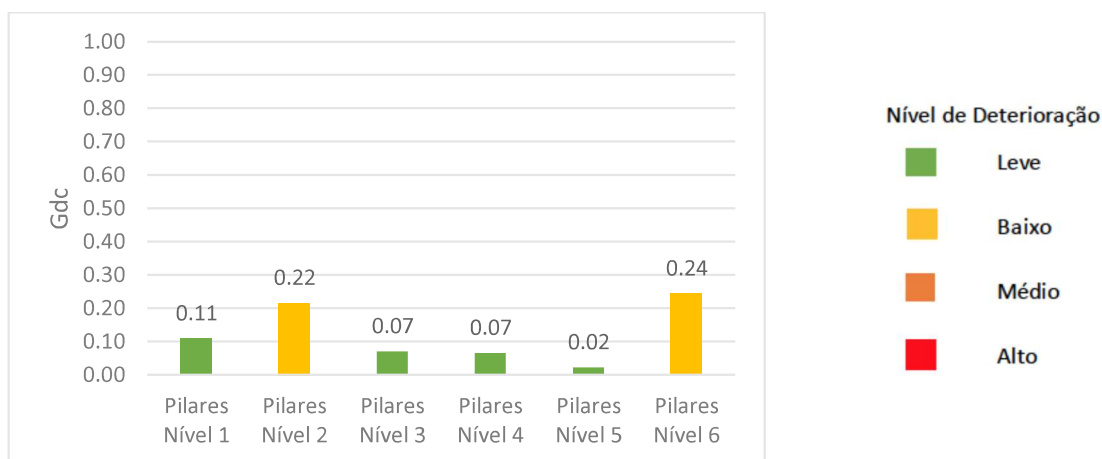


Figura 5.1 – Valores de Gdc obtidos para os Pilares

Para os pilares, percebe-se que não há grandes problemas de deterioração, apenas um pequeno aumento do nível de criticidade nos níveis 2 e 6. No nível 2 encontra-se a maior predominância de pilares com armaduras expostas. Já no nível 6, na base do reservatório, existem mais patologias relacionadas à falta de estanqueidade do reservatório.

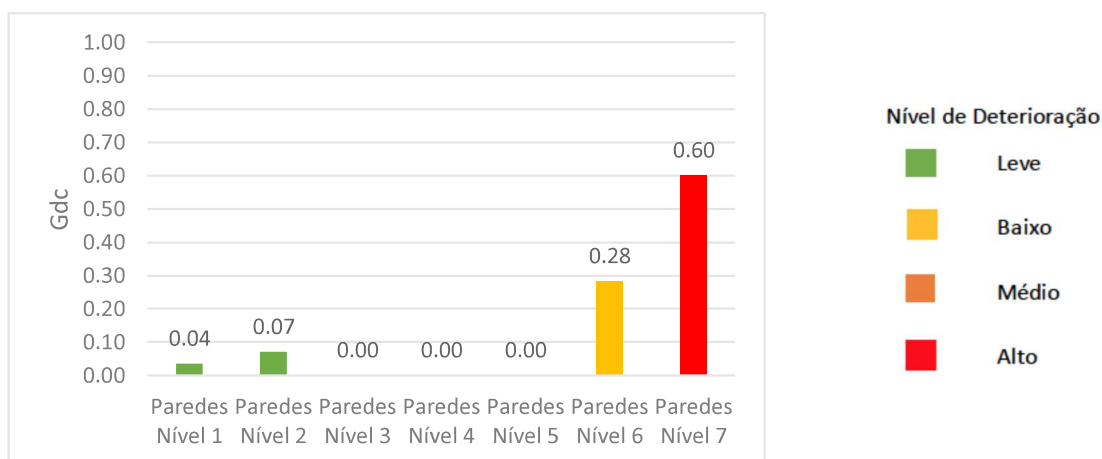


Figura 5.2 – Valores de Gdc obtidos para as Paredes

Nas paredes, observa-se, diferentemente dos pilares, uma grande diferença na degradação dos níveis 6 e 7 para os demais níveis. Esses valores elevados são, prioritariamente, devido à perda de estanqueidade do reservatório, agravando a degradação do betão.

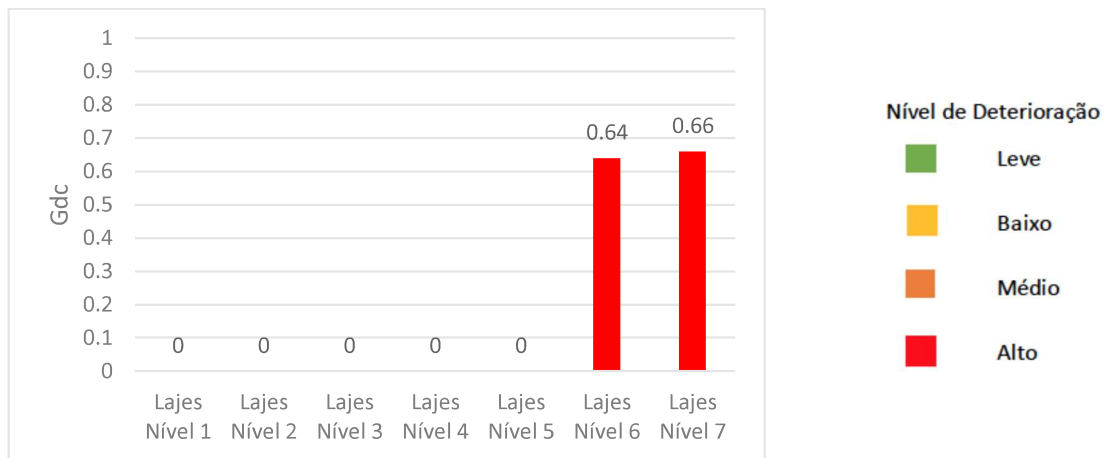


Figura 5.3 – Valores de Gdc obtidos para as Lajes

As lajes apresentam danos apenas no reservatório superior, níveis 6 e 7. Igualmente às paredes, estes danos são devido aos vazamentos e falta de impermeabilização do reservatório.

