

GILBERTO ADIB COURI

PERÍCIAS DE
ENGENHARIA

PATOLOGIAS EM
ESTRUTURAS DE CONCRETO

2ª Edição
Revisada e atualizada



São Paulo – SP
2023

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	35
INTRODUÇÃO	37

CAPÍTULO 1

ENGENHARIA LEGAL – CONCEITOS BÁSICOS.....	39
1.1 ENGENHARIA LEGAL E A INSPEÇÃO DAS EDIFICAÇÕES	39
1.2 NORMAS	42
1.3 INSPEÇÃO PREDIAL	52
1.4 RESPONSABILIDADE CIVIL	59
1.5 MANUTENÇÃO	63
1.5.1 Manutenção preventiva x corretiva.....	64
1.6 LAUDO TÉCNICO	68
1.6.1 Laudo extrajudicial.....	68
1.6.2 GUT – Gravidade, Urgência e Tendência.....	71
1.6.3 Laudo judicial	73
1.6.3.1 Processo judicial.....	74
1.6.4 Apresentação do laudo	75

CAPÍTULO 2

A ESTRUTURA NA EDIFICAÇÃO.....	81
2.1 PATOLOGIA NAS ESTRUTURAS – CAUSAS	84

CAPÍTULO 3

O CONCRETO	89
3.1 O MATERIAL	89
3.2 FATORES QUE INFLUENCIAM A QUALIDADE DO CONCRETO	89
3.3 CIMENTO	90
3.4 ADITIVOS	93
3.5 FATOR ÁGUA X CIMENTO	94
3.6 ATUAÇÃO DA ÁGUA NO CONCRETO	98

CAPÍTULO 4

DANOS DE ORIGEM FÍSICA	101
4.1 EXIGÊNCIAS DE QUALIDADE NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO	101
4.2 ESFORÇOS E TENSÕES	104
4.2.1 Translação Horizontal	104
4.2.2 Translação vertical	105
4.2.3 Rotação	106
4.3 ESTADOS LIMITES ÚLTIMO OU DE SERVIÇO	111
4.3.1 Segurança	112
4.3.2 Estados limite	113
4.3.2.1 Fase elástica	113
4.3.2.2 Fase elástica com início de formação de fissuras (ELS-F) ... 113	
4.3.2.3 Fase elástica com fissuração na região de tração	114
4.3.2.4 Fase plástica	114
4.4 PATOLOGIAS DE ORIGEM MECÂNICA	115
4.5 SOLICITAÇÕES	115
4.5.1 Lajes	116
4.5.2 Casos práticos de patologias em lajes	119
4.5.2.1 Recuperação com protensão externa	119

4.5.2.2 Laje em pré-ruína – recuperação com fitas de carbono	125
4.5.2.3 Piscina em cobertura – recuperação com fibra de carbono	130
4.5.3 Classificação de lajes	132
4.5.4 Punção	133
4.5.5 Pilares e vigas.....	135
4.5.6 Impacto, vibração e carregamento cíclico	141
4.5.6.1 Caso prático – Estrutura sujeita à vibração e carregamento cíclico	142
4.5.6 Varandas em balanço e marquises	143
4.5.7 Ruptura sucessiva.....	144
4.5.8 Variação de temperatura	147
4.5.9 Recalque diferencial	148
4.5.10 Problemas com formas	149
4.5.11 Fissuras horizontais em vigas.....	150
4.5.12 Concentração de ganchos numa seção	151
4.5.13 Retração.....	152
4.5.14 Cristalização salina	152
4.5.15 Abrasão.....	153
4.5.16 Erosão	153
4.5.17 Cavitação.....	154
4.5.18 Incêndio.....	155
4.5.19 Congelamento.....	155
4.5.20 Explosão	155
4.5.21 Outras causas	156

CAPÍTULO 5

DANOS DE ORIGEM QUÍMICA	157
5.1 CARBONATAÇÃO	159
5.2 ÍONS CLORETO (Cl⁻)	167
5.3 SULFATO (SO₄²⁻)	175
5.4 OUTRAS DETERIORAÇÕES	177
5.4.1 Reação Álcali-Agregado – RAA	177
5.4.2 Alumínio	179
5.4.3 Condensação de água	179
5.4.4 Excesso de insolação	179
5.4.5 Vento	180
5.4.6 Bacteriológica	180

