

---

## Introdução

---

JORGE A. WISSMANN

*Sob o céu noturno, na cena do crime,  
O perito segue seu regime.  
Na engenharia forense, um mundo de mistério,  
Cada detalhe revela um cenário sério.*

*Desabamentos e soterramentos, marcas do destino,  
A tragédia se revela em um repentino desatino.  
Pelos escombros e destroços, o perito avança,  
Seguindo as pistas que o destino lança.*

*Por entre os escombros, entre a dor e o lamento,  
Há um propósito nobre, um dever envolvente.  
Unindo ciência e engenharia com maestria,  
Buscam justiça na sombra da agonia.*

*Assim, entre ruínas e sombras da noite,  
A esperança floresce em meio ao açoite.  
Onde há desespero, há também uma mão,  
Que busca a verdade e a justiça, incansável em sua missão.*

## 1. Engenharia Forense

---

As Ciências Forenses atuam no processo de geração ou transferência de conhecimento científico e tecnológico com a finalidade de aplicação na análise de vestígios de interesse da Justiça, agrupando este conhecimento em um sistema denominado Criminalística. São utilizadas as ciências naturais aplicadas à análise de vestígios no intuito de responder às demandas judiciais (Velho, 2021). Dentro dessas ciências e nesse contexto dos processos judiciais se encontra a Engenharia Legal e/ou Engenharia Forense.

A NBR 13752 (ABNT, 1996) que trata de perícias de engenharia apresenta a definição de **Engenharia Legal** que tanto se encaixa no âmbito Cível quanto no Criminal:

... ramo de especialização da engenharia dos profissionais registrados nos CREA que atuam na interface direito e engenharia, colaborando com juízes, advogados e as partes, para esclarecer aspectos técnico-legais envolvidos em demandas.

Em seu livro *Uma introdução à Engenharia Forense*, Aragão (2010) invoca a definição de Eraldo Rabello como sendo:

... um ramo específico da Criminalística que se vale dos recursos e conhecimentos próprios da Engenharia, em todas as modalidades desta (construção civil, minas, mecânica, eletricidade, eletrônica, etc.), para o esclarecimento e a prova de questão de fato de interesse para a investigação criminal e para a Justiça cujo exame implique a posse e a efetiva aplicação de tais conhecimentos e recursos.

Noon (2001), em seu livro de investigação forense, traz outra definição:

A Engenharia Forense é a aplicação de princípios e metodologias de engenharia para responder a questões de fato. Estas questões de facto estão geralmente associadas a acidentes, crimes, acontecimentos catastróficos, degradação de bens e vários tipos de falhas.

Portanto, a perícia, em assuntos criminais, é contemplada pela Engenharia Forense, cujo responsável é o perito criminal engenheiro. Este profissional é um funcionário público graduado em engenharia e com formação específica em perícias criminais (Aragão, 2010).

No Brasil, as Polícias Científicas (Institutos de Criminalística, Institutos Gerais de Perícia ou Institutos de Polícia Técnica) apresentam subdivisões no organograma de seus órgãos: setores ou departamentos específicos de engenharia para atuar neste ramo da Ciência Forense. Portanto, em função da sua natureza criminal (objetivo de se esclarecer/desvendar crimes), são mais frequentemente denominadas como “Engenharia Forense”.

Diferentemente da Legal (denominação mais utilizada no âmbito cível), na qual se determinam apenas as causas do problema, a Engenharia Forense deve apontar também os responsáveis a fim de auxiliar as investigações a serviço da justiça, no intuito de indiciá-los (indicar a autoria). Quando a causa estiver na etapa de projeto ou execução, estes responsáveis se encontrarão na Anotação de Responsabilidade Técnica – ART.

As diferentes formas de acionamento, tanto no âmbito Cível como no âmbito Criminal, se encontram demonstradas no fluxograma da Figura 1.

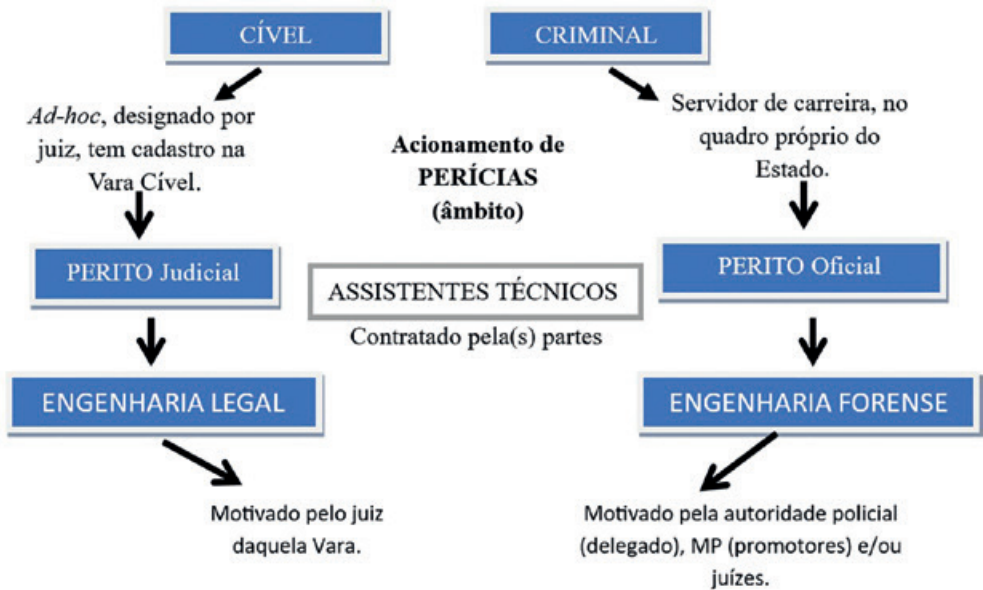


Figura 1 – Fluxograma de acionamento das perícias.

A Engenharia Civil, dentro deste contexto supracitado, atua principalmente em duas situações: desabamento de estruturas e soterramentos com vítima fatal, contemplada mais especificamente por calculistas estruturais e pelo geotécnico respectivamente. Para tal, utilizar-se-á dos conhecimentos de patologias, tecnologia dos materiais, mecânica dos solos e toda a cadeia de disciplinas de estruturas. Outros exames periciais também podem ser abrangidos pelo(a) perito(a) engenheiro(a) civil, por exemplo: incêndios, explosões, perícias ambientais, os quais também podem acarretar situações de desabamentos e soterramentos, abordados nos capítulos subsequentes. Outra situação em que o perito criminal de engenharia também pode ser acionado é quando envolve dano ao patrimônio público, por exemplo, um desabamento de uma obra pública durante sua construção.

### 1.1. Conceituação e nomenclaturas

Dentro dos Estados existem diferentes nomenclaturas para a designação destes tipos de exames periciais. É comum vermos as duas associadas a um mesmo código de exame pericial “E-355 – Desabamento/Soterramento” conforme utilizado na Polícia Científica do Paraná – PCP por exemplo, mas existem diferenças que podem ser aqui elencadas.

O **desabamento** ocorre quando uma estrutura, como um edifício, uma ponte, uma parede, entre outros, perde sua integridade estrutural e desmorona parcial ou totalmente. Isso pode acontecer devido a uma variedade de

razões, incluindo falhas estruturais, sobrecarga, desgaste, condições climáticas extremas, entre outros. Desabamentos podem causar danos materiais significativos e representar um risco para a segurança pública, especialmente se houver pessoas presentes na área afetada.

O **soterramento** ocorre quando pessoas, veículos ou estruturas são cobertos por terra, detritos, ou outros materiais, resultando em seu aprisionamento ou sepultamento. Isso pode acontecer como resultado de deslizamentos de terra, desmoronamentos de encostas, desabamentos de edifícios (quando os próprios escombros “soterram”), entre outros eventos naturais ou causados pelo homem. Soterramentos representam uma séria ameaça à vida e podem resultar em lesões graves ou morte para as pessoas envolvidas. As operações de resgate em situações de soterramento exigem cuidado e *expertise* para garantir a segurança das vítimas e dos socorristas.

Dentro dos “soterramentos” podemos expandir as nomenclaturas para conceitos mais precisos quanto ao transporte do solo, conforme mostra o fluxograma da Figura 2, os quais serão mais bem abordados nos capítulos envolvendo obras de terra.