Como foi observado nos graus de deterioração das classes, há uma grande variação de seus valores em altos e baixos. De forma diferente, pela Figura 5.4, nota-se que os maiores valores do grau de deterioração das famílias se concentram nos níveis 6 e 7, a constatar que até o nível 5 a estrutura apresenta um bom estado de conservação.

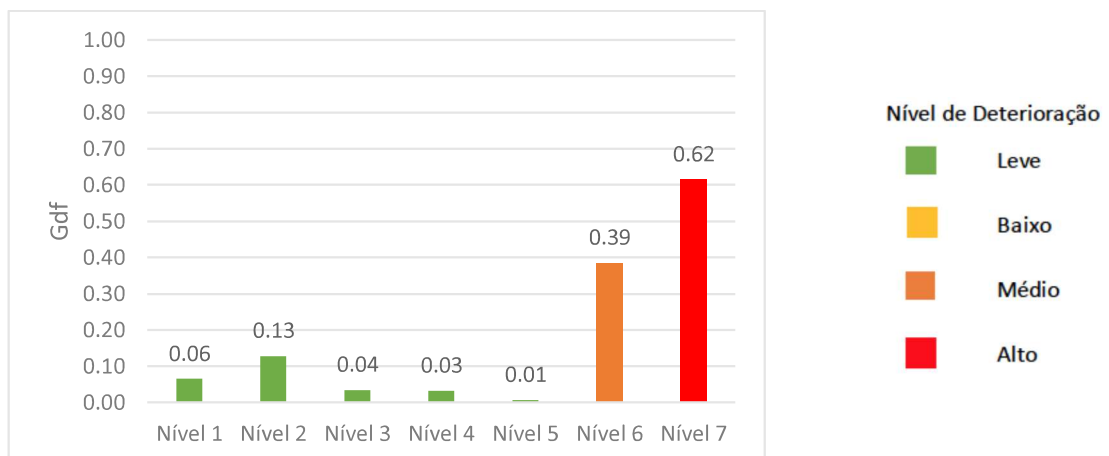


Figura 5.4 – Valores de Gdf

A partir do grau de deterioração da estrutura, verifica-se que os maiores danos estão concentrados nos níveis 6 e 7, confirmando sua relação com a perda de estanqueidade.

O resultado do grau de deterioração da estrutura indica que há menos de 20% de comprometimento da mesma. Ou seja, de maneira geral a estrutura se apresenta em bom estado, havendo apenas alguns pontos específicos com danos maiores.

Desta maneira, é viável realizar reparos apenas nos elementos que apresentam um nível de criticidade mais alto.

A alcançar a fase de análise linear, com o intuito de verificar os esforços solicitantes na estrutura e suas deformações, o fator de integridade é calculado. Seu resultado é utilizado na matriz de rigidez da estrutura, a fim de se chegar à um comparativo desta com e sem danos.

Os valores obtidos para os fatores de integridade foram:

Quadro 5.8 – Fatores de integridade das classes, níveis e da estrutura

	Nível 1	Nível 2	Nível 6	Nível 7
Pilares	0,66	0,66	0,68	
Laje do Resevatório Inferior			0,64	
Paredes			0,62	0,62
Tampa do Resevatório				0,64
Integr com Fator de Relevância	0,66	0,66	0,65	0,63
Integr da Estrutura	0,65			

O fator integridade pode ser acoplado, de forma direta, ao índice de confiabilidade. Com o resultado do Quadro 5.8, em que o fator de integridade da estrutura é igual à 0,65, temos que, uma vez que o fator de integridade varia de 0 a 1 e o índice de confiabilidade varia de 0 a 4, obtêm-se um índice de confiabilidade igual à 2,6.

Utilizando a Figura 2.12, capítulo 2 deste trabalho, como referência para o índice de confiabilidade, diz-se que o resultado aqui obtido representa um bom nível de segurança da estrutura.

Sendo assim e a partir dos valores apresentados no item 4.3 do trabalho, foi feita a análise linear da estrutura diretamente no programa Robot Análise Estrutural.

Na estrutura íntegra, foi utilizado um betão C16/20, com módulo de elasticidade igual à 29GPa. Na estrutura deteriorada, o módulo de elasticidade de cada elemento foi multiplicado pelo seu respetivo valor do fator de integridade, presente no Quadro 5.8.

O Quadro 5.9, a seguir, mostra um comparativo numérico dos valores dos esforços encontrados na estrutura íntegra e na deteriorada.

Quadro 5.9 – Extremos globais dos esforços atuantes na estrutura

(a) Estrutura Íntegra

	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
MÁX	942,58	12,41	54,21	2,68	30,86	18,31
Barra	48	31	6	18	9	21
Nó	43	27	6	16	9	18
Caso	65 (C)	66 (C)	67 (C)	64 (C)	64 (C)	66 (C)
MÍN	-1978,02	-12,28	-52,35	-2,62	-27,41	-18,54
Barra	9	21	51	28	5	31
Nó	9	18	45	25	6	27
Caso	64 (C)	66 (C)	18 (C)	60 (C)	66 (C)	66 (C)

