



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UniCEUB
PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**

MARCOS ELIADE ALVES GOMES

THÁSSIO JOSUÉ BARROS XAVIER

**LEVANTAMENTO E CADASTRAMENTO DE PATOLOGIAS
ESTRUTURAIS UTILIZANDO FOTOGRAFIAS TERMOGRÁFICAS E
DRONES NA COMPOSIÇÃO DE BANCO GEOGRÁFICOS.**

BRASÍLIA

2018



MARCOS ELIADE ALVES GOMES

THÁSSIO JOSUÉ BARROS XAVIER

**LEVANTAMENTO E CADASTRAMENTO DE PATOLOGIAS
ESTRUTURAIS UTILIZANDO FOTOGRAFIAS TERMOGRÁFICAS E
DRONES NA COMPOSIÇÃO DE BANCO GEOGRÁFICOS.**

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica
apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e
Pesquisa.

Orientação: Msc. Renato Apolinário Francisco

BRASÍLIA

2018

LEVANTAMENTO E CADASTRAMENTO DE PATOLOGIAS ESTRUTURAIS UTILIZANDO FOTOGRAFIAS TERMOGRÁFICAS E DRONES NA COMPOSIÇÃO DE BANCO GEOGRÁFICOS.

Marcos Eliade Alves Gomes– UniCEUB, PIC Institucional, aluno bolsista
marcos.eliaide@sempreceub.com

Thássio Josué Barros Xavier – UniCEUB, PIC institucional, aluno voluntário
thassio.xavier@sempreceub.com

Renato Apolinário Francisco – UniCEUB, professor orientador
renato.francisco@ceub.edu.br

Os materiais que compõe toda estrutura sofrem processos de deterioração, sofrendo alterações em suas propriedades e no seu comportamento, podendo ocasionar a perda do desempenho estrutural face aos estados limites últimos e de serviço. Caso não seja seguido um plano de manutenção e a estrutura necessite de intervenções ou que haja restrições em seu uso, essas medidas acarretarão em prejuízos. Busca-se com esta pesquisa avaliar Obras de Artes Especiais (OAE), levantando suas manifestações patológicas com auxílio de câmeras termográficas, afim de avaliar a implementação de um plano de manutenção. Utilizou-se a metodologia GDE/UnB, método que tem como objetivo quantificar o grau de degradação de uma estrutura para a realização das inspeções e para a estruturação do banco de dados geográfico. Através do desenvolvimento das inspeções, estruturação dos dados coletados em campo e calculando o grau de deterioração da estrutura, com base na metodologia GDE/UnB, verificou-se que os viadutos inspecionadas necessitam de intervenções imediatas a fim de restaurar suas propriedades e características estruturais iniciais, devolvendo-as ao desempenho estabelecido em projeto. Em comparação com os resultados encontrados por Verly (2015), pesquisador que outrora realizou inspeções nas mesmas OAEs em tela, verificou-se, de maneira geral, um aumento no grau de degradação das estruturas. Esse indicador revela a evolução face ao tempo das anomalias já presentes em 2015, bem como o surgimento de novas. Por fim, espera-se que este trabalho colabore evidenciando a importância da utilização de mecanismos tecnológicos para o auxílio em inspeções, a importância da inspeção como forma de mitigação de manifestações patológicas, busca-se também, que as análises aqui desenvolvidas sirvam para a tomada de medidas visando a recuperação das estruturas analisadas.

Palavras-Chave: Estruturas. Obras de arte especiais. Patologia.

FIGURAS

Figura 1 - Fases do desempenho durante a vida útil.	4
Figura 2 - Principais fases de origens das patologias.	5
Figura 3 - Triângulo patologia, desempenho e durabilidade <i>versus</i> anomalias.....	6
Figura 4 - Relação custo/informação da inspeção visual.	9
Figura 5 - Fluxograma metodologia GDE/UnB.	15
Figura 6 - Grau do dano (D) x Fator de ponderação ($1 < F_i < 5$).	18
Figura 7 - Detecção de destacamento em uma fachada com revestimento cerâmico (termografia passiva).....	22
Figura 8 - Exemplo de dado cadastral de países da América do Sul.	24
Figura 9 - Exemplo de mapa temático nominal. O mapa demonstra a cobertura vegetal.....	25
Figura 10 - Exemplo de mapa temático ordinal. O mapa demonstra o índice de declividade.	25
Figura 11 - Fluxograma da metodologia adotada.....	27
Figura 12 - Localização das OAEs.....	29
Figura 13 – Vista lateral da OAE 11, localizada na Avenida das Nações.	32
Figura 14 – Laje OAE 11: (A) manchas escuras; (B) manchas brancas devido a lixiviação do hidróxido de cálcio; (C) formação de estalactites.....	32
Figura 15 - Pilares OAE 11: (A) detritos entre o pilar e o aterro; (B) deslocamento devido a corrosão; (C) e (D) Armadura exposta, deslocamento e corrosão.....	33
Figura 16 – Imagem termográfica OAE 11: (A) termograma; (B) fotografia digital.	34
Figura 17 - Vista lateral da OAE, localizada na Avenida das Nações.	36
Figura 18 - Laje OAE 12: (A) impactos na estrutura; (B) manchas escuras.....	36
Figura 19 - Pilares com corrosão e armaduras expostas.	37
Figura 20 - Imagem termográfica OAE 12: (A) termograma; (B) fotografia digital.	37
Figura 21 - Vista lateral da OAE 13.....	39
Figura 22 - Calçada superior OAE 13.....	39
Figura 23 - Laje OAE 13 apresenta: (A) e (C) fissuras; (B) esmagamento do concreto e (D) manchas.....	40
Figura 24 – Pilares da OAE 13: (A) completa deterioração dos estribos por corrosão e deslocamento; (B) armadura exposta, corrosão e deslocamento.	40

Figura 25 - Imagem termográfica OAE 13: (A) termograma; (B) fotografia digital.....	41
Figura 26 - Incidência de danos.	42
Figura 27 - Mapa temático - Grau de degradação da estrutura Gd.....	44

TABELAS

Tabela 1 – Nota de classificação da estrutura relacionando as condições estruturais, funcionais e de durabilidade.....	11
Tabela 2 - Famílias segundo Verly (2015).....	16
Tabela 3 - Recomendações de ações relacionadas ao G_{de}	19
Tabela 4 - Classes e recomendações em função do G_d	21
Tabela 5 – Resultados para o G_d obtidos por Verly (2015).	28
Tabela 6 - OAEs em estudo.	29
Tabela 7 - GDE/UnB - divisão da estrutura em famílias; fator de relevância; grau de degradação do elemento máximo e grau de deterioração da família.....	34
Tabela 8 - GDE/UnB para OAE 12. Divisão da estrutura em famílias; fator de relevância; grau de degradação do elemento máximo e grau de deterioração da família.....	38
Tabela 9 - GDE/UnB para OAE 13. Divisão da estrutura em famílias; fator de relevância; grau de degradação do elemento máximo e grau de deterioração da família.....	41

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

D	Grau do dano
F_i	Fator de intensidade do dano
F_p	Fator de ponderação do dano
F_r	Fator de relevância estrutural do dano
G_d	Grau de deterioração da estrutura
G_{de}	Grau de deterioração do elemento
G_{df}	Grau de deterioração da família de elementos
K	Grau de deterioração da família majorado
k	Número de famílias da estrutura
OAE	Obra de arte especial
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SGBD	Sistema gerenciador de bancos de dados

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVOS.....	2
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1	CONCEITOS RELACIONADOS À PATOLOGIA DE ESTRUTURAS	3
2.1.1	Durabilidade e Vida Útil.	3
2.1.2	Patologia.....	4
2.2	INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS	7
2.2.1	Procedimentos para inspeção de oaes.....	7
2.2.2	Tipos de inspeção.....	8
2.2.3	CrITÉrios de classificação das OAE	10
2.2.4	Método GDE/UnB	14
2.3	TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA	21
2.4	GEOPROCESSAMENTO	23
2.4.1	Tipos de dados em geoprocessamento	23
3	METODOLOGIA	27
3.1	OAE'S SELECIONADAS	28
3.2	INSPEÇÃO NAS OAES SELECIONADAS	30
3.2.1	Procedimentos de inspeção.....	30
3.2.2	Análise dos dados.....	30
3.2.3	Determinação do grau de deterioração das estruturas pela metodologia GDE/UnB.	30

3.2.4	Análise da incidência de danos.....	30
3.3	BANCOS DE DADOS CADASTRAL.....	31
4	RESULTADOS E DISCURSSÃO.....	32
4.1	INSPEÇÕES.....	32
4.1.1	Obra de arte especial 11.....	32
4.1.2	Obra de arte especial 12.....	36
4.1.3	Obra de arte especial 13.....	39
4.2	INCIDÊNCIA DE DANOS	42
4.3	BANCO DE DADOS CADASTRAL.....	43
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
	APÊNDICE A	51
	APÊNDICE B	54
	ANEXO A 62	

1 INTRODUÇÃO

Dentre os diferentes tipos de materiais de construção, sem dúvida alguma o concreto é o mais utilizado, muito se deve a suas características, tais como a sua versatilidade, sendo possível a conformação de peças de diversos tamanhos e formatos, a sua durabilidade, a disponibilidade de materiais constituintes e, principalmente, ao custo comparado a outro tipo de solução. Estima-se que cerca de 49,7 milhões de toneladas são produzidas no Brasil (ANDRADE, 1997).

O concreto é comumente empregado na construção de edificações, obras de saneamento, pavimento para rodovias, usinas, barragens, além de Obras de Arte Especiais (OAEs), tais como pontes, viadutos, passarelas e túneis, sendo esses elementos fundamentais para a infraestrutura de um país.

Segundo Andrade (1997), as propriedades do concreto estão diretamente relacionadas a todas as fases do processo construtivo, passando pelo planejamento/projeto, os materiais utilizados, a execução e a utilização/manutenção. Atualmente observa-se a falta de atenção a algumas etapas desse sensível processo, como é o caso da manutenção.

Como toda estrutura, os materiais que a compõem sofrem processos de deterioração, ocorrendo alterações em suas propriedades e no seu comportamento, podendo ocasionar a perda do desempenho estrutural face aos estados limites últimos e de serviço. Segundo Verly (2015), caso não seja seguido um plano de manutenção e a estrutura necessite de intervenções ou que haja restrições em seu uso, essas medidas acarretarão em prejuízos. Os prejuízos podem ser classificados como direto, aqueles associados ao custo de reparo do elemento ou da estrutura em geral ou até mesmo, em casos mais severos, da substituição. Já os indiretos se relacionam com os impactos gerados à sociedade, à vida humana, à mobilidade, ao meio ambiente, dentre outros.

A partir dessas premissas é possível ressaltar a importância da patologia das construções, pois ao se estudar as origens e os mecanismos das manifestações patológicas é possível, antes de tudo, mitigar mais facilmente as anomalias encontradas, desta forma reduzindo os custos de reparos. Outrossim, subsidiar a

prevenção de ocorrências, através de um controle mais rigoroso em locais pontuais, subsidiar a revisão das normas, fomentar novos métodos construtivos e motivar ações preventivas, ou até mesmo preditivas (ANDRADE, 1997).

No auxílio às investigações em campo, pode-se citar a metodologia GDE/UnB, que avalia o grau de deterioração da estrutura, criada por Castro em 1994, a metodologia tem como objetivo diminuir o caráter subjetivo da inspeção, bem como fornece um critério de priorização em relação a intervenções a serem realizadas, pois a metodologia fornece o grau de deterioração da estrutura em forma de um número.

Tendo em vista o cenário atual da região administrativa de Brasília, que recentemente houve um desabamento de um viaduto localizado em uma das principais avenidas da cidade, os laudos comprovaram a ausência de um plano de manutenção eficaz e tomando como ponto de partida o levantamento feito por Verly em 2015, onde utilizando-se da metodologia GDE/UNB avaliou 22 OAEs no Distrito federal, este trabalho tem como objetivo avaliar as três OAEs que obtiveram graus de degradação maiores que 100, visando identificar as possíveis evoluções dos danos encontrados outrora ou identificar intervenções visando a recuperação da OAE.

1.1 OBJETIVOS

Como objetivo deste estudo é avaliar diferentes Obras de Artes Especiais – OAEs rodoviárias localizadas na região administrativa de Brasília, utilizando a metodologia GDE/UnB, desenvolvida pelo no Programa de Pós-graduação em Estruturas da Universidade de Brasília.

Como objetivos específicos foram enumerados:

- Inspecionar as três OAEs que obtiveram os maiores graus de deterioração, conforme dissertação de mestrado realizada por Rogério Calazans Verly, publicada em 2015;
- Avaliar a incidência dos danos nas OAEs inspecionadas;
- Comparar os resultados obtidos em campo com os resultados encontrados por Verly (2015);
- Compilar banco de dados cadastral, elaborar Mapas temáticos; e
- Utilizar termogramas com vistas a identificar anomalias;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONCEITOS RELACIONADOS À PATOLOGIA DE ESTRUTURAS

A utilização do concreto em grande escala como material de construção se deve a suas características tais como a facilidade de conformação de elementos de vários formatos, a sua disponibilidade e seu custo comparado a outras opções de construção existentes, principalmente com as estruturas metálicas (ANDRADE, 1997).

Em função do seu excelente desempenho, admitia-se que o concreto era um material que não necessitava de maiores cuidados de manutenção. Isso se deve ao antigo método de projeto, que devido à baixa resistência dos materiais e os altos fatores de segurança, concebia estruturas com elevada massa e inércia, sendo assim, submetida a baixas tensões de serviço. Desta forma, essa combinação garantia uma excelente performance face aos processos de degradação. Atualmente, com o avanço da ciência dos materiais, da teoria das estruturas e da grande utilização de programas computacionais no auxílio de projetos estruturais, os projetos passaram a admitir tensões de serviços bem maiores, dando origem a estruturas mais esbeltas e econômicas. Esse avanço, por sua vez, tornou as estruturas mais suscetíveis aos agentes degradantes presentes no ambiente no qual a estrutura está exposta.

2.1.1 DURABILIDADE E VIDA ÚTIL.

Segunda a NBR 6118:2014, as estruturas de concreto devem atender a requisitos mínimos de qualidade como: capacidade resistente, que consiste na segurança à ruptura; desempenho em serviço, que versa na capacidade da estrutura em se manter em condições plenas durante sua vida útil, não podendo apresentar danos que comprometam em parte ou totalmente o uso para o qual foi projetada; e por fim; a durabilidade, classificada como a capacidade da estrutura de resistir às influências ambientais definidas para o projeto.

Andrade (1997) classifica durabilidade da estrutura como:

“A sua capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração; isto é, o

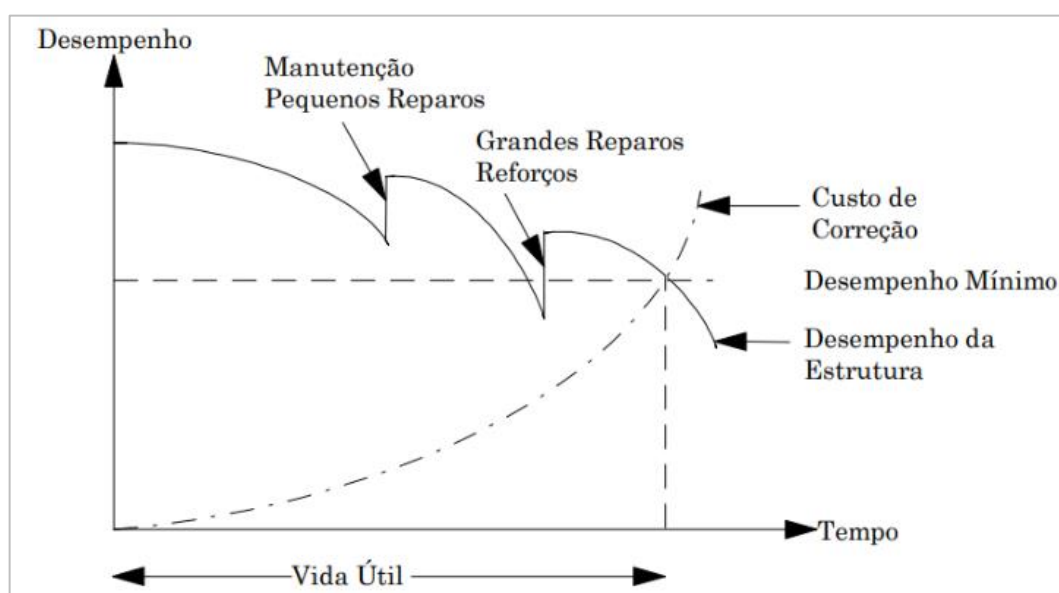
concreto durável conservará a sua forma original, qualidade e capacidade de utilização quando exposto ao meio ambiente.”

Já a vida útil, a NBR 6118:2014 a define como o tempo que a estrutura de concreto mantém suas características, sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, executando-se reparos necessários decorrentes de danos acidentais. O tempo de vida útil pode variar para itens de uma mesma estrutura, por exemplo, juntas de movimentação e aparelhos de apoio.

Assim, considera-se que um material chegou ao fim de sua vida útil quando suas propriedades se deterioram ao tal ponto que sua utilização se torna insegura ou antieconômica. (SILVA, 2011).

Segundo Andrade (1997) a durabilidade pode ser representada pelo binômio desempenho/tempo, e que à medida que os danos evoluem, os custos necessários para a correção aumentam exponencialmente através da chamada Lei de Sitter conforme pode ser observado na Figura 1 a seguir.

Figura 1 - Fases do desempenho durante a vida útil.



Fonte: Verly (2015).

2.1.2 PATOLOGIA

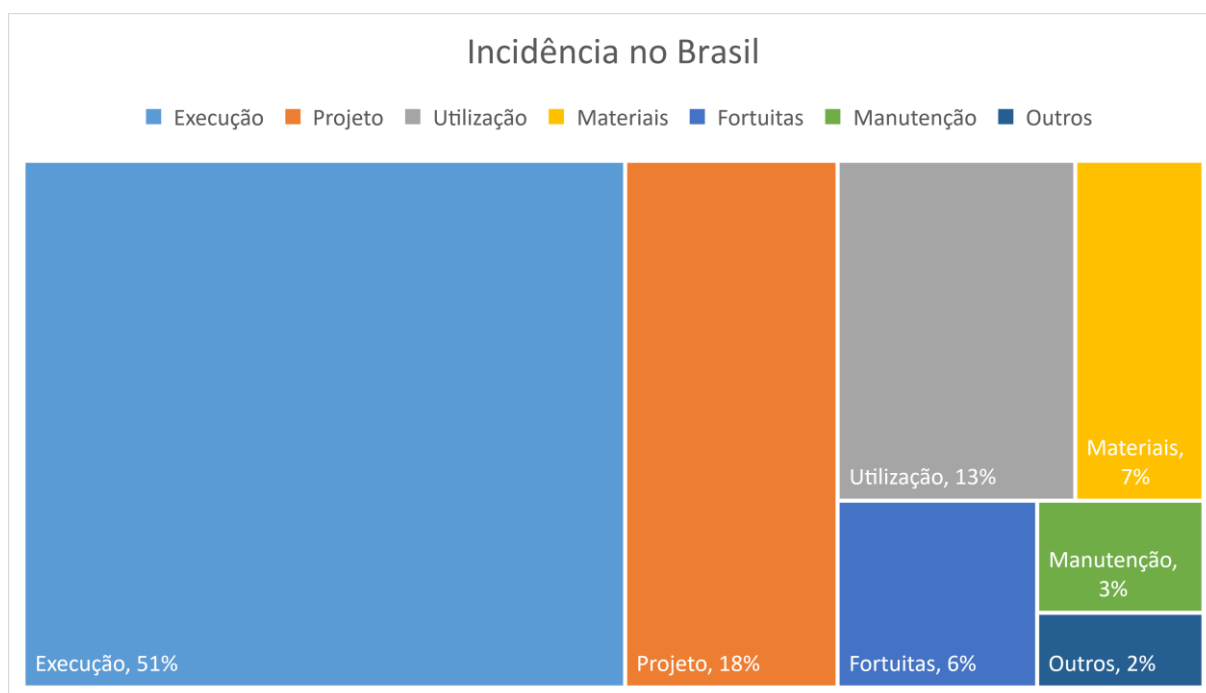
Segundo Silva (2011), o termo patologia pode ser utilizado na engenharia civil quando ocorre a perda ou queda de desempenho da estrutura ou material.

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

O estudo das patologias é primordial para o entendimento de suas causas, avaliar as consequências de sua presença e para a busca de soluções com vistas a mitigar tais ocorrências.

As propriedades do concreto dependem diretamente das decisões e medidas tomadas no decorrer de toda a vida útil do projeto, desde a elaboração do projeto, escolha dos materiais, execução e utilização/manutenção. Atualmente, essas etapas não são tratadas com a atenção que o caso requer, como é o caso da manutenção de estruturas. Destaca-se que um controle tecnológico em todas as etapas é fundamental para obtermos obras duráveis (ANDRADE, 1997). A Figura 2, abaixo, demonstra as principais origens das patologias no Brasil.

Figura 2 - Principais fases de origens das patologias.



Fonte: (PIANCASTELLI, 2016).

Segundo Verly (2015), o desempenho da estrutura é diretamente afetado pelas ocorrências de manifestações patológicas, visto que a sua presença pode afetar a

capacidade mecânica, funcional ou estética. Desta forma, vida útil, durabilidade e desempenho são afetados pela presença de anomalias na estrutura.

Segundo Callister & Rethwisch (2013) apud Verly (2015):

Fica evidente que os danos influem no comportamento da estrutura, influência que se dá pela alteração das propriedades dos seus elementos. O conjunto dessas propriedades define como será o comportamento da estrutura e por consequência o seu desempenho frente a um determinado estímulo externo.

Abaixo, na Figura 3, podemos observar a relação direta entre os conceitos tratados até o momento.

Figura 3 - Triângulo patologia, desempenho e durabilidade *versus* anomalias



Fonte: Verly (2015)

Segundo Metha e Monteiro (2014), as causas de deterioração do concreto podem ser divididas em físicas e químicas. As físicas incluem o desgaste superficial ou perda devido à abrasão, erosão e cavitação. Incluem também a fissuração, essa podendo ocorrer devido a gradientes normais de temperatura e umidade, cristalização de sais nos poros, carregamento estrutural além dos limites de projeto e a exposição a temperaturas extremas, como congelamento ou fogo. Já as causas químicas englobam a hidrólise e lixiviação dos componentes da hidratação do cimento, reações químicas envolvendo produtos expansivos, como no ataque por sulfato, reação álcali-agregado e a corrosão da armadura no concreto. Destaca-se que essa divisão é puramente arbitrária, uma vez que na grande maioria as duas se sobrepõem.

2.2 INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

Almeida (2013) comenta sobre a subjetividade relacionada a realização de inspeções. Sendo essa, consequência do tipo de inspeção, da metodologia utilizada e principalmente relacionada ao autor, assim como o nível de acessibilidade e as características dimensionais da obra a ser inspecionada podem afetar o processo de inspeção.

