

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JOÃO PAULO ALVES ARAÚJO

**PROPRIEDADES DO CONCRETO NA INFLUÊNCIA DA
DURABILIDADE E ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL EM
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

ANÁPOLIS / GO

2017

JOÃO PAULO ALVES ARAÚJO

**PROPRIEDADES DO CONCRETO NA INFLUÊNCIA DA
DURABILIDADE E ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL EM
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADOR: NEANDER BERTO MENDES

ANÁPOLIS / GO: 2017

FICHA CATALOGRÁFICA

ARAÚJO, JOÃO PAULO ALVES

Propriedades do concreto na influência da durabilidade e estimativa da vida útil em estruturas de concreto armado.

77P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2017).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Concreto

2. Durabilidade

3. Vida Útil

4. Estimativa de Vida Útil

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARAÚJO, João Paulo Alves. Propriedades do concreto na influência da durabilidade e estimativa da vida útil em estruturas de concreto armado. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 77p. 2017.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: João Paulo Alves Araújo

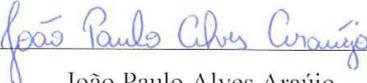
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Propriedades do concreto na influência da durabilidade e estimativa da vida útil em estruturas de concreto armado.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2017

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.


João Paulo Alves Araújo

E-mail: jp_alves4@hotmail.com

JOÃO PAULO ALVES ARAÚJO

**PROPRIEDADES DO CONCRETO NA INFLUÊNCIA DA
DURABILIDADE E ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL EM
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:



**NEANDER BERTO MENDES, Professor Mestre (UniEvangélica)
(ORIENTADOR)**



**FILIPE FONSECA GARCIA, Professor Especialista (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**EDUARDO MARTINS TOLEDO, Professor Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 28 DE NOVEMBRO DE 2017

RESUMO

O estudo das propriedades do concreto na influência da durabilidade de uma estrutura existe para que se conheçam os parâmetros prescritos em norma para o correto procedimento a se seguir. O preparo e controle, classificação da resistência, dosagem, mistura, transporte e lançamento, tempo de pega, adensamento e cura são as características fundamentais de preservação e durabilidade do concreto. As estruturas de concreto armado como um todo possibilitam o entendimento de como a durabilidade e projeto, já dimensionados para a ruptura, respeitando os limites da NBR 6118 (ABNT, 2014), representando o Estado Limite Último, comportam também na estimativa de vida útil da edificação. O conceito de durabilidade está excepcionalmente relacionado ao meio ambiente, em como os agentes agressivos atingem e deformam a estrutura, seja por questões biológicas, químicas ou físicas. A durabilidade permite que os engenheiros, construtores ou projetistas estabeleçam critérios mínimos para a proteção das armaduras, utilizando cobrimento e reparos adequados. Intimamente relacionada à durabilidade, a vida útil é uma projeção estabelecida em projeto em que são especificados dados a respeito de como a estrutura irá se comportar em determinado meio, controlando todos os processos de execução, segurança, desempenho e manutenção. A vida útil possibilita a compreensão de como a estrutura reage a todas as condições expostas, podendo assim estimar dados relativos a anos de acordo com sua durabilidade. As reações que ocorrem nas construções afetam diretamente as condições expostas de durabilidade, e para isso, coletam-se dados desde a história da edificação, até seu ponto patológico mais crítico, e dessa forma, facilita o entendimento da patologia, a sua solução, a importância das manutenções, e o efeito na vida útil da estrutura, diretamente relacionado às proposições prescritas sobre o concreto e sua durabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto. Durabilidade. Vida Útil.