(b) Estrutura deteriorada

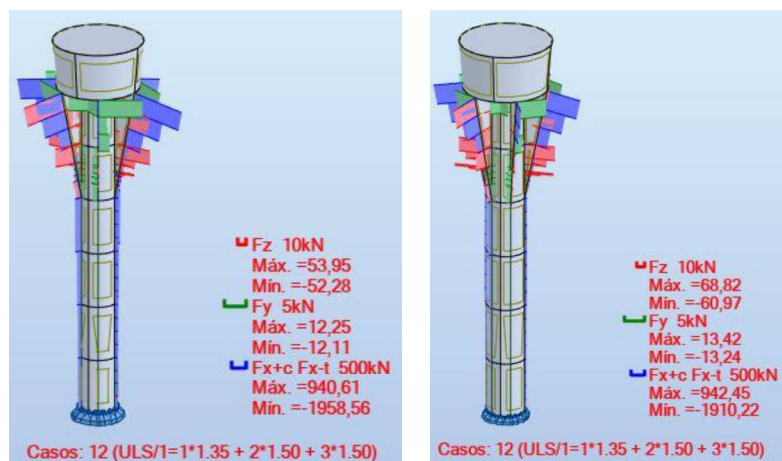
	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
MÁX	943,72	13,59	69,19	2,79	29,12	19,88
Barra	48	31	6	18	9	21
Nó	43	27	6	16	9	18
Caso	65 (C)	66 (C)	67 (C)	64 (C)	64 (C)	66 (C)
MÍN	-1929,18	-13,41	-57,72	-2,74	-34,33	-20,17
Barra	9	21	5	28	5	31
Nó	9	18	6	25	6	27
Caso	64 (C)	66 (C)	62 (C)	60 (C)	67 (C)	66 (C)

De forma geral, a estrutura deteriorada apresenta um pequeno aumento nos valores dos esforços atuantes máximos e mínimos.

Apenas a força atuante em x e o momento atuante em y, apresentam um pequeno decréscimo em seus valores. Isto pode acontecer pela redistribuição de esforços que ocorre na estrutura, podendo notar-se também, por a mudança nos nós e nas barras que apresentam as forças mínimas em z.

Para efeito de comparação e análise dos resultados a seguir, será utilizado o caso 12 das combinações contidas no Quadro 4.7.

Portando, para os esforços atuantes em relação às forças normais foram obtidos os seguintes diagramas:



(a) Estrutura íntegra

(b) Estrutura degradada

Figura 5.5 – Diagrama de forças

Analisando os valores apresentados na Figura 5.5 e suas diferenças, foram feitos gráficos de análise para os valores das forças normais máximas e mínimas.

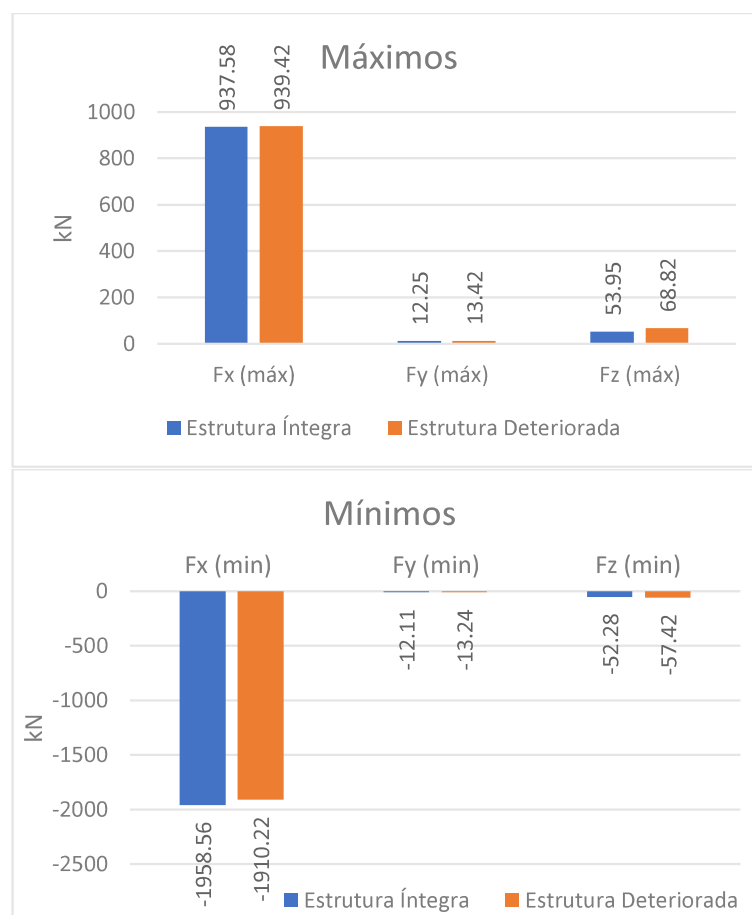
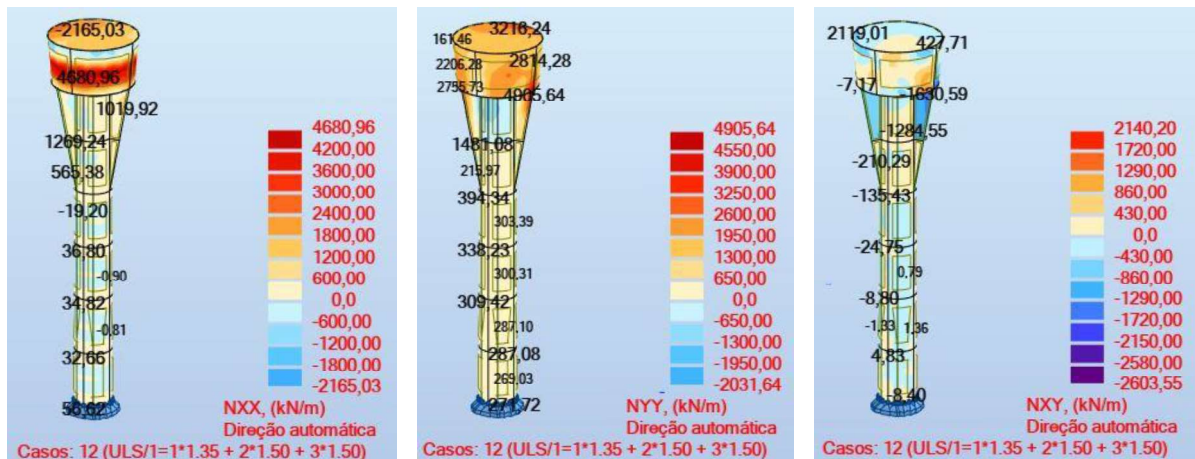