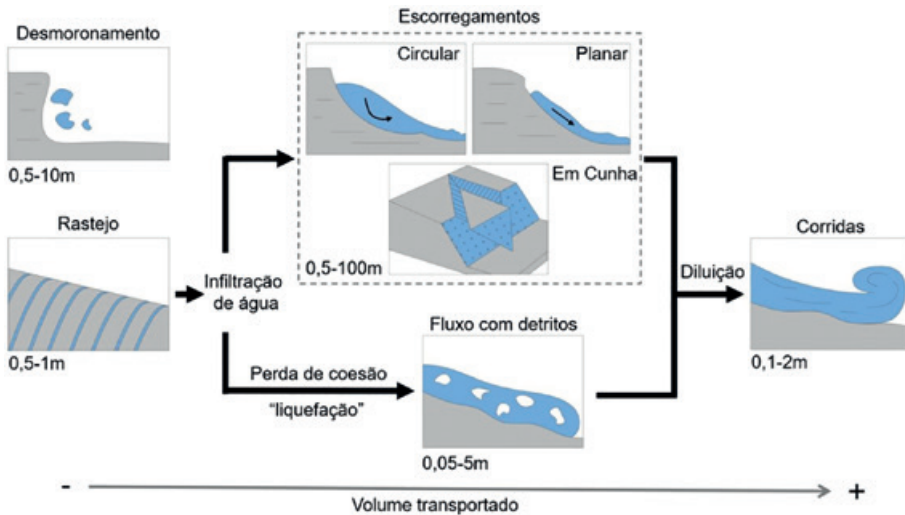


Figura 2 – Diferentes processos gravitacionais/transporte. Fonte: POMEROL *et al.* (2012) adaptado.

Outras nomenclaturas também são frequentemente utilizadas, como a **falha** que pode ser definida como uma incapacidade de um sistema estrutural ou de seus elementos quando não mais cumpre sua função. Esta definição abrange uma ampla gama de situações em que uma estrutura não atende aos requisitos de segurança, estabilidade e durabilidade estabelecidos no projeto, o que pode resultar em danos estruturais, rachaduras, colapsos, entre outros problemas. A NBR 15575 (ABNT, 2024) define **falha da estrutura** como:

... ocorrência que compromete o estado de utilização do sistema ou elemento. Essa ocorrência pode resultar de fissuras ou deslocamentos acima de limites aceitáveis, avarias no sistema ou no elemento estrutural ou nas interfaces com outros sistemas ou elementos.

O **colapso global** pode ser descrito como uma situação em que uma estrutura perde sua capacidade de suportar cargas e falha de modo catastrófico, afetando múltiplas partes da estrutura ou até mesmo sua totalidade. Já o **colapso progressivo** (ou ruína em cadeia) pode ser descrito como um tipo de colapso em que a falha inicial de uma parte da estrutura leva a uma sobrecarga progressiva e subsequente falha de outras partes da estrutura. Por fim, a **ruína** é o estado de uma estrutura que está além da capacidade de ser reparada ou restaurada devido a danos extensos, deterioração irreversível ou falhas estruturais significativas. Uma estrutura em ruína é considerada insegura e pode exigir medidas como demolição ou reconstrução completa.

Para fins jurídicos o Código Penal – CP, por meio do decreto-lei nº 2.848 (Brasil, 1940), em seu artigo nº 256 trata o tema como “**desabamento ou desmoronamento**”:

... Art. 256 - Causar desabamento ou desmoronamento, expondo a perigo a vida, a integridade física ou o patrimônio de outrem: Pena – reclusão, de um a quatro anos, e multa. Parágrafo único – Se o crime é culposo: Pena – detenção, de seis meses a um ano...

A fim de evitar estas situações estruturais críticas, as quais podem resultar em sinistros fatais de grandes proporções, a engenharia se utiliza de métodos de dimensionamento e cria condições para manter a segurança das obras e edificações.

Outras diversas nomenclaturas podem ser encontradas no glossário dentro do capítulo de Modelo de Laudo Pericial.

## 1.2. Métodos de dimensionamento e coeficientes de segurança

Diferentes métodos de dimensionamento foram utilizados ao longo da história, desde processos empíricos e intuitivos nos tempos mais remotos, passando pela teoria da elasticidade de Hooke (1635-1703), a métodos mais teóricos mais bem elaborados como o das tensões admissíveis, probabilísticos e dos estados limites.

Munair (2015) cita que o método das tensões admissíveis serviu de base aos dimensionamentos das estruturas até meados da década de 1980, ainda sendo aceito como método alternativo para algumas normas. Já o método dos estados limites últimos, desenvolvido na Rússia, nas décadas de 1940 e

1950, engloba todos os aspectos da análise de estruturas referente a ações e análises de segurança, sendo, portanto, o mais utilizado atualmente.

A NBR 8681 (ABNT, 2003) classifica duas categorias de estados limites: o **estado limite último – ELU**, o qual leva a falha estrutural (colapso) e o **estado limite de serviço – ELS**, o qual afeta o desempenho da estrutura, suas condições de uso.

Na qualidade de engenheiros calculistas (ou estruturais), dimensionamos para o ELU, minorando  $\gamma_m$  a resistência dos materiais ( $R_k$  do concreto armado, da madeira, do aço ou de estruturas mistas) e majorando  $\gamma_f$  esforços solicitantes ( $S_k$ ), portanto criando um coeficiente de segurança, ou seja, um “distanciamento” entre o esforço e a resistência Figura 3.

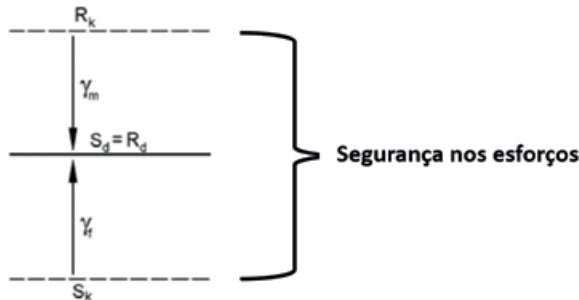


Figura 3 – Minoração das resistências e majoração de esforços. Fonte: Callister (adaptado).

Além deste coeficiente de segurança entre esforços e resistências, temos ainda que os materiais utilizados e os detalhamentos construtivos são tais que tendem a resistir a grandes deformações antes de atingir a ruptura, possibilitando a visualização antecipada de fissuras e deslocamentos, fazendo transparecer uma forma de “aviso prévio” dado pela estrutura e, portanto, induzindo a uma ruptura dúctil (com grande deformação prévia), Figura 4. Este induzimento à ruptura dúctil é imprescindível para evitar ou tomar as providências antes da ruína.

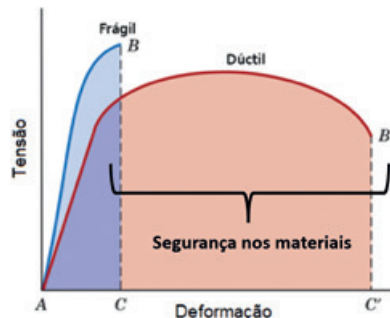


Figura 4 – Gráfico Tensão e Deformação (materiais frágeis e dúcteis). Fonte: Callister (adaptado).

Já para obras de fundações a NBR 6122 (ABNT, 1986) utiliza o **método de valores admissíveis** e o **fator de segurança global –  $FS_g$** , medidas de segurança incorporadas aos projetos de Engenharia Geotécnica a fim de garantir que a estrutura seja capaz de resistir a cargas e condições ambientais sem falhar. Ele é definido como a relação entre a capacidade de carga máxima suportada pelo solo e a carga aplicada à estrutura. Coeficientes de segurança também podem ser majorados quando podem causar danos ao patrimônio e/ou a vidas.

Lembrando que a ruptura só ocorrerá em situações em que a sollicitação exceder a resistência máxima dos materiais (ultrapassando os coeficientes de segurança) devido a sobrecargas não previstas ou em que haja erros de conceitos ou de detalhamentos.

### 1.3. Causas, motivos e origens dos sinistros

São várias as possíveis causas de um desabamento de estrutura ou soterramento: esforços não previstos, falhas de projeto ou detalhamento, erros de execução, vícios construtivos, falta de qualidade dos materiais, excesso de cargas no uso, falta de manutenção (deterioração de materiais), ou o mais comum, o acúmulo de algumas destas. Costumo fazer uma analogia com o acidente de trânsito fatal que geralmente ocorre quando há um **acúmulo de erros**: ultrapassagem proibida por um dos motoristas e o excesso de velocidade do outro motorista, gerando então a combinação fatal da colisão frontal.

Os desabamentos de estruturas e soterramentos ocorrem por três principais motivos, os mesmos de qualquer acidente:

- **Negligência**: quando alguém deixa de tomar uma atitude ou de apresentar conduta que era esperada para a situação. Age com descuido, indiferença ou desatenção, não tomando as devidas precauções. É uma conduta omissiva. Ex.: não tomar as devidas medidas prescritas por norma para garantir a segurança dos funcionários e/ou usuários;
- **Imprudência**: pressupõe-se uma ação precipitada e sem cautela. A pessoa não deixa de fazer algo, não é uma conduta omissiva como a negligência. Na imprudência, ela age, mas toma uma atitude diversa da esperada;
- **Imperícia**: para que seja configurada a imperícia é necessário constatar a inaptidão, ignorância, a falta de qualificação técnica, teórica ou prática, ou ausência de conhecimentos elementares e básicos da profissão. Ex.: um engenheiro recém-formado que queira adotar um software e realizar o cálculo estrutural de um edifício de grande

porte e complexidade, apesar de formado ainda não tem a experiência necessária.