ABSTRACT

The study of the concrete properties on the influence of the durability of an edification exists to know the parameters written on standards for the correct procedure to follow. The preparation and the control, the classification of resistance, dosage, mixture, transportation and the launch, concrete setting time, densification and cure are the most fundamental characteristic for the preservation and the concrete durability. The reinforced concrete structures as a whole provide the understanding of how durability and the project, already dimensioned to the rupture, respecting the limits from NBR 6118 (ABNT, 2014), representing the ultimate state limit, behave upon the lifespan estimate of and edification. The durability concept is especially related to the environment, upon how the aggressive agents act and deform the structure, by biological, chemical or physical questions. The durability allows engineers, constructors or projectors to establish minimal criterion for the protection of armor, using suitable armor cover and repair. Intimately related to durability, lifespan is an established projection above project, on which are specified data respected on how the structure will behave in a determined field, controlling all the execution procedure, security and maintenance. Lifespan provides the understanding on how the structure reacts to all of the exposed conditions, being able to estimate relative data in years according to its durability. Reactions that occur in constructions affect the exposed conditions directly of durability, and for that, data are collected since the edification history, until its critical pathological point, so that facilitates the pathology understanding, its solution, the maintenance importance, and the effect on the lifespan of the structure, related to the prescribed propositions about concrete and its durability.

KEYWORDS: Concrete. Durability. Lifespan.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Vibração por imersão	29
Figura 2– Vibração por régua vibratória	29
Figura 3– Vibração por centrifugação	30
Figura 4– Cura sendo realizada por aspersão	31
Figura 5– Visão de uma estrutura em concreto armado	34
Figura 6- Laje de concreto armado.....	35
Figura 7- Detalhe de armadura em viga	36
Figura 8- Detalhamento de armadura com estribo em pilar	37
Figura 9- Exemplo de deformação de laje.....	38
Figura 10- Trincas na face superior da laje devido ausência de armadura negativa	38
Figura 11– Esquema de avanço da carbonatação	45
Figura 12- Variação do desempenho de uma estrutura de concreto armado ao longo do tempo	47
Figura 13– Desempenho ao longo do tempo e vida útil.....	47
Figura 14– Ábaco representativo de um meio em carbonatação, obtendo-se o cobrimento mínimo das armaduras.....	53
Figura 15– Vida útil total de projeto	56
Figura 16 – Representação gráfica do índice de confiabilidade (β), com a probabilidade de falha (p_f), juntamente com a ação dos cloretos.	60
Figura 17– Fluxograma de procedimento.....	61
Figura 18– Dilatação aparente em pilar em shopping ativo em Anápolis - GO.....	62
Figura 19- Fissura em alvenaria em oficina ativa em Anápolis - GO	63
Figura 20– Exposição da armadura nas vigas	64
Figura 21– Base de pilar no subsolo.....	65
Figura 22– Despassivação por carbonatação na base do pilar	66
Figura 23– Concreto autocatrizante na linha 4 do Metrô do Rio de Janeiro	67
Figura 24– Rampa em entrada de estacionamento	67
Figura 25- Detalhe de consolo utilizado para aumentar a área de transmissão de cargas entre o pilar e a rampa.	68
Figura 26– Revestimento a zinco por imersão a quente	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Prático para traços	25
Quadro 2 – Tempo de Pega de acordo com o tipo de Cimento	28
Quadro 3– Classes de Agressividade Ambiental.....	40
Quadro 4– Causas internas e externas da redução de durabilidade.....	40
Quadro 5– Classe de agressividade ambiental	40
Quadro 6- Exigências de durabilidade relacionadas á fissuração e a proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental.....	41
Quadro 7- Principais mecanismos de deterioração das estruturas de concreto armado.	42
Quadro 8– Fatores determinantes da corrosão em concreto.....	43
Quadro 9- Efeito das falhas no desempenho	48
Quadro 10- Categoria de Vida Útil de Projeto para partes do edifício.....	48
Quadro 11- Custo de manutenção e reposição ao longo da vida útil	49

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Composição dos cimentos Portland	17
Tabela 2- Classes de Resistência do Grupo I	21
Tabela 3 - Classes de Resistência do Grupo II	21
Tabela 4- Cobrimento nominal	40
Tabela 5- Critérios para o estabelecimento da <i>VUP</i> das partes do edifício.....	49
Tabela 6- Vida Útil de Projeto mínima e superior (<i>VUP</i>)	50