Metodologias que utilizam critérios qualitativos tendem a ter avaliações divergentes, pois a avaliação é efetuada livremente sem a definição de regras e padrões rígidos, enquanto as avaliações quantitativas diminuem a subjetividade da avaliação por parte do inspetor, por trazerem consigo documentos contendo orientações e exemplos que ajudam na definição da intensidade de um dano, por exemplo.

Tendo grande influência em todo o processo, o inspetor pode desviar o resultado de uma inspeção devido a fatores como experiência, formação, personalidade, otimismo ou pessimismo (Verly, 2015).

2.2.1 PROCEDIMENTOS PARA INSPEÇÃO DE OAES

A norma que elenca os requisitos exigíveis de inspeções em pontes, viadutos e passarelas de concreto, bem como a forma como apresentar os resultados dessas inspeções é a NBR 9452:2016 – INSPEÇÃO DE PONTES, VIADUTOS E PASSARELAS DE CONCRETO – PROCEDIMENTOS.

A NBR em tela classifica os elementos de uma estrutura em:

- Elemento principal, sendo aquele mais sensível, onde a ocorrência de anomalias pode desencadear o colapso parcial ou total da estrutura;
- Elemento secundário, cujo dano pode ocasionar ruptura localizada em apenas parte de um vão;
- Elemento complementar, elemento cujo dano não causa nenhum comprometimento estrutural, tais como elementos funcionais de segurança, de drenagem e de transição de estrutura, de forma a diminuir a durabilidade da OAE.

Abaixo será elencada as principais definições e recomendações que constam na norma.

2.2.2 TIPOS DE INSPEÇÃO

A NBR 9452:2016 classifica as inspeções em quatro tipos; cadastral, rotineira, especial e extraordinária.

- **Cadastral**

É a primeira inspeção a ser realizada na obra, deve ser realizada logo após sua conclusão ou quando houver alterações na configuração da obra, como alargamentos, acréscimo de comprimento, reforço, mudança no sistema estrutural.

A inspeção deve conter; dados do projeto, desenhos, memoriais, especificações de serviços e matérias, identificação e localização da obra, características da estrutura, anomalias, classificação conforme risco de OAE, registros fotográficos dentre outras. Para verificar todos os requisitos necessários, recomenda-se a leitura do ANEXO A da norma em tela.

- **Rotineira**

Realizada em um prazo inferior a um ano, essa inspeção de caráter periódico, com ou sem a utilização de recursos especiais, tem a finalidade de verificar a evolução das manifestações e anomalias já detectadas em inspeções anteriores, bem como novas ocorrências, além de reparos e/ou recuperações efetuadas no período.

- **Especial**

Com uma periodicidade de cinco a oito anos, a inspeção deve ser pormenorizada e contemplar mapeamento gráfico e quantitativos das anomalias de todos os elementos aparentes e/ou acessíveis da OAE. Durante a inspeção pode-se utilizar de equipamentos especiais para acesso a todos os componentes da estrutura.

- **Extraordinária**

A inspeção deve conter a descrição da obra e identificação das anomalias, incluindo mapeamento, documentação fotográfica e terapia recomendada. Se

necessário, deve-se utilizar de equipamentos especiais para acesso ao elemento ou parte da estrutura.

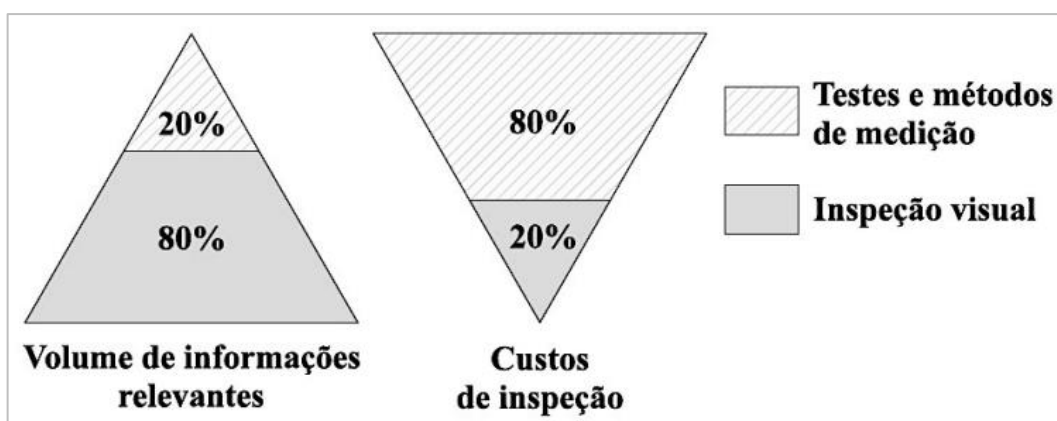
A inspeção extraordinária é motivada por as seguintes demandas:

- Necessidade de avaliar com mais critério um elemento ou parte de OAE, podendo ou não ser gerada por inspeção anterior;
- Ocorrência de impacto de veículo, trem ou embarcação na obra;
- Ocorrência de eventos da natureza, como inundação, vendaval, sismo e outros.

De maneira geral, a maioria das anomalias manifestam-se na parte externa, o que permite através de uma inspeção rotineira caracterizar e identificar, por observações visuais, as anomalias e relaciona-las com sua origem e mecanismos (VERLY, 2015)

A inspeção visual proporciona a melhor relação custo/informação. Se tornando um meio confiável e econômico de se obter informações sobre uma estrutura. A Figura 4 ilustra a relação custo/informação das inspeções visuais e os testes e métodos de medição.

Figura 4 - Relação custo/informação da inspeção visual.



Fonte: (CEP-FIP, 2002 apud VERLY, 2015)

Como é possível observar na imagem anterior, os custos relacionados as inspeções visuais totalizam somente 20% do custo de uma inspeção. Os restantes dos recursos (80%), são voltados para realização de ensaios complementares que tem como objetivo auxiliar a determinação de um diagnóstico através da obtenção de informações que não seria possível apenas da análise visual. Os ensaios

complementares usualmente são sugeridos após uma inspeção visual ou quando se pretende, por exemplo, mudar o uso de uma estrutura.

2.2.3 CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DAS OAE

A NBR 9452:2016 prevê a classificação das OAEs conforme os parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade. Os critérios estruturais estão relacionados com a segurança estrutural da OAE, de forma a avaliar os estados limites últimos, conforme a NBR 6118:2014. De maneira geral, esse critério é o mais sensível na tomada de decisões de ações de recuperação. Os parâmetros funcionais estão relacionados ao conforto e segurança a seus usuários, de modo a conter, guarda-corpos íntegros, ausência de depressões e/ou buracos na pista de rolamento e sinalização adequada. O parâmetro de durabilidade, têm como finalidade avaliar a resistência da estrutura a ataques de agentes agressivos e às intempéries na qual a estrutura está inserida. Como anomalias relacionadas a durabilidade pode-se citar o cobrimento inadequado, corrosão, fissuração etc.

Associado a esses critérios é determinada a nota de classificação da estrutura. Essas notas de avaliação devem variar de 1 a 5, refletindo o maior ou menor grau de deterioração da estrutura respectivamente. A seguir, na Tabela 1, podemos apreciar mais detalhadamente as condições e critérios que são utilizados como referência para a classificação de OAE.

Tabela 1 – Nota de classificação da estrutura relacionando as condições estruturais, funcionais e de durabilidade.

Nota de classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
5	Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários.	A OAE apresenta-se em perfeitas condições, devendo ser prevista manutenção de rotina.
4	Boa	A estrutura apresenta danos pequenos e em áreas, sem comprometer a segurança estrutural.	A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.

Nota de classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
3	Regular	<p>Há danos que podem vir gerar alguma deficiência estrutural, mas como não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias a médio prazo.</p>	<p>A OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações de médio prazo.</p>	<p>A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de moderada a alta agressividade ambiental ou a OAE apresenta moderadas a muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.</p>
2	Ruim	<p>Há danos que comprometem a segurança estrutural da OAE, sem risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A OAE necessita de intervenções significativas a curto prazo.</p>	<p>OAE com funcionalidade visivelmente comprometida, com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.</p>	<p>A OAE apresenta anomalias moderadas abundantes, que comprometem sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.</p>

Nota de classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
1	Crítica	<p>Há danos que geram grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A OAE necessita de intervenção imediata, podendo ser necessária, restrição de carga, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramento provisório e associada instrumentação, ou não.</p>	<p>A OAE não apresenta condições funcionais de utilização.</p>	<p>A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional.</p>

Fonte: NBR 9452/2016

2.2.4 MÉTODO GDE/UNB

Trata-se de uma metodologia que tem como objetivo quantificar o grau de degradação de uma estrutura. Castro (1994), baseada no trabalho desenvolvido por Kein et al (1991), desenvolve a metodologia chamada GDE/UnB com o intuito de avaliar estruturas de concreto convencionais. O grau de degradação da estrutura (G_d), que é o valor que classifica o estado da estrutura, é encontrado com auxílio do *caderno de inspeção*. Esse documento é utilizado para diminuir a subjetividade na hora da avaliação estrutural, é composto por definições dos danos de maior incidência e recomendações para a atribuição do *Fator de intensidade* (F_i). Após ajustes nas formulações, (Castro1994), obteve resultados numéricos que convergiam para o estado de deterioração da estrutura.

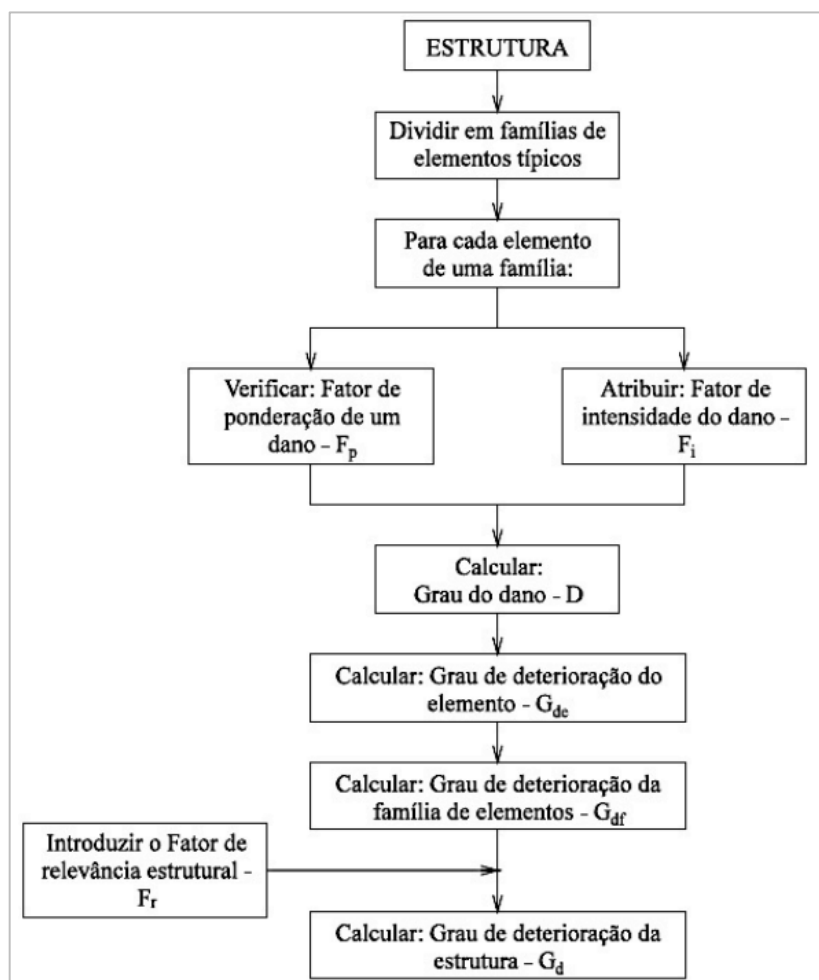
Desde então, Lopes (1998), em seis edificações comerciais do Banco do Brasil, Boldo (2002), em quarenta edificações Exército do Brasileiro de diversas ocupações, Fonseca (2007), no Instituto Central de Ciências da UnB – ICC, Euqeres (2011), em onze pontes escolhidas aleatoriamente no estado de Goiás e Verly (2015), aplicando em 22 (vinte e duas) OAEs na região administrativa de Brasília. Tais aplicações contribuíram de forma a propor adequações à metodologia, a suas formulações e ao conteúdo de apoio no *caderno de inspeção*, tendo sua última versão chamada de *Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais*, proposta por Verly (2015).

O presente trabalho baseou-se, principalmente, nas atualizações propostas por Euqeres (2011) e Verly (2015), que avaliaram OAEs em suas dissertações, estruturas as quais são objeto desta pesquisa, além de serem as adaptações mais recentes da metodologia.

2.2.4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A avaliação é guiada pela análise de cada elemento da estrutura e segue o fluxograma exposto na Figura 5, a seguir.

Figura 5 - Fluxograma metodologia GDE/UnB.



Fonte: Verly (2015)

A metodologia é composta por atividades de escritório e de campo, as etapas de campo podem se limitar à atribuição de valores para os *Fatores de intensidade do dano* (F_i) e para os *Fatores de ponderação do dano* (F_p).

A seguir, serão detalhadas todas as etapas da metodologia mostradas na Figura 5.

2.2.4.2 DIVISÃO EM FAMÍLIAS DE ELEMENTOS TÍPICOS

Nesta etapa os elementos que compõem a estrutura são agrupados de acordo com suas características estruturais peculiares e sua função estrutural no conjunto. Formando assim grupos denominados Famílias de elementos. Os elementos de uma família são tratados de forma igualitária. Verly (2015), destaca que, essa divisão não é fixa e deve ser avaliada sempre que a metodologia for aplicada.

Verly (2015), aplicou a metodologia dividindo as famílias conforme a Tabela 2 - Famílias segundo Verly (2015), essa tabela será detalhada no item sobre *Fator de relevância estrutural* F_r .

Tabela 2 - Famílias segundo Verly (2015).

Elemento	F_r
Barreiras, guarda-corpo, guarda rodas, pista de rolamento	1
Justas de dilatação	2
Transversinas, cortinas, alas	3
Lajes, fundações, vigas secundárias, aparelhos de apoio	4
Vigas e pilares principais	5

Fonte: Verly (2015)

2.2.4.3 FATOR DE PONDERAÇÃO DO DANO

Tem o objetivo de quantificar a importância relativa de uma determinada manifestação patológica no que se refere às condições gerais de segurança, funcionalidade e estética dos elementos de uma determinada família (CASTRO, 1994). Dessa forma, pode-se atribuir diferentes *Fatores de ponderação* (F_p) a uma mesma manifestação patológica, estando o fator diretamente ligado a família na qual está inserida. Os valores de F_p podem variar de 1 a 5.

Consta no Anexo A desta pesquisa o manual de aplicação sugerido por Verly (2015), onde pode se observar os diferentes fatores de ponderação para as diferentes famílias.

2.2.4.4 FATOR DE INTENSIDADE DO DANO

O *Fator de intensidade* tem o objetivo de classificar o grau e evolução do dano de um determinado elemento. Esse fator varia de 0 a 4, progredindo em função da gravidade do dano.

Castro (1994), alerta que essa seja a parte da avaliação com o caráter mais subjetivo. O *Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a OAEs*, contemplam a recomendações de F_i acompanhadas de fotos e desenhos que visam mitigar o caráter subjetivo da avaliação.

Além da análise visual, o F_i pode ser atribuído em função de testes simples, análises onde o dano se encontra, como também, de comparação de deformações medidas *in loco* e as recomendadas por normas.

2.2.4.5 GRAU DO DANO

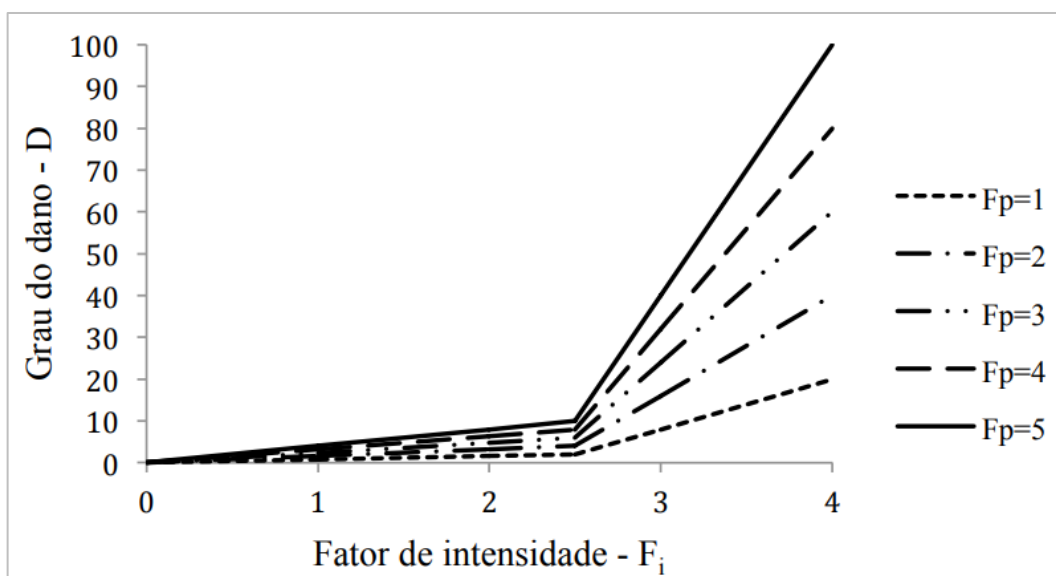
Em uma estrutura as manifestações patológicas evoluem de forma diferente, dependendo das várias influencias tais como concepção estrutural, projeto, execução, utilização e exposição ao meio ambiente (CASTRO, 1994).

Baseada no modelo de deterioração elaborado por Tuutti (1982), que se refere a uma possível descrição geral de como o processo de deterioração se estabelece dentro de uma estrutura. O modelo define em duas etapas o processo de deterioração:

- Período de iniciação: é o período em que nenhum dano se apresenta, embora o processo de deterioração esteja ativo a partir da ação de agente agressivos na estrutura. Não representa comprometimento da vida útil (CASTRO, 1994; FERREIRA, 2016).
- Período de propagação: é o período que os danos estão se desenvolvendo e se propagando no interior da estrutura. Nesta fase a velocidade de degradação aumenta e passa a comprometer a vida residual da estrutura.

Castro (1994), utilizando-se dos princípios no modelo de Tuutti (1982), estabelece o *fator de intensidade* (F_i) como variável para o cálculo do grau do dano (D). Na Figura 6 podemos observar o grau do dano (D) para diferentes F_p e o ponto de inflexão que separa o período de iniciação do período de propagação.

Figura 6 - Grau do dano (D) x Fator de ponderação ($1 < F_i < 5$).



Fonte: Verly (2015).

O grau do dano é encontrado a partir do das seguintes equações:

- Para $F_i \leq 2$:

$$D = 0,8 \cdot F_i \cdot F_p$$

Equação 1

- Para $F_i > 2$:

$$D = (12 \cdot F_i - 28)F_p$$

Equação 2

2.2.4.6 GRAU DE DETERIORAÇÃO DE ELEMENTO

Após a análise de todos os danos isolados, busca-se agora avaliar o estado geral do elemento utilizando-se da Equação 3. Sugerida por Lopes (1998), essa equação procura preservar a essência da metodologia, de modo que o efeito do maior dano seja adicionado aos demais (FERREIA, 2016).

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

Equação 3

Onde:

- G_{de} Grau de deterioração do elemento;
 D_i Grau do dano de índice "i";
 $D_{máx}$ Maior grau do dano encontrado no elemento;
 n Números de danos encontrados no elemento.

Como o valor do G_{de} calculado, é possível consultar a Tabela 3, a seguir, para obter recomendações relacionadas ao nível de degradação do elemento.

Tabela 3 - Recomendações de ações relacionadas ao G_{de} .

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

Fonte: Fonseca (2007)

Como podemos observar, as recomendações são divididas em cinco classes com suas respectivas recomendações.

2.2.4.7 GRAU DE DETERIORAÇÃO DA FAMÍLIA DE ELEMENTOS

Utilizando-se dos valores de G_{de} encontrados na etapa anterior, agora busca-se avaliar todos os elementos de uma família. A seguir será exibida a Equação 4, proposta por Fonseca (2007), adaptada de Castro (1994), utilizada para encontrar o *Grau de deterioração da família* (G_{df}).

$$G_{df} = G_{de,máx} \sqrt{1 + \frac{(\sum_{i=1}^m G_{de,i}) - G_{de,máx}}{\sum_{i=1}^m G_{de,i}}}$$

Equação 4

Onde:

- $G_{de,máx}$ Maior grau de deterioração encontrado na família de elementos;
 $G_{de,i}$ Graus de deterioração apresentados pelos elementos da família (≥ 15);
 m Número de elementos com $G_{de} \geq 15$.

Castro (1994) quando desenvolveu essa equação restringiu os valores a serem utilizados, sendo os maiores ou iguais a 15 pois estaria avaliando os danos, classificados por ela, representativos. Euqueres (2011) em sua pesquisa utilizou-se de todos os valores de G_{de} de forma que todos os danos diagnosticados influenciassem na avaliação global da OAE.

2.2.4.8 FATOR DE RELEVÂNCIA ESTRUTURAL

Esse fator tem o propósito de classificar a importância de uma família no desempenho de uma estrutura, logo depende do sistema estrutural em análise.

Neste trabalho serão utilizados os valores propostos por Verly (2015) e Euqueres (2011), já anteriormente apresentado na Tabela 2.

2.2.4.9 GRAU DE DETERIORAÇÃO DA ESTRUTURA

Por fim, para obter o valor final da classificação da estrutura (G_d), será demonstrada abaixo a Equação 5.

$$G_d = \frac{K_{máx}}{7,07} \sqrt{1 + \frac{(\sum_{i=1}^k K_i) - K_{máx}}{\sum_{i=1}^k K_i}}$$

Equação 5

Onde:

- k Número de famílias da estrutura;
 K Produto do G_{df} pelo respectivo F_r ;
 $K_{máx}$ Maior valor do produto do G_{df} pelo respectivo F_r .

Assim como foi feito para cada elemento, abaixo na Tabela 4, poderemos observar classes e suas respectivas recomendações a serem tomadas.

Tabela 4 - Classes e recomendações em função do G_d.

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

Fonte: Fonseca (2007)

2.3 TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA

Constitui-se como uma técnica não destrutiva que busca auxiliar a investigação pericial, que permite inferir sobre causas, comportamentos e anomalias. Desta forma, pode-se mapear danos em uma estrutura em seus diferentes tipos de sistemas (alvenarias, revestimentos, impermeabilização, dentre outros) (BAUER e PAVÓN, 2015).