Para obras sem engenheiro responsável pela estrutura, muito provavelmente cairemos na situação de imperícia, o erro que causou o sinistro deve ser detectado, mas o motivo será a não habilitação técnica do executor. As implicações jurídicas serão abordadas no capítulo de “Responsabilidades dos Envolvidos”.

Em comparação aos outros tipos de exames periciais criminais, o laudo de exame de engenharia tem um foco extremamente investigativo e científico, exigindo suposição de diversas hipóteses com posterior exclusão por testes ou ensaios, demandando um maior esforço mental, braçal e de tempo. Difere de outros tipos de laudos como o de exames de arma de fogo, por exemplo, nos quais o laudo é descritivo (tipo de arma de fogo, calibre nominal, dimensões, numerações etc.) e de constatação (se a arma disparou ou não – eficiência), baseado no *visum et repertum*. Geralmente o exame de local de engenharia demanda meses de trabalho e uma equipe de profissionais envolvidos.

Estes exames de Engenharia Forense geralmente contam com o auxílio de especialistas, como engenheiros estruturais e/ou geotécnicos (interação solo estrutura) e até mesmo com a simulação em softwares de dimensionamento, em decorrência da magnitude do sinistro, conforme exemplo visualizável na Figura 5. O sinistro ocorrido em Xangai em 2009, com 11 vítimas fatais, necessitou de uma equipe multidisciplinar dentro da engenharia elucidação do sinistro, a qual apontou que uma movimentação errônea de solo (no corte e no depósito) gerou tensões cisalhantes na fundação do edifício.



**Figura 5** – Edifício residencial desabado em Xangai. **Fonte:** Folha (2024)<sup>1</sup>.

1 FOLHA DE SÃO PAULO. **Prédio desmorona e mata 11 operários na China.** <https://m.folha.uol.com.br/mundo/2009/03/532960-predio-desmorona-e-mata-11-operarios-na-china.shtml> Publicado em 11 de março de 2009. Acesso em: 28 de abril de 2024.

De acordo com Cunha *et al.* (1996), os acidentes estruturais têm suas origens em uma variedade de atividades que fazem parte do processo de construção civil, o qual pode ser dividido em três etapas distintas: projeto, execução e utilização da obra. Segundo Helene e Pereira (2003), a etapa de projeto é identificada como a principal fonte de falhas que podem resultar em problemas estruturais futuros: 40% projeto, 28% execução, 18% materiais, 10 % uso e 4% planejamento, respectivamente. Santos (2022) realizou pesquisa do tipo *survey*, resultando em dados (causas principais, Figura 6) semelhante aos autores, porém acentuando a incidência de erros na etapa de planejamento.

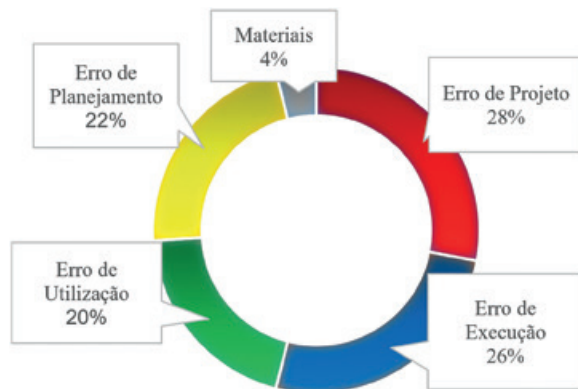


Figura 6 – Origens principais dos colapsos de estruturas com vítimas fatais.

Fonte: Adaptado de Santos (2022).

## 2. Patologias e o exame pericial

As manifestações patológicas preexistentes nas construções podem fornecer vestígios para o entendimento do sinistro, pois as nossas estruturas são dimensionadas para, se no caso de ruína, romper de modo dúctil. Normalmente na disciplina de Patologias da Construção Civil (ministrada na graduação, a qual aborda principalmente patologias de acabamentos) aprendemos a realizar a anamnese do caso, preenchendo diversos formulários e registrando: histórico, abrangência, frequência de cada manifestação patológica.

Especificamente em relação às patologias de estruturas podemos citar o livro de BOLINA *et al.* (2019) que aborda as principais patologias estruturais dos materiais: concreto armado, madeira e aço. A análise dos vestígios desses materiais e seus detalhamentos, decifrando suas patologias estruturais, pode trazer à tona indícios relacionados à causa dos sinistros, servindo para a elucidação da problemática.

No âmbito cível, diversos profissionais de engenharia participam judicialmente dos processos como assistentes técnicos a fim de contribuir com esclarecimentos em processos não criminais, trata-se de um ramo da Engenharia Legal que se encontra em evidente crescimento em nosso país, o qual é regido pelo Código de Defesa do Consumidor. Dos autores nessa área podemos citar Deutsch (2013), que em seu livro traz um apanhado geral de Engenharia Legal com a descrição dos processos judiciais cíveis.

## 2.1. Ciclo de vida

As patologias devem ser contidas para que as condições de uso sejam satisfatórias durante a vida útil da estrutura. Diversos profissionais atuam nesta área de perícias cíveis, podendo-se citar o órgão Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias – IBAPE, o qual fornece a seus afiliados e interessados diversos cursos relacionados a perícias.

Vamos aqui relembrar alguns termos e definições que podem ser encontrados no livro *Patologia das Estruturas* de BOLINA *et al.* (2019):

- Manifestação patológica – problemas visíveis devido ao comportamento não esperado da estrutura;
- Fenômeno – a raiz do problema que causa a patologia;
- Inspeção – avaliação da patologia realizada;
- Anamnese – estudo de levantamento do histórico de como se comportava a estrutura escutando usuários;
- Ensaios – necessários para solucionar dúvidas, podendo ser não destrutivos ou semidestrutivos;
- Diagnóstico – explicação da origem, mecanismo, sintomas e agentes causadores do fenômeno;
- Profilaxia – medidas preventivas para evitar o problema;
- Prognóstico – projeção do fenômeno se não houver a correção;
- Terapia – intervenções necessárias para devolver um desempenho satisfatório para possibilitar o uso da edificação.

Por meio destas etapas, mesmo com o surgimento de uma manifestação patológica, pode-se estender o ciclo de vida útil da estrutura, conforme visualizável na Figura 7.

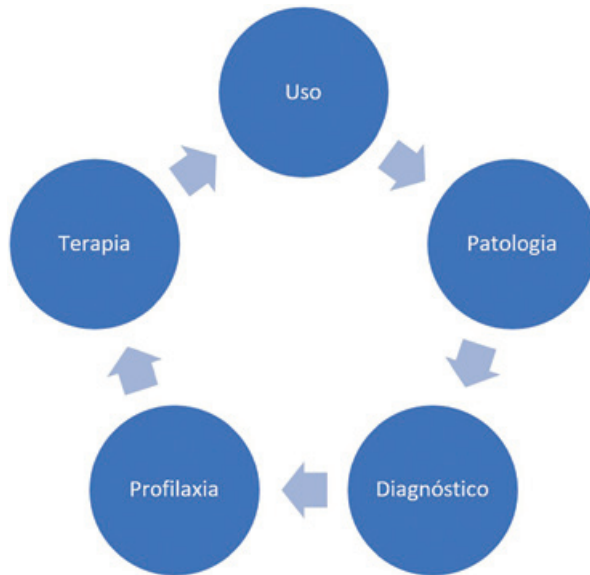


Figura 7 – Ciclo de vida da estrutura com manifestação patológica.

O sinistro poderá surgir quando este ciclo é quebrado e os sinais/vestígios das patologias são negligenciados, comprometendo também a vida útil da estrutura.

## 2.2. Vida útil de projeto – VUP

A NBR 15575 (ABNT, 2024) intitulada “Edificações Habitacionais – Desempenho” em sua “Parte 1: Requisitos gerais” prescreve que os projetos devem prever um valor teórico para a vida útil não menor que os do Quadro 1.

Quadro 1 – Vida útil de projeto (VUP).

Sistema	VUP mínima em anos
Estrutura	≥ 50**
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20

\*Considerando periodicidade e processos de manutenção especificados no respectivo *Manual de Uso, Operação e Manutenção* entregue ao usuário elaborado em atendimento à norma NBR 5674.

\*\* Segundo ABNT NBR 8681-2003. **Fonte:** Adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2024).

Estes 50 anos prescritos para a vida útil das estruturas demandam manutenção preventiva e corretiva durante todo o ciclo de vida, sob pena de se

reduzi-los a poucos anos. Outros países trabalham com uma vida útil maior, chegando até a 100 anos, como no caso do Japão. Ao final da vida útil de uma estrutura, inevitavelmente, chegaremos à demolição dela. A vida útil da estrutura está diretamente ligada à durabilidade dos materiais.