CAPÍTULO 6

INCÊNDIO	181
6.1 CLASSES DE INCÊNDIO	185
6.2 A ORIGEM DO INCÊNDIO	187
6.2.1 Casos práticos	193
6.2.1.1 Fumaça negra oriunda de hidrocarbonetos, no incêndio de galpão da Av. Brasil	193
6.4 OS DANOS À ESTRUTURA	196
6.5 OBSERVAÇÕES COMPLEMENTARES	202

CAPÍTULO 7

EXPLOSÃO	211
7.1 ANÁLISE DOS IMPACTOS DA EXPLOSÃO	216
7.2 CASOS PRÁTICOS	218
7.2.1 Caso 1	218
7.2.2 Caso 2	220
7.2.3 Caso 3	222

CAPÍTULO 8

ENSAIOS E TESTES	225
8.1 EXAME À PERCUSSÃO	226
8.2 TESTES COM TESTEMUNHOS DE ATIVIDADE DE FISSURAS.....	227
8.2.1 Fissurômetro	228
8.2.2 Cartão marcador.....	229
8.2.3 Selo em gesso.....	229
8.2.4 Selo em vidro.....	230
8.2.5 Pinos	231
8.3 IDENTIFICAÇÃO DAS ARMADURAS.....	232
8.4 DETERMINAÇÃO DO PH SUPERFICIAL DO CONCRETO	232
8.5 DETERMINAÇÃO DO pH A UMA DETERMINADA PROFUNDIDADE	233
8.6 VERIFICAÇÃO DA POROSIDADE	233
8.7 DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE CORROSÃO – DDP	234
8.8 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE CLORETOS E SULFATOS	235
8.9 DETERMINAÇÃO DO AVANÇO DA FRENTE DE CARBONATAÇÃO	236
8.10 ENSAIOS INDIRETOS PARA AVALIAR A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO IN LOCO	237
8.10.1 Esclerometria	237
8.10.2 Cravação de pinos.....	239
8.10.3 Ensaio de aderência.....	240
8.11 ENSAIOS DIRETOS PARA AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO... 241	
8.11.1 Compressão	241
8.11.2 Tração	241
8.11.2.1 Compressão diametral.....	241
8.11.2.2 Tração direta (corpo de prova).....	242
8.12 ENSAIOS DE INTEGRIDADE DO CONCRETO	242

8.12.1 Ultrassom	242
8.12.2 Termografia infravermelha	243
8.13 OUTROS TESTES	244
CAPÍTULO 9	
INTERVENÇÕES	245
9.1 RECUPERAÇÃO DE DANOS POR CAUSAS FÍSICAS	246
9.1.1 Desgaste superficial.....	246
9.1.2 Fissuras.....	248
9.1.2.1 Fissuras ativas	248
9.1.2.2 Fissuras passivas.....	249
9.2 RECUPERAÇÃO DE DANOS POR CAUSAS QUÍMICAS OU BIOLÓGICAS	250
9.2.1 Fissuras – Oxidação de armadura.....	251
9.2.1.1 Demarcação das regiões de intervenção	252
9.2.1.2 Demolição	252
9.2.1.3 Definição das regiões de intervenção	253
9.2.1.4 Retirada do concreto	256
9.2.1.5 Limpeza das armaduras (caso necessário).....	257
9.2.1.6 Substituição ou reforço de barras de aço (caso necessário).....	258
9.2.1.7 Preparo das armaduras a serem cobertas.....	259
9.2.1.8 Proteção catódica	260
9.2.1.9 Ponte de aderência	261
9.2.1.10 Saturação do substrato.....	262
9.2.1.11 Preparo da argamassa	262
9.2.1.12 Cura da argamassa	263
9.2.2 Sais de cálcio e magnésio	263
9.2.3 Sulfatos e RAA.....	264
9.2.4 Superfície contaminada por graxas e óleos.....	264

9.3 Reforço ou Recuperação de Armadura	264
9.4 Infiltrações	269
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	271
REFERÊNCIAS DIGITAIS.....	277
NOTAS.....	278

APRESENTAÇÃO

É digna de vibrante satisfação a iniciativa de Gilberto Adib Couri de nos oferecer estas referências fundamentais à análise e ao entendimento do desempenho das edificações, em especial no que toca às suas estruturas.