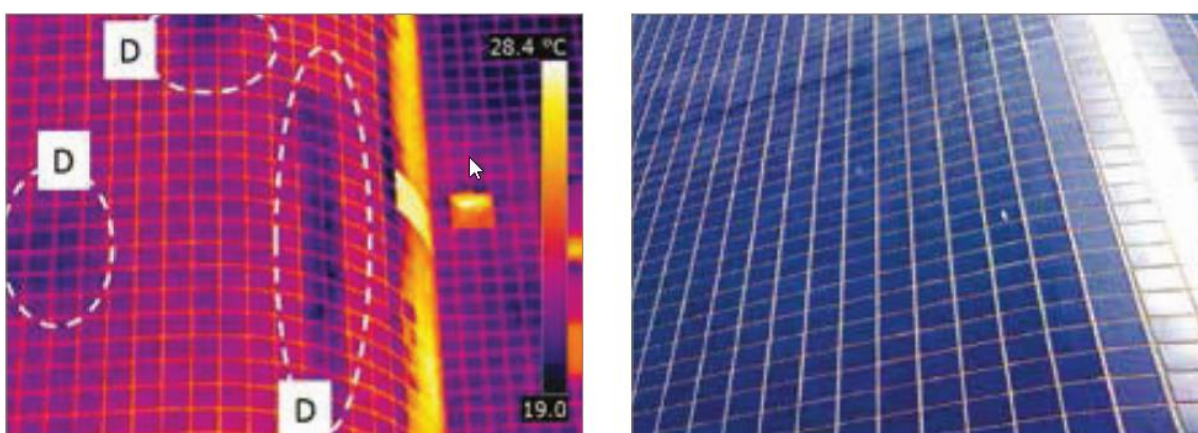
Através das imagens termográficas é possível identificar elementos estruturais, fissuras e regiões com umidade, além de ser possível a identificação de heterogeneidades superficiais. As imagens são coletadas com uso de uma câmera especial, e podem ser feitas a distâncias significativas (até vinte metros com equipamentos usuais).

A termografia infravermelha consiste na coleta e mediação da radiação infravermelha emitida pela superfície dos objetos, que ao ser convertidas, dão origem a imagens térmicas (termogramas). O uso do termograma para a identificação de anomalias é possível, pois a presença de defeitos causa uma resistência térmica, provocando a mudança do transporte de calor no material, é através dessas mudanças que é possível identificar anomalias. A termografia é considerada uma técnica superficial, pois as anomalias que são facilmente encontradas situam-se na parte mais exterior.

A termografia pode ser classificada em passiva, onde existe uma diferença natural entre o objeto e o meio ambiente, e ativa, onde utiliza-se de meios externos, ou seja, uma estimulação térmica artificial é utilizada para a detecção de anomalias. A obtenção dos termogramas, bem como sua correta interpretação deve ser feita tendo uma base forte, para não se obter resultados enganosos.

A seguir, através da Figura 7, é possível observar a utilização de imagens termográficas para auxiliar detecção de anomalias em revestimentos de fachada.

Figura 7 - Detecção de destacamento em uma fachada com revestimento cerâmico (termografia passiva).



Fonte: Bauer e Pavón (2015).

Como podemos observar na imagem em tela, é possível identificar regiões onde o revestimento cerâmico encontra-se destacado, mostrando a capacidade da utilização dessa tecnologia em lugares de difícil acesso, evitando em muitos casos a necessidade do trabalho em altura.

Os fatores que afetam a obtenção de imagens termográficas estão distribuídos entre o equipamento e o objeto analisado. Fatores como foco, lente e resolução geométrica limitam o objeto a ser estudado, como também a distância máxima ideal que as imagens devem ser registradas. Aliado a esses fatores também podemos citar que a correta mensuração das variáveis temperatura ambiente, umidade relativa, temperatura aparente refletida, emissividade (relacionadas ao alvo) e o ângulo de captura, permitirá a obtenção de termogramas que refletem e convirjam à realidade.

Na engenharia civil, a termografia de infravermelho é utilizada para principalmente na avaliação da envolvente de edifícios, eficiência energética e para a detecção de anomalias em edificações.

2.4 GEOPROCESSAMENTO

As sociedades sempre se preocuparam em coletar informações geográficas de recursos minerais, propriedades, animais e plantas. Até pouco tempo atrás essa atividade era desenvolvida com auxílio de mapas em papel, impossibilitando, desta forma, uma análise que envolvesse diferentes tipos de dados e mapas. Com o desenvolvimento tecnológico surgiu a geoinformação, tais informações começaram a ser armazenadas em ambientes digitais, dando origem ao geoprocessamento (CÂMARA, DAVIS, MONTEIRO, 2018).

Nesse âmbito, o termo geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que através de técnicas matemáticas e computacionais gerencia variáveis geográficas em diferentes áreas, tais como topografia, cartografia, sensoriamento remoto, posicionamento por satélite, geoestatística, banco de dados, sistema de informação geográfica (SIG), dentre outros (MEDEIROS, 2018).

As ferramentas computacionais para o geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitem gerenciar as informações, tanto cadastrais, usualmente vindas de bancos de dados, quanto geográficas, exibida através de diversos tipos de simbologia, onde se é possível fazer operações complexas para realização de análises espaciais (CÂMARA, DAVIS, MONTEIRO, 2018).

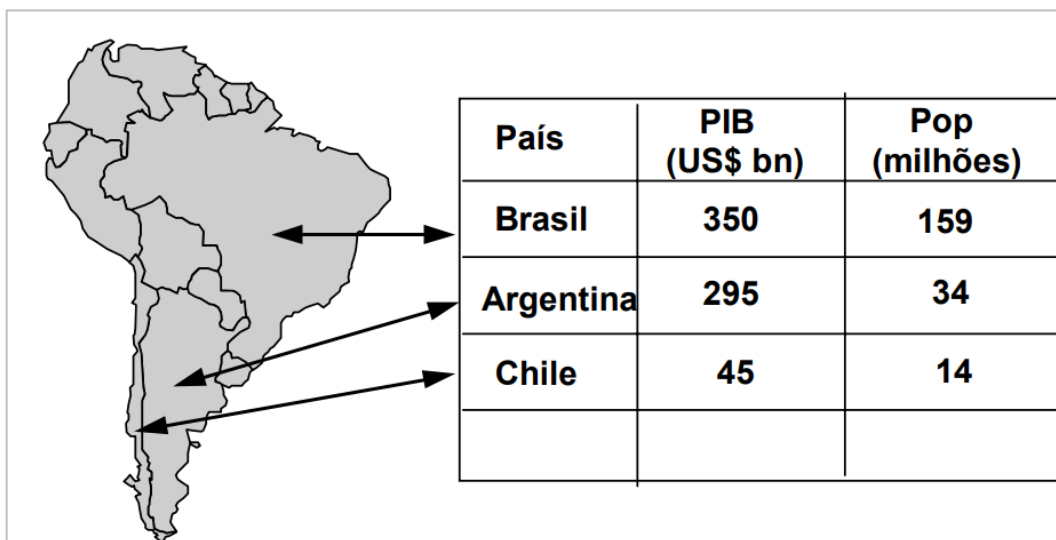
2.4.1 TIPOS DE DADOS EM GEOPROCESSAMENTO

2.4.1.1 DADOS CADASTRAIS

Caracteriza-se como um objeto geográfico que possui atributos e pode estar associado a várias representações gráficas. Desta forma, os limites políticos de países são elementos geográficos que possuem atributos, podendo ser como a área, população, dentre outros. Esses dados podem ter representações diferentes em escalas distintas. Esses atributos são gerenciados com auxílio de um sistema gerenciador de banco de dados (SGBD).

A seguir, Figura 8, será mostrado a relação entre a feição geográfica com cada atributo relacionado, no exemplo são destacados o nome do país, produto interno bruto e população.

Figura 8 - Exemplo de dado cadastral de países da América do Sul.



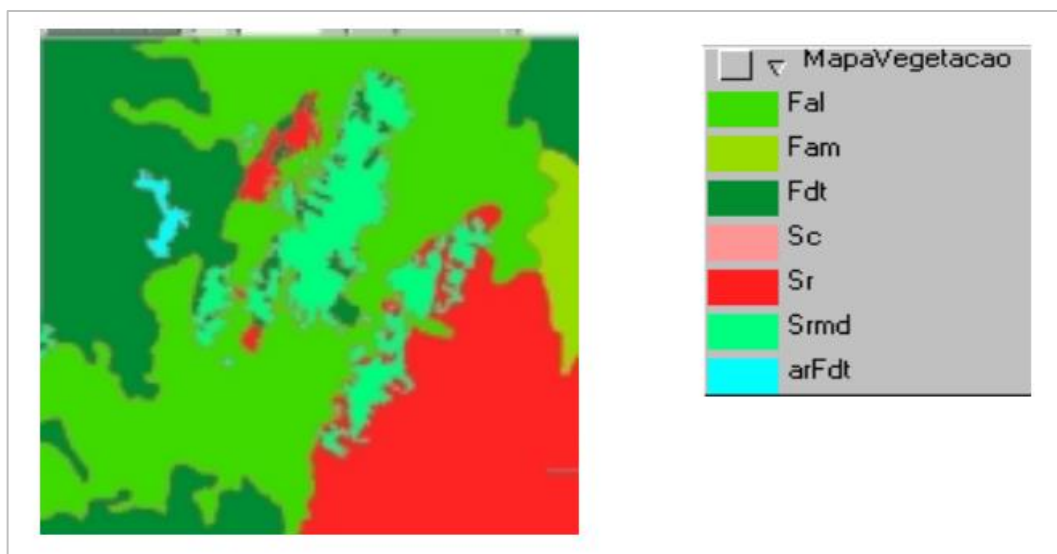
Fonte: (CÂMARA, DAVIS, MONTEIRO, 2018)

2.4.1.2 DADOS TEMÁTICOS

Dados temáticos descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica, podendo ser mensuradas em quatro tipos, nominal, ordinal, intervalo e razão.

Os dois primeiros níveis, nominal e ordinal, são temáticos, ou seja, cada medida é atribuída um número ou nome associado a observação de um tema ou classe. Vale destacar, neste caso, que o número quando usado, determina uma codificação de um determinado tema ou classe observado, não devendo dessa forma ser utilizado em operações matemáticas. Por exemplo, a regra para nível de medida nominal é utilizada, geralmente, para definir classes de solo, rochas, cobertura vegetal. A seguir, na Figura 9, temos um exemplo de mapa temático nominal, onde destaca-se o tipo de vegetação de determinada região.

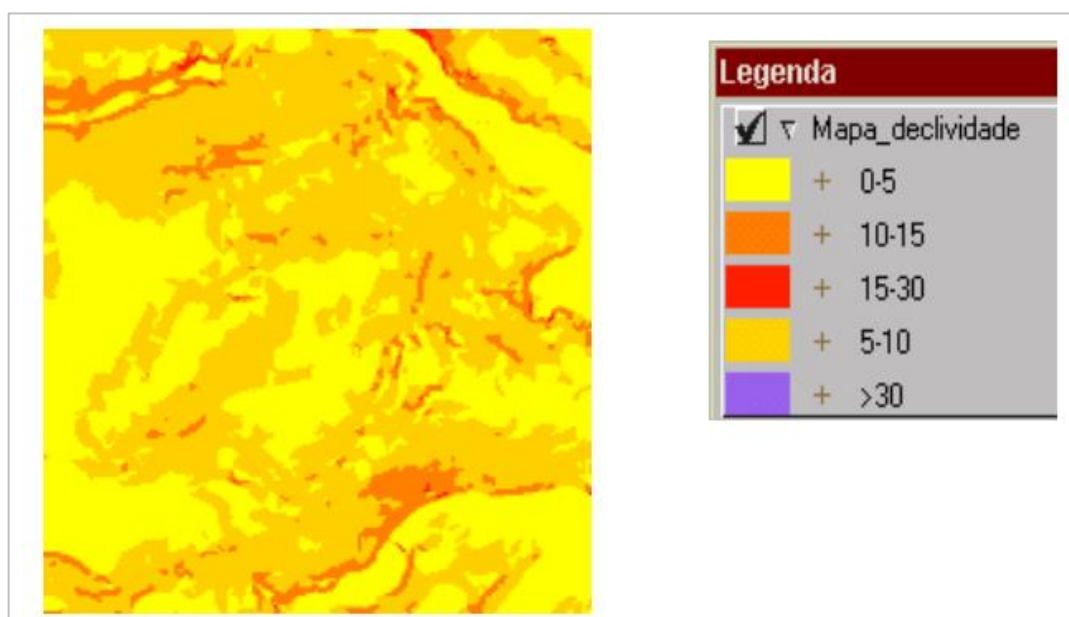
Figura 9 - Exemplo de mapa temático nominal. O mapa demonstra a cobertura vegetal.



Fonte: (CÂMARA, DAVIS, MONTEIRO, 2018)

Já o nível de medida ordinal, é utilizado para atribuir valores para classes, gerando um número ordenado de classes. Por exemplo, 1 (um) é igual a baixo, 2 (dois) é igual a médio, 3 (três) é igual a alto. A baixo, na Figura 10, podemos observar um exemplo de mapa temático ordinal onde demonstra a declividade de determinada região.

Figura 10 - Exemplo de mapa temático ordinal. O mapa demonstra o índice de declividade.



Fonte: (CÂMARA, DAVIS, MONTEIRO, 2018)

Os dois últimos níveis de medidas são baseados em escala de números reais, sendo eles o nível por intervalo e o nível por razão. No nível por intervalo, o zero é uma referência arbitrária, permitindo a atribuição de valores negativos e positivos para o que está em estudo. Pode-se citar como exemplo o meridiano de Greenwich e a linha do Equador, utilizados como referência na determinação de posições sobre a superfície da Terra podendo assumir valores menores que zero.

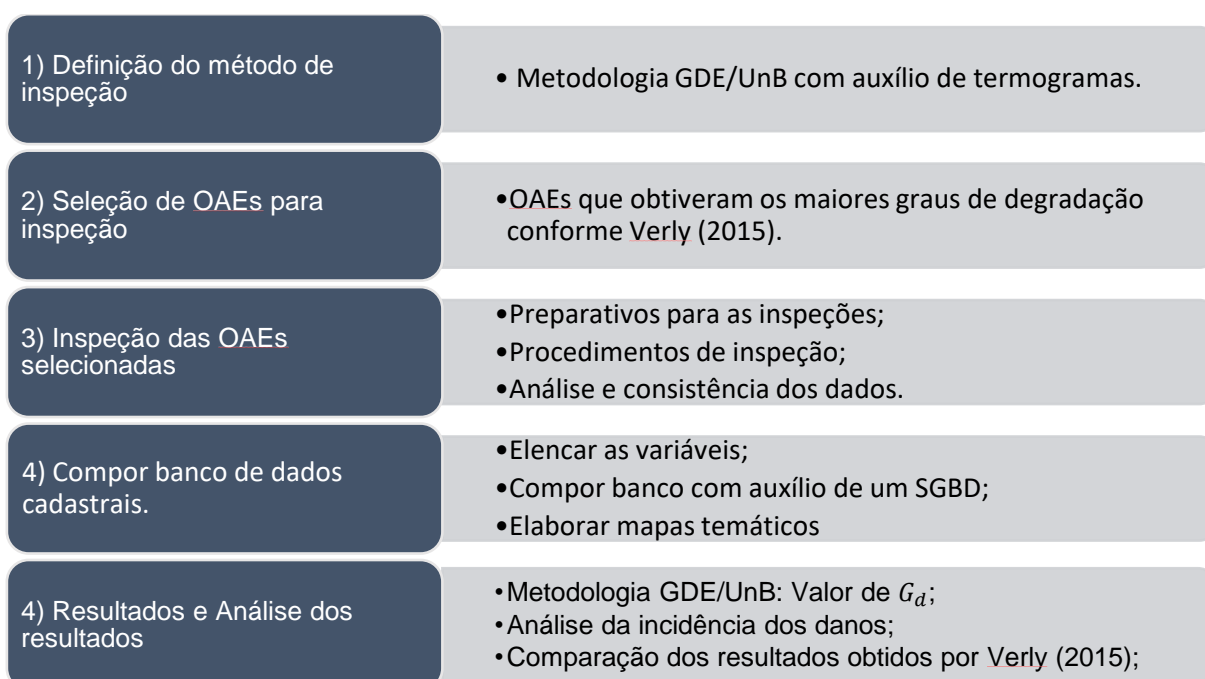
No nível de medida por razão o ponto de referência é o zero, mas determinado por alguma condição natural. Cita-se como exemplo as grandezas físicas, tais como peso, área, comprimento, volume, onde estes não fazem sentido físico quando menores que zero.

3 METODOLOGIA

Com vistas a atingir os objetivos propostos nesta pesquisa, fez-se necessário elencar e estruturar as atividades que fornecerão os resultados esperados. A seguir, na Figura 11, temos as atividades descritas.

Optou-se por estudar OAEs por apresentar relativa facilidade de acesso aos seus diversos elementos e, também, pois no período de avaliações das estruturas a aquisição do drone não havia sido concretizada, necessitando desta forma o ajuste no objeto de análise da pesquisa sem afetar a essência e caráter da pesquisa.

Figura 11 - Fluxograma da metodologia adotada.



A metodologia GDE/UnB, como anteriormente descrita no item 2.2.4, que será utilizada nesta pesquisa é a versão proposta por Verly (2015) afim de comparar os valores obtidos através da aplicação do método.

Por se tratar de uma inspeção rotineira, fatores como frente de carbonatação e contaminação por cloretos, que não podem ser identificados visualmente, não serão avaliados.

3.1 OAE'S SELECIONADAS

Serão inspecionadas três OAEs em operação no Distrito Federal. As OAEs foram escolhidas com base nos resultados obtidos por Verly (2015). Abaixo, na Tabela 5, podemos observar os resultados encontrados para o G_d grau de deterioração da estrutura.

Tabela 5 – Resultados para o G_d obtidos por Verly (2015).

Estrutura	Rodovia ou via	Nome	G_d	G_d^*
OAE-01	DF 450	Viaduto sobre Rodovia	31,24	29,96
OAE-02	DF 450	Ponte sobre o ribeirão Torto - LD	65,88	64,58
OAE-03	DF 450	Ponte sobre o ribeirão Torto - LE	49,24	58,44
OAE-04	DF 450	Viaduto sobre a rodovia	62,70	34,96
OAE-05	DF 450	Viaduto sobre a rodovia	77,58	59,56
OAE-06	DF 450	Ponte sobre o ribeirão Bananal - LD	84,53	62,83
OAE-07	DF 450	Ponte sobre o ribeirão Bananal - LE	50,87	47,75
OAE-08	DF 450	Viaduto sobre ruas - LD	60,00	37,82
OAE-09	DF 450	Viaduto sobre ruas - LE	59,38	42,29
OAE-10	L4	V01	68,68	68,70
OAE-11	L4	V02	121,25	134,32
OAE-12	L4	V03	130,03	133,34
OAE-13	L4	V04	103,25	109,76
OAE-14	L4	V05	31,90	36,29
OAE-15	L4	V06	41,23	39,88
OAE-16	L4	V07	94,96	111,44
OAE-17	L4	V08	106,49	115,03
OAE-18	L4	V09	62,14	35,73
OAE-19	L4	V10	37,02	43,97
OAE-20	L4	V11	55,85	47,63
OAE-21	L4	V12	48,44	43,45
OAE-22	L4	V13	49,39	55,74

G_d : grau de deterioração considerando apenas valores de G_{de} maiores ou igual a 15.

G_d^* : grau de deterioração considerando todos os valores de G_{de} .

Fonte: Verly (2015).

Como podemos observar, as OAEs de nºs 11, 12 e 13 obtiveram $G_d > 100$, sendo classificadas em nível crítico necessitando intervenção imediatas, portanto essas estruturas serão objeto de estudo desta pesquisa. Na Tabela 6, a seguir, pode-se observar as cinco estruturas em estudo.

Tabela 6 - OAEs em estudo.

Código	Rodovia ou via	Nome	GDE/UnB	
			Gd	Gd*
OAE-11	L4	V02	121,25	121,25
OAE-12	L4	V03	130,03	130,23
OAE-13	L4	V04	103,25	104,99
OAE-16	L4	V07	94,96	69,44
OAE-17	L4	V08	106,49	106,59

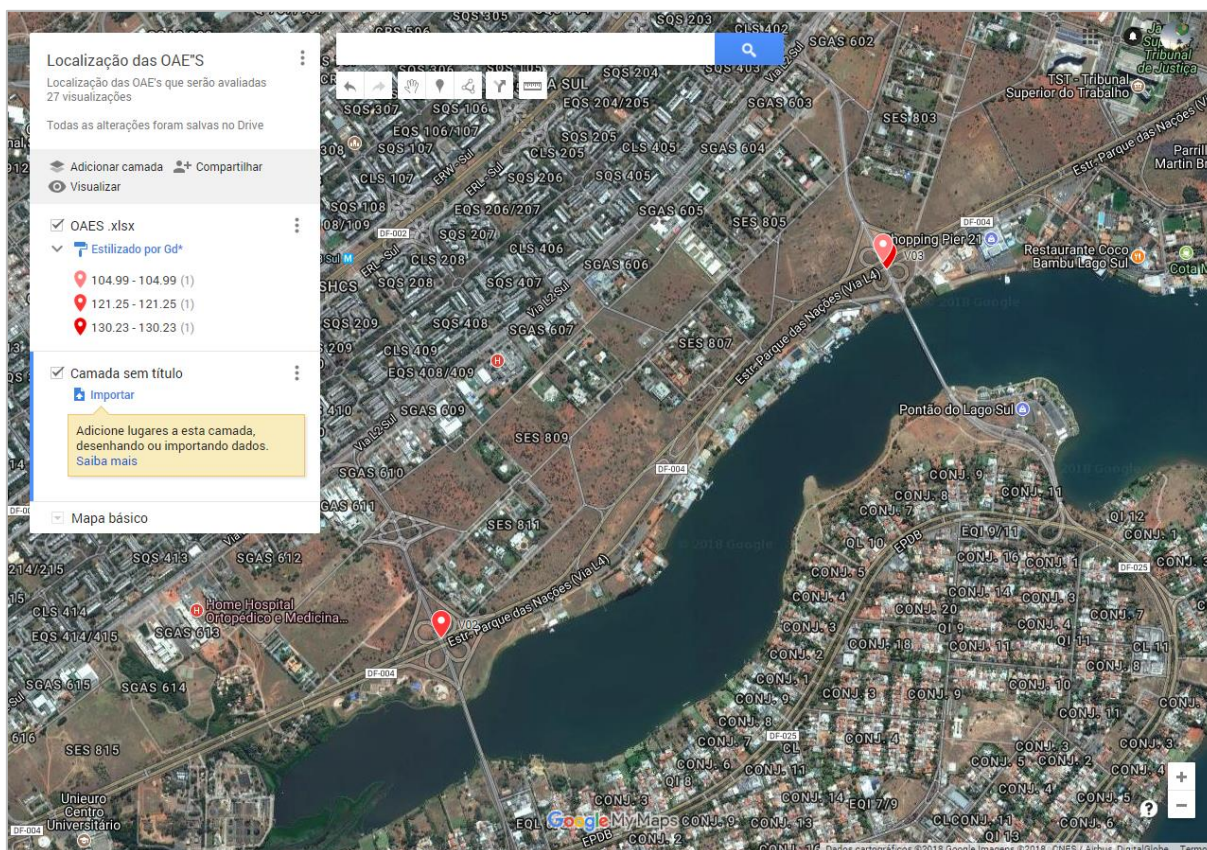
G_d: grau de deterioração considerando apenas valores de G_{de} maiores ou igual a 15.