Além das NBR 15575 (ABNT, 2024) e NBR 5674 (ABNT, 2024) supracitadas, a NBR 16636 (2023) estabelece diretrizes para inspeção predial, abordando procedimentos, responsabilidades e critérios para a avaliação do estado de conservação de edificações. A área de engenharia que contempla esse tema é a Engenharia Diagnóstica, disciplina da Engenharia Civil que se concentra na avaliação, inspeção e diagnóstico de problemas em estruturas e edifícios existentes. O objetivo principal é identificar as condições atuais da estrutura, determinar a causa de quaisquer danos ou deterioração e propor medidas corretivas ou de reabilitação.

### 3. Levantamento do local

---

No âmbito criminal, o perito oficial pode utilizar dos mesmos mecanismos da investigação patológica para revelar a causa do sinistro, iniciando pela anamnese do caso e levantamento dos vestígios com total imparcialidade que lhe é exigida por força de lei.

Anamnese criminal é colhida por meio de informações prestadas no local por vítimas, vizinhos ou envolvidos na construção e são transcritas em um capítulo próprio do laudo oficial. Alguns questionamentos devem ser realizados como: se houve inspeções, escutaram-se ruídos, há quanto tempo vinha ocorrendo o problema, foram notadas fissuras, trincas ou rachaduras, perceberam-se movimentações da estrutura ou de terra, entre outras que podem ser apreciadas no capítulo de “Procedimento Operacional Padrão – POPS”.

O local do sinistro, após o exame de constatação pelo primeiro perito (generalista), deve ser preservado até a chegada do perito engenheiro civil ou da respectiva equipe especializada. Mesmo assim, por vezes, pode vir a ser necessário o auxílio de outros profissionais de engenharia, geralmente de fora da instituição pública, para realizar exames laboratoriais e simulações mais complexas.

O exame de desabamento de estruturas, por exemplo, deve registrar a posição e as condições de cada parte da estrutura durante a retirada dos escombros mediante registros fotográficos e/ou gravações em vídeos, os quais são imprescindíveis quando a magnitude do evento for elevada. Para obras de maior porte, um desabamento integral de edifício ou construção, o local pode ser dividido em áreas menores para sistematizar o levantamento do

local. Um sistema de localização em quadrantes utilizando-se de coordenadas “x” e “y” para a área e a coordenada “z” na altura de acordo com os pavimentos pode ser uma interessante implementação. Outro sistema sugerido seria o levantamento em espiral, sempre seguindo a máxima do levantamento de local, do macro para o micro.

Detalhamentos em armaduras, uniões entre elementos, condições de manutenção dos materiais, possíveis sobrecargas, indícios de reformas ou fases específicas da execução em que se encontrariam em andamento são vestígios que podem se tornar indícios relacionados à causa do sinistro.

Análogo ao levantamento das provas testemunhais realizado pelo delegado de polícia, a autoridade policial, e a fim de montar o quebra-cabeça do sinistro, o perito engenheiro deve investigar todas as variáveis envolvidas no fato, desde a concepção, fase de projetos, fase de execução e a manutenção, levantando as provas materiais (via laudo oficial).

A coleta *in loco* de testemunhos dos materiais ou de detalhamentos aparentemente estranhos ou suspeitos deve ser realizada durante o exame pericial. Durante esta etapa deve-se ter em mente a contraperícia, portanto, quando possível, acrescentar um testemunho extra para tal fim (contraprova).

### 3.1. Contraperícia

De acordo com o CPP e inclusões pela Lei nº 13.964 (Brasil, 2019), deve-se reservar uma amostra da coleta dos testemunhos para uma eventual contraperícia (contraprova), a qual permanecerá na cadeia de custódia até seu descarte mediante autorização judicial. Alguns artigos são dignos de destaque quanto a este assunto:

... Art. 158-A. Considera-se cadeia de custódia o conjunto de todos os procedimentos utilizados para manter e documentar a história cronológica do vestígio coletado em locais ou em vítimas de crimes, para rastrear sua posse e manuseio a partir de seu reconhecimento até o descarte...

...IX - armazenamento: procedimento referente à guarda, em condições adequadas, do material a ser processado, guardado para realização de contraperícia, descartado ou transportado, com vinculação ao número do laudo correspondente;

X - descarte: procedimento referente à liberação do vestígio, respeitando a legislação vigente e, quando pertinente, mediante autorização judicial...

...Art. 158-C. A coleta dos vestígios deverá ser realizada preferencialmente por perito oficial, que dará o encaminhamento necessário para a central de custódia, mesmo quando for necessária a realização de exames complementares... (CPP).

Ainda durante a realização deste tipo de exame e coleta de testemunho também deve-se ter em mente os possíveis questionamentos da autoridade policial (delegado de polícia), de promotores, de juízes, assim como de

assistentes técnicos de defesa. Falhas nos procedimentos do exame pericial, nos ensaios técnicos e até mesmo na redação do laudo serão questionadas mediante elaboração de quesitos e apontamentos ao laudo.

### 3.2. Ensaios laboratoriais

Os testemunhos coletados *in loco* serão objeto de ensaios para caracterização e testes de resistência. Podemos dividir os ensaios como destrutivos e semidestruídos. Pelo fato de o sinistro já ter ocorrido em nossa perícia, a maioria dos ensaios será pela extração de um corpo de prova que represente o elemento. Para o concreto armado uma serra copo poderá ser utilizada nesta extração e para o aço deve-se isolar e cortar as armaduras suspeitas. Já para o solo teremos dois tipos de coleta de amostras: deformável e indeformável (esta mantendo as propriedades físicas originais).

Existe um rol de equipamentos e máquinas de ensaios que pode ser utilizado para o ensaio dos testemunhos, seguem exemplos dos mais comuns:

- **Máquina Universal de Ensaios** para realização de ensaios físicos: compressão, tração, flexão, módulo de elasticidade, resistência da ancoragem;
- **Esclerômetro** para ter uma avaliação da resistência do concreto *in loco*;
- **Pile Integrity Test – PIT** para avaliar a integridade de qualidade de estacas/fundação;
- **Ensaio Tri-axial** para determinação de coesão e ângulo de atrito de solos, assim como a caracterização do comportamento sob cargas e sua estabilidade;
- **Standard Penetration Test – SPT** permite avaliar a resistência à penetração do solo, fornecendo dados essenciais para a caracterização geotécnica e o projeto de fundações.

Visto a inexistência da maioria destes nas Unidades de Polícia Científica, sugere-se realizar parcerias ou convênios com Instituições de Ensino Superior – IES ou com laboratórios especializados.

## 4. Análise de projetos e documentos

---

Ocorrido o sinistro, é de responsabilidade do perito engenheiro levantar a prova material: causa e indicação de possíveis culpados. A análise dos projetos, tanto o arquitetônico quanto os complementares (especialmente o estrutural) é essencial para a elucidação do caso. Outros documentos como o diário de obra, ARTs (Anotações de Responsabilidade Técnica), registros,

relatórios e outros também fazem parte do levantamento do local e da análise do sinistro.

### 4.1. Etapas de um projeto

Um projeto tem suas etapas bem definidas e para esta análise devemos relembrar o ciclo de vida dele. Inicialmente há a criação de uma ideia (proposta) que resultará em um estudo preliminar e, se viável, passará a etapa de projetos iniciais, então a de projetos mais detalhados, chegando aos de execução e, por fim, o projeto final que registra a forma como se construiu (*As-built*). Quando bem elaborado e executado, o projeto deve contemplar as seguintes etapas e documentos até sua vida útil demonstrados na Figura 8.

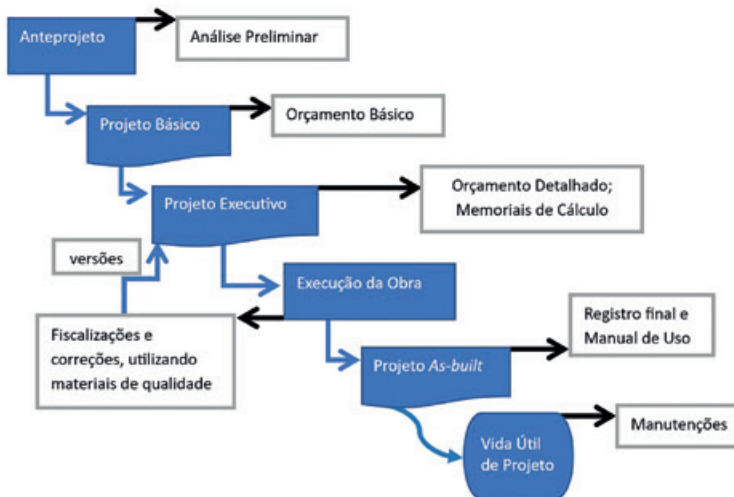


Figura 8 – Etapas ideais de um projeto e manutenção para a vida útil. Fonte: Autoria própria (2024).

Resumidamente podemos dizer que no anteprojeto o estudo preliminar considerou todos os fatores do ambiente em que a obra será construída: características do solo (sondagens), do entorno da edificação, das condições climáticas, dos materiais disponíveis etc.

No projeto básico já temos mais detalhes arquitetônicos e alguns projetos periféricos, possibilitando a geração de um orçamento básico (quando é constatada a viabilidade financeira da obra).