Na condição de professor e profissional de reconhecido destaque no meio técnico, em especial na área das perícias de engenharia, o autor aborda a matéria de forma abrangente com ponto de partida na Engenharia Legal e na importância do conhecimento de dispositivos legais e normativos aplicáveis a edificações e à atividade pericial.

A exposição é rica em informações e recheada de exemplos, o que lhe confere caráter eminentemente prático, como é da natureza de quem, como o autor, se dedica ao ensino. Essas qualidades são realçadas por texto objetivo e direto, como é do feitio dos bons peritos.

O sistema estrutural tem sua importância salientada por Couri que bem observa aspectos que o distingue frente a todos os demais, notadamente pela condição de garantir estabilidade e por isso mesmo, em hipótese alguma, poder falhar.

As estruturas de concreto armado, foco central da obra, são tratadas em detalhes, desde sua composição e do papel de cada um dos componentes até manifestações patológicas usualmente observadas, causas e efeitos esmiuçados, com trânsito pelas exigências de qualidade e pelo comportamento face a esforços e tensões.

Todas as possíveis gêneses de fatores capazes de afetar o desempenho do concreto são exploradas pelo autor, ao reunir informações preciosas para

a análise técnica de danos de origem física, química e biológica, sem deixar de lado fatores que comumente produzem efeitos de grande impacto, como é o caso dos incêndios e das explosões.

A atenção aos ensaios e testes, desde os mais simples até os mais complexos, é outro enfoque digno de destaque neste excelente trabalho por apresentar valioso leque de opções de apoio ao diagnóstico de comportamentos anômalos e à identificação dos respectivos nexos de causalidade.

Outro ponto explorado por Gilberto Couri, e que é alvo de grande interesse tanto para os profissionais da perícia quanto para engenheiros e arquitetos que se dedicam à recuperação estrutural, está focado nas intervenções que podem ser executadas para reforço ou para reparação. Roteiro de excepcional qualidade, com ilustrações, proporciona ao leitor desvendar os detalhes das ações necessárias às diversas modalidades de restauração.

“Perícias de Engenharia – Patologias em Estruturas de Concreto” certamente se tornará um marco na literatura técnica da engenharia brasileira. A riqueza da abordagem e a elevada qualidade das informações reunidas trazem para os profissionais que se dedicam à investigação de manifestações patológicas uma ferramenta que preenche importante espaço ainda não explorado em profundidade. Sem sombra de dúvida, a obra contribuirá significativamente para aprimorar trabalhos de consultoria e laudos periciais.

A formação diferenciada e o talento de Gilberto Adib Couri permitiram que isso tenha sido possível. Boa leitura.

Octavio Galvão Neto

INTRODUÇÃO

A engenharia é uma atividade que se desenvolve continuamente, ampliando os limites do conhecimento humano, permitindo que as outras atividades do homem sejam possíveis e se ampliem também.

A engenharia civil, como parte desse contexto, acompanha essa expansão das fronteiras do conhecimento humano, viabilizando, cada vez mais, obras grandiosas.

Como todas as especialidades da engenharia, a civil, está cada vez mais entrelaçada com as demais, havendo uma complementariedade entre elas.

Uma visão da atuação da engenharia civil classifica suas atividades em três grandes categorias: obras pesadas, montagem industrial e edificações.

Delas, a considerada de menor porte é a de edificações, porém é a que demanda maiores cuidados, pois congrega uma diversidade de itens, distintos e usualmente mais frágeis e menos duráveis.