G_d*: grau de deterioração considerando todos os valores de G_{de}.

Fonte: Adaptado de Verly (2015)

A Figura 12 mostra a localização por satélite das estruturas em estudo.

Figura 12 - Localização das OAEs



Fonte: Google Maps

3.2 INSPEÇÃO NAS OAES SELECIONADAS

3.2.1 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO

As inspeções foram executadas de forma a avaliar a estrutura com base na metodologia GDE/UnB, tendo sua última versão feita por Verly (2015). As definições dos fatores de intensidade foram feitas respeitando as recomendações do *Manual de aplicação da metodologia GDE/UnB em OAES* proposta.

Para auxiliar na inspeção utilizou-se fichas que facilitassem as anotações referentes a informações necessárias à avaliação. A investigação também fez uso de:

- Câmera Digital;
- Câmera Termográfica, modelo FLIR C2;
- Trena;
- Escalímetro;
- Prancheta.

3.2.2 ANÁLISE DOS DADOS

Nesta fase buscou-se analisar os dados levantados em campo de forma a mitigar erros de interpretação na definição do *Fator de intensidade* (Fi) aos danos das diversas OAES inspecionadas.

3.2.3 DETERMINAÇÃO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS PELA METODOLOGIA GDE/UNB.

Utilizando a metodologia proposta por Verly em 2015, explicada detalhadamente no item 3.4, foram calculados os valores do *grau de deterioração* para as estruturas objeto de estudo deste trabalho.

3.2.4 ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DE DANOS

Através da avaliação da estrutura fez-se possível fazer um levantamento quantitativo das anomalias mais recorrentes. Esses dados foram subdivididos em

grupos onde foi possível identificar os danos mais frequentes nas OAEs inspecionadas.

3.3 BANCOS DE DADOS CADASTRAL

As análises geográficas serão elaboradas povoando o banco de dados com os resultados encontrados por Verly (2015). Buscou-se destacar o grau de deterioração da família e o grau de deterioração da estrutura como fatores a serem considerados na tomada de decisão para possíveis intervenções com vistas a mitigar problemas patológicos, portando, estes foram utilizado como protagonista para a elaboração dos mapas temáticos desta pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCURSSÃO

4.1 INSPEÇÕES

4.1.1 OBRA DE ARTE ESPECIAL 11

Localizada na Avenida das Nações na altura da ponte das garças, o viaduto é formado por laje apoiada diretamente em pilares parede de concreto armado, que por sua vez descarregam em fundações de características desconhecidas, conforme Figura 13 abaixo.

Figura 13 – Vista lateral da OAE 11, localizada na Avenida das Nações.



Após vistoria na OAE constatou-se que a laje apresenta eflorescências, juntamente com a formação de estalactites devido a lixiviação dos produtos da hidratação do cimento em contato com a atmosfera, pode se observar também a presença de manchas que se estendem em grande parte da superfície da laje (Figura 14).

Figura 14 – Laje OAE 11: (A) manchas escuras; (B) manchas brancas devido a lixiviação do hidróxido de cálcio; (C) formação de estalactites.



Pode-se observar também falhas de concretagem com exposição da armadura em algumas regiões e pequenas escamações do concreto.

Já os pilares apresentaram machas, deslocamento e corrosão da armadura com incidência maior nos pilares da periferia. Abaixo segue a Figura 15 onde é possível visualizar.

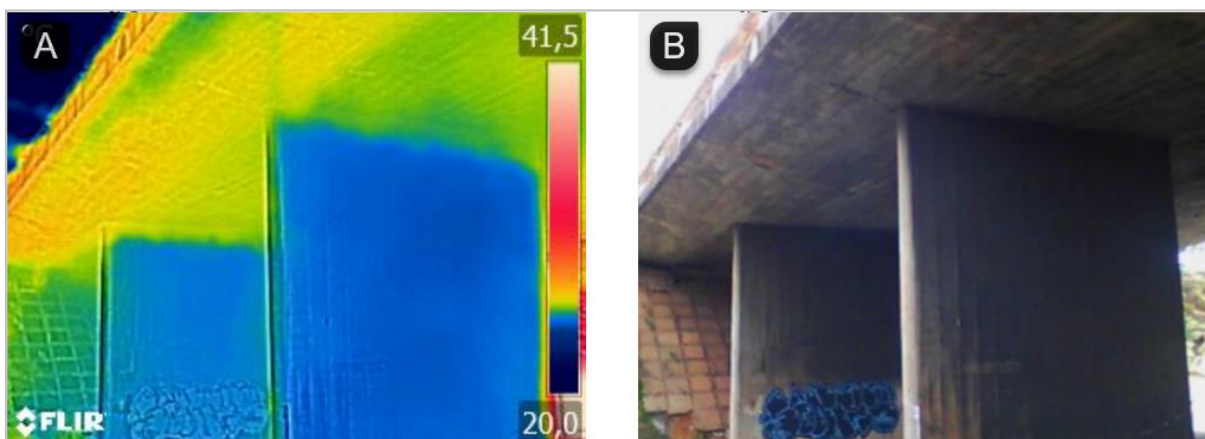
Figura 15 - Pilares OAE 11: (A) detritos entre o pilar e o aterro; (B) deslocamento devido a corrosão; (C) e (D) Armadura exposta, deslocamento e corrosão.



Através da imagem (A) é possível observar que o acúmulo de detritos entre o pilar e o aterro criou um microambiente onde a água fica retida por mais tempo. Essa condição aliada com a exposição ao ar torna a região um ambiente favorável a corrosão eletroquímica.

Como ferramenta no auxílio a inspeção realizou-se, também, registros termográficos conforme Figura 16 a seguir.

Figura 16 – Imagem termográfica OAE 11: (A) termograma; (B) fotografia digital.



Não se pode identificar nenhuma anomalia através das imagens termográficas acima. Através da termográfica pode-se visualizar a distribuição de calor na estrutura.

Conforme citado na metodologia desse trabalho, no item 2.2.4, a análise da estrutura pela metodologia GDE/UnB visa determinar o grau de deterioração da estrutura através da avaliação de cada dano existente. Após realizar todos os cálculos necessários e utilizando-se da mesma divisão de famílias que Verly (2015) pode-se chegar no grau de degradação da estrutura, cujo valor é de 155,92. De acordo com a Tabela 4 - Classes e recomendações em função do Gd., a estrutura encontra-se em nível crítico, sendo necessário fazer planejamento para intervenção imediata. Em relação aos valores encontrados por Verly em 2015 houve um aumento do Gd, à época a estrutura obteve o valor de Gd igual a 134,32. Abaixo, conforme a Tabela 7, é possível visualizar mais detalhes da análise.

Tabela 7 - GDE/UnB - divisão da estrutura em famílias; fator de relevância; grau de degradação do elemento máximo e grau de deterioração da família.

GDE/UnB			
Família	Fr	Gde, máx	Gdf
Pilares	5	153,01	194,62
Vigas	5	0,00	0,00
Travessas	5	0,00	0,00
Transversinas	3	0,00	0,00
Lajes	4	90,20	90,20
Cortinas e Alas	3	0,00	0,00
Barreira, Guarda-rodas e guarda-corpo	1	24,00	24,00
		Gd:	155,92

Através da tabela acima é possível observar que os níveis de degradação da família dos pilares juntamente com o da laje influenciaram de maneira mais significativa no resultado da OAE.

No Apêndice A deste trabalho encontra-se todos os valores de F_i - *Fator de intensidade* atribuídos as manifestações patológicas diagnosticadas.

4.1.2 OBRA DE ARTE ESPECIAL 12

Localizada na Avenida das Nações na altura da ponte Honestino Guimarães, o viaduto possui características muito parecidas com a anterior, sendo formada por laje apoiada diretamente em pilares parede de concreto armado, que por sua vez descarregam em fundações de características desconhecidas, conforme Figura 17 abaixo.

Figura 17 - Vista lateral da OAE, localizada na Avenida das Nações.



O que chama atenção nesta são os danos causados por impactos de autos na parte inferior da estrutura. Na laje foram detectadas fissuras, cobrimento inadequado, manchas escuras e deslocamento. Abaixo segue Figura 18 da laje.

Figura 18 - Laje OAE 12: (A) impactos na estrutura; (B) manchas escuras.



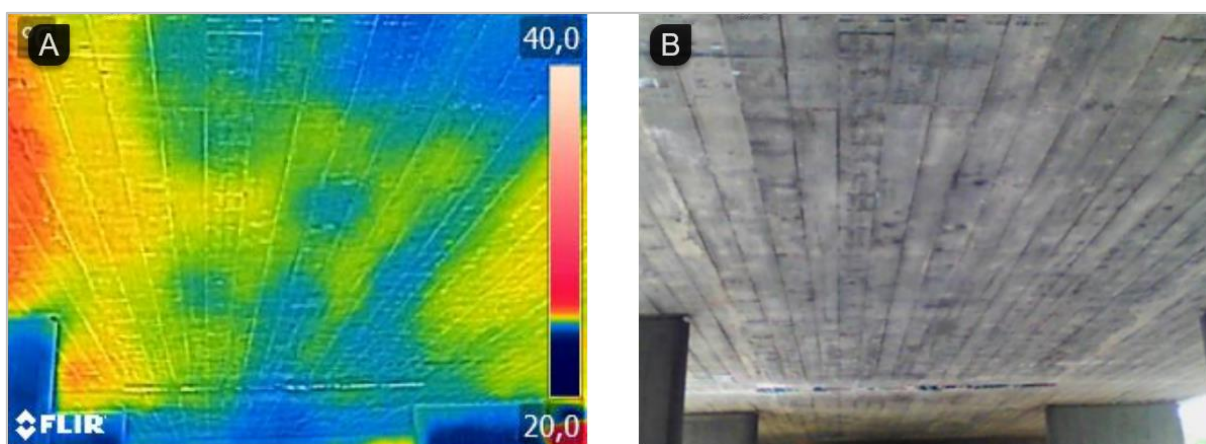
Os pilares da AOE encontram-se em estado avançado de deterioração, sendo possível observar a armadura, apresenta também cobertura inadequada e corrosão das armaduras, conforme Figura 19 abaixo.

Figura 19 - Pilares com corrosão e armaduras expostas.



Na estrutura em tela realizou-se novamente o registro de imagens termográficas conforme Figura 20 que segue.

Figura 20 - Imagem termográfica OAE 12: (A) termograma; (B) fotografia digital.



Embora haja uma distribuição diferente no termograma acima isso não indica necessariamente a presença de alguma anomalia. O termograma em tela exibe a distribuição de calor na estrutura.

Aplicando a metodologia GDE/UnB a estrutura encontrou-se que o grau de degradação da estrutura é de 100,77. De acordo com a Tabela 4 - Classes e

recomendações em função do Gd., a estrutura encontra-se em nível crítico, sendo necessário fazer planejamento para intervenção imediata. Em relação aos valores encontrados por Verly em 2015 houve uma diminuição do Gd, à época a estrutura obteve o valor de Gd igual a 133,32. Como a estrutura não apresenta sinais de recuperação, uma possível explicação para diminuição do Gd é, ainda, a subjetividade do método, bem como a experiência do inspetor. Destaca-se também que não pode ser avaliado os danos causados pelo impacto dos veículos. Abaixo, conforme a Tabela 8, é possível visualizar mais detalhes da análise.

Tabela 8 - GDE/UnB para OAE 12. Divisão da estrutura em famílias; fator de relevância; grau de degradação do elemento máximo e grau de deterioração da família.

GDE/UnB			
Família	Fr	Gde, máx	Gdf
Pilares	5	90,97	121,59
Vigas	5	0,00	0,00
Travessas	5	0,00	0,00
Transversinas	3	0,00	0,00
Lajes	4	84,57	84,57
Cortinas e Alas	3	0,00	0,00
Barreira, Guarda-rodas e guarda-corpo	1	24,00	24,00
Gd:			100,77

Na estrutura em tela há um equilíbrio teórico de degradação entre os elementos mais deteriorados como podemos observar entre a família Pilares e Lajes.

4.1.3 OBRA DE ARTE ESPECIAL 13

Fazendo parte da mesma tesourinha que a OAE 12, a AOE 13 também é formada por uma laje que se apoia diretamente em pilares parede de concreto armado. As anomalias encontradas na estrutura englobam fissuras, falha de concretagem, início de descamações do concreto. Segue abaixo vista lateral da estrutura conforme Figura 21.

Figura 21 - Vista lateral da OAE 13.



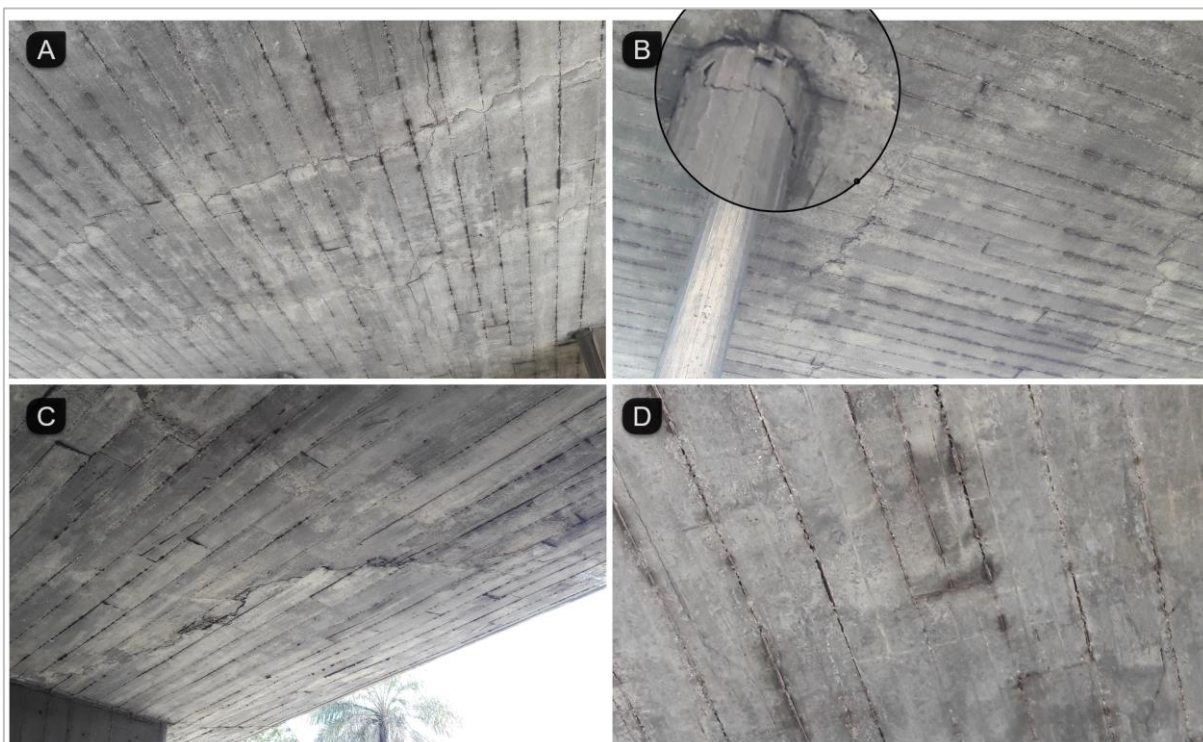
A calçada superior da estrutura apresenta fissuras mapeadas e manchas em grandes extensões conforme Figura 22 a seguir.

Figura 22 - Calçada superior OAE 13



Na parte inferior da estrutura, na Figura 23, foi possível observar fissuras, sinais de esmagamento do pilar e manchas. Abaixo segue registros fotográficos demonstrando as manifestações incidentes na parte inferior da laje.

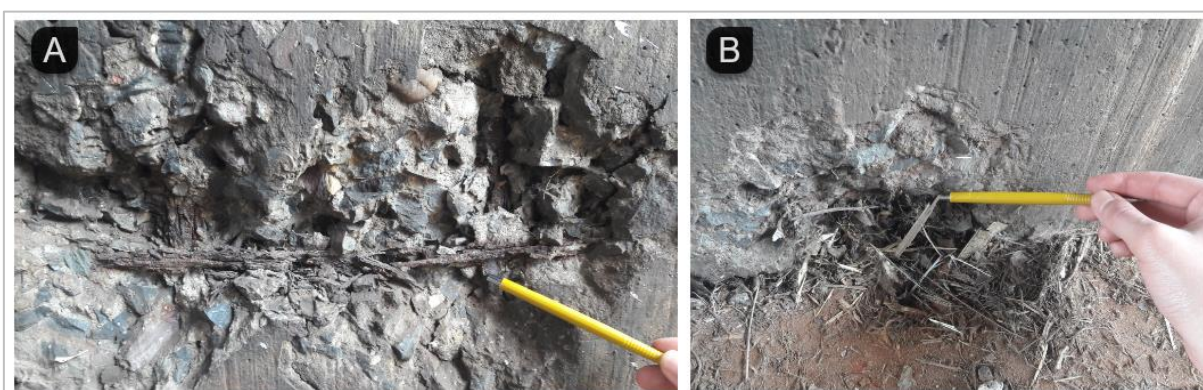
Figura 23 - Laje OAE 13 apresenta: (A) e (C) fissuras; (B) esmagamento do concreto e (D) manchas.



Comparando com as demais OAE vistoriadas, essa apresentou um número de fissuras e escamações mais severas.

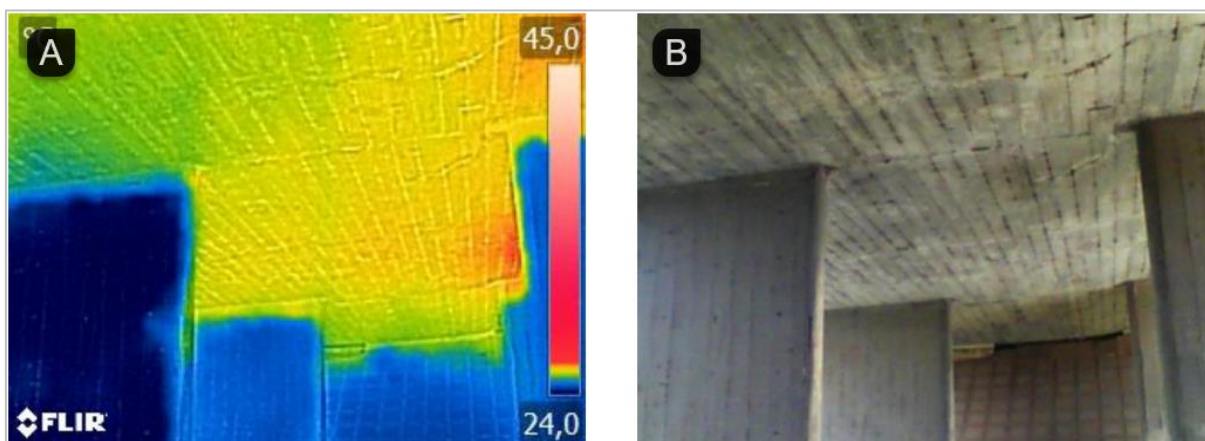
Seguindo o mesmo padrão das OAEs vistoriadas anteriormente, a OAE 13 apresentou corrosão das armaduras e deslocamento com incidência maior nos pilares da periferia, como é possível observar na Figura 24 abaixo.

Figura 24 – Pilares da OAE 13: (A) completa deterioração dos estribos por corrosão e deslocamento; (B) armadura exposta, corrosão e deslocamento.



Para a OAE 13 também foi realizado a termográfica com intuito de identificar anomalias na estrutura. A seguir segue termograma da estrutura conforme Figura 25.

Figura 25 - Imagem termográfica OAE 13: (A) termograma; (B) fotografia digital.



De maneira semelhante as OAEs anteriores, não se localizou nenhuma anomalia na estrutura com base nos termogramas registrados.

Por fim, calculou-se o grau de deterioração da estrutura conforme versa a metodologia GDE/UnB encontrou-se que o grau de degradação da estrutura é de 110,35. De acordo com a Tabela 4 - Classes e recomendações em função do Gd., a estrutura encontra-se em nível crítico, sendo necessário fazer planejamento para intervenção imediata. Em relação aos valores encontrados por Verly em 2015 houve aumento do Gd, à época a estrutura obteve o valor de Gd igual a 109,36. Abaixo, conforme Tabela 9, é possível visualizar mais detalhes da análise.2.2.4

Tabela 9 - GDE/UnB para OAE 13. Divisão da estrutura em famílias; fator de relevância; grau de degradação do elemento máximo e grau de deterioração da família.

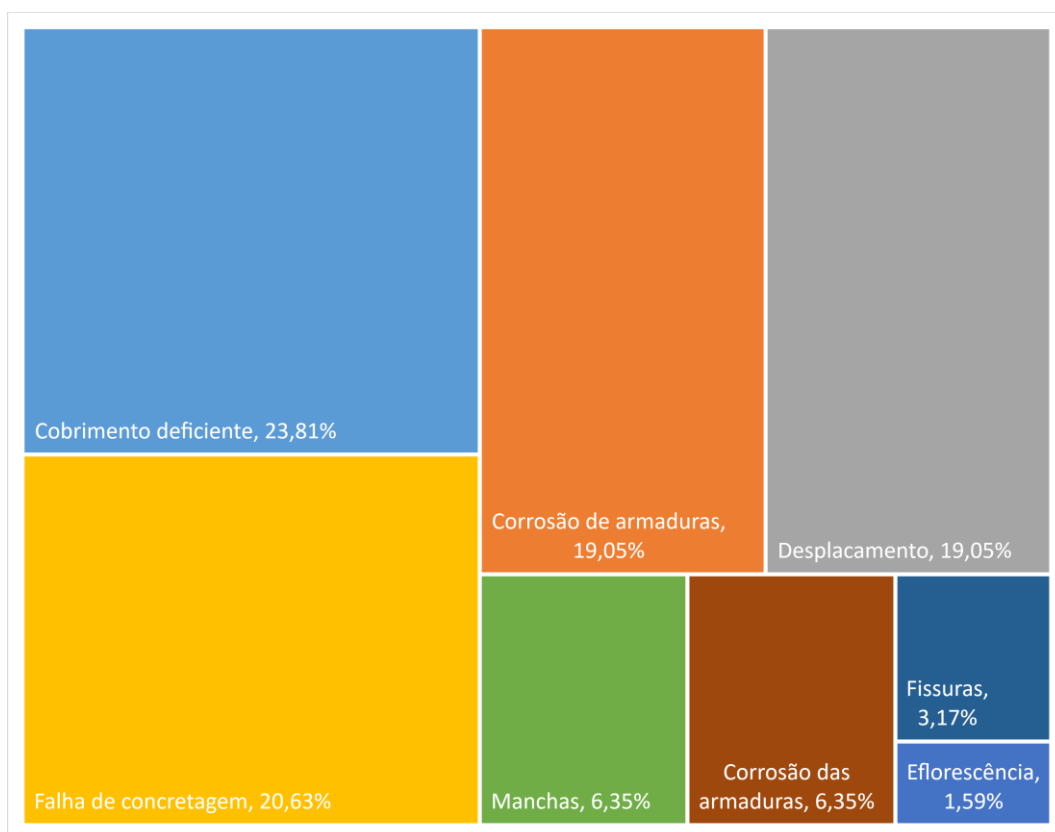
GDE/UnB			
Família	Fr	Gde,máx	Gdf
Pilares	5	125,15	140,57
Vigas	5	0,00	0,00
Travessas	5	0,00	0,00
Transversinas	3	0,00	0,00
Lajes	4	47,16	47,16
Cortinas e Alas	3	0,00	0,00
Barreira, Guarda-rodas e guarda-corpo	1	24,00	24,00
		Gd:	110,35

Através da tabela acima é possível observar que os níveis de degradação da família dos pilares juntamente com o da laje influenciaram de maneira mais significativa o resultado da OAE.