Já no projeto executivo, todos os memoriais de cálculo já foram bem desenvolvidos e detalhados para a execução. Atualmente já são compatibilizados no sistema BIM (*Building Information Modeling*) para evitar possíveis conflitos durante a execução.

Durante a execução ainda existirão divergências com o projeto executivo gerando um feedback e possíveis alterações, que gerarão novas versões

e, por fim, deverão ser registradas no projeto *As-built* ou “como construído”. Este último deve ser o objeto principal de exame do perito, visto que deve retratar a realidade final da edificação, porém não se devem descartar versões anteriores das pranchas, pois modificações durante a execução também poderão ter sido o desencadeador do sinistro.

Esta revisão do ciclo de vida se faz necessária para os seguintes apontamentos de erros que levam uma estrutura ao colapso. Alguns casos de repercussão serão expostos ao final desta introdução e outros, mais didáticos, serão exemplificados nos demais capítulos.

## 4.2. Documentação pertinente

A depender da análise preliminar do local pelo perito, é usual a coleta de certos documentos que auxiliarão na investigação científica e na determinação das responsabilidades, tais quais:

- **Anotações de Responsabilidade Técnica – ARTs**, cópia da via que deve permanecer no local da obra ou do serviço, segundo Art. 7º da resolução nº 1.137 do CONFEA de 2023, a fim de indicar qual profissional detém a responsabilidade técnica daquela edificação (tanto de projetos como de execuções);
- **Diário de Obra**, documento importante, no qual anotações são obrigatórias, pode conter indícios de patologias presentes, anteriores ao sinistro;
- **Registro de “Não Conformidades”**, que poderá existir tanto na fase de projetos quanto na fase de execução e também pode conter indícios de irregularidades presentes, anteriores ao sinistro;
- **Projetos Executivos**, os quais serão objeto de minuciosa análise e fornecerão condições de comparação com a execução *in loco*. Atenção para as versões das pranchas, que podem apresentar modificações;
- **Projetos Estruturais**, os quais serão objeto de minuciosa análise e fornecerão condições de comparação com a execução. Atenção para as versões das pranchas, que podem apresentar modificações;
- **Memoriais de Cálculo**, com os projetos estruturais, estes podem conter considerações errôneas por parte do calculista ou resultante do uso indiscriminado de um software estrutural, vindo a ser a causa do sinistro, um erro de cálculo;
- **Manual de Uso** o qual deverá prever as manutenções periódicas da estrutura, de equipamentos, de pisos, de acabamentos e outros materiais específicos que existirem na edificação;

- **Controles de Rastreabilidade de Materiais**, a fim de posicionar e caracterizar as propriedades de cada material utilizado dentro da construção, imprescindíveis em falhas de sistemas pré-moldados;
- **Sondagens do Solo**, caso pertinente com o fato, podem ser necessárias na análise geotécnica da situação;
- **Registro de Manutenções**, pois estas intervenções podem estar relacionadas ao sinistro, ou até mesmo à falta delas;
- **Relação de Funcionários**, que comprovará ou não o vínculo de trabalho com o empregador;
- **Registro de Treinamentos**, comprovando ou não o treinamento específico daquele trabalhador para a tarefa que executava.

Estes dois últimos documentos também serão analisados pelo Ministério Público do Trabalho – MPT, por praxe. Outros documentos podem ser anexados ao exame pericial a depender de sua relevância na elucidação do sinistro.

Apenas alguns destes documentos serão prontamente entregues ao perito no momento do exame pericial. Faz-se necessário manter o contato com os responsáveis para que a autoridade policial possa cobrá-los e recebê-los posteriormente. Sempre atento para que estes não sejam elaborados após o sinistro.

Somando-se à anamnese, a coleta de testemunhos realizada *in loco*, exames laboratoriais complementares caso necessários, e agora de posse da documentação supracitada, o perito criminal estará apto a realizar a análise completa do sinistro. Uma atualização via leitura das normas vigentes (ou da época da construção em questão) e bibliografias consagradas referentes a patologias devem ser realizadas em paralelo ao desenvolvimento do laudo.

Isto posto, destacam-se aqui quatro vertentes principais que devem ser investigadas minuciosamente neste exame pericial: **análise de projetos, análise da execução, análise do uso/manutenção e da qualidade dos materiais**, sempre seguindo os preceitos das leis, da cadeia de custódia e da idoneidade exigida por um perito criminal.

## 5. Breve revisão histórica

Velho, Geiser e Espindula (2021) lembra que em 1947 ocorreu em São Paulo o I Congresso Nacional de Criminalística, quando foi definido o conceito de “criminalística” no Brasil. Também foi quando ocorreram as primeiras apresentações sobre casos de engenharia, versando sobre metalografia, por exemplo. Já em 1966, durante o II Congresso Nacional de Criminalística, surgiram trabalhos sobre análises de locais de incêndio (Aragão, 2010).

Cunha *et al.* (1996) realizou levantamento sobre acidentes estruturais e considerava a literatura sobre o assunto muito reduzida e de pouca circulação, restrita a apenas relatos em congressos e seminários e ainda não objetivavam descrever a causa do acidente ou da anomalia estrutural. Cunha *et al.* (1998), no segundo volume, ressalva a necessidade de descrição dos acidentes estruturais com mais detalhes, esclarecendo causas imparcialmente e narrando providências tomadas para sanar o problema. Também poderia ser utilizado o termo “lições aprendidas”, comum no meio, frisando a ideia de que os erros mais comuns tenham o devido alerta propagado e que os profissionais não os cometam novamente.

Noon (2001) apresenta técnicas e exemplos de investigação forense no campo das estruturas, acidentes de eventos catastróficos, incêndios, explosões, eletroplessão, e até acidentes de veículos, portanto, bem genérico.

Marcelli (2007) também realizou levantamento de sinistro na construção civil e sugeriu criar uma cadeira de ensino nos cursos de graduação voltada para este tema, a fim de eximir a dificuldade dos profissionais em lidar com situações adversas de erros e falhas.

Ratay (2010) lança seu livro *Forensic Structural Engineering Handbook*, abordando práticas de projetos e execução, respostas às falhas de engenharia, causas das falhas, análise forense em materiais e aspectos legais.

Aragão (2010) lança seu livro *Incêndios e Explosivos* contendo uma introdução à Engenharia Forense, abordando os processos de solucionamento: de levantamento, estudo e explicação dos fenômenos na engenharia até o perfil qualitativo do perito para tal.

Day (2011) lança seu livro *Forensic Geotechnical and Foundation Engineering*, abordando a investigação de locais envolvendo sinistros com solos, reparos e diagnósticos, redução de riscos.

Kardon (2012) lança seu livro *Guidelines for Forensic Engineering Practice*, traz um apanhado de qualificações que habilitam um engenheiro estadunidense a adentrar em disputas judiciais com advogados que envolvem falhas de engenharia, pois neste país a figura específica do perito criminal de carreira pública, apenas *ad-hoc*.

Franck e Franck (2013) trazem o conhecimento de vinte anos atuando como engenheiros forenses, porém de modo mais genérico, desde desastres estruturais, movimento de terra, até reconstrução de acidentes, problemas elétricos e eletroplessão e incêndios.

Santos (2022) levantou cem casos nacionais classificando-os em cinquenta ocorrências de desabamentos e em cinquenta ocorrências de

soterramentos, adicionando, porém, uma segunda causa (“causa secundária”). Também adicionou o número de vítimas fatais de cada caso, visto ao fato de que o sinistro fatal geralmente resulta de um acúmulo de erros que levam à falha. Dez desses casos se encontram aqui exemplificados nos Quadros 2 e 3.

**Quadro 2 – Alguns casos de desabamento.**

Identificação	Ano	Local	Causa relatada na mídia	Número de vítimas
Edifício Pallace II	1998	Rio de Janeiro/RJ	Detalhamento inadequado da armação dos pilares e ocorreu um subdimensionamento dos pilares P4 e P44.	8
Edifício Areia Branca	2004	Recife/PE	Sobrecarga nos pilares devido à maior espessura do revestimento das fachadas.	4
Viaduto Guararapes	2014	Belo Horizonte/MG	Concepção estrutural inadequada.	2
Edifício Grand Parc	2016	Vitória/ES	Ocorreram erros de cálculo no projeto tornando a estrutura subdimensionada.	1
Marquise de um shopping de Penápolis	2019	Penápolis/SP	Sucessivas camadas de impermeabilização sobrepostas aumentaram em aproximadamente 82% o peso original da marquise, a armadura negativa estava mal posicionada e havia rachaduras na parede frontal sob a marquise.	1

Fonte: Adaptado de Santos (2022).