Após a Segunda Grande Guerra, a reconstrução de uma quantidade enorme de edifícios, e a recuperação de outros tantos, despertou a atenção para a necessidade constante de se preservarem os prédios como atividade organizada.

Este livro visa apresentar alguns aspectos, que ao longo dos anos concentraram nossas atividades e atenção, e foi alvo de estudos e aprendizado contínuos.

A Engenharia Legal, ramo em desenvolvimento e que desperta o interesse progressivo de profissionais, tem demandado de seus militantes,

conhecimentos e forma de atuar que, por nossas atividades profissionais, permitiram coletar alguns procedimentos e conhecimentos, compilados sob a forma de texto.

Na verdade, esse livro nasceu da cobrança dos alunos, que demandavam que se organizassem as informações apresentadas em sala de aula, para que as tivessem sempre disponíveis.

A patologia, ramo antigo na área médica, passou recentemente a permeiar as preocupações dos engenheiros, e é uma visão que “veio para ficar”, e cada vez mais se faz necessária.

Hoje em dia há a clara percepção de que preservar edificações é importantíssimo e passa pela constatação que as demolir, para serem refeitas, tem, usualmente, obstáculos legais.

As legislações edilícias nas cidades ao longo do mundo, pelo crescente adensamento populacional, cada vez são mais restritivas, impedindo que se construam prédios de mesmo porte daqueles que seriam eventualmente demolidos.

Adicionalmente, o custo de se refazer um prédio, na maioria das situações, é muito superior ao custo de se reformar (“retrofitar”, como se usa atualmente).

Para isso, é importante que se conheçam as causas da deterioração dos prédios, e a partir de um diagnóstico, se prescrevam as intervenções necessárias.

Esperamos que os profissionais, e principalmente os ex-alunos, possam tirar proveito desse texto e que ele os auxilie no desempenho de suas atividades profissionais.

ENGENHARIA LEGAL – CONCEITOS BÁSICOS

Esse livro não é e nem pretende ser um livro de Direito, nem o autor é especialista no assunto, mas anos militando na área de engenharia legal nos levaram a colecionar um conjunto de informações que permitem auxiliar os profissionais atuantes na Engenharia Legal. Em algumas situações, poderia ajudar a orientar sua clientela da necessidade de buscar auxílio jurídico específico.

Isto esclarecido, é conveniente que o engenheiro que analisa uma situação de manifestação patológica estrutural tenha algum conhecimento do arcabouço legal que a acompanha.

1.1 ENGENHARIA LEGAL E A INSPEÇÃO DAS EDIFICAÇÕES

A Engenharia Legal é uma especialidade recente dentro da engenharia, e é bastante abrangente, pois congrega todas as outras especialidades, além de demandar conhecimentos específicos de áreas correlatas.

A visão primeira de quem se aproxima dessa especialidade é que ela está totalmente vinculada à área jurídica, sendo o apoio técnico que baseia e serve de suporte a uma enorme gama de demandas, algumas jurisdicionizadas, e outras resolvidas em fase anterior, pela demonstração técnica de uma ocorrência fática indiscutível.

A ESTRUTURA
NA EDIFICAÇÃO

A indústria da construção civil é uma atividade que tem características únicas, pois enquanto todas as outras indústrias criam uma fábrica e de lá produzem centenas e milhares de peças, enviando-as à clientela, a construção civil trabalha de modo *sui generis*. Ao se edificar uma obra, se faz necessário construir a “fábrica”, onde se produz apenas 1 produto. A partir daí a fábrica deve ser desmontada e o produto fabricado não é enviado aos clientes, mas os clientes vêm ao produto. Isto torna esta indústria única.

Além disso, um edifício, dos mais simples, tem ao menos 500 itens distintos de insumo, enquanto um prédio de padrão mais sofisticado costuma ter entre 2.500 e 3.000 itens. Isto caracteriza o produto dessa indústria, a edificação, como dos mais sofisticados existentes. Os demais produtos industrializados não chegam a ter mais de uma dezena de insumos

Pergunta-se: “*De todas as partes que compõem uma edificação, existe uma que deva ser olhada com mais cuidado?*”

Sem dúvida, e esta parte é a estrutura. E por quê?