4.2 INCIDÊNCIA DE DANOS

Com base nas três investigações de campo foi possível identificar 63 anomalias diversas. A Figura 26, a seguir, demonstra a incidência de cada tipo de manifestação patológica verificada.

Figura 26 - Incidência de danos.



Conforme figura acima, anomalias como cobrimento deficiente, falha na concretagem, corrosão de armaduras e deslocamento predominam entre as ocorrências mais frequentes. Esse fato está associado à correlação que existe entre as anomalias. Cobrimento deficiente e falha na concretagem são manifestações que podem ser facilmente evitadas tendo o devido cuidado na execução da estrutura e atentando-se para as recomendações normativas. Essas duas anomalias podem ter desencadeado a corrosão das armaduras visto que a armadura, estando na região onde não tem a proteção física e química, está sujeita ao processo de corrosão. Por sua vez, a corrosão gera produtos que ocupam um volume significativamente superior (em até 6 vezes) ao volume original, sujeitando o concreto a elevadas tensões de tração, induzindo a ocorrência do deslocamento.

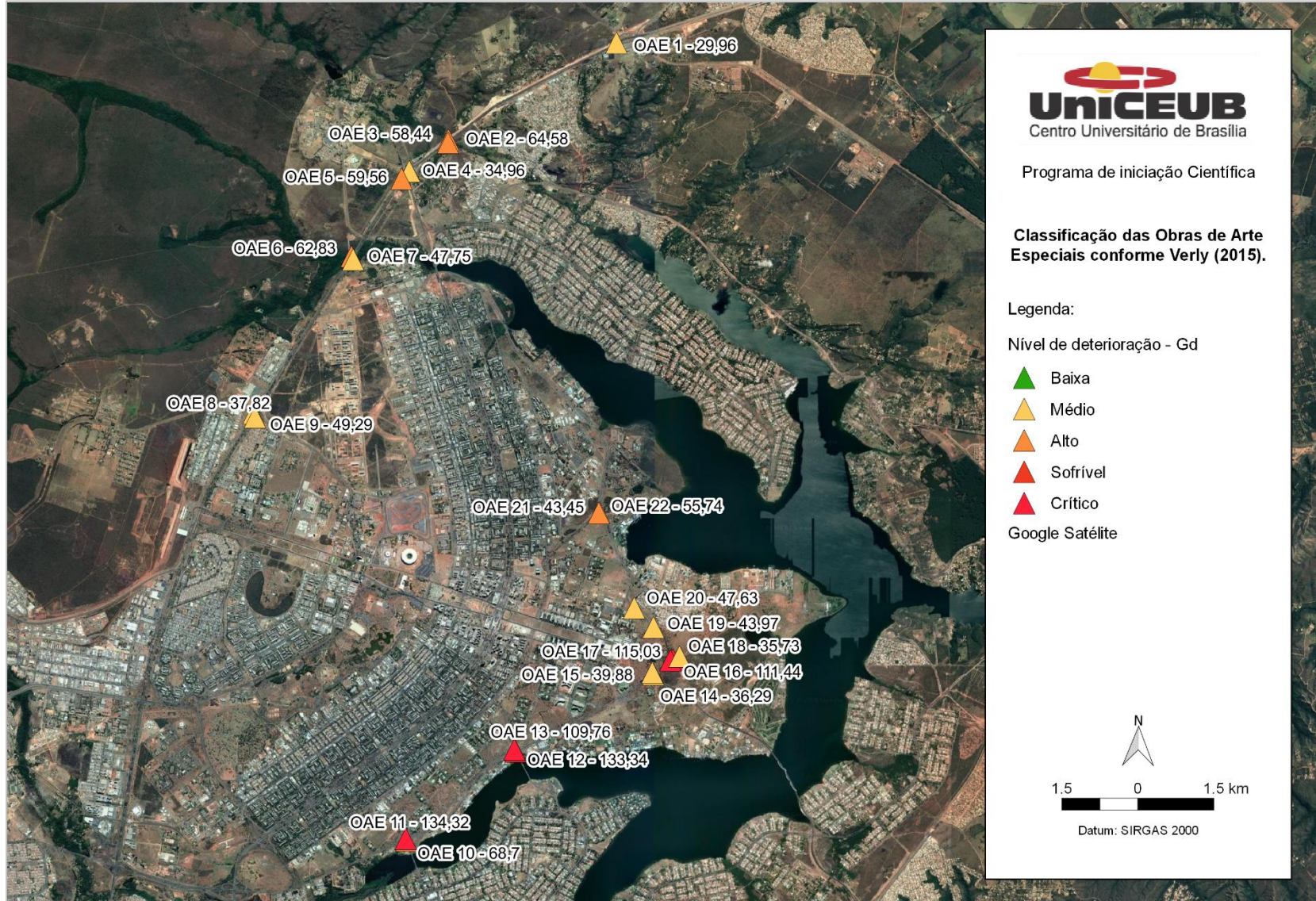
4.3 BANCO DE DADOS CADASTRAL

Para elaboração do banco de dados cadastral buscou-se mesclar as informações preconizadas na NBR 9452:2016 com os princípios teóricos da metodologia GDE/UnB. Tendo como produto uma base de dados onde se é possível fazer buscas e interações desde as características mais gerais, tais como localização e jurisdição, até informações sobre a última inspeção realizada, bem como os resultados das inspeções realizadas, dentre outros.

De forma geral o banco cadastral é formado pelas informações de localização, principais caracterizas da estrutura, grau de deterioração da estrutura, bem como os valores encontrados para o grau de deterioração para a família.

A seguir, na Figura 27, será possível observar o mapa temático do grau de deterioração da esturras das OAEs estudas por Verly (2015).

Figura 27 - Mapa temático - Grau de degradação da estrutura Gd.



A partir do mapa acima é possível observar a classificação das OAEs inspecionadas por Verly (2015) seguindo a metodologia GDE/UNB.

O banco de dados cadastral foi estruturado utilizando o SIG QGIS como gerenciador de banco de dados e possui as seguintes variáveis:

- Código da OAE;
- Localização;
 - Rodovia ou município;
 - Sentido;
 - Localização (latitude e longitude);
 - UF;
 - Jurisdição;
- Data da última inspeção;
- Grau de deterioração da família;
 - Barreiras, guarda-corpo e guarda rodas;
 - Cortinas e alas;
 - Lajes;
 - Pilares;
 - Transversinas;
 - Travessas;
 - Vigas;
- Grau de deterioração da estrutura.

Os mapas temáticos referente ao grau de deterioração da família encontra-se no Apêndice B.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como base no desenvolvimento das inspeções, utilizando-se a metodologia GDE/UnB como critério para o cálculo do grau de deterioração da estrutura, bem como a utilização do uso da termografia observou-se que:

As OAEs 11, 12 e 13 obtiveram os valores de 155.92, 100.77 e 110.35 respectivamente para o *grau de deterioração da estrutura* G_d . As três necessitam de intervenção imediata a fim de restaurar a estrutura, devolvendo-a ao desempenho estabelecido em projeto. Em comparação com os resultados encontrados por Verly (2015) houve, de maneira geral, um aumento no grau de degradação das estruturas. Esse indicador revela a evolução face ao tempo das anomalias já presentes em 2015, bem como o surgimento de novas.

Ao final das investigações em campo se constatou que nos viadutos analisados as maiores incidências de anomalias referem-se a corrosão de armaduras (19,05 %), cobertura deficiente (23,81%), falhas de concretagem (20,63%) etc.

A metodologia GDE/UnB se mostrou capaz de quantificar numericamente o estado de degradação das OAEs, de maneira semelhante as interações realizadas por Euqeres em 2011. Porém, durante a determinação do *Fator De Intensidade* - F_i , nota essa que avalia o dano na estrutura, as recomendações existentes algumas vezes foram insuficientes, levando a incertezas na avaliação do dano. Recomenda-se o desenvolvimento de pesquisas que visem o detalhamento dessas orientações.

Ao utilizar fotos termográficas no auxílio à identificação de anomalias na estrutura percebeu-se que os termogramas registrados apresentaram a distribuição de calor na estrutura. Durante a investigação de campo não se encontrou alguma anomalia através do uso da termografia. Esse comportamento pode ser explicado pela pequena variação de temperatura, bem como pela pequena ou nenhuma exposição das partes analisadas a radiação solar. Faz-se necessário um estudo mais acurado para determinar os motivos dos resultados encontrados.

O banco de dados cadastral elaborado mostrou-se adequado para a elaboração de mapas temáticos simples, necessitando, em futuras pesquisas, sua validação através interações com sucessivas inspeções para a mesma estrutura.

Por fim, espera-se que esse trabalho colabore evidenciando a importância da inspeção como forma de mitigação de manifestações patológicas, busca-se também que as análises aqui desenvolvidas sirvam para a tomada de medidas visando a recuperação das estruturas analisadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J. M. M. R. M. O. Sistema de gestão de pontes com base em custos de ciclo de vida. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013. 380 p.
- ANDRADE, Jairo José de Oliveira. Durabilidade das estruturas de concreto armado: Análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco. 1997. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/122441>>. Acesso em: 05 fev. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento, Rio de Janeiro, 2014, 238p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, NBR 9452: Vistoria de pontes e viadutos de concreto, Rio de Janeiro, 2016, 11 p.
- BAUER, ELTON & PAVÓN, ELIER. (2015). Termografia de infravermelho na identificação e avaliação de manifestações patológicas em edifícios. *Concreto & Construções* 1809-7197. 79. 93.
- BOLDO, P. Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2002. 295p.
- CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. Ciência e engenharia de materiais: Uma Introdução. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2013. 817 p.
- CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira (Org.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. 2018. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 02 set. 2018.
- CASTRO, E. K. Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1994. 185 p.
- CEB-FIB. bulletin 17 - Management, maintenance and strengthening of concrete structures, Technical Report, 2002.
- EUQUERES, P. Metodologia de inspeção de pontes de concreto armado, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2011. 168 p.

- FERREIRA, B. M. **ANÁLISE QUANTITATIVA DA PONTE DO BRAGUETO – DF UTILIZANDO A METODOLOGIA GDE/UnB**. 107 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Fatecs, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2016.
- FONSECA, R. P. A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007. 213 p.
- HELENE, P. Manutenção para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto. Pini, 2ªed. São Paulo, 1992.
- KLEIN, D. L.; GASTAL, F. P. S. L.; CAMPAGNOLO, J. L.; SILVA FILHO, L. C. P. Critérios adotados na vistoria e avaliação de obras de arte. XXV JORNADAS SULAMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 1991, Porto Alegre. Anais. Porto Alegre: UFRGS, 1991, p. 185-197.
- LOPES, B. A. R. Sistema de manutenção predial para grades estoques de edifícios: Estudo para inclusão do componente “Estrutura de Concreto”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1998. 308 p.
- MEDEIROS, Anderson. **O Geoprocessamento e Suas Tecnologias: Parte 1**. 2018. Disponível em: <<http://www.andersonmedeiros.com/geotecnologias-parte1/>>. Acesso em: 01 set. 2018.
- MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M.. Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: N. P. Hasparyk, 2014. 782 p.
- PIANCASTELLI, Élvio Mosci. Patologias do concreto: Das manifestações às causas, as patologias do concreto exigem análise cuidadosa antes da escolha do tratamento ideal. 2016. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/patologias-do-concreto_6160_10_0>. Acesso em: 08 maio 2018.
- SILVA, Luiza Kilvia da. Levantamento de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado no estado do Ceará. 2011. 61 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Estrutural e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011. Disponível em: <http://www.deecc.ufc.br/Download/Projeto_de_Graduacao/2011/Luiza_Kilvia_Levantamento_de_Manifestações_Patológicas_em_Estruturas_de_Concreto_Armado_no_Estado_do_Ceara.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2018.
- TUUTTI, K. Corrosion steel in concrete. Swedish Cement and Concrete. Research Institute, Stockholm, 1982.

VERLY, R. C. (2015). Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-015A/15, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 178p.

APÊNDICE A

Anomalias encontradas, e dados relacionados a
Metodologia GDE/UnB.

Abaixo, na Tabela A.1, será exibido a listagem completa de todos os danos encontrados durante a realização das inspeções. Através da tabela pode-se identificar a OAE em estudo, sua localização, as manifestações patológicas encontradas, o fator de ponderação do dano e o fator de intensidade.

Tabela A1 1 – Listagens das manifestações patológicas por OAE.

OAE	Rodovia / Via	Família	Elemento	Dano	F _p	F _i
11	L4	Pilares	P1	Cobrimento deficiente	3	2
11	L4	Pilares	P1	Corrosão de armaduras	5	4
11	L4	Pilares	P1	Deslocamento	3	3
11	L4	Pilares	P1	Falha de concretagem	3	3
11	L4	Pilares	P2	Cobrimento deficiente	3	2
11	L4	Pilares	P2	Corrosão de armaduras	5	3
11	L4	Pilares	P2	Deslocamento	3	3
11	L4	Pilares	P2	Falha de concretagem	3	3
11	L4	Pilares	P3	Cobrimento deficiente	3	2
11	L4	Pilares	P3	Corrosão de armaduras	5	3
11	L4	Pilares	P3	Deslocamento	3	3
11	L4	Pilares	P3	Falha de concretagem	3	3
11	L4	Pilares	P5	Cobrimento deficiente	3	2
11	L4	Pilares	P5	Corrosão de armaduras	5	3
11	L4	Pilares	P5	Deslocamento	3	3
11	L4	Pilares	P5	Falha de concretagem	3	3
11	L4	Pilares	P6	Cobrimento deficiente	3	2
11	L4	Pilares	P6	Corrosão de armaduras	5	3
11	L4	Pilares	P6	Deslocamento	3	3
11	L4	Lajes	L1	Cobrimento deficiente	3	2
11	L4	Lajes	L1	Corrosão de armaduras	5	2
11	L4	Lajes	L1	Eflorescência	2	4
11	L4	Lajes	L1	Falha de concretagem	2	2
11	L4	Lajes	L1	Deslocamento	3	2
11	L4	Lajes	L1	Manchas	3	4
11	L4	Pilares	P1	Manchas	3	4
11	L4	Barr, GR e GC	B1	Corrosão de armaduras	3	3
11	L4	Pilares	P4	Falha de concretagem	3	1
12	L4	Lajes	L1	Manchas	3	2
12	L4	Lajes	L1	Cobrimento deficiente	3	2
12	L4	Lajes	L1	Deslocamento	3	4
12	L4	Lajes	L1	Fissuras	4	3
12	L4	Pilares	P1	Cobrimento deficiente	3	4
12	L4	Pilares	P1	Corrosão das armaduras	5	3
12	L4	Pilares	P1	Deslocamento	3	3
12	L4	Pilares	P2	Cobrimento deficiente	3	4

OAE	Rodovia / Via	Família	Elemento	Dano	F _p	F _i
12	L4	Pilares	P2	Corrosão das armaduras	5	3
12	L4	Pilares	P2	Desplacamento	3	3
12	L4	Pilares	P5	Cobrimto deficiente	3	4
12	L4	Pilares	P5	Corrosão das armaduras	5	3
12	L4	Pilares	P5	Desplacamento	3	3
12	L4	Pilares	P6	Cobrimto deficiente	3	4
12	L4	Pilares	P6	Corrosão das armaduras	5	3
12	L4	Pilares	P6	Desplacamento	3	3
12	L4	Pilares	P3	Falha de concretagem	3	1
12	L4	Pilares	P4	Cobrimto deficiente	3	4
12	L4	Barr, GR e GC	B1	Corrosão de armaduras	3	3
13	L4	Pilares	P1	Cobrimto deficiente	3	2
13	L4	Pilares	P1	Corrosão de armaduras	5	2
13	L4	Pilares	P1	Falha de concretagem	3	3
13	L4	Pilares	P2	Falha de concretagem	3	1
13	L4	Pilares	P3	Falha de concretagem	3	1
13	L4	Pilares	P4	Falha de concretagem	3	2
13	L4	Pilares	P5	Cobrimto deficiente	3	2
13	L4	Pilares	P5	Corrosão de armaduras	5	4
13	L4	Pilares	P5	Desplacamento	3	3
13	L4	Pilares	P6	Falha de concretagem	3	1
13	L4	Lajes	L1	Cobrimto deficiente	3	2
13	L4	Lajes	L1	Corrosão de armaduras	5	2
13	L4	Lajes	L1	Falha de concretagem	2	3
13	L4	Lajes	L1	Fissuras	4	3
13	L4	Pilares	P5	Manchas	3	2
13	L4	Barr, GR e GC	B2	Corrosão de armaduras	3	3

APÊNDICE B

Mapas temáticos

Figura B1 - Mapa temático evidenciando a família: Barreira, guarda-corpo, guarda rodas, pista de rolamento.

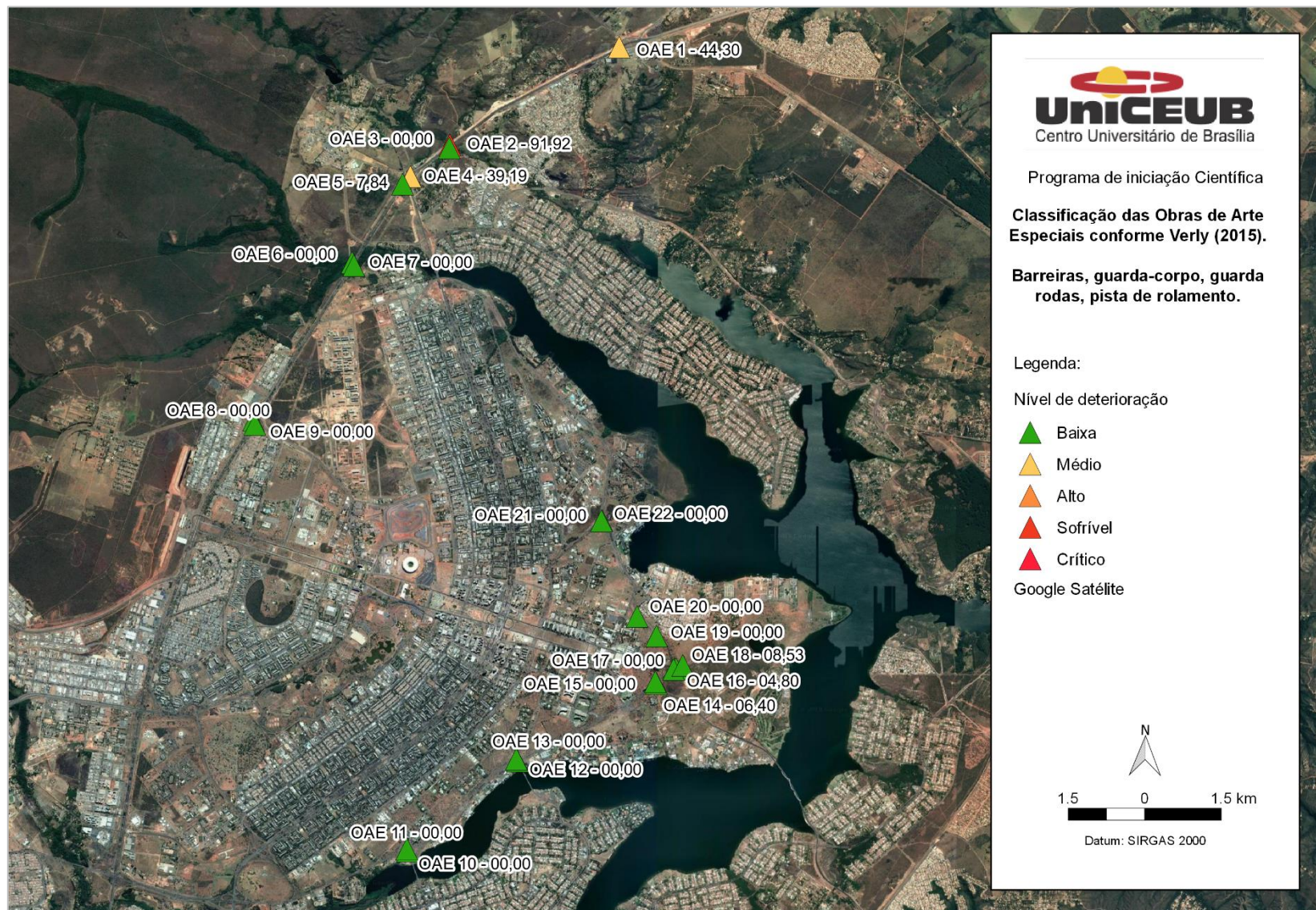


Figura B2 - Mapa temático evidenciando a família: Cortinas e Alas.