**Quadro 3 – Alguns casos de soterramento.**

Identificação	Ano	Local	Causa relatada na mídia	Número de mortes
Rompimento da barragem de Itabirito	1986	Itabirito/MG	A inclinação e a altura do talude de jusante não eram compatíveis com a resistência ao cisalhamento do material e com as pressões piezométricas presentes no maciço.	7
Deslizamentos de terra	2010	Angra dos Reis/RJ	Ocupação de áreas irregulares, somada à saturação do solo devido ao excesso de chuvas torrenciais.	53
Hospital Universitário de Brasília	2011	Brasília/DF	Obra não atendia aos requisitos mínimos de segurança exigidos pela lei brasileira. Falta de planejamento da escavação e má execução.	3

Identificação	Ano	Local	Causa relatada na mídia	Númerode mortes
Silo de grãos	2015	Porto Velho/RO	A empresa responsável não observou as normas da NR33 durante a limpeza do silo.	1
Pavimentação asfáltica	2018	Cuiabá/MS	Toda a terra retirada da escavação era depositada na borda do talude, não respeitando o distanciamento da norma.	2

Fonte: Adaptado de Santos (2022).

Wissmann (2021)<sup>2</sup> já apresenta um curso on-line (didático e acessível), denominado “Engenharia Forense em desabamentos e soterramentos”, exemplificando os sinistros mais comuns por meio de estudos de casos do cotidiano de um perito criminal, indo de encontro com a ideia de Marcelli (2007) em criar uma disciplina sobre o tema.

Hoje somos instantânea e frequentemente informados por jornais locais e nacionais acerca da ruína de estruturas, muitas vezes com vítimas fatais, situações de maior apelo ao público pelas mídias.

O colapso de estruturas não deveria ser um fato recorrente em nossa engenharia nacional, visto que diversos coeficientes de segurança se encontram implementados em dimensionamentos propostos por normas a fim de evitar o colapso brusco (ou a chamada ruína frágil). Assim como também é obrigatória a realização de manutenções periódicas no intuito de garantir o funcionamento adequado durante toda a vida útil da estrutura.

Basicamente nossas estruturas são executadas em concreto armado, em madeira, em perfis metálicos, estruturas mistas ou com o próprio solo e/ou rochas, sendo posteriormente (para edificações) vedadas com uma infinidade de outros materiais, normalmente em alvenarias cerâmicas ou vidraças.

Para entender do que se trata esse livro alguns casos de repercussão de desabamentos e soterramentos são aqui expostos sucintamente a fim de exemplificar alguns casos considerados relevantes e de grande repercussão nas mídias. Nos demais capítulos teremos uma coletânea de casos dos autores, sendo estes descritos de modo mais aprofundado.

2 WISSMANN, J. A. **Curso de Engenharia Forense em Desabamentos e Soterramentos**. On-line, 2021. Disponível em: <https://professor.jorgew.com/cursos.html>. Acesso em: 28 de abril de 2024.

## 6. Estudos de aplicação prática

### CASO 1 – Ciclovia Tim Maia no Rio de Janeiro - RJ

Em 21 de abril de 2016 parte da recém-inaugurada ciclovia Tim Maia na Avenida Niemeyer na cidade do Rio de Janeiro - RJ, vitimou fatalmente duas pessoas que ali transitavam, Figura 9. Bastante propagado na mídia, foi um caso em que o estudo preliminar teria desconsiderado as condições locais de ressaca do mar neste trecho do projeto geométrico.

A estrutura pré-moldada do tablado foi dimensionada e posicionada apenas apoiada nos pilares (o usual para este tipo de estruturas), não prevendo esforços de baixo para cima, ocasionado pela pressão da água (ressaca) que era defletida pelas rochas, vindo facilmente abaixo.



**Figura 9** – Tablado pré-moldado apoiado sobre os pilares. Fonte: IG<sup>3</sup>.

Este tipo de erro poderia se classificar como ocorrendo na etapa do anteprojeto, conforme exemplificado no fluxograma da Figura 8, visto que um estudo preliminar bem executado traria à tona o problema recorrente e sazonal das ressacas, causadoras da sobrecarga de sentido contrário à gravidade.

3 IG. **Abandonada, ciclovia Tim Maia é alvo de saqueadores.** <https://odia.ig.com.br/rio-de-janeiro/2018/06/5553111-abandonada-ciclovia-tim-maia-e-alvo-de-saqueadores.html#foto=1>. Publicado dia 27 de junho de 2018. Acesso em: 28 de abril de 2024.

## CASO 2 – Edifício Wilton Paes de Almeida – São Paulo - SP

O colapso deste edifício de 24 andares ocorreu no dia 1º de maio de 2018 na cidade de São Paulo enquanto era utilizado por pessoas do Movimento dos Trabalhadores Sem Teto – MTST, resultando em sete vítimas fatais e dois desaparecidos, FOLHA<sup>4</sup>. A utilização do prédio naquele momento era precária e possuía diversas divisórias em madeira e outros materiais combustíveis (carga térmica).

Inicialmente, supôs-se que o edifício era erigido em estrutura de perfis de aço, visto a velocidade que ele colapsou, em menos de duas horas. Como os edifícios em concreto armado historicamente resistiam de quatro a vinte horas até o combate do incêndio pelos bombeiros, mantendo sua integridade. Essa obra abordará alguns casos típicos de desabamentos de estruturas metálicas em seu capítulo próprio, porém, neste caso, a estrutura era erigida em concreto armado, gerou uma situação bem incomum de torção global por consequência do incêndio. Este episódio forçou uma mudança de entendimento quanto à resistência do concreto armado em situação de incêndio.

Possuía uma estrutura bem contemporânea para um edifício de 1965, apesar de os projetos estruturais não terem sido encontrados, era constituído de laje lisa nervurada dotado de vigas faixas e o núcleos rígidos do fosso do elevador e da caixa de escadas. Portanto, um edifício bem esbelto e audacioso para sua época.

A perícia oficial contou com a participação de profissionais de engenharia externos e auxílio por softwares comerciais nacionalmente renomados. Foi necessário pesquisar para recriar a estrutura do edifício, já que não havia projeto estrutural. As lajes ainda possuíam parte das formas de confecção em madeira, aumentando a carga térmica. Os pilares possuíam uma seção I variável, possibilitando a distribuição da vazão do ar-condicionado localizado na região superior para todos os demais andares inferiores, Figura 10.

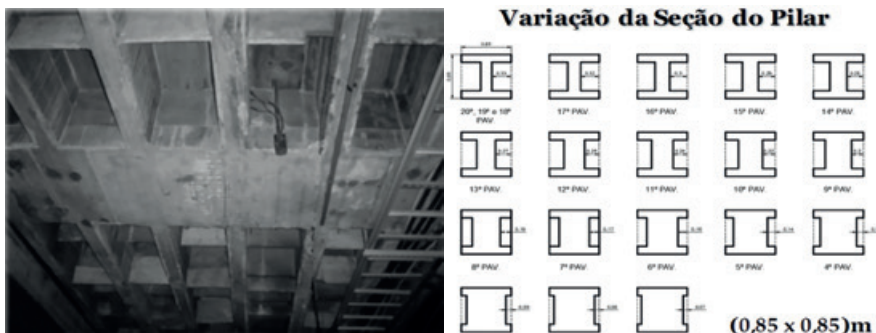


Figura 10 – Estrutura da laje e dos pilares do edifício. Fonte: HELENE<sup>5</sup>.

- 4 FOLHA DE SÃO PAULO. **Entenda a queda de prédio no centro de SP e qual é a situação atual.** <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2018/05/entenda-o-que-ja-se-sabe-e-quais-as-duvidas-sobre-a-tragedia-em-predio-de-sp.shtml>. Publicado dia 03 de maio de 2018. Acesso em: 28 de abril de 2024.
- 5 HELENE, P. COUTO, D. PACHECO, Jessika. MOREIRA, Matheus. **Colapso do Edifício Wilton Paes de Almeida – Diagnóstico e Lições Aprendidas.** 60º Congresso Brasileiro do Concreto. Foz do Iguaçu - PR, 2018.

## CASO 2 – Edifício Wilton Paes de Almeida – São Paulo - SP

A força tarefa supracitada (por meio de um termo de cooperação entre a PMSP e o IBRACON, com o acompanhamento e anuência da Polícia Científica de SP) levantou a hipótese de que o incêndio se alastrou pelos dutos dos pilares, criando dois focos principais, um em andares baixos e outro em andares mais altos. Estes dois focos principais do incêndio foram gravados nas imagens do sinistro. Nestas condições e de acordo com as simulações estruturais realizadas reproduzindo o efeito do incêndio, o edifício estaria submetido a uma torção global, fato notado em vídeos segundos antes do colapso, quando o núcleo de rigidez do edifício (fosso do elevador e caixa de escadas) rompe bruscamente.

Este sinistro mudou o entendimento global sobre a duração resistente de edifícios em concreto armado ao fogo, agora pode não mais tão diferente dos outros materiais como aço e madeira, a depender da situação estrutural. Outros casos envolvendo estruturas incendiadas serão abordados em seu capítulo próprio nesta obra.

## CASO 3 – Deslizamentos de terra no litoral norte - SP

Em 18 e 19 de fevereiro de 2023 no Litoral Norte de São Paulo, fortes e contínuas chuvas causaram grandes deslizamentos de terra, vitimando 65 pessoas no total, Figura 11. O local mais prejudicado foi a Vila Sahy na cidade de São Sebastião. Era época de Carnaval e muitos turistas que estavam em Ilhabela também foram afetados.