A resposta deve ser analisada com critério.

De início, a estabilidade de uma edificação é fundamental. Assim, a estrutura, em nenhuma hipótese, pode falhar.

Outro motivo de suma importância, que faz com que a estrutura seja considerada item principal de cuidados, é o seu custo.

3.1 O MATERIAL

O concreto é um material não uniforme composto por agregado miúdo e graúdo cuja adesão se dá por um aglutinante. O aglomerante mais usado é o cimento, que para exercer sua função de ligante, depende de um catalizador, que é a água. O concreto torna-se então, uma rocha artificial e é um dos produtos mais utilizados no mundo

Ao concreto, adiciona-se uma armadura, que pode ser de aço doce – concreto armado, ou de aço duro – concreto protendido.

Nesse livro serão analisados alguns conceitos e informações necessários a uma análise técnica, e não serão abordados detalhes específicos que são pertinentes ao estudo detalhado das características dos materiais e do projeto estrutural.

3.2 FATORES QUE INFLUENCIAM A QUALIDADE DO CONCRETO

Os fatores principais que influenciam a qualidade de um concreto, e devem ser verificados para sua execução, são:

- Tipo de cimento, que deve ser adequado, a integridade de sua embalagem, a forma de estocagem e sua validade.

Uma edificação “sofre” por danos físicos, quando as causas que os provocam são tensões excessivas, desgastes superficiais ou deformações inaceitáveis.

Para analisar essas situações, é importante que seja avaliado o conjunto de esforços que sobre ela atua, e suas consequências.

Assim, se fará uma recordação dos conceitos básicos que regem o funcionamento estrutural, com vistas a auxiliar na análise patológica. Não se pretende esgotar o assunto de análise estrutural nessa obra, mas simplesmente recordar alguns princípios fundamentais do funcionamento estrutural.

4.1 EXIGÊNCIAS DE QUALIDADE NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

A qualidade de um produto pode ser considerada como a capacidade de atender a determinadas necessidades nas condições de uso previstas, devendo satisfazer às condições de segurança, higiene, conforto, funcionalidade, durabilidade e economia.

A norma brasileira que disciplina os critérios para projeto de estruturas de concreto é a NBR 6118, que exige o atendimento a três características de

Além dos danos de origem física, ocorrem também, nas estruturas de concreto, os danos de origem química, que se tornam importantes, principalmente, pela corrosão das armaduras.

Como já abordado anteriormente, os danos ao concreto, de origem biológica, serão tratados conjuntamente com os de origem química, pois seus mecanismos, usualmente, provocam situações similares.

A deterioração do concreto por reações químicas ocorre por reação catódica, lixiviação ou formação de produtos expansivos, levando à despassivação da armadura e permitindo sua exposição a ataques.

Como visto anteriormente, o pH do concreto é muito alto, ou seja, o concreto é alcalino. Em contato com um ácido, o concreto reage, reduzindo seu pH progressivamente. Quando este fica inferior a 9,0, o concreto já está com uma redução significativa de pH, que deve ser combatida.

A corrosão é um processo eletroquímico que ocorre nas armaduras, dentro do concreto, por um efeito “pilha”, conforme a seguir demonstrado. Ele é um processo natural e espontâneo do aço, que busca um estado de menor energia¹⁹, pois o aço é termodinamicamente instável e seu estado de energia

¹⁹ A produção de aço, é um processo de redução do carbono do minério de ferro, com adição de energia

Incêndio é toda situação em que o fogo não é controlado, e tem características próprias. Seu estudo compreende dois grandes temas no trabalho pericial:

- **O que originou o incêndio?**
Isto é o que determina a responsabilidade pelos danos materiais e eventuais óbitos ou ferimentos, o que envolve, dependendo do caso, perícia policial e trato com seguradoras (que não é o escopo desse livro);
- **Que danos ocorreram na edificação?**
Ela ainda é aproveitável? Pode ser recuperada em condições economicamente aceitáveis e convenientes, ou é melhor demoli-la? Isso envolve a análise da situação da estrutura e de seus outros componentes construtivos.