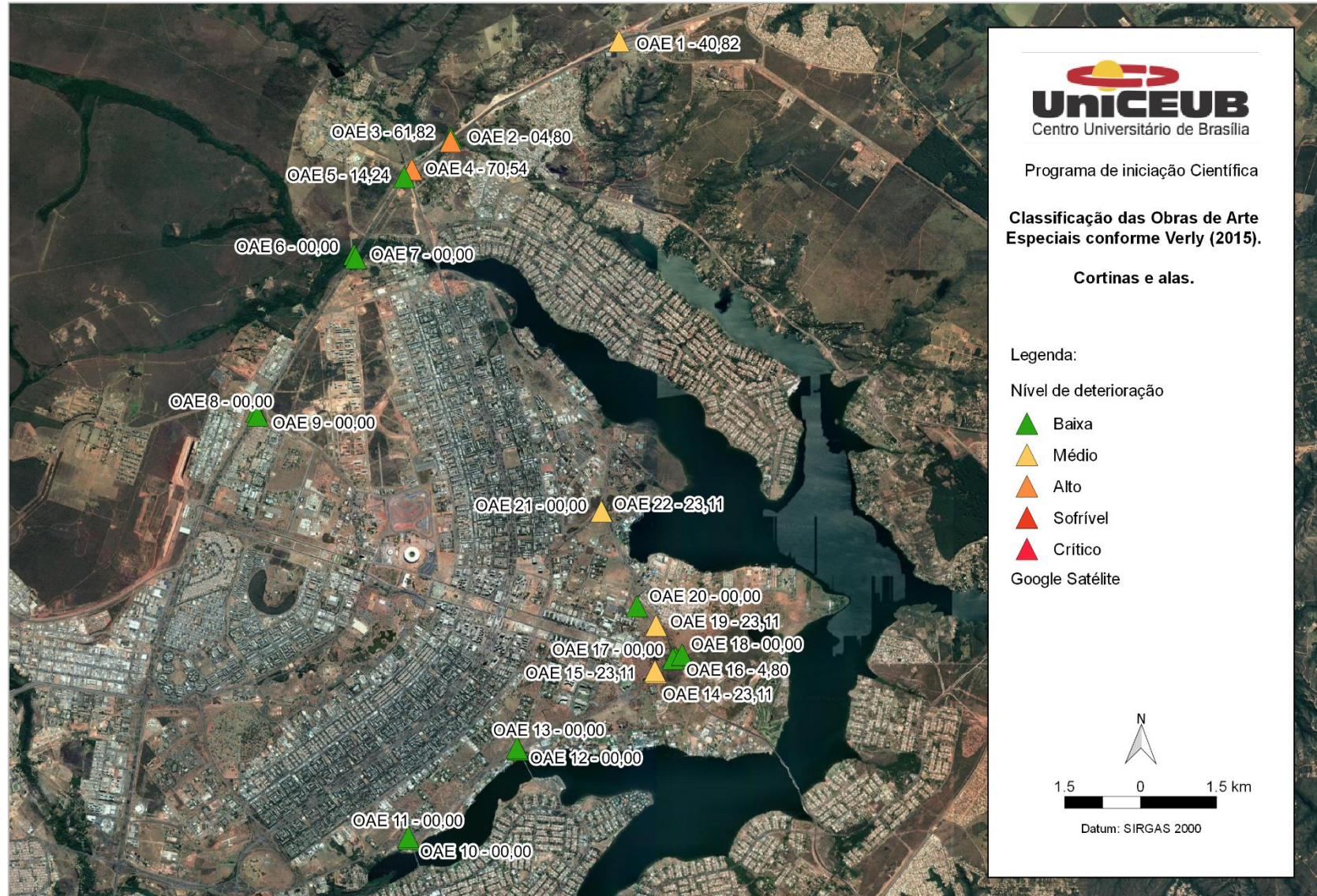


Figura B3 - Mapa temático evidenciando a família: Lajes.

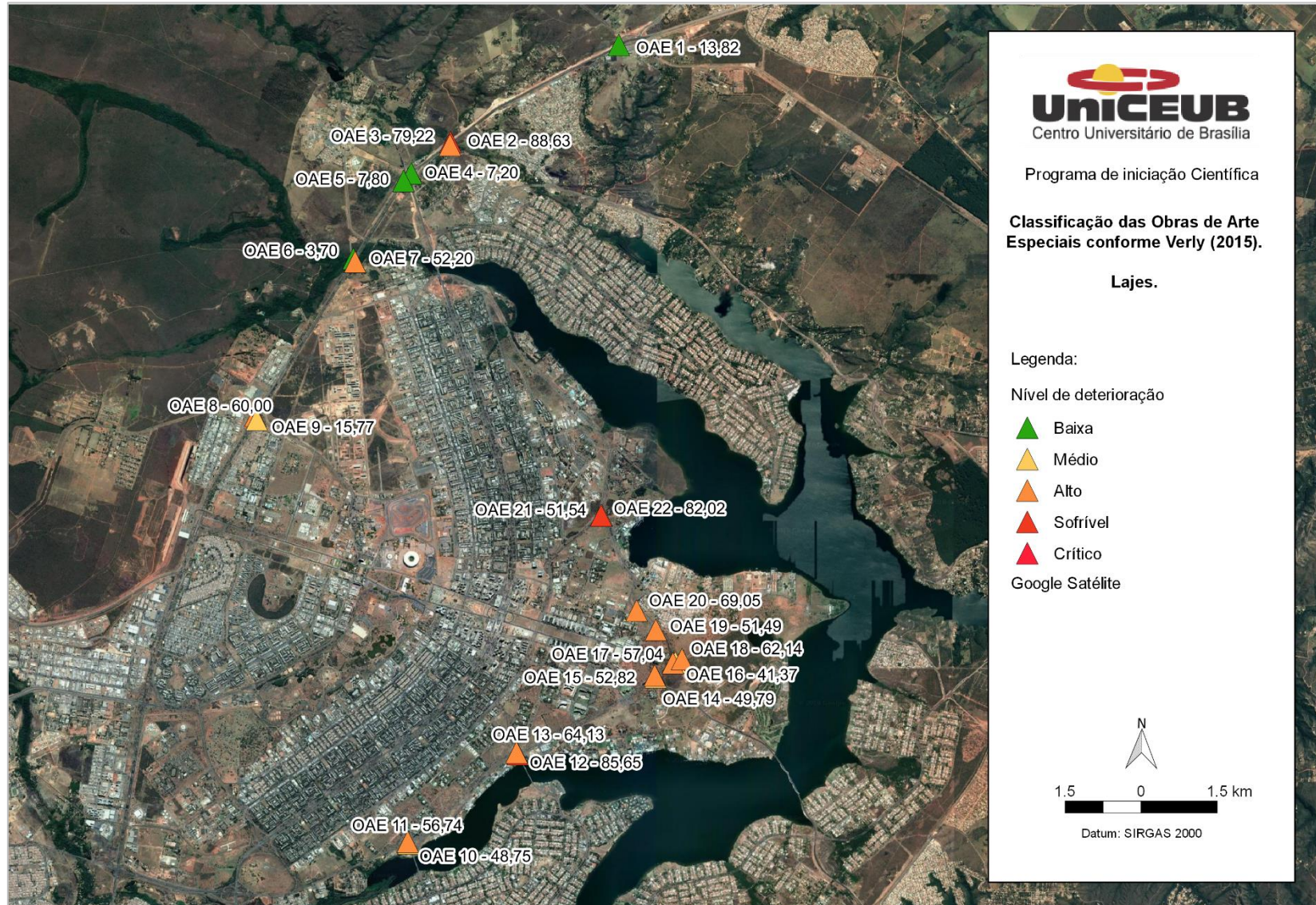


Figura B4 - Mapa temático evidenciando a família: Pilares.

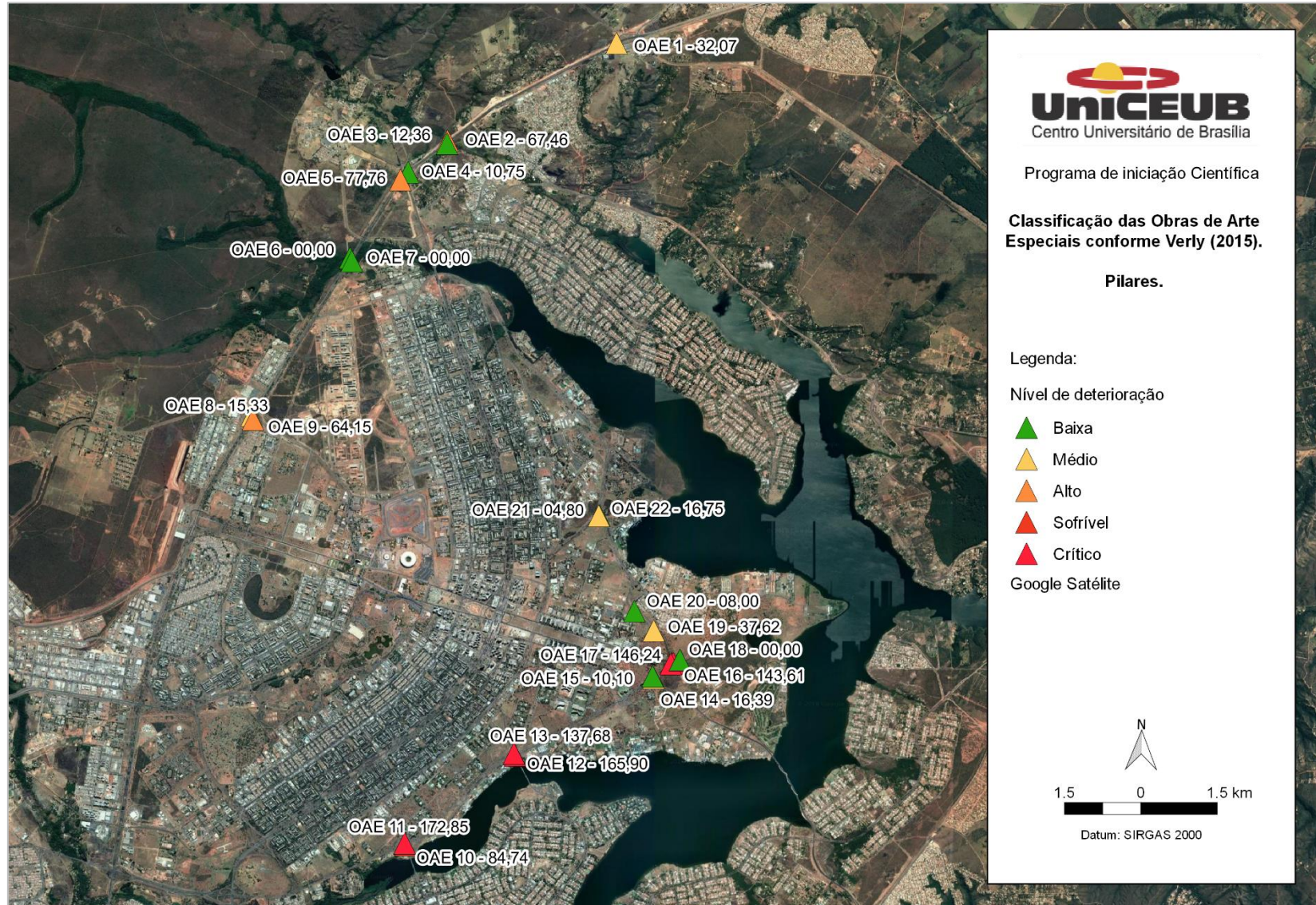


Figura B5 - Mapa temático evidenciando a família: Transversinas.

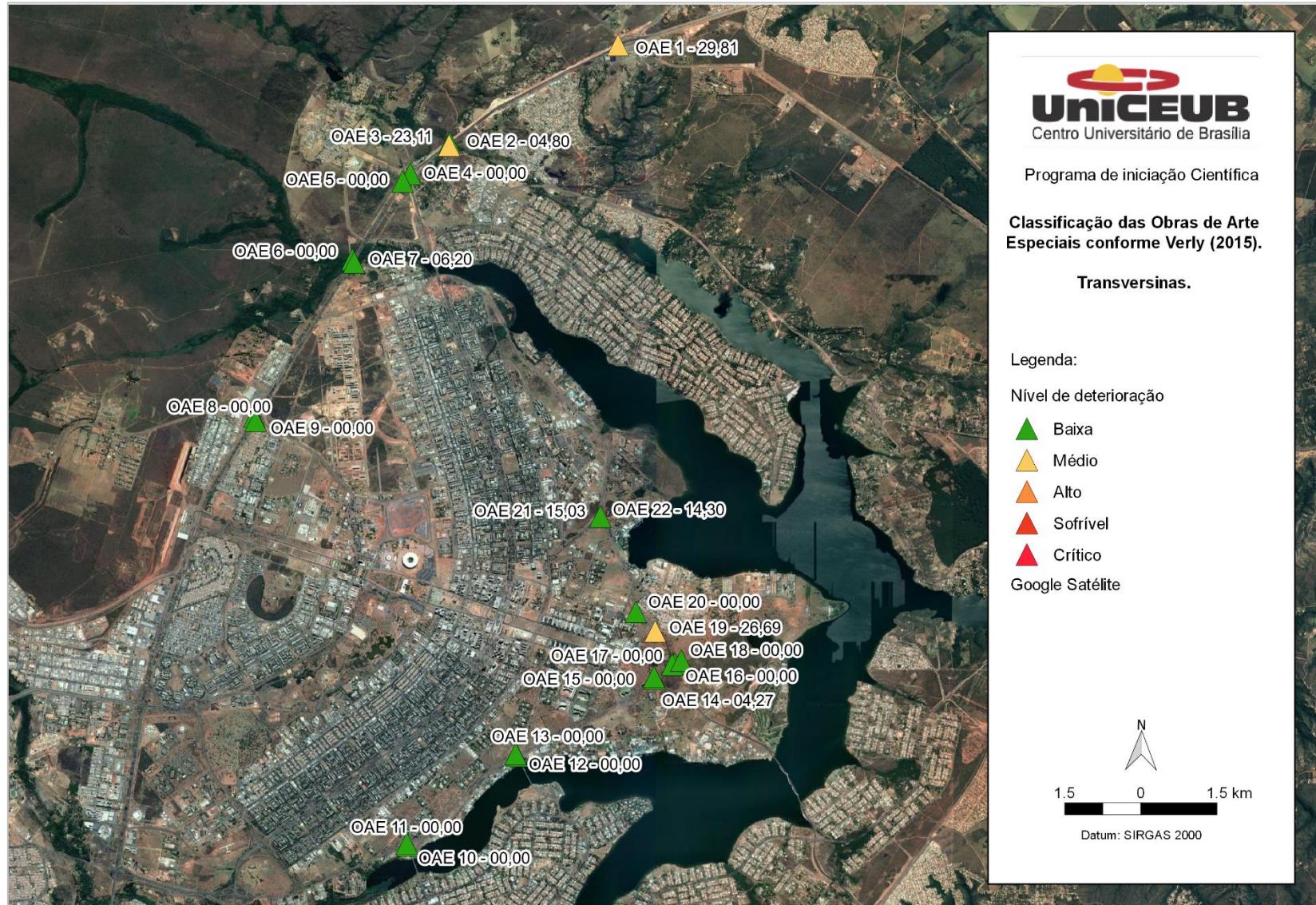


Figura B6 - Mapa temático evidenciando a família: Travessas.

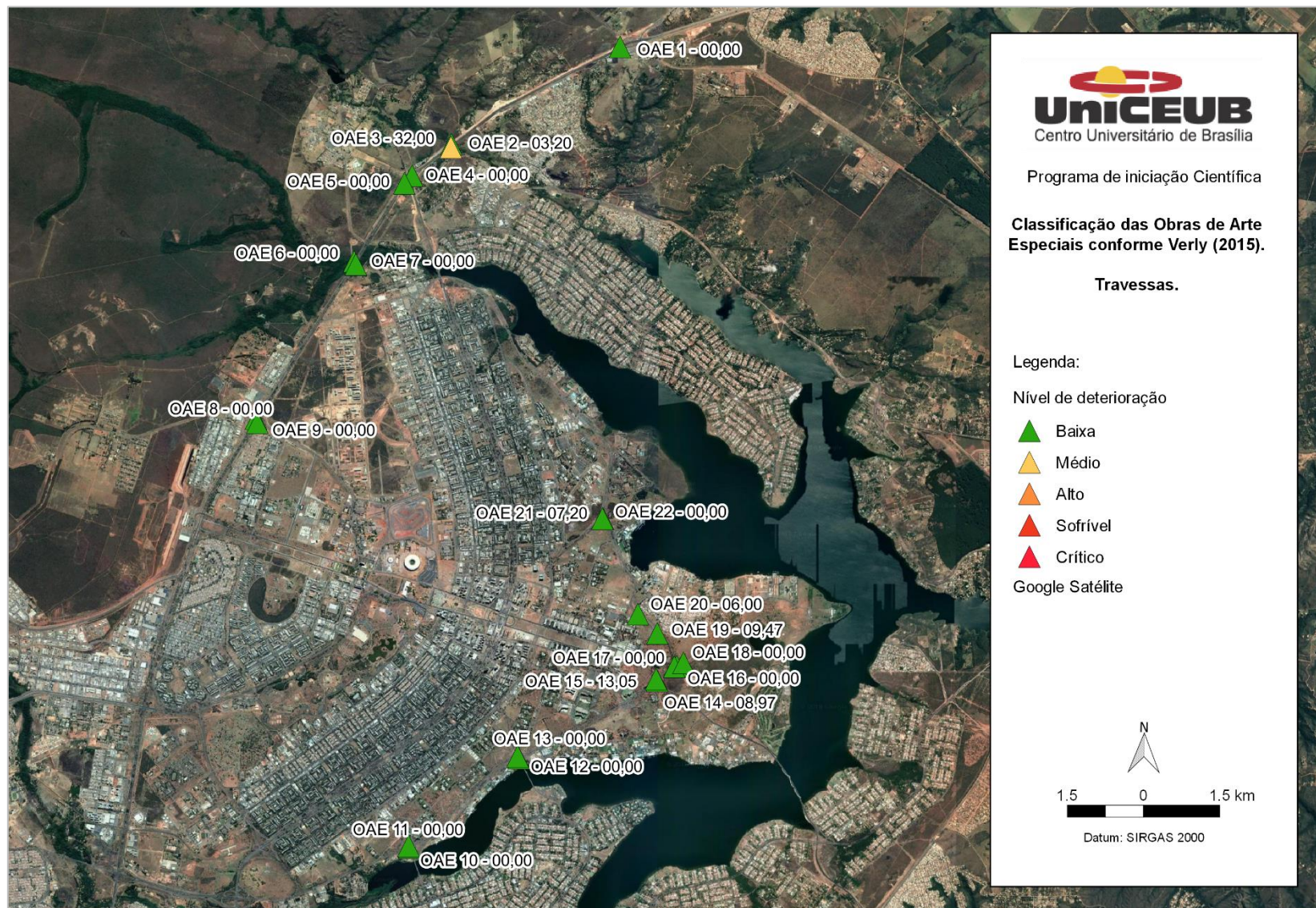
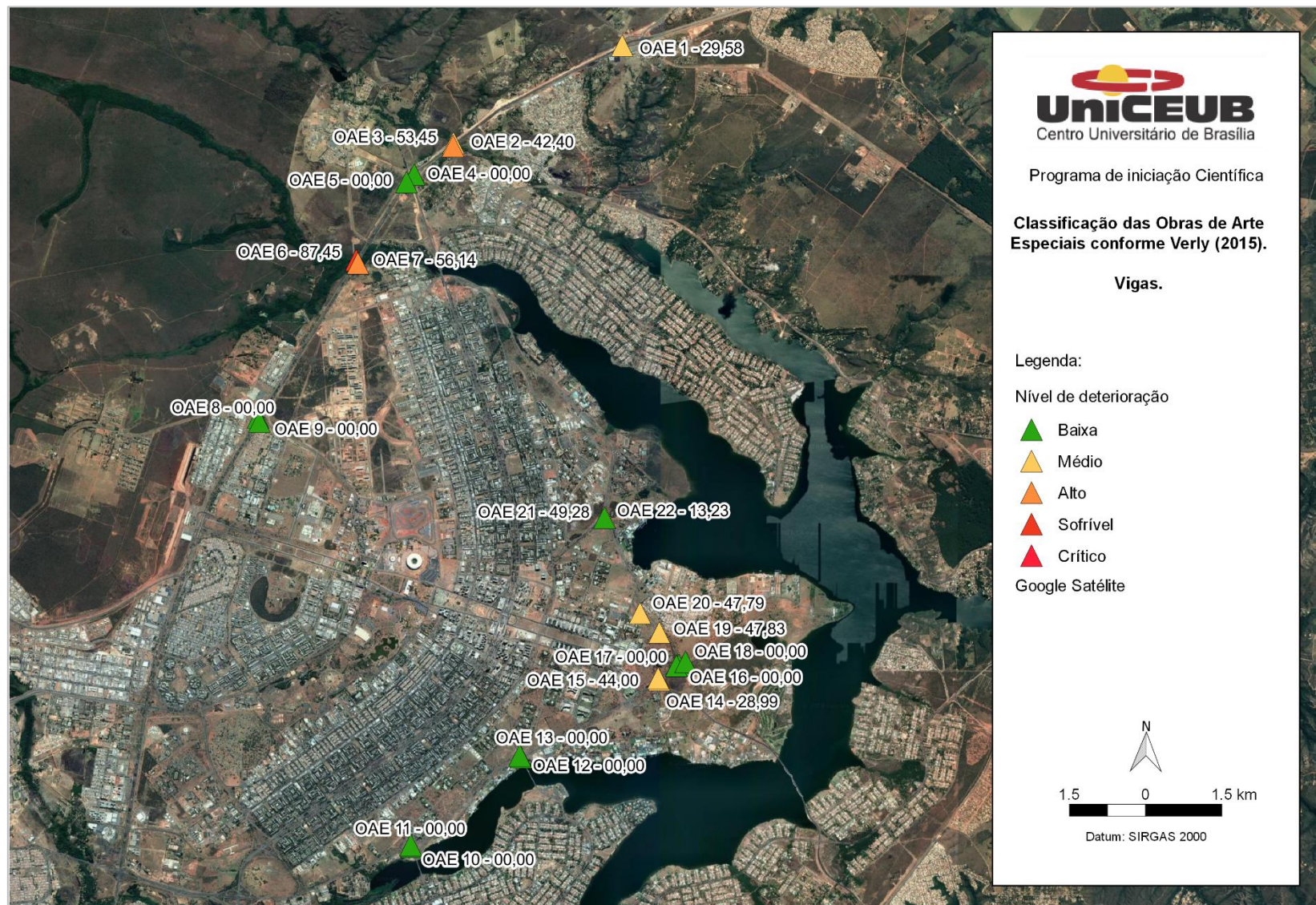


Figura B7 - Mapa temático evidenciando a família: Vigas.



ANEXO A

Manual de aplicação da metodologia GDE/UnB a
obras de arte especiais – OAE



Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental
Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil PECC/UnB

Metodologia GDE/UnB

Classificação de Danos e Avaliação da Deterioração de Estruturas de Concreto

Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

Colaboradores:

João Carlos Teatini S. Clímaco
Antônio Alberto Nepomuceno
Eliane Kraus de Castro
Benedito Arruda Lopes
Plínio Boldo
Regis Pamplonet Fonseca
Priscilla Euqueres
João Henrique da Silva Rêgo
Rogério Calazans Verly

BRASÍLIA, JUNHO DE 2015

1 INTRODUÇÃO

A vida útil de uma estrutura de concreto depende fundamentalmente de manutenção, adequada, tendo em vista, em especial, que os eventuais problemas estruturais detectados no início têm seus efeitos minorados, o que pode reduzir substancialmente os custos de reparo. Entretanto, embora crescente o reconhecimento da importância da manutenção estrutural, são ainda insuficientes, mesmo em países desenvolvidos, as disposições normativas específicas para manutenção de estruturas.

Em geral, as normas recentes são prescritivas e se dedicam às disposições de projeto e execução, tendo como requisito a durabilidade, mas sem estabelecer critérios objetivos para a manutenção das estruturas. A recente norma NBR 15.575:2013¹ define requisitos a serem atendidos pelas edificações quanto ao desempenho acústico e térmico, à segurança contra incêndio, à estanqueidade, à segurança estrutural, à durabilidade e manutenibilidade, dentre outros. Especificamente quanto à manutenibilidade, a referida norma recomenda que a manutenção seja feita com base no *manual de operação, uso e manutenção*, que deve ser fornecido pelo incorporador ou construtor. Essa norma é uma iniciativa que facilitará demasiadamente a manutenção e a garantia do cumprimento da vida útil prevista para uma estrutura.