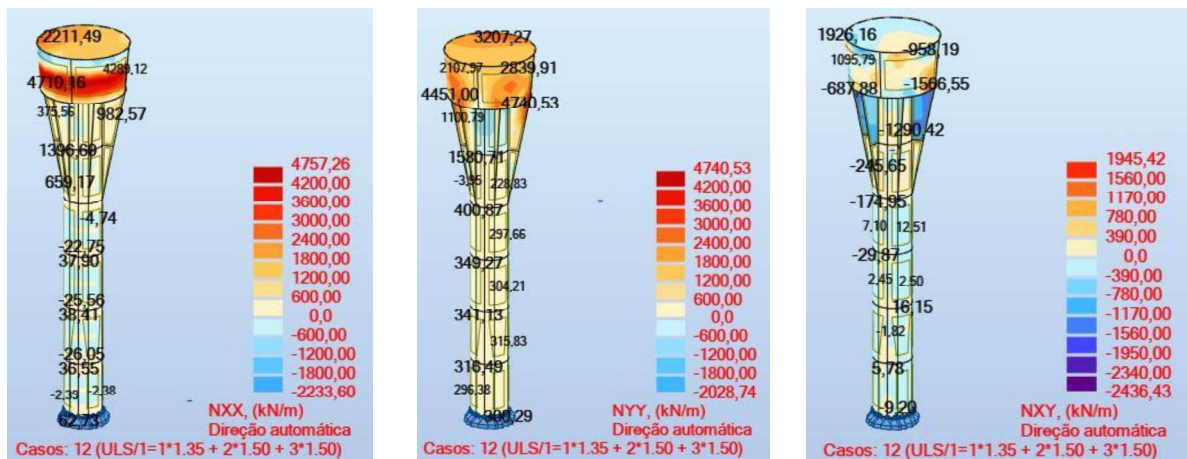
Figura 5.6 – Diagramas das forças normais máximas e mínimas

No caso 12, para as forças normais, nota-se que o valor mínimo em x referente à estrutura íntegra é um pouco maior do que na estrutura deteriorada, refletindo o mesmo cenário dos extremos globais.

De forma a mostrar, visualmente, que houveram apenas pequenas mudanças nos valores referentes aos esforços normais da estrutura íntegra e deteriorada, seguem os mapas dos esforços em x, y e xy, obtidos através do programa robot.



(a) Estrutura íntegra

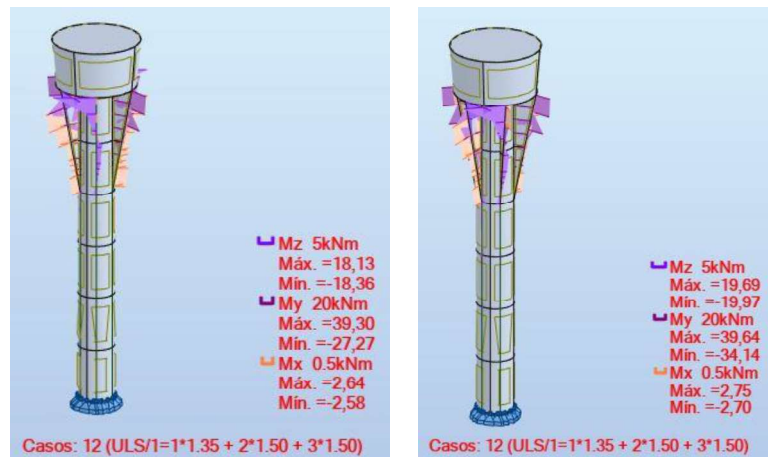


(b) Estrutura degradada

Figura 5.7 – Mapas de forças

Estes mapas refletem o resultado da metodologia Gde/Unb encontrado no quadro 4.7, em que a estrutura apresenta um nível de deterioração baixo.

Para os momentos atuantes foram obtidos os seguintes diagramas:



(a) Estrutura íntegra (b) Estrutura degradada

Figura 5.8 – Diagrama de momentos

Analisando os valores apresentados na Figura 5.8, foram feitos gráficos de análise para os valores dos momentos máximos e mínimos.