Antes de analisar esses dois temas, é importante relacionar alguns conceitos básicos sobre incêndios.

Um deles é conhecer o chamado “triângulo do fogo”, que na verdade tem um ponto adicional, pois além dos três elementos essenciais, há um central, que é a Reação em Cadeia, quando ocorre uma oxidação com emissão de luz e calor. Alguns autores costumam chamar isso de tetraedro do fogo.

Como se sabe da química, as reações provocam mudanças em dois níveis, na Matéria e na Energia.

Quando as reações são graduais, como nos casos estudados no Capítulo 6, a mudança de energia quase não é percebida, como ocorre nas situações de oxidação.

Quando as reações ocorrem num intervalo de tempo cada vez mais curto, a percepção de mudança na energia é crescente. Quando as reações químicas acontecem de forma súbita, a mudança percebida é sempre na energia que é desprendida em quantidades enormes.

A explosão, portanto, se caracteriza por uma liberação de energia momentânea a partir de uma reação química, que pode ocorrer por diversos motivos, mas o que efetivamente a caracteriza, é que não é controlada, e assim, tem seus efeitos imprevisíveis.

Nas edificações, as explosões podem provocar sérios danos. Quando restritos aos materiais divisórios e de acabamento, são facilmente repostos, mas quando provocam abalos estruturais, esses precisam ser entendidos e quantificados para se conhecer se houve comprometimento da capacidade e da estabilidade estrutural, e em que grau.

A ABNT publicou diversas normas sobre o assunto, das quais pode-se destacar:

A avaliação da situação em que se encontra uma estrutura inicia-se por uma vistoria, em que, de forma apenas visual, observa-se a existência de indícios de problemas patológicos.

Nesse exame, o engenheiro deve tentar perceber se o concreto está com coloração uniforme, se há a presença de pigmentação, manchas aparentes, variação volumétrica, fissuração ou qualquer outro indício de alteração.

Na maioria das situações, as peças de concreto estarão revestidas, mas os sintomas, quando presentes, se fazem perceber através dos revestimentos.

Uma vez identificada uma anomalia, para se entender exatamente o que ocorreu, e assim prescrever uma manutenção ou até mesmo uma intervenção, às vezes, é necessário que se proceda a testes, que melhor orientarão tal diagnóstico, que se não for feito de forma adequada, conduzirá a se prescrever uma intervenção inócua ou inadequada.

Os testes podem ser **diretos**, sobre a estrutura propriamente dita, ou **indiretos**, que são aqueles que usam uma correlação empírica entre uma propriedade medida e a resistência do concreto. Os testes também podem ser classificados em **não destrutivos**, quando sua execução preserva o que está sendo testado ou **destrutivos**, em situação inversa.

A seguir estão listados os exames mais comuns, sempre em relação aos concretos prontos.

Os sintomas usualmente percebidos em vistoria são:

Como visto ao longo do texto, existe uma diferença entre reforço e recuperação estrutural.

O reforço estrutural ocorre quando é necessário que se aumente a capacidade resistente de uma estrutura por situações que modifiquem seu funcionamento estrutural, por exemplo, por alteração de solicitações. Ou porque as condições de funcionamento estático são alteradas, como, por exemplo, a supressão de uma viga ou pilar, modificando os esforços solicitantes. Essas situações são usualmente previstas, e os projetos correspondentes são desenvolvidos e implementados. Nesses casos, a estrutura usualmente está íntegra, e o que se pretende é tão somente aumentar sua capacidade resistente para uma nova situação.

A recuperação estrutural ocorre quando a estrutura, por contingências quaisquer, tem sua capacidade resistente diminuída, e é necessário que se faça uma intervenção para dotar a estrutura, novamente, de sua prévia capacidade resistente.

Ocasionalmente, as duas situações podem ser concomitantes, e muitas vezes se fazem intervenções ainda numa fase anterior à perda de resistência da estrutura. Mas quando existem indícios ou claras ocorrências, que mostram que o processo de degradação da capacidade resistente já se instaurou, uma ação se faz necessária.