As demais estruturas, como as Obras de Arte Especiais - OAEs, barragens, galerias e outras não contempladas pela NBR 12.575:2013 devem seguir as diretrizes para a durabilidade definidas pela NBR 6118:2014 e os requisitos para o concreto definidos na NBR 12.655:2006. Neste trabalho, são tomadas como base nas prescrições da NBR 6118:2014, a primeira norma brasileira a estabelecer critérios explícitos sobre durabilidade na etapa de projeto, e nas prescrições aplicáveis da NBR 12.655:2006.

Com o objetivo de avaliar estruturas de concreto, foi desenvolvida no Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília (UnB) uma metodologia para classificação de danos e avaliação da deterioração de estruturas de concreto armado de edificações usuais, que estabelece critérios para a classificação de danos que permitem calcular o grau de deterioração dos elementos estruturais isolados e da estrutura como um todo, indicando as ações necessárias ao desenvolvimento da vida útil prevista (BOLDO, 2002).

A metodologia, denominada GDE/UnB, prevê a realização de inspeções periódicas por engenheiros e técnicos com experiência na área, objetivando avaliar os elementos estruturais nos mais variados aspectos - segurança, funcionalidade e estética, e já foi testada com bons resultados em edifícios com diversas concepções estruturais e destinações de uso. Mostrou-se também eficiente em um estudo que visava sua integração ao sistema de manutenção utilizado pelo Banco do Brasil às suas edificações em todo o território nacional (LOPES, 1998). Isto conduziu, ainda, a uma extensão da pesquisa objetivando a avaliação estrutural de edificações gerenciadas pela Diretoria de Obras Militares do Exército Brasileiro, em todo país (BOLDO, 2002). Ainda no âmbito do PECC, Fonseca (2007) aplicou a metodologia no Instituto Central de Ciências - ICC, localizado no campus da Universidade de Brasília - UnB.

Além das aplicações na avaliação de estruturas de edificações, a metodologia se mostrou aplicável a estruturas de Obras de Arte Especiais - OAEs. Euqueres (2011) aplicou a

¹ NBR 15.575:2013 - Edificações habitacionais - Desempenho

metodologia em onze pontes com comprimentos variando de 20m a 150m, todas localizadas no estado de Goiás.

Além das famílias e fatores propostos por Euqeres (2011), este manual inclui a alteração feita na equação de cálculo do *grau de deterioração da estrutura*, estudada nesta pesquisa.

A avaliação das estruturas é feita mediante um programa de inspeções, com o uso deste manual, e tem por objetivo contribuir para a definição das ações necessárias para a garantia da durabilidade das edificações e OAEs, nos aspectos de segurança, funcionalidade e estética, auxiliando a tomada de decisões de engenheiros e técnicos da área de manutenção e recuperação de estruturas.

2 PARÂMETROS DE INSPEÇÃO

2.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

2.1.1 Agressividade do ambiente

A NBR 6118:2014 apresenta prescrições genéricas sobre a durabilidade de estruturas de concreto, em função da agressividade do meio ambiente, relacionada às ações físicas e químicas previstas, independentemente da atuação de ações mecânicas, variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento. A Tabela 2.1, a seguir, apresenta uma classificação da agressividade do ambiente, extraída da Tabela 6.1, NBR 6118:2014, a ser considerada nos projetos de estruturas correntes:

Tabela 2.1 - Classes de agressividade ambiental (Adaptado de NBR 6118:2014)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Média	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a Industrial ^{a, b}	Grande
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c} Respingos de maré	Elevado

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

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

A avaliação da agressividade que um ambiente impõe a uma determinada estrutura depende não só de sua localização geográfica e destinação principal, como são os casos de ambientes rurais ou urbanos, mas também do tipo de agentes agressivos que atuam sobre a estrutura. A Tabela 2.1 ressalta diferenças importantes entre os ambientes industriais das Classe III e IV, levando em consideração que há diferentes tipos de indústrias e por isso diferentes intensidades de agressividade. Edificações onde funcionam indústrias de laticínios, refrigerantes ou de fertilizantes, mesmo podendo estar localizadas em uma área rural, são ambientes quimicamente agressivos e por isso o projetista responsável pelo seu projeto deve avaliar a possibilidade de considerar a Classe IV.

Para complementar o entendimento das diversas possibilidades de deterioração a que as estruturas de concreto armado e protendido estão sujeitas, a NBR 6118:2014 reserva um tópico aos mecanismos de envelhecimento e deterioração das estruturas de concreto. Esses mecanismos podem ser divididos em três grupos, conforme a Figura 1.

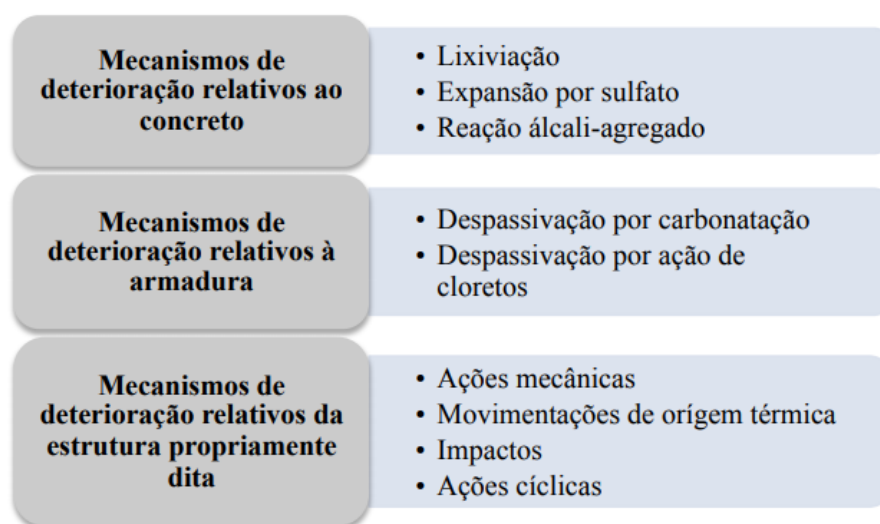


Figura 1 - Mecanismos de envelhecimento e deterioração das estruturas de concreto
(Adaptado de NBR 6118:2014)

O primeiro grupo trata dos ataques diretos ao concreto, causando o carreamento de materiais solúveis, como o hidróxido de cálcio - $\text{Ca}(\text{OH})_2$, deixando a estrutura do concreto mais porosa e acessível a agentes agressivos. Além do carreamento de seus materiais constituintes, o concreto está sujeito a reações que dão origem a produtos expansivos, que geram tensões internas que podem comprometer a integridade do concreto.

Da mesma forma que o concreto, o aço também está sujeito a deterioração, e o principal mecanismo é a sua corrosão. O aço em meio alcalino (pH em torno de 12,5) não apresenta as condições necessárias para o início do processo corrosivo, e nesse caso pode-se dizer que a armadura está passivada. A carbonatação do concreto e a ação de cloretos faz com que a armadura se despassive, permitindo então que o processo corrosivo se instale. Além dos fenômenos citados até agora, a estrutura ainda está sujeita a ações mecânicas, impactos, dentre outras, que causam danos que podem comprometer a vida útil da estrutura.

Um importante complemento normativo nacional às prescrições da NBR 6118:2014, é a NBR 12.655:2006, que ratifica as classes de agressividade ambiental apresentadas naquela norma, e traz requisitos específicos para os concretos em condições especiais de exposição, como a necessidade de baixa impermeabilidade a água, exposição a processos de congelamento e descongelamento ou a agentes químicos de degelo. Dependendo da condição de exposição são prescritos valores máximos para a relação água/cimento e valores mínimos para a resistência característica do concreto (f_{ck}).

No que se refere ao ataque do concreto por sulfatos, a NBR 12.655:2006 classifica a condição de exposição de acordo com a quantidade de sulfato solúvel (SO_4) em água no solo ou presente na água, conforme a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Requisitos para concreto exposto a solução com sulfatos (Adaptado de NBR 12.655:2014)

Condições de exposição em função da agressividade	Sulfato solúvel em água (SO_4) presente no solo (% em massa)	Sulfato solúvel (SO_4) presente a água (ppm)	Máxima relação água/cimento, em massa, para concreto com agregado normal*	Mínimo f_{ck} (para concreto com agregado normal ou leve) MPa
Fraca	0,00 a 0,10	0 a 150	--	--
Moderada**	0,10 a 0,20	150 a 1.500	0,50	35
Severa***	Acima de 0,20	Acima de 1.500	0,45	40

* Baixa relação água/cimento ou elevada resistência podem ser necessárias para a obtenção de baixa permeabilidade do concreto ou proteção contra a corrosão da armadura ou proteção a processos de congelamento e degelo.

** Água do mar.

*** Para condições severas de agressividade, devem ser obrigatoriamente usados cimentos resistentes a sulfatos.

Os sulfatos não oferecem riscos diretos à armadura, uma vez que atuam no concreto reagindo com os aluminatos presentes. Por outro lado, os cloretos atuam diretamente sobre as armaduras de reforço do concreto. Nesse sentido, a NBR 12.655:2014 define o valor máximo da concentração de cloretos no concreto endurecido, considerando a contribuição de todos os componentes do concreto no aporte de cloretos, conforme a Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Teor máximo de íons cloreto para proteção das armaduras do concreto

Tipo de estrutura	Teor máximo de íons cloreto (Cl^-) no concreto (% sobre a massa de cimento)
Concreto protendido	0,05
Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,15
Concreto armado em condições de exposição não severas (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura)	0,40
Outros tipos de construção em concreto armado	0,30

Apesar de serem requisitos específicos para o concreto e para o aço, as ações do ambiente sobre uma estrutura sempre apresentam efeitos colaterais. Um exemplo é a ação dos íons cloreto, que apesar de não afeta diretamente a microestrutura do concreto, pode criar as condições para o início do processo corrosivo. Os produtos de corrosão possuem volume muito maior que o do aço, provocando tensões internas. Se o concreto não resistir a esses esforços, fissuras serão abertas abrindo ainda mais caminhos para o acesso de agentes agressivos. Por outro lado, os sulfatos não atuam diretamente sobre as armaduras, mas se houver condições propícias, provocará reações expansivas fazendo com que o concreto se fissure, abrindo caminho para o CO₂ ou íons cloreto que despassivam as armaduras dando início ao processo corrosivo.

2.1.2 Identificação dos elementos estruturais

A aplicação da Metodologia GDE/UnB exige uma representação gráfica consistente da estrutura (plantas de fôrmas, cortes, croquis, etc.), que permita localizar e identificar, de maneira precisa, os elementos vistoriados, quanto à natureza, localização na estrutura, dimensões, tipos de ambiente, etc. É, também, essencial uma documentação fotográfica adequada da estrutura e das etapas da inspeção, que pode contribuir substancialmente para o processo de avaliação de danos e para a elaboração de diagnósticos e laudos técnicos.

Além do levantamento de toda a documentação disponível sobre a estrutura, na etapa de planejamento devem ser avaliadas as condições de acesso aos elementos estruturais. A depender da localização da estrutura, equipamentos especiais podem ser necessários. No caso de pontes extensas sobre rios muito largos, são necessários barcos para o acesso a toda a extensão da face inferior do tabuleiro. Em inspeções mais detalhadas de viadutos ou pontes muito altas, pode ser necessário o uso de cordas e técnicas de alpinismo para o acesso pormenorizado a toda a estrutura.

2.2 Conceituação dos tipos frequentes de danos em estruturas de concreto

Apresenta-se, a seguir, uma listagem dos danos mais frequentes em estruturas de concreto, em ordem alfabética, com uma conceituação concisa e sem se pretender esgotar os temas abordados. O objetivo é buscar maior uniformidade nas inspeções e padronizar a terminologia utilizada, de modo a permitir, posteriormente, a obtenção de resultados mais consistentes e menor subjetividade na quantificação dos danos com o uso da formulação da Metodologia GDE/UnB. É indispensável destacar a importância da consulta a bibliografias complementares, algumas referenciadas neste texto.

a) Carbonatação:

Fenômeno decorrente da penetração na rede de poros do concreto do dióxido de carbono, CO₂, presente no ar, e de sua reação com os constituintes alcalinos da pasta de cimento, principalmente o hidróxido de cálcio. A carbonatação da cal reduz o pH do concreto e provoca a despassivação das armaduras, ou seja, a redução da sua capacidade de proteção do aço contra a corrosão. A carbonatação pode ser detectada por meio de um ensaio simples, com a aplicação na superfície do concreto de uma solução de fenolftaleína com indicador. A parte carbonatada do concreto deve ficar incolor ($pH < 8,5$) e a não carbonatada adquire a cor vermelho-carmim.

b) Cobrimento deficiente:

A NBR 6118:2014 recomenda que o projeto e a execução dos elementos constitutivos das estruturas de concreto devem respeitar os valores prescritos para o cobrimento nominal (c_{nom}) da camada de concreto sobre as armaduras de aço, definido como o cobrimento mínimo acrescido de uma tolerância de execução (Δc). Quando houver um controle de qualidade rigoroso, pode ser adotado um valor $\Delta c = 5mm$. Em caso contrário, nas obras correntes, deve ser, no mínimo, $\Delta c = 10 mm$, resultando nos cobrimentos nominais indicados na Tabela 2.4.

Segundo a norma, os cobrimentos nominais e mínimos são sempre referidos à superfície da armadura mais externa, em geral os estribos. O cobrimento nominal de uma determinada barra deve sempre ser:

$$c_{nom} \geq \Phi_{barra} \quad (\text{Expressão 1.1})$$

$$c_{nom} \geq \Phi_{feixe} = \Phi_n = \Phi \sqrt{n}$$

$$c_{nom} \geq 0,5 \Phi_{bainha}$$

Tabela 2.4 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para $\Delta c = 10 mm$ (Adaptado de NBR 6118:2014)

c_{nom} (mm)	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV ³⁾
Concreto armado	Laje ²⁾	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	55
Concreto protendido ¹⁾	Todos	30	35	45	55

¹⁾ Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

²⁾ Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos, e outros tantos, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelo exposto abaixo da tabela, respeitado um cobrimento nominal $\geq 15mm$.

³⁾ As faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos devem ter cobrimento nominal $\geq 45mm$.

c) Contaminação por cloretos:

Contaminação do concreto causada pelo emprego na execução do concreto de aditivos à base de cloretos, com teor excessivo, ou pela penetração de cloretos presentes no meio ambiente, como no caso de regiões à beira-mar. É um dano comum em peças pré-moldadas, quando se pretende acelerar a cura com aditivos à base de cloretos. As manifestações mais comuns são as fissuras, locais ou generalizadas, sobre as armaduras e a presença de manchas no concreto pela retenção de umidade, frequentemente com a criação de fungos. Os cloretos podem ser também incorporados ao concreto pelo uso de água da rede pública no amassamento ou introduzidos nas

operações de limpeza de pisos e fachadas, com a utilização de soluções de *HCl* em baixas concentrações (ácido muriático) (Nepomuceno, 1999).

d) Corrosão de armaduras:

A corrosão é um processo físico-químico gerador de óxidos e hidróxidos de ferro, produtos que ocupam um volume significativamente superior (em até 6 vezes) ao volume original das armaduras, sujeitando o concreto a elevadas tensões de tração (da ordem de até *15 MPa*). Essas tensões ocasionam a fissuração do concreto e o posterior lascamento da camada de cobrimento do concreto (Cánovas, 1988). No seu início, a corrosão se manifesta na superfície do elemento estrutural com o aparecimento de manchas marrom-avermelhadas ou esverdeadas, em razão da lixiviação do concreto (dissolução e arraste do hidróxido de cálcio da massa endurecida) dos produtos de corrosão, evoluindo com o tempo e podendo chegar até à perda total da seção da armadura.

e) Desagregação do concreto:

Fenômeno característico de ataques químicos do concreto, em formas diversas - lixiviação, reação álcali-agregado, reações expansivas com sulfatos, com a separação física de placas ou fatias de concreto, comprometendo o monolitismo do elemento. Na maioria das vezes, causa a perda da resistência de engrenamento entre os agregados (aggregate interlock) e da capacidade aglomerante da pasta (Sousa, 1999). Pode ocorrer, também, por ações biológicas (raízes e micro-organismos) ou, ainda, por dosagem incorreta e execução deficiente do concreto, perante as ações dos agentes agressivos (abrasão, vento, chuva, etc.).

f) Deslocamento por empuxo:

Deslocamento proveniente da pressão ativa exercida por um maciço não-coesivo sobre um anteparo vertical. Nos muros, cortinas ou paredes de contenção de concreto é causado pelo empuxo de terra ou água. Esses elementos devem ser providos de drenos, para evitar o acúmulo de água no terrapleno que suporta e que resultaria em acréscimo do empuxo hidrostático. Os deslocamentos causados pela saturação do maciço podem, ainda, ser agravados pela passagem de veículos.

g) Desvios de geometria:

Perda da verticalidade e do alinhamento de elementos estruturais em relação ao seu eixo, produzindo excentricidade adicional das forças atuantes. Pode ter como causas: deficiências na execução por movimentação ou incorreção de fôrmas e escoamentos ou por movimentação da estrutura, pela ação de esforços imprevistos ou não considerados corretamente no projeto.

h) Eflorescência em superfícies de concreto:

Precipitação de crostas brancas de carbonato de cálcio na superfície do concreto, quando os produtos da lixiviação interagem com o CO_2 presente no ar. Essa precipitação resulta da ação de águas puras e brandas no concreto, causando a hidrólise da pasta de cimento e dissolução dos produtos de cálcio. Teoricamente, a hidrólise da pasta continua até que a maior parte do hidróxido de cálcio tenha sido retirada por lixiviação, expondo os outros constituintes cimentícios à decomposição química. O processo produz géis de sílica e alumina, com pouca ou nenhuma resistência, e conseqüente perda significativa da resistência da pasta de cimento pela lixiviação da cal (Mehta, 1994). O fenômeno causa aumento da porosidade do concreto, sendo considerado similar à osteoporose do osso humano e podendo levar, em um espaço de tempo relativamente curto, à ruína do elemento estrutural (Souza, 1999). O pesquisador russo

Skrylnikov (1933) chamava, figuradamente, esta forma de deterioração de “a morte branca do concreto” (apud Moskvín, 1980).

i) Falhas de concretagem (nichos ou ninhos de concreto):

Deficiência na concretagem da peça, com a ocorrência de vazios e exposição de agregados, por um ou mais dos fatores: dosagem inadequada do concreto, diâmetro máximo do agregado gráúdo não condizente com as dimensões da peça, lançamento e/ou adensamento inadequados, taxas excessivas e espaçamento inadequado de armaduras e perda de nata de cimento por aberturas nas formas. Pode haver situações em que não somente os agregados ficam expostos, mas haja exposição de barras das armaduras dos elementos estruturais, propiciando o início de processo corrosivo.

j) Fissuração inaceitável:

A fissuração em elementos estruturais de concreto armado é inevitável, devido à variabilidade do concreto e à sua baixa resistência aos esforços de tração. No entanto a abertura das fissuras deve ser controlada de modo a se garantir a proteção das armaduras à corrosão e também promover a aceitabilidade sensorial dos usuários.

A NBR 6118: 2014 prescreve que a fissuração em elementos de concreto é nociva quando a abertura das fissuras na superfície ultrapassa os seguintes valores:

- Armaduras passivas: desde que a abertura característica das fissuras (w_k) fique entre 0,2mm e 0,4mm para as combinações frequentes, não representam importância significativa para a corrosão das armaduras;
- Armaduras ativas: há a possibilidade de corrosão sob tensão, portanto esses limites devem ser avaliados com base na Classe de Agressividade Ambiental - CAA (Tabela 2.1). Em resumo, pode-se dizer que não são aceitas fissuras para a protensão limitada e completa. No caso da protensão parcial, são aceitas fissuras menores que 0,2mm apenas para a CAA I;
- Aceitabilidade sensorial: mesmo que as fissuras estejam abaixo dos limites indicados na NBR 6118:2014, elas não devem causar desconforto psicológico aos usuários, o que geralmente ocorre com fissuras ativas.

k) Flechas excessivas:

A NBR 6118: 2014 prescreve limites para os deslocamentos das peças de estruturas de concreto, fazendo distinção entre a “aceitabilidade sensorial”, para prevenir a ocorrência sensações desagradáveis aos usuários, efeitos específicos referentes à utilização da estrutura, efeitos nos elementos não estruturais e efeitos nos elementos estruturais (Tabela 2.5).

Tabela 2.5 - Limites para deslocamentos em estruturas de concreto armado e protendido (NBR 6118:2014)

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplos	Deslocamento a considerar	Deslocamento limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	L/200
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	L/350
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	L/250
Efeitos em elementos estruturais	Afastamento em relação à hipóteses de cálculo adotadas	Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-os ao modelo estrutural adotado.		

Foram transcritos na Tabela 2.5 apenas alguns valores aplicáveis às estruturas de Obras de Arte Especiais - AOE's, sendo deixados fora aqueles referentes aos efeitos em elementos não estruturais, como paredes, forros e pontes rolantes.

I) Manchas:

Ocorrência de manchas escuras em superfícies de concreto, causadas pela contaminação por fungos, mofo, etc., principalmente nas partes expostas da estrutura. Nessa categoria de danos, não devem ser consideradas outras manchas como as relacionadas à corrosão e eflorescências.

m) Obstrução de juntas de dilatação:

A junta de dilatação é uma separação física entre partes de uma estrutura, para que possam ocorrer movimentos sem a transmissão de forças e deslocamentos entre os elementos separados pela junta. A presença de material rígido ou o material de preenchimento da junta que tenha perdido a sua elasticidade produz tensões indesejáveis na estrutura, podendo ocasionar fissuras em elementos estruturais adjacentes à junta. Os sistemas de vedação e enchimento das juntas devem acomodar a amplitude dos seus movimentos.

n) Recalque de fundações:

O recalque provoca movimentação na estrutura que, conforme o seu tipo, pode ser afetada pelo assentamento total máximo (recalque uniforme), pela inclinação uniforme (desaprumo) ou por assentamentos diferenciais (recalques diferenciais e distorções angulares).

Os recalques distorcionais das fundações não são admissíveis estruturalmente, ocorrendo por deformações excessivas, e podem ser causados por um ou mais dos seguintes fatores: estimativa incorreta de cargas no cálculo estrutural; avaliação errônea dos esforços provenientes da estrutura sobre as fundações; modelos inconvenientes de cálculo das fundações; ausência, insuficiência ou má qualidade das investigações geotécnicas; má interpretação dos resultados da investigação geotécnica; adoção inadequada da tensão admissível do solo ou da cota de apoio das fundações; influências externas (escavações ou deslizamentos não previsíveis,

agressividade ambiental, enchentes, construções vizinhas, descalçamento das fundações por escavações vizinhas); colapso do solo (por exemplo, devido à ruptura de tubulações subterrâneas ou vazamentos em reservatórios subterrâneos); alteração do nível do lençol freático; modificação no carregamento devido a mudança de utilização da estrutura (alargamentos das OAEs), efeito piscina (entupimento de drenos), sobrecargas não previstas; cargas dinâmicas (vibrações, tremores de terra, etc.) e, por fim, falhas de manutenção em obras críticas.

o) Sinais de esmagamento do concreto:

Processo de desintegração do concreto, podendo ser causado por erros de cálculo, sobrecargas excessivas, redistribuição de esforços ou movimentação da estrutura. No caso de pilares, caracteriza-se pelo aparecimento de fissuras diagonais e/ou verticais, podendo evoluir para um intenso lascamento do concreto, com perda de seção e flambagem das armaduras. Há também o caso de falhas nos aparelhos de apoio, que deveriam transmitir os esforços entre dois elementos estruturais, liberando alguns movimentos e suas respectivas reações. Nesse último caso ocorre o contato direto entre os dois elementos, causando concentração de tensões e posterior esmagamento do concreto.

p) Umidade excessiva na infra-estrutura:

A umidade excessiva na base de pilares e/ou em blocos de fundação, pela seu potencial agravamento com o favorecimento de recalques, é considerada um dano específico. Pode ser proveniente de deficiência no escoamento de águas pluviais, vazamento em tubulações da própria edificação ou adjacentes, vazamento em reservatórios enterrados, etc.