**Figura 11** – Buscas por desaparecidos em meio à lama de um deslizamento que derrubou casas na Vila do Sahy em São Sebastião. Foto: Fábio Tito/g1. **Fonte:** G1<sup>6</sup>.

6 **G1. Temporal devastador no Litoral Norte de SP completa um mês: confirma um resumo da tragédia.** <https://g1.globo.com/sp/vale-do-paraiba-regiao/noticia/2023/03/19/temporal-devastador-no-litoral-norte-de-sp-completa-um-mes-confira-um-resumo-da-tragedia.ghtml>. Acesso em: 07 de maio de 2024.

### CASO 3 – Deslizamentos de terra no litoral norte - SP

O Ministério Público de São Paulo MP-SP já havia identificado áreas de risco em 2021 devido à ocupação irregular da referida vila. Imagens mostram o crescimento da Vila Sahy<sup>7</sup>.

Enquanto os autores deste livro redigem seus capítulos, a maior enchente histórica ocorre no Rio Grande do Sul (maio de 2024), desabando estruturas de diques, barragens e represas, afetando centenas de cidades, vindo a soterrar plantações, residências e, tragicamente, vitimando fatalmente centenas de pessoas e milhares de animais.

Os mecanismos de deslizamentos de encostas serão abordados no capítulo próprio deste livro, assim como outras tragédias de grande magnitude referentes às rupturas de barragens de Mariana e Brumadinho - MG.

## 7. Considerações finais

Em suma, o local com vítima fatal decorrente de desabamentos ou soterramentos é geralmente o resultado de um acúmulo de erros, uma combinação deles: erro de projeto mais falta de manutenção, análise preliminar deficiente mais desconhecimento técnico, subestimação de esforços mais economia excessiva em materiais, erros de execução mais falta de manutenção, mau uso do ambiente mais negligência das patologias, baixa qualidade dos materiais somada a projetos extremamente esbeltos, assim como outras permutações destas exemplificadas.

Espera-se, no decorrer desta obra, que o leitor consiga compreender a gravidade e a complexidade que o tema exige por meio de revisões conceituais e exemplos reais, sendo alguns destes cotidianos e outros de maior repercussão. Os autores abordarão mais estudos de casos no decorrer de cada capítulo, porém se debruçando de modo mais aprofundado em cada caso, ao contrário dos casos supracitados nesta introdução.

Serão expostas reflexões sobre a área da Engenharia Forense e suas implicações jurídicas decorrentes dos sinistros (a fim de auxiliar os operadores da lei) incluindo ainda a proposição de modelos de laudos, assim como procedimentos operacionais indicados nas referidas situações de “Desabamentos e Soterramentos” para auxiliar o perito criminal em seus exames.

Cabe ao perito compreender, mediante as técnicas científicas e normas destacadas neste livro, as causas e motivos que levaram ao sinistro, a fim de elucidá-lo e auxiliar tanto no inquérito policial quanto no processo criminal.

7 G1 – Imagens mostram o crescimento da Vila Sahy, onde ocorreu a tragédia no Litoral Norte de SP. <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/video/imagens-mostram-o-crescimento-da-vila-sahy-onde-ocorreu-tragedia-no-litoral-norte-de-sp-11391015.ghtml>. Acesso em: 07 de maio de 2024.

Para auxiliar nesta elucidação podem ser necessárias **simulações experimentais** (físicas), normalmente com modelos reduzidos e/ou **simulações numéricas** (matemáticas) com uso de softwares. Os “operadores do Direito” são leigos na Engenharia Forense, e, portanto, deve ser criado um terceiro tipo: as **simulações ilustrativas**, de preferência em três dimensões, a fim de lhes explicar a dinâmica do sinistro.

O perito criminal, mesmo com formação em engenharia, pode e deve recorrer a parcerias com especialistas e IES para realizar exames laboratoriais e simulações estruturais mais complexas com equipamentos de laboratórios e softwares profissionais. Também se mostra interessante a formação do próprio perito em uma pós-graduação (especialização, mestrado ou doutorado) nas áreas de estruturas e/ou geotecnia.

Não abordaremos danos estruturais por abalos sísmicos pela pouca ocorrência em nosso país, o que necessitaria um conhecimento extra na disciplina de Dinâmica das Estruturas, quase não abordada nos cursos de graduação no Brasil. Outros capítulos de interesse seriam Estruturas de Madeiras, Estruturas Mistas, Ciências dos Materiais etc., mas estes ficarão para uma possível segunda edição.

## 8. Questões para análise

1	Por que houve aumento nos erros de origem de planejamento entre os levantamentos de Helene e Pereira (2003) e Santos (2021)?
2	A inexistência de projetos estruturais das obras antigas dificulta o trabalho do perito no local de desabamento. Com as facilidades digitais já não seria hora de exigir o arquivamento dos projetos complementares (além do arquitetônico) na prefeitura?
3	Nossas grandes obras estão ultrapassando sua vida útil. O que fazer? Quem são os responsáveis pelas manutenções? Quais mecanismos de fiscalização contínua existem para evitar estas tragédias?
4	Visto o aumento de casos de desabamentos e soterramentos, não seria o momento de criar um exame profissional para engenheiros análogo ao exame da ordem realizado pela OAB aos advogados?
5	Quem são os verdadeiros culpados pelas grandes tragédias envolvendo movimentações de terra em regiões povoadas ilegalmente? Omissão, conivência ou desconhecimento?

## 9. Referências bibliográficas

- ARAGÃO, R. F. **Incêndios e Explosivos – Uma Introdução à Engenharia Forense**. 1. ed. Campinas, SP: Millenium editora, 2010. 473 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674**: Manutenções de Edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2024. 26 p.

- \_\_\_\_\_. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023. 242 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2022. 108 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 18 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13752**: Perícias de engenharia na construção civil. Rio de Janeiro: ABNT, 1996. 8 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15575**: partes 1 a 6: Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2024. 95 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 16636**: partes 1 a 4: Elaboração e desenvolvimento de serviços técnicos especializados de projetos arquitetônicos e urbanísticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023. 56 p.
- BOLINA, F., TUTIKIAN, B., HELENE, P. **Patologia das estruturas**. São Paulo, Oficina de Textos 2019.
- BRASIL. Decreto de Lei nº 2.848, de 7 de outubro de 1940. **CP – Código Penal**.
- BRASIL. Decreto de Lei nº 3.689, de 3 de outubro de 1941. **CPP – Código de Processo Penal**. Inclusões pela lei nº 13.964 de 2019.
- CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**, Editora LTC. 7ª edição, 2008
- CONFEA. **Dispõe sobre a Anotação de Responsabilidade Técnica – ART, o Acervo Técnico-Profissional e o Acervo Operacional, e dá outras providências**. Resolução nº 1.137 de 31 de março de 2023.
- CUNHA, A. J. P.; SOUZA, V. C. M. e LIMA, N. A. **Acidentes estruturais na construção civil – Volume 1**. 1ª edição. Rio de Janeiro: Pini 1996.
- CUNHA, A. J. P.; SOUZA, V. C. M. e LIMA, N. A. **Acidentes estruturais na construção civil – Volume 2**. 1ª edição. Rio de Janeiro: Pini 1998.
- DAY, R. W. **Forensic Geotechnical and Foundation Engineering**. 528 p. Mc Graw-Hill. Second Edition, 2011.
- DEUTSCH, S.F. **Perícias de engenharia: a apuração dos fatos**. 2ª edição atualizada e ampliada – São Paulo: Livraria e Editora Universitária de Direito, 2013.
- FOLHA DE SÃO PAULO. **Cotidiano – Laudo aponta erro nos pilares do Palace 2**. <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff19059836.htm>. Publicado dia 19 de maio de 1998. Acesso em: 02 de março de 2019.
- FRANCK, H. FRANCK, D. **Forensic Engineering Fundamentals**. 479 p. CRC Press, 2013.
- HELENE, P., PEREIRA, F. **Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón, Refuerzo y Protección**. 1. ed. São Paulo: Cyted, 2003. 775 p.
- KARDON, J. B. **Guidelines for Forensic Engineering Practice**. 138 p. ASCE – American Society of Civil Engineers. Second Edition, 2012.
- MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras**. 1ª edição. São Paulo: Pini 2007.