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABCP	Associação Brasileira Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BNH	Banco Nacional da Habitação
ISSO	International Organization for Standardization
NBR	Norma Brasileira
VU	Vida útil
VUP	Vida útil de projeto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	JUSTIFICATIVA.....	12
1.2	OBJETIVOS	13
1.2.1	Objetivo geral	13
1.2.2	Objetivos específicos.....	13
1.3	METODOLOGIA	13
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
2	QUALIDADE DAS EDIFICAÇÕES EM CONCRETO ARMADO.....	15
2.1	CONCRETO	15
2.1.1	Componentes	15
2.1.1.1	Aglomerantes	15
2.1.1.2	Agregado graúdo.....	17
2.1.1.3	Agregado miúdo.....	17
2.1.1.4	Aditivos.....	18
2.1.2	Preparo e Controle.....	19
2.1.3	Condições de preparo do concreto	20
2.1.4	Classificação do concreto para fins estruturais	21
2.1.5	Dosagem.....	22
2.1.5.1	Método ABCP de Dosagem.....	23
2.1.6	Mistura.....	25
2.1.7	Transporte e lançamento	26
2.1.8	Tempo de Pega, Adensamento e Cura.....	27
3	ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	33
3.1	LAJES, VIGAS E PILARES	34
3.1.1	Lajes	34
3.1.2	Vigas.....	35
3.1.3	Pilares	36
3.1.4	Estado limite último de deformação e cisalhamento em lajes, vigas e pilares associados á durabilidade da estrutura.....	37
3.2	DURABILIDADE	39
3.3	CONDIÇÕES DO AMBIENTE	41
3.4	VIDA ÚTIL.....	46

3.4.1	Definição	46
3.4.2	Determinação da vida útil de projeto	48
3.4.3	Métodos para estimar Vida Útil	50
3.4.4	Método com base nas experiências anteriores	51
3.4.5	Método com base em ensaios acelerados	51
3.4.6	Método com enfoque determinista	52
3.4.7	Previsão da Despassivação – Cinética da Corrosão	52
3.4.8	Método com enfoque estocástico ou probabilista	58
4	ANÁLISE SISTEMÁTICA DE REAÇÕES NAS ESTRUTURAS COM EFEITO NA DURABILIDADE	61

1 INTRODUÇÃO

O mercado imobiliário brasileiro tem passado por várias mudanças desde o fim do BNH (banco nacional da habitação), por conta da alta inadimplência e juros, criado com objetivo de fazer empréstimos, atuando por intermédio de outros bancos, para assim, produzir e vender imóveis, principalmente casas populares, mas como prioridade famílias com renda mensal de um a três salários mínimos, a partir do decreto nº 2 291 de 1986 e que sucedeu a caixa econômica federal.

Em 2004, após a criação da lei federal nº 10.931 de 2004, que trata principalmente do setor imobiliário, dando maior facilidade e segurança para os consumidores e financiadores, assegurando-lhes direitos e deveres, contribuiu-se o crescimento econômico do país, além do aumento de vagas de emprego, juntamente com o aumento do salário mínimo, queda da taxa de juros, criação de várias incorporações de financiamento e do programa federal “minha casa minha vida”, criado em 2009, facilitando a obtenção da casa própria e um aumento significativo nas vendas de imóveis. A alta demanda estimulou a abertura de várias construtoras, e conseqüentemente a concorrência entre elas.

A mão de obra desqualificada, atraso na entrega, acidentes de trabalho, uso inadequado de materiais, falta de planejamento e controle da obra, aparecimento de inúmeras patologias são alguns dos problemas do crescimento desordenado na área da construção civil. Em função do crescente problema de degradação e de baixa qualidade das construções, é importante definir o desempenho mínimo dessas edificações.

Essas patologias não são somente falhas humanas, mas também, podem ser interações ambientais. Sendo assim, em 2013 entrou em vigor a norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013), para todas as edificações residenciais, analisando-se o comportamento e desempenho da edificação, melhorando a qualidade das mesmas.

1.1 JUSTIFICATIVA

Os conceitos sobre vida útil e durabilidade apresentados, prescritos pela norma de Desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013), nos dão informações para um planejamento da obra adequado, assim como o controle geral de qualidade e dos materiais. Esse controle, conseqüentemente, representa os requisitos previstos em projeto, assim como um orçamento geral da obra que prevê qualquer tipo de futuros danos.