3 CÁLCULO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DOS ELEMENTOS E DA ESTRUTURA

3.1 Preliminares

São apresentados, a seguir, os parâmetros para aplicação da metodologia que visa quantificar os graus de deterioração dos elementos e da estrutura. Partindo dos fatores de ponderação e de intensidade dos danos nos elementos, faz-se a determinação sequencial dos graus dos danos existentes em cada elemento estrutural, dos graus de deterioração dos elementos e das famílias de elementos de mesma natureza, e, por fim, do grau de deterioração da estrutura, conforme proposto por Castro, Clímaco e Nepomuceno (1995).

O Anexo 2 deste roteiro apresenta as tabelas A.2, a serem preenchidas mediante inspeções da estrutura por técnicos treinados. Como complemento da inspeção da estrutura, e com o objetivo de confrontar os resultados da aplicação da metodologia com a situação física real da edificação, é altamente recomendável que seja feita uma ampla documentação fotográfica, que deverá constar do Relatório de Avaliação.

3.2 Fator de ponderação do dano (F_p)

Fator que visa quantificar a importância relativa de um determinado dano, no que se refere às condições gerais de estética, funcionalidade e segurança dos elementos de uma família, tendo em vista as manifestações patológicas passíveis de serem neles detectadas. Para sua definição são estabelecidos os problemas mais relevantes quanto aos aspectos de durabilidade e segurança estrutural. Assim, para cada manifestação patológica, e em função da família de elementos que

apresentam o problema, foi estabelecido um grau numa escala de 1 a 5. Uma determinada manifestação patológica pode ter fatores de ponderação diferentes de acordo com as características da família onde o elemento se insere, dependendo das consequências que o dano possa acarretar.

3.3 Fator de intensidade do dano (F_i)

Fator que classifica a gravidade e evolução de uma manifestação de dano em um determinado elemento, segundo uma escala de 0 a 4, como segue:

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

A Tabela A.1 do Anexo 2 deste texto apresenta uma classificação dos danos mais frequentes em edificações usuais com estrutura de concreto armado, com uma identificação do nível de gravidade das lesões e descrição sucinta das intensidades das manifestações, conforme características específicas, para fins de aplicação desta metodologia.

O Anexo 3 deste roteiro, com fotos ilustrativas, foi inserido com a finalidade de facilitar a identificação dos danos e a atribuição dos fatores de intensidade.

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

O grau de cada dano no elemento estrutural é calculado em função do fator de ponderação (F_p) e respectivo fator de intensidade (F_i), atribuídos conforme este Roteiro de Inspeção. A formulação original e os procedimentos para o cálculo dos graus de deterioração dos elementos, das famílias de elementos e da estrutura (global) são apresentados no artigo de Castro, Clímaco e Nepomuceno (1995). Essa formulação foi posteriormente aperfeiçoada nos trabalhos de Lopes (1998) e Boldo (2002), com base em dezenas de aplicações da metodologia.

No Anexo 1, são apresentadas as fórmulas para o cálculo do Grau do Dano (D), Grau de deterioração do elemento (G_{de}), Grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df}) e Grau de deterioração da estrutura (G_d).

4 PLANILHAS DE DANOS PARA FAMÍLIAS DE ELEMENTOS ESTRUTURAIIS

A Tabela A.2 apresenta as planilhas específicas para as famílias de elementos mais comuns em estruturas de concreto de edificações usuais, com os danos possíveis e os respectivos fatores de ponderação, para uso na presente metodologia. Os fatores sugeridos na tabela foram definidos a partir de uma gama extensa de testes de aplicação (Castro, 1994; Lopes, 1998; Boldo, 2002). Os valores numéricos atribuídos aos fatores não devem, no entanto, ser encarados de forma determinística, podendo ser modificados, segundo as indicações de cada análise específica.

REFERÊNCIAS DO APÊNDICE

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**, Rio de Janeiro, 2014, 238p.
- BOLDO, P. **Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2002. 295p.
- BOLDO, P., CLÍMACO, J. C. T. S. Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro, In: XXX Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural, Brasília, DF, 2002.
- CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: Pini, 1988. 522 p.
- CAPUTO, H.P. **Mecânica dos Solos e suas aplicações**, v. 2, Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., Rio de Janeiro, 1981.
- CASTRO, E. K. **Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1994. 185 p.
- CASTRO, E. K., CLÍMACO, J. C. T. S., NEPOMUCENO, A. A. (1995) - Desenvolvimento de uma metodologia de manutenção de estruturas de concreto armado", 37º. Congresso Brasileiro do Concreto, Instituto Brasileiro do Concreto - Ibracon, **Anais**, v.1, pp. 293-307, Goiânia.
- CASTRO, E. K., CLÍMACO, J. C. T. S. - Avaliação da estrutura de uma edificação residencial após o reparo de elementos danificados. In: 41º Congresso Brasileiro do Concreto, Instituto Brasileiro do Concreto - Ibracon, **Anais**, Salvador, 1999.
- CLÍMACO, J. C. T. S, NEPOMUCENO, A. A. **Patologia, recuperação e manutenção de estruturas**, Notas de Aula, Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, 1999.
- FONSECA, R. P. **A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007. 213 p.
- LOPES, B. A. R. **Sistema de manutenção predial para grades estoques de edifícios: Estudo para inclusão do componente "Estrutura de Concreto"**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1998. 308 p.

LOPES, B. A. R.; CLÍMACO; J. C. T. S., NEPOMUCENO; A. A., CASTRO; E. K. Sistema de manutenção para grandes estoques de edifícios. In: CONPAT 99, **Anais**, v. 3, p. 18971905, Montevideú, Uruguai, 1999.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.

MOSKVIN, V.; IVANOV, F.; ALEKSEYEV, S.; GUZEYEV, E. *Concrete and Reinforced Concrete Deterioration and Protection*, Mir Publishers, Moscow, Russia, 1983.

SOUZA, V. C. RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1999. 257 p.

VARGAS, M. Introdução à Mecânica dos Solos”, Editora McGraw-Hill, São Paulo, 1981.

ANEXO 1

Formulação para avaliação quantitativa da deterioração de estruturas de concreto e ações recomendadas segundo os níveis de deterioração

Grau de um Dano (D)

$$D = 0,8 F_i F_p \quad \text{para } F_i \leq 2,0$$

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

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

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

Tabela 1 – Classificação dos níveis de deterioração do elemento e ações recomendadas

Nível de deterioração	G_{de}	Ações recomendadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 - 50	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).
Alto	50 - 80	Definir prazo para inspeção especializada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 ano).
Sofrível	80 - 100	Definir prazo para inspeção especializada rigorosa. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses).
Crítico	> 100	Inspeção especializada imediata e medidas emergenciais (alívio de cargas, escoramento, etc.). Planejar intervenção imediata.

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

$$G_{df} = G_{de,m\acute{a}x} \sqrt{1 + \frac{\left(\sum_{i=1}^m G_{de,i} \right) - G_{de,m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^m G_{de,i}}}$$

Fatores de relevância estrutural das famílias de elementos (F_r)

Família	F_r
Barreiras, guarda-corpo, guarda rodas, pista de rolamento	1
Juntas de dilatação	2
Transversinas, cortinas, alas	3
Lajes, fundações, vigas secundárias, aparelhos de apoio	4
Vigas e pilares principais	5

Grau de Deterioração da Estrutura (Gd)

$$G_d = \frac{K_{m\acute{a}x}}{7,07} \sqrt{1 + \frac{\left(\sum_{i=1}^k K_i\right) - K_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^k K_i}}$$

Tabela 2 – Classificação dos níveis de deterioração da estrutura e ações recomendadas

Nível de deterioração	G_{de}	Ações recomendadas
Baixo	$0 > 15$	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	$15 - 50$	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).
Alto	$50 - 80$	Definir prazo para inspeção especializada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 ano).
Sofrível	$80 > 100$	Definir prazo para inspeção especializada rigorosa. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses).
Crítico	> 100	Inspeção especializada imediata e medidas emergenciais (alívio de cargas, escoramento, etc.). Planejar intervenção imediata.

ANEXO 2

Tabelas de classificação dos fatores
de intensidade e de ponderação dos
danos

Tabela A.1: Classificação dos danos e fatores de intensidade (F_i)

Tipos de danos	Valores de F_i
Carbonatação	1 → localizada, com regiões com $\text{pH} < 9$, sem afetar as armaduras. 2 → localizada, atingindo a armadura, em ambiente seco. 3 → localizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido. 4 → generalizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido.
Cobrimento deficiente	1 → menores que os previstos em norma sem, no entanto, permitir a localização da armadura. 2 → menor que o previsto em norma, permitindo a localização visual da armadura ou armadura exposta em pequenas extensões. 3 → deficiente, com armaduras expostas em extensões significativas.
Contaminação por cloretos	2 → elementos abrigados sem umidade 3 → elementos no exterior sem umidade 4 → ambientes úmidos.
Corrosão de armaduras	2 → manifestações leves, pequenas manchas. 3 → grandes manchas e/ou fissuras de corrosão. 4 → corrosão acentuada da armadura principal, com perda relevante de seção ($> 20\%$ do diâmetro).
Desagregação	2 → início de manifestação. 3 → manifestações leves, início de estofamento do concreto. 4 → por perda acentuada de seção e esfrelamento do concreto.
Deslocamento por empuxo	3 → deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, estável. 4 → deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, instável.
Desplacamento	2 → pequenas escamações do concreto. 3 → lascamento de grandes proporções, com exposição da armadura. 4 → lascamento acentuado com perda relevante de seção.
Desvios de Geometria	2 → pilares e cortinas com excentricidade $e \leq h/100$ ($h = \text{altura}$). 3 → pilares e cortinas com excentricidade $h/100 \leq e < h/50$. 4 → pilares e cortinas com excentricidade $e \geq h/50$.
Eflorescência	1 → início de manifestações. 2 → manchas de pequenas dimensões. 3 → manchas acentuadas, em grandes extensões. 4 → grandes formações de crostas de carbonato de cálcio (estalactites).
Falha de concretagem	1 → superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça. 2 → significativa em relação às dimensões da peça. 3 → significativa em relação às dimensões da peça, com ampla exposição da armadura. 4 → perda relevante da seção transversal da peça ($> 20\%$ da área).
Fissuras	1 → abertura menores do que as máximas previstas em norma. 2 → estabilizadas, com abertura até 40% acima dos limites de norma. 3 → aberturas excessivas; estabilizadas. 4 → aberturas excessivas; não estabilizadas.

Tabela A.2: Classificação dos danos e fatores de intensidade (Fi)

Tipos de danos	Valores do Fator de Intensidade do Dano
Flechas	<p>1 → não perceptíveis a olho nu.</p> <p>2 → perceptíveis a olho nu, dentro dos limites previstos na norma.</p> <p>3 → superiores em até 40% às previstas na norma.</p> <p>4 → excessivas.</p>
Impermeabilização deficiente	<p>2 → danos na camada protetora e/ou perda de elasticidade do material da impermeabilização.</p> <p>3 → descontinuada, degradada em alguns pontos (pontos de infiltração).</p> <p>4 → degradação acentuada, com perda relevante da estanqueidade.</p>
Infiltração de água	<p>1 → indícios de umidade.</p> <p>2 → pequenas manchas.</p> <p>3 → grandes manchas.</p> <p>4 → generalizada.</p>
Manchas	<p>2 → manchas escuras de pouca extensão, mas significativas (< 50% da área visível do elemento estrutural).</p> <p>3 → manchas escuras de grande extensão (>50%).</p> <p>4 → manchas escuras em todo o elemento estrutural (100%).</p>
Obstrução de juntas de dilatação	<p>2 → perda de elasticidade do material da junta; início de fissuras paralelas às juntas nas lajes e paredes adjacentes.</p> <p>3 → presença de material não compressível na junta; incidência significativa de fissuras paralelas às juntas nas lajes e paredes adjacentes.</p> <p>4 → fissuras em lajes e paredes adjacentes às juntas, com prolongamento em vigas e/ou pilares de suporte.</p>
Recalques	<p>2 → indícios de recalque pelas características das trincas na alvenaria;</p> <p>3 → recalque estabilizado com fissuras em peças estruturais.</p> <p>4 → recalque não estabilizado com fissuras em peças estruturais.</p>
Sinais de esmagamento do concreto	<p>3 → desintegração do concreto na extremidade superior do pilar, causada por sobrecarga ou movimentação da estrutura; fissuras diagonais isoladas.</p> <p>4 → fissuras bi-diagonais, com lascamento e/ou esmagamento do concreto por cisalhamento-compressão, com perda substancial de material; exposição e início de flambagem de armaduras.</p>

Tabela B.1: Famílias de elementos estruturais e fatores de ponderação (F_p)**PILARES**

Nome do Elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Carbonatação do concreto	3			
Cobrimento deficiente	3			
Contaminação por cloretos	4			
Corrosão de armaduras	5			
Desagregação	3			
Desplacamento	3			
Desvio de geometria	4			
Eflorescência	2			
Falha de concretagem	3			
Fissuras	2 a 5*			
Manchas	3			
Recalque	5			
Sinais de esmagamento	5			
Umidade excessiva na infraestrutura	4			

* Consultar Tabelas C

VIGAS E TRANSVERSINAS

Nome do elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Carbonatação do concreto	3			
Cobrimento deficiente	3			
Contaminação por cloretos	4			
Corrosão de armaduras	5			
Desagregação	3			
Desplacamento	3			
Eflorescência	2			
Fissuras	2 a 5*			
Falhas de concretagem	2			
Flechas	5			
Infiltração de água	3			
Manchas	3			
Sinais de esmagamento	5			

* Consultar Tabelas C

Tabela B.2: Famílias de elementos estruturais e fatores de ponderação (F_p)**LAJES**

Nome do elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Carbonatação do concreto	3			
Cobrimento deficiente	3			
Contaminação por cloretos	3			
Corrosão de armaduras	5			
Desagregação	3			
Desplacamento	3			
Eflorescência	2			
Falhas de concretagem	2			
Fissuras	2 a 5*			
Flechas	5			
Infiltração de água	3			
Manchas	3			

* Consultar Tabelas C

GUARDA-CORPOS, BARREIRAS, GUARDA-RODAS

Nome do elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Carbonatação do concreto	3			
Cobrimento deficiente	3			
Contaminação por cloretos	4			
Corrosão de armaduras	5			
Desagregação	3			
Desplacamento	3			
Eflorescência	2			
Falha de concretagem	2			
Fissuras	2 a 5*			
Manchas	3			
Sinais de esmagamento	4			

* Consultar Tabelas C

Tabela B.3: Famílias de elementos estruturais e fatores de ponderação (F_p)

CORTINAS, ALAS

Nome do elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Carbonatação do concreto	3			
Cobrimento deficiente	3			
Contaminação por cloretos	4			
Corrosão de armaduras	5			
Desagregação	3			
Deslocamento por empuxo	5			
Desplacamento	3			
Desvio de geometria	3			
Eflorescência	2			
Falha de concretagem	2			
Fissuras	2 a 5*			
Infiltração de água	3			
Manchas	3			
Sinais de esmagamento	5			

* Consultar Tabelas C

BLOCOS DE FUNDAÇÃO

Nome do elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Carbonatação do concreto	3			
Cobrimento deficiente	3			
Contaminação por cloretos	4			
Corrosão de armaduras	5			
Desagregação	3			
Desplacamento	3			
Eflorescência	2			
Falha de concretagem	3			
Fissuras	2 a 5*			
Recalque	5			
Sinais de esmagamento	5			
Umidade excessiva na infraestrutura	3			

* Consultar Tabelas C

Tabela B.4: Famílias de elementos estruturais e fatores de ponderação (F_p)**JUNTAS DE DILATAÇÃO**

Nome do elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Obstrução de junta	5			
Desgaste do material de preenchimento da junta	5			
Umidade	5			

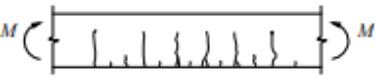
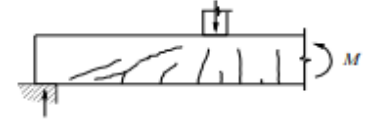

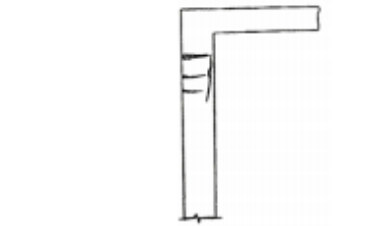
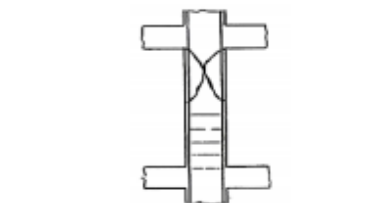
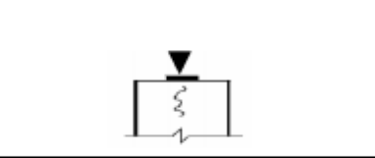
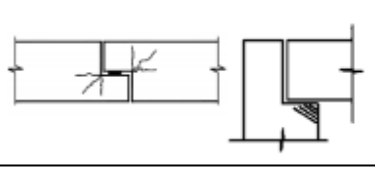

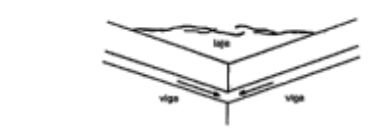
PISTA DE ROLAMENTO


Nome do elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Descontinuidade	5			
Desgaste superficial	5			
Desgaste da sinalização	5			

Tabela C.1: Classificação de fissuras em elementos de concreto armado e fatores de ponderação indicados (F_p)

	Fissuras*	Descrição	Croquis	F_p
ESTADO PLÁSTICO	De retração plástica do concreto	<ul style="list-style-type: none"> - comuns em lajes e paredes. - aproximadamente paralelas, superficiais e afastadas entre si de 0,3 a 1 m. 		2
	De assentamento do concreto	<ul style="list-style-type: none"> - sobre as armaduras. - em pilares, ficam abaixo dos estribos. - interação com armaduras vizinhas. 		3
	De movimentação de fôrmas	<ul style="list-style-type: none"> - indicam posicionamento e/ou fixação incorretos ou resistência insuficiente de fôrmas/escoramentos 		3
ESTADO ENDURECIDO	De retração do concreto por secagem	<ul style="list-style-type: none"> - fissuras em pilares e/ou vigas, por diferença grande de rigidezes (a). - aspecto de mosaico em lajes e paredes, podendo aparecer em ambas as faces (b). - indicam restrição de movimentos. - profundidade reduzida. - aberturas < 0,1 a 0,2 mm. 	<p>(a)</p> <p>(b)</p>	3
	Mapeadas	<ul style="list-style-type: none"> - mais visíveis em superfícies lisas de lajes e paredes. - abertura e extensão reduzidas. - superfícies de concreto com desempenho excessivo. - danos só estéticos, em geral 		2
	De variações de temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - em geral, normais ao eixo de elementos lineares, - indicam restrição de movimento por mau funcionamento de juntas de dilatação ou sua ausência. 	<p>Fissuras</p> <p>Quente/Frio</p> <p>Fissura</p>	3

Tabela C.2: Classificação de fissuras em elementos de concreto armado e fatores de ponderação indicados (F_p)

ERROS DE PROJETO/ EXECUÇÃO OU CARGAS EXCESSIVAS	Fissuras*	Descrição	Croquis	F_p
	De flexão	- normais ao eixo, em trechos de momento fletor elevado e com boa aderência aço-concreto.		4
	De força cortante e flexão	- mesma inclinação nas duas faces. - podem entrar na zona de compressão e se dirigir aos apoios.		4
	De flexão, cortante e torção	- inclinações diferentes nas faces laterais, com menor abertura da fissura em uma das faces.		4
	De flexo-tração em pilares	- normais ao eixo do pilar na face tracionada e paralelas na face comprimida: podem indicar esmagamento do concreto. - mais próximas de extremidades com maior momento.		5
	De compressão	- paralelas ao eixo ou bi-digonais no centro iminência de ruptura. - indicam espaçamento excessivo ou deslocamento de estribos.		5
	De carga concentrada em área reduzida	- em apoios de pontes, estruturas pré-moldadas e apoios indiretos - indicam armadura deficiente de fretagem e mau detalhamento		3
	Em apoios do tipo Gerber (vigas e pilares)	- comuns em pontes e estruturas pré-moldadas. - indicam deficiência ao movimento em aparelhos de apoio e/ou detalhamento inadequado.		3
	De flexão em lajes	- na face inferior, saindo dos cantos e paralelas a bordos com continuidade ou vãos maiores. - na face superior, paralelas a bordos com continuidade.		4
De momentos volventes	- em cantos de lajes extremas, podendo surgir nas duas faces. - influenciadas por variações de temperatura e retração.		3	

	Fissuras*	Descrição	Croquis	F_p
	De punção	- traçado circunferencial e/ou radial em torno do pilar.		5

ANEXO 3

Fotos ilustrativas de danos em estruturas de concreto e fatores de intensidade sugeridos

FATORES DE INTENSIDADE (F_i) SUGERIDOSFigura 1: corrosão de armadura ($F_i = 2$)Figura 2: corrosão de armadura ($F_i = 3$)Figura 3: corrosão de armadura ($F_i = 4$)Figura 4: desagregação ($F_i = 2$)Figura 5: deslocamento ($F_i = 2$)Figura 6: deslocamento ($F_i = 3$)



Figura 7: deslocamento ($F_i = 4$)



Figura 8: eflorescência ($F_i = 2$)



Figura 9: eflorescência ($F_i = 3$)



Figura 10: eflorescência ($F_i = 4$)



Figura 11: falha de concretagem ($F_i = 1$)



Figura 12: falha de concretagem ($F_i = 2$)



Figura 13: falha de concretagem ($F_i = 3$)



Figura 14: falha de concretagem ($F_i = 3$)



Figura 15: falha de concretagem ($F_i = 4$)



Figura 16: manchas ($F_i = 2$)



Figura 17: manchas ($F_i = 3$)



Figura 18: manchas ($F_i = 4$)



Figura 19: sinais de esmagamento do concreto ($F_i = 3$)



Figura 20: sinais de esmagamento do concreto ($F_i = 4$)



Figura 21: flecha ($F_i = 4$)



Figura 22: recalque ($F_i = 4$)