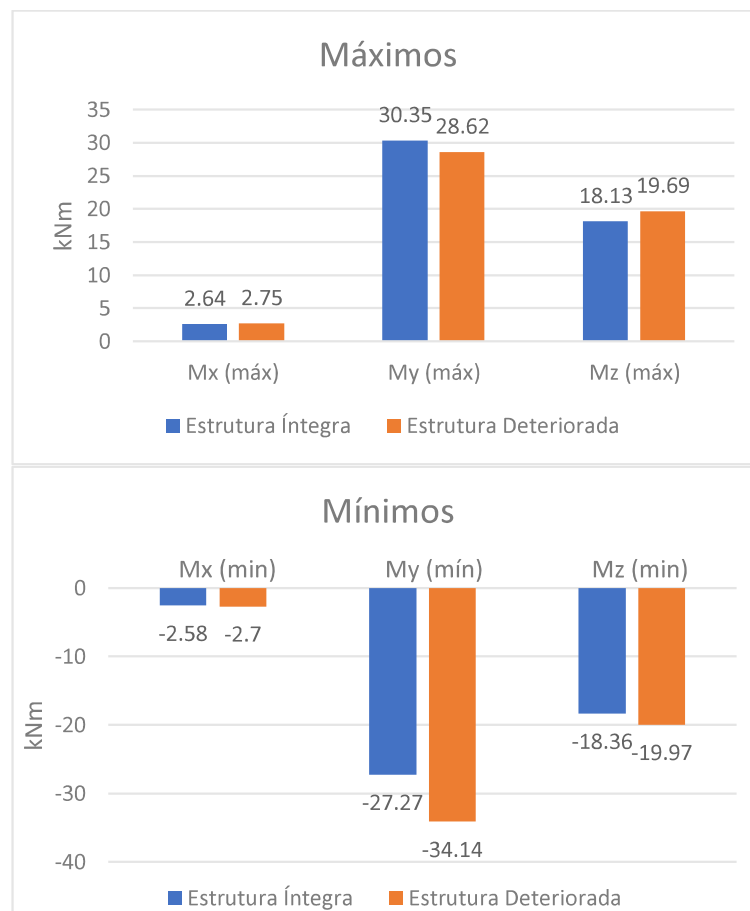
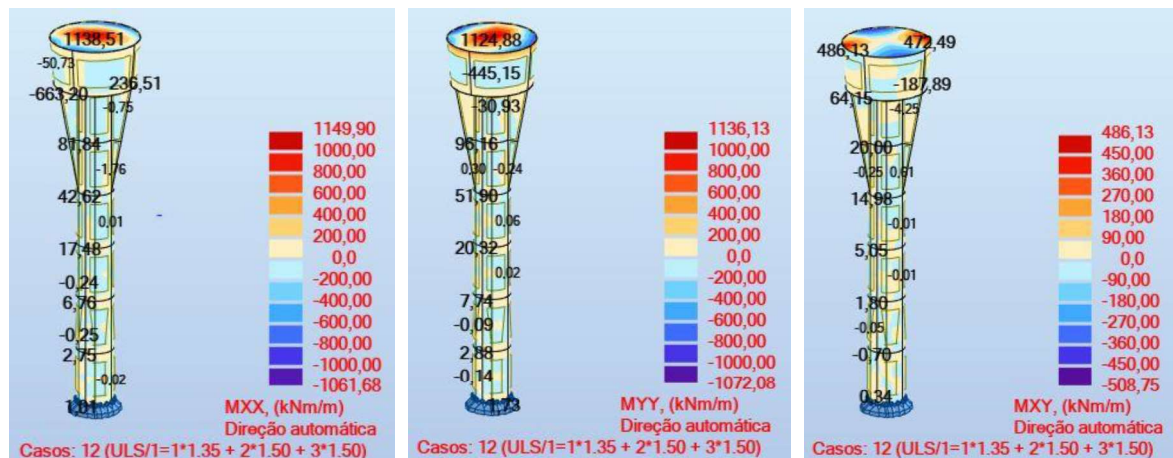


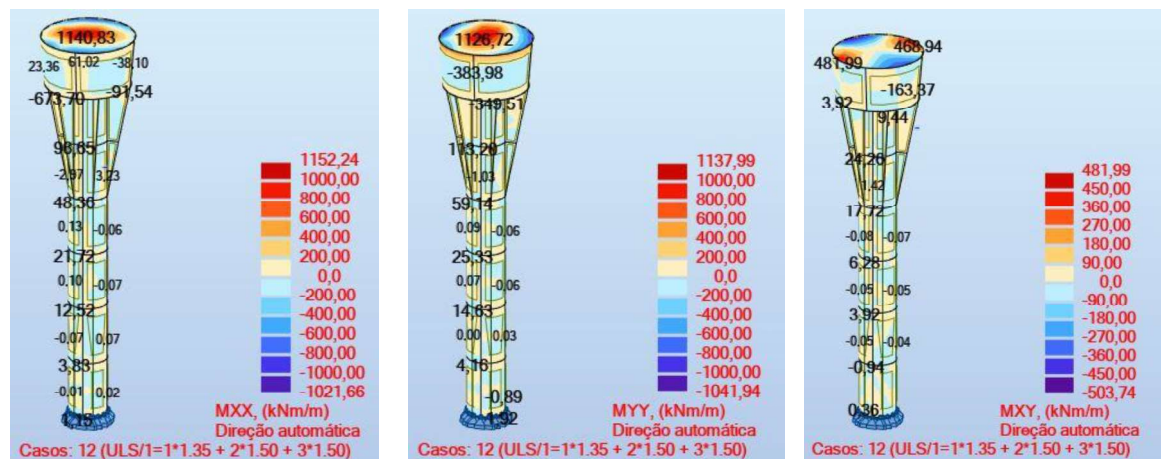
Figura 5.9 – Diagramas dos momentos máximos e mínimos

No caso 12, para os momentos atuantes, nota-se que o valor máximo em y referente à estrutura íntegra é um pouco maior do que na estrutura deteriorada, refletindo o mesmo cenário dos extremos globais.

De forma a mostrar, visualmente, que houveram apenas pequenas mudanças nos valores referentes aos momentos da estrutura íntegra e deteriorada, seguem os mapas dos esforços em x, y e xy, obtidos através do programa robot.



(a) Estrutura íntegra



(b) Estrutura degradada

Figura 5.10 – Mapas de momentos

Da mesma forma que nos mapas das forças normais, os mapas dos momentos refletem o resultado da metodologia Gde/Unb encontrado no quadro 4.7, em que a estrutura apresenta um nível de deterioração baixo.

Os deslocamentos globais apresentados na estrutura, são mostrados no Quadro 5.10.

Quadro 5.10 – Extremos globais dos deslocamentos na estrutura

(a) Estrutura Íntegra

	UX (cm)	UY (cm)	UZ (cm)	RX (Rad)	RY (Rad)	RZ (Rad)
MÁX	0,4	0,4	8,7	0,019	0,019	0,003
Nó	489	489	450	744	748	492
Caso	13 (C)	15 (C)	66 (C)	66 (C)	60 (C)	67 (C)
MÍN	-0,4	-0,4	-0,3	-0,045	-0,045	-0,003
Nó	471	522	385	747	745	468
Caso	36 (C)	66 (C)	12 (C)	62 (C)	64 (C)	65 (C)