Com base nesses preceitos, o tema prescrito serve de orientação aos engenheiros projetistas e construtores, na realização adequada do projeto estrutural em concreto armado,

especialmente na utilização normativa do concreto, para que se estime a vida útil da estrutura e que os mesmos tenham condições de elaborar edificações, que visem compreender como a durabilidade do concreto pode influenciar no dimensionamento de uma edificação.

As condições ambientais, associado aos conceitos de sustentabilidade, levam a entender que, independente do uso correto de materiais, uma estrutura pode sofrer degradação, fissuras, corrosões e reações químicas em geral. A NBR 6118 (ABNT, 2007) nos apresenta alguns requisitos que se tornam viáveis e importantes nas questões associadas à resistência do concreto e da armadura de aço, juntamente com os efeitos de flambagem, compressão e flexão.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Especificar a normatização de utilidade do concreto, demonstrando e estimando a influência da vida útil, durabilidade e desempenho, utilizando os requisitos mínimos propostos pela NBR 15575 (ABNT, 2013) e NBR 6118 (ABNT, 2014) em edificações urbanas.

1.2.2 Objetivos específicos

Conceituar e estimar vida útil e desempenho;

Apresentar as propriedades do concreto na influência da durabilidade;

Demonstrar a importância da manutenção nas edificações através de estudo patológico;

Descrever tipos de deterioração que podem ser encontradas em construções de concreto armado;

1.3 METODOLOGIA

Este trabalho é baseado em estudo patológico de edificações urbanas, onde encontram-se seus problemas de acordo com a negligência das manutenções e suas possíveis correções e de revisão bibliográfica. Tais métodos para o referencial teórico baseiam-se em uma busca seletiva de autores que têm estudo científico em estruturas de concreto armado e sobre a vida útil do concreto e, conseqüentemente nas estruturas. A utilização dos autores

envolvidos permite que eventuais casos a serem analisados tenham a base acadêmica necessária para a avaliação das estruturas com seus diversos tipos de patologia e sua possível correção para a influência da vida útil.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O tema “Propriedades do concreto na influência da durabilidade e estimativa da vida útil em estruturas de concreto armado”, como prescrito, baseia-se em estudos bibliográficos de edificações. Logo, para a compreensão dos métodos utilizados, o trabalho científico conta com a apresentação dos seguintes pontos, divididos em três capítulos:

Introdução:

Definição do tema proposto, assim como uma recapitulação da necessidade do tema, (justificativa), apontando seus aspectos específicos, subdividido em objetivos e objetivos específicos.

Referencial Teórico:

Apresentação do desenvolvimento, assim como todas as definições necessárias para o entendimento dos tópicos, a fim de que forneça informações suficientes para a análise do estudo patológico de edificações. A referência bibliográfica é subdividida em:

- Qualidade das edificações em concreto armado;
- Estruturas de concreto armado;
- Vida Útil;

Análise sistemática de reações:

Estudo com o objetivo de apresentar os efeitos das reações nas estruturas e uma possível correção de acordo com o desempenho esperado e projetado para sua vida útil.

2 QUALIDADE DAS EDIFICAÇÕES EM CONCRETO ARMADO

A exigência atual na construção civil é executar obras rápidas, com qualidade e com menor custo. O projetista deve determinar a qualidade dos materiais e das estruturas, portanto deve-se detalhar de forma completa e clara para que não surjam dúvidas e problemas na fase de execução. Entretanto, com o prazo de tempo curto, podem surgir dificuldades, e podendo emitir um projeto de qualidade inferior. Para isso, há normas que contribuem na fase de projeto, execução e manutenção.

2.1 CONCRETO

2.1.1 Componentes

O concreto simples é a mistura de aglomerante (cimento), agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita) e água. Já para o concreto armado, adiciona-se de armadura de aço com concreto simples, atendendo as propriedades estabelecidas na NBR 6118 (ABNT, 2003).

Para preparar o concreto, alguns cuidados devem ser tomados, como previsto anteriormente, e os materiais devem ser de qualidade, principalmente a água, pois ela é responsável por ativar a reação química do cimento, por serem adicionados aditivos capazes de mudar as características