- MUNIAR NETO, J. SALES, J. J. MALITE, M. **Segurança nas estruturas**, Editora Elsevier. 2ª edição, 2015.
- NOON, R. K. **Forensic Engineering Investigation**. 451p. CRC Press, 2001.
- POMEROL, C. LAGABRIELLE, Y. RENARD, M. GUILLOT, S. **Princípios de Geologia: técnicas, modelos e teorias.**, Editora Bookman. 14ª edição, 2012.
- RATAY, R. T. **Forensic Structural Engineering Handbook**. 686 p. Mc Graw-Hill. Second Edition, 2010.
- SANTOS, B. **Desenvolvimento de procedimento operacional padrão para exame pericial forense em situações de desabamento e soterramento**. 2022. 174 f. TCC - Unioeste, Cascavel, 2021.
- VELHO, J. A. GEISER, G. C. ESPINDULA, A. **Ciências Forenses: uma introdução às principais áreas da criminalística moderna**. 4ª edição. Campinas: Millennium Editora, 2021. 584 p.
-

---

## Estruturas de Concreto Armado

---

JORGE A. WISSMANN

*No centro da cidade, um prédio se erguia, majestoso, imponente, tomando o céu por via. Mas os anos não foram gentis, e o concreto cedeu, E um dia, sem aviso, o prédio desabou de vez.*

*O estrondo foi ouvido por toda a vizinhança, enquanto as paredes caíam, numa trágica dança. As janelas quebradas, os destroços no chão, Era o fim de uma era, o colapso da construção.*

*Mas entre os escombros, há algo que persiste, a memória dos dias de glória que o prédio assiste. Histórias de amor, risos e conversas ao luar, agora sepultadas sob toneladas de entulho.*

*E enquanto as máquinas trabalham para limpar, O que resta é uma lição difícil de ignorar. Que mesmo as estruturas mais sólidas podem cair, E que é preciso cuidar para não deixar ruir.*

*Assim como o prédio que um dia se ergueu, podemos reconstruir, renovar, fazer de novo o que se perdeu. Com paciência e determinação, podemos seguir em frente, e encontrar em desabamentos os vestígios latentes.*

### 1. Introdução

---

O Concreto Armado ou C. A. é o compósito mais utilizado na construção civil em nosso país, sendo o material abordado nesse capítulo. “Compósito” por apresentar dois materiais distintos: o concreto e as barras de aço (vergalhões), e seu funcionamento se dá pela aderência entre eles. Esta aderência é melhorada pela ancoragem dada principalmente pela existência de nervuras (saliências) nas barras de aço.

O modelo de bielas e tirantes pode representar o funcionamento do C.A. Partes do elemento estão sob compressão e outra parte sob tração, neste caso o concreto resistindo bem à compressão e o aço principalmente à tração. Portanto, esse funcionamento está ligado diretamente com a resistência do concreto (dada em MPa) e na quantidade de armadura (dada em área de aço).

Do dimensionamento destes materiais nasce um elemento estrutural dentro de um certo **domínio** do concreto armado, de acordo com a altura da **linha neutra** ou LN que delimita o equilíbrio do binário de forças (compressão e tração). Estes domínios vão de 1 a 5 e encontram-se descritos e exemplificados no gráfico de domínios do concreto armado encontrado na **norma NBR 6118** (ABNT, 2023), a norma-mãe do Concreto Armado. Além dessas condições de criação do elemento estrutural existem também as situações de carregamento às quais ele está submetido, podendo partir de uma sobrecarga baixa, onde as tensões dos materiais se encontram ainda na fase elástica, passando por situações em que se iniciam as fissuras, até sobrecargas, além do dimensionamento no qual os materiais já podem ter plastificado e tendem à ruptura. A esses diferentes estágios de carga e de deformação dos materiais chamamos de **Estádios** do concreto armado, divididos, portanto, em três estágios: de I a III, nos quais o elemento estrutural pode passar durante a sua vida, caso haja alteração das cargas. Para o C.A. o Estádio I não é economicamente viável e o Estádio III já se encontra próximo à ruptura, portanto, sendo comum ser dimensionado para permanecer próximo ao Estádio II.

As cargas nas estruturas em C.A. são classificadas quanto à frequência (**permanentes** – “g”, **variáveis** – “q” ou até excepcionais), às quais ainda serão aplicados coeficientes de segurança e combinação de cargas para as diferentes situações de dimensionamento a que as edificações podem estar sujeitas. Também serão utilizados os termos **peso próprio** – pp e **sobrecarga** – sc até a contabilização da carga total de cálculo.

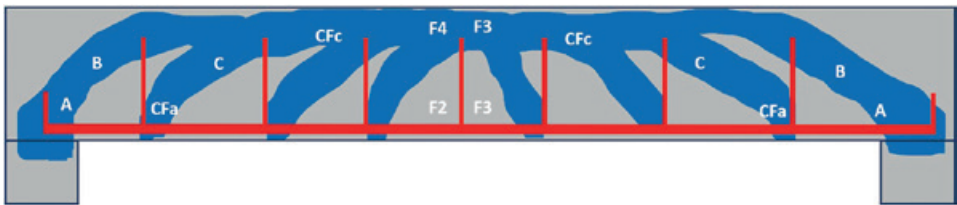
Acumulando-se esses coeficientes aplicados às cargas (majorando-as), os coeficientes aplicados às resistências dos materiais (minorando-as) e o comportamento intrínseco dos dois materiais: de deformações elásticas inicialmente (Lei de Hooke) e plásticas posteriormente, asseguradas pela ancoragem funcional entre os materiais, têm-se a **segurança do concreto armado**. Quando algum desses fatores não for atendido, podemos ter a ruína do elemento estrutural.

A ruína de um elemento em concreto armado pode ocorrer frágil ou ductilmente, a depender do domínio em que ela foi criada, dos detalhamentos executados e das magnitudes de sobrecargas a que ele está submetido. A **ruptura frágil é abrupta e imediata**, essa que resulta na maioria dos casos envolvendo vítimas fatais, pois não há tempo de desocupação. Já a ruptura dúctil ocorre gradualmente, fissurando e deformando (gerando grandes flechas), possibilitando que o executor ou seus habitantes visualizem o problema, pode-se dizer que a estrutura clama por socorro/manutenção. Muitas vezes, durante a anamnese, em um levantamento de local, essas informações auxiliam a elucidação do caso.

Ratay (2010) traz algumas das principais características críticas que podem levar uma estrutura de concreto armado à ruína, assim como para elementos pré-moldados e até protendidos.

## 2. Modos de ruína

Ritter e Mörsch *apud* Pinheiro (2007) descrevem o comportamento de uma viga em concreto armado como sendo análogo a de uma treliça em duas dimensões, conforme mostra a Figura 1, em que as partes em azul representam bielas transmitindo compressão e as partes em vermelho são os tirantes resistindo à tração (as armaduras transversais – estribos e as longitudinais na flexão – vergalhões), assim como as posições de falhas de acordo com a nomenclatura apresentada no Quadro 1 para uma viga biapoiada e carregamento distribuído.



**Figura 1** – Modos de ruína do concreto armado – posições das falhas. **Fonte:** Autoria própria (2024).

Alguns desses modos de ruína podem ser visualizados nos ensaios realizados durante as aulas práticas de Concreto Armado na Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Quadro 1.

**Quadro 1** – Principais modos de ruína do concreto armado, legenda da Figura 1.

Legenda	Esforço/falha	Domínio	Material	Ruptura	Vídeo
A	Ancoragem no apoio	Qualquer	Entre ambos	Frágil	-
B	Biela principal de compressão	Qualquer	Concreto	Frágil	-
C	Cisalhamento falta ou ausência de estribos	Qualquer	Concreto	Frágil	
CFa	Cisalhamento alto causando flexão extrema	Qualquer	Aço	Dúctil	-
CFc	Cisalhamento alto causando flexão extrema	Qualquer	Concreto	Frágil	

Legenda	Esforço/falha	Domínio	Material	Ruptura	Vídeo
F	Flexão	2 ou 3	Concreto	Dúctil	
F	Flexão	4	Concreto	Frágil	
T	Torção	Qualquer	Concreto, perímetro externo (fissuras helicoidais)	Dúctil	

Fonte: Autoria própria (2024).

### 3. Durabilidade

A durabilidade do concreto armado deve ser assegurada de modo a garantir a vida útil da estrutura. Para isso é necessário entender quais são os principais **mecanismos de deterioração** do concreto de acordo com a norma NBR 6118 (ABNT, 2023), aqui descritos:

- lixiviação: mecanismo responsável por dissolver e carregar os compostos hidratados da pasta de cimento por ação de águas puras, carbônicas agressivas, ácidas e outras. Para prevenir sua ocorrência, recomenda-se restringir a fissuração, de modo a minimizar a infiltração da água e proteger as superfícies expostas com produtos específicos, como os hidrófugos.
- expansão por sulfato: expansão por ação de águas ou solos que contenham ou estejam contaminados com sulfatos, dando origem a reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado. A prevenção pode ser feita pelo uso de cimento resistente a sulfatos.
- reação álcali-agregado: expansão por ação das reações entre os álcalis do concreto e agregados reativos. O projetista deve identificar no projeto o tipo de elemento estrutural e sua situação quanto à presença de água, bem como deve recomendar as medidas preventivas quando necessárias.

Já a deterioração das armaduras é possibilitada principalmente devido à fissuração, a qual libera o ataque ao aço pelas intempéries, resultando em corrosão. Para evitá-la teremos a proteção fornecida pelo cobrimento