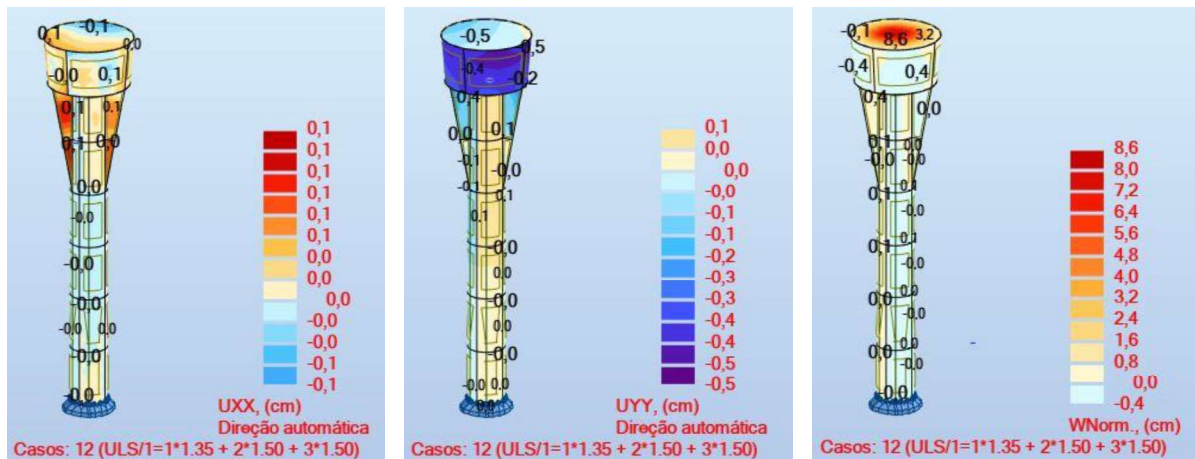
(b) Estrutura Degradada

	UX (cm)	UY (cm)	UZ (cm)	RX (Rad)	RY (Rad)	RZ (Rad)
MÁX	0,5	0,5	13,4	0,030	0,029	0,005
Nó	489	489	450	744	748	492
Caso	13 (C)	15 (C)	66 (C)	66 (C)	60 (C)	67 (C)
MÍN	-0,6	-0,6	-0,4	-0,070	-0,071	-0,005
Nó	471	522	385	747	745	468
Caso	17 (C)	66 (C)	12 (C)	62 (C)	64 (C)	65 (C)

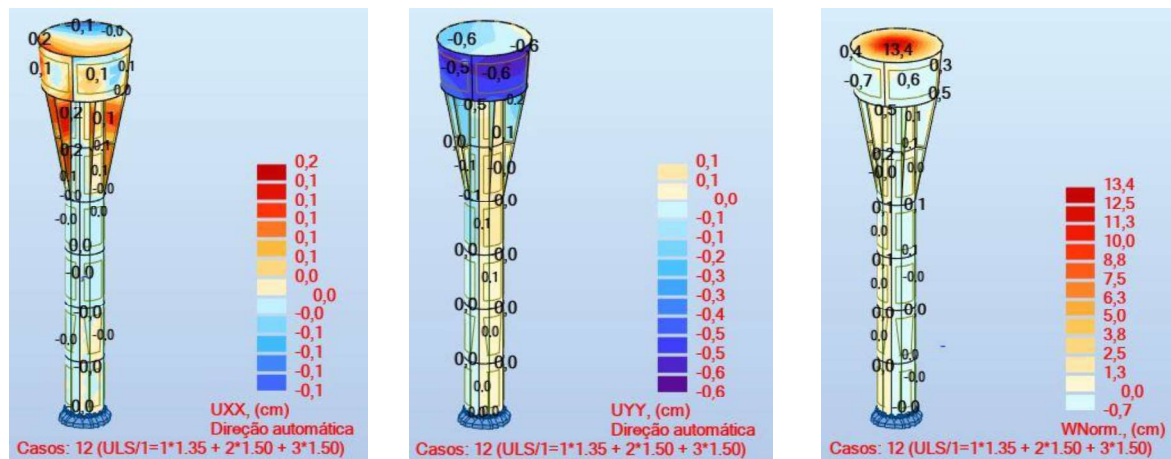
Estes são deslocamentos nos nós da estrutura, que podem ser comparados às frequências obtidas pelos ensaios realizados, Quadro 4.5. Porém, como a análise dinâmica da estrutura não é o foco do trabalho, não foi realizada essa análise, podendo ser foco de um estudo em trabalhos futuros.

Para o presente trabalho, só serão apresentados os mapas dos deslocamentos obtidos pelo programa Robot, com o intuito de indicar o local das deformações observadas na estrutura.

Os mapas a seguir representam os deslocamentos referentes ao caso 12 das combinações, presentes no Quadro 4.7.



(a) Estrutura Íntegra



(b) Estrutura Degradada

Figura 5.11 – Mapas de deslocamentos

A partir da Figura 5.11, observa-se que os deslocamentos ocorrem nos mesmos lugares, tanto na estrutura íntegra como na estrutura degradada, porém, os valores são maiores na estrutura degradada. Essa diferença de valores é exibida na Figura 5.12.

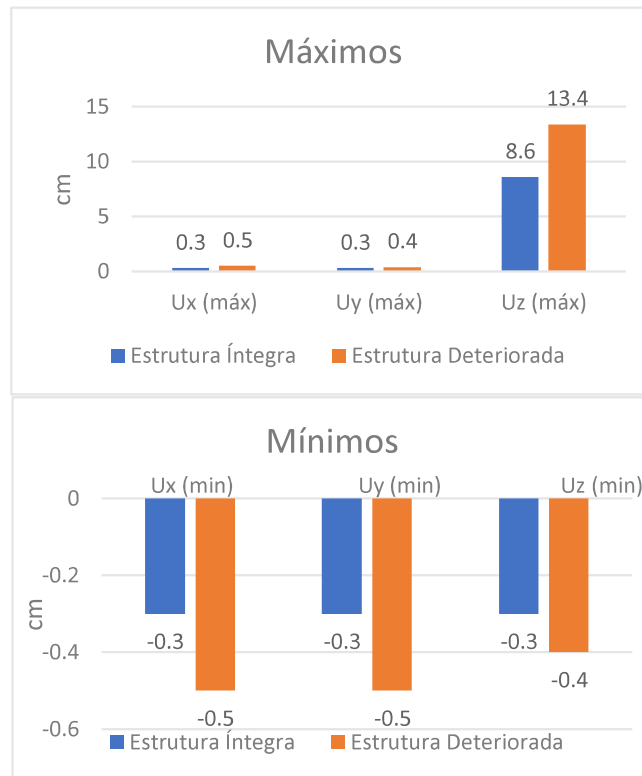


Figura 5.12 – Diagramas dos deslocamentos máximos e mínimos

Para finalizar a análise, os diagramas das deformações na estrutura são apresentados a seguir:

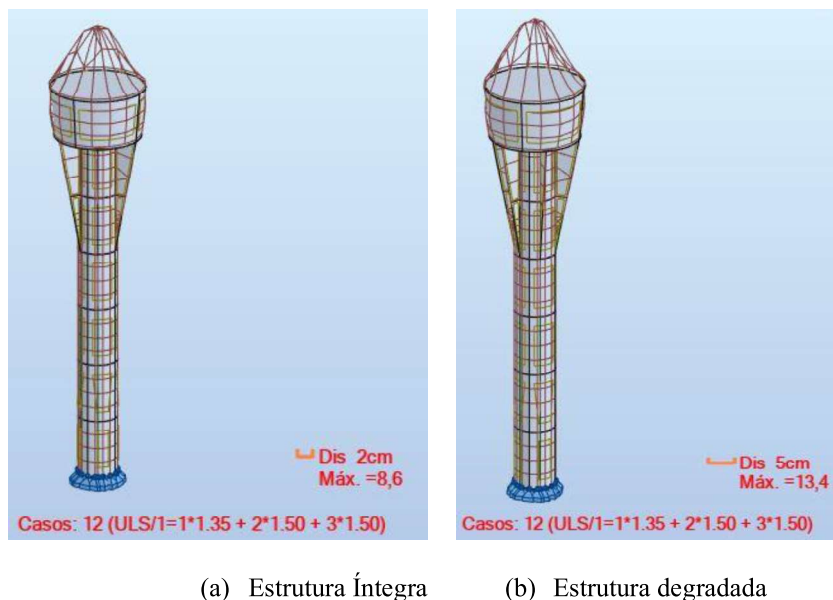


Figura 5.13 – Mapas das deformações na estrutura

Observa-se, portanto, uma deformação similar nos casos de estrutura íntegra e degradada, com um aumento no valor da deformação da estrutura degradada.

Todos os resultados obtidos verificam um nível de criticidade baixo de deterioração na estrutura, com pequenas alterações dos esforços atuantes, deslocamentos e deformações.

6 CONCLUSÃO

A metodologia proposta foi capaz de apresentar resultados que demonstram, quantitativamente, as diferenças das deteriorações nos elementos, famílias, classes e estrutura. A identificação de um nível alto de criticidade dos danos em alguns elementos do nível 6 e 7, não representaram a deterioração global da estrutura, que expôs um nível baixo de criticidade.

É preciso, no entanto, olhar com atenção os valores muito baixos de danos nos elementos, pois estes podem mascarar o estado em que a estrutura se encontra.

O acoplamento direto do fator de integridade ao índice de confiabilidade, trazem, de forma simplificada e com mais sentido físico, a relação do nível de segurança dos elementos, classes, famílias e na estrutural global.

Nota-se, pela análise linear, que a estrutura não apresentou muitas diferenças de esforços e deslocamentos, expressando a distribuição de esforços que ocorre quando há a presença de algum dano.

Esta metodologia, portanto, mostrar-se-á muito mais eficiente em estruturas que apresentem patologias em estados mais graves e, conseqüentemente, que apresentem um grau de deterioração da estrutura alto. Este fator é um reflexo do modelo de Tuutti, em que a fase de iniciação do dano é muito mais demorada do que a de sua propagação.

A metodologia proposta, porém, pode auxiliar de forma rápida e eficiente o profissional que avalia a estrutura, auxiliando-o na tomada de decisão em relação aos níveis de segurança e durabilidade das estruturas de betão armado.

O trabalho de investigação neste assunto permite uma variedade para diferentes tipos de análises em estruturas de betão armado. Assim, como ideia para trabalhos futuros, pode-se utilizar de outros tipos de fatores que quantifiquem diferentes problemáticas do dano, como a sua propagação na estrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT NBR 6118:2003 – “Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos”.
- ABNT NBR 5674:2012 – “Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção”.
- BIODINI, Fabio, M.ASCE1; FRANGOPOL, Dan M., Dist.M.ASCE2 – “Life-Cycle performance of deteriorating structural system under uncertainty: Review”. ASCE: Journal of structural engineering, 142(9): F4016001 (2016).
- CASTRO, Eliane K. de – “Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado”. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Brasília, Brasília: Publicação E.DM-004A/94 (1994).
- CEB-FIP – Model Code 90: Design code. Bulletin No. 213/214, 1993. ISBN9780727716965.
- CEB-FIP – Strategies for testing and assessment of Concrete Structures: Guidance Report. Bulletin n. 243, 1998. ISBN9782883940406.
- CEB-FIP – Structural Concrete Textbook on behaviour, design and performance, Second edition Volume 5: Through-life care and management of concrete structures - Assessment, protection, repair and strengthening. Bulletin n. 62, 2012. ISBN9782883941021.
- CHEW, M. Y. L. – “The performance of concrete repair.” J. Build. (1993).
- CORONELLI, D. – “Condition rating of RC structures: A case study”. Journal of Building Appraisal, vol. 3 n° 1, (2007).
- CREMONA, Christian. (2011) – Structural performance: Probability-based Assessment. Great Britain and the United States: ISTE Ltd (2011). ISBN9781848212367.
- EN 1992-1-1:2010 – “Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings”.
- EN 1992-3:2006 – “Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 3: Liquid retaining and containment structures”.
- Especificação LNEC E 464:2007 – “Betões: Metodologia prescritiva para uma vida útil de projecto de 50 e de 100 anos face às acções ambientais”.
- Especificação LNEC E464:2016 – “Betões: Metodologia prescritiva para uma vida útil de projecto de 50 e de 100 anos face às acções ambientais”.
- Dir. u. Prof. Dr. W. Rücker; Dipl.-Ing. F. Hille; Dipl.-Ing. R. Rohrman – “F08a: Guideline for the assessment of existing structures”. Berlin, Germany: SAMCO. Final Report (2006).
- FABER, M. H. (2000) – “Reliability based assessment of existing structures”. Prog. Struct. Eng. Mater., 2: 247-253. doi:<10.1002/1528-2716(200004/06)2:2<247::AID-PSE31>3.0.CO;2-H>
- FLOURENTZOU F.; BRANDT E.; WETZEL C. (1999) – “MEDIC – a method for predicting residual service life and refurbishment investment budgets”. Energy and Buildings: (1999). PII: S03787788(99)000316
- FOLIÉ, R.; ZENUNOVUÉ, D. – “Durability of concrete structures – Part 2: Modeling and structural assessment”. Facta Universitatis. Series: Architecture and Civil Engineering, vol. 8, (2010).

- FONSECA, Régis Pamponet da. – “A estrutura do Instituto Central de Ciências: aspectos históricos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e proposta de manutenção. 2007. 213 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil)-Universidade de Brasília, Brasília, (2007).
- HOVDE, P. J; MOSER, K. – Performance Based Methods for Service Life Prediction. CIB Report: Publication 294 (2004). ISBN9063630409.
- ISO 13822:2010 – “Bases for design of structure – Assessment of existing structures”.
- LOPES, B. – “Sistema de manutenção predial para grandes estoques de edifícios: estudo para a inclusão do componente estrutura de concreto”. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Brasília, Brasília: Publicação E.DM-011A/98, (1998).
- MARQUES, M. W. M.; PANTOJA, J. C.; OLIVEIRA, A. L. A. – “Metodologia para avaliação do nível de criticidade de estruturas híbridas com modelo de dano cúbico”. XII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation, Porto, Portugal: (2016).
- MORAES, Caline S. – “Avaliação de segurança de um pilar misto via confiabilidade”. Trabalho de conclusão de curso, Faculdade de Tecnologia e Ciências Aplicadas do Centro Universitário de Brasília, Brasília: (2015).
- M. Y. L. Chew¹; S. S. Tan²; and K. H. Kang³ – “Building Maintainability – Review of State of the Art”. Journal of Architectural Engineering: (2004).
- NP EN 1990:2009 – “Bases para o projecto de estrutura”.
- NP EN 206-1:2007 – “Betão parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade”.
- PANTOJA, João da C. – “Geração automática via otimização topológica e avaliação de segurança de modelos de bielas e tirantes”. Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio, Rio de Janeiro: (2012).
- PANTOJA, João da C.; RIBELLATO, Camila – “Calibração dos parâmetros de inspeção via normal Holandesa para modelagem numérica de estruturas existentes de concreto armado”. UFES – Campus Goiabeiras, Vitória, ES: XIII SIMMEC, Simpósio de Mecânica Computacional, (2018).
- PANTOJA, João; PORTO, Naiara; MARQUES, Marcos – “Análise de patologias em estrutura mista com obtenção do nível de criticidade via Metodologia Gde/Unb adaptada”. Artigo, XII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas, Porto: Cinpar (2016).
- PANTOJA J.C.; VARUM H.; HENRIQUES A.A. – “Metodologia probabilística para avaliação de edificações com estrutura existente em betão armado”. Encontro Nacional Betão Estrutural -BE2018, LNEC. (2018).
- PEREIRA, Hazen W. B. – “Identificação das condições gerais de conservação nos reservatórios integrantes do sistema de abastecimento de água de Natal”. Dissertação de pós-graduação, Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal: (2014).
- PORTO, Naiara G. O. – “Análise paramétrica do comportamento de elementos de membrana aplicada a estruturas de concreto armado via confiabilidade estrutural”. Trabalho de conclusão de curso, Faculdade de Tecnologia e Ciências Aplicadas do Centro Universitário de Brasília, Brasília: (2016).
- PORTO, N. G. O.; PANTOJA, J. C.; SOUZA, R. A. de. (2017) – “Análise paramétrica do comportamento de elementos de membrana aplicada a estruturas de concreto armado via

- confiabilidade estrutural”. *Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia*, 2(18), 17-36. <<https://doi.org/10.26512/ripe.v2i18.20896>>
- RADOMIR, Folić1; DAMIR, Zenunović2 – “Durability design of concrete structures – Part 2: Modelling and structural assessment”. *Facta Universitatis: Architecture and Civil Engineering*, vol 8, nº1 (2010). DOI:102298/FUACE1001045F.
- SANTOS, Victor M. P. dos – “Análise de confiabilidade em modelos de bielas e tirantes”. Monografia de pós-graduação, Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal do Goiás, Goiânia: (2012).
- SANGIORGIO, Valentino; UVA, Giuseppina; FATIGUSO, Fabio. – “User Reporting-Based Semeiotic Assessment of Existing Building Stock at the Regional Scale”. *J. Perform. Constr. Facil. ASCE*, (2018).
- SANGIORGIO, Valentino; PANTOJA, João Costa; VARUM, Humberto – “Structural Degradation Assessment of RC Buildings: Calibration and Comparison of Semeiotic-Based Methodology for Decision Support System”. *J. Perform. Constr. Facil. ASCE*, (2019).
- TUUTTI, K. – “Corrosion steel in concrete”. Swedish Cement and Concrete Institute, Stockholm: (1982). ISSN 03466906.
- VERZENHASSI, C. C. – “Otimização de risco estrutural baseada em confiabilidade”. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos/SP da Universidade de São Paulo, São Paulo: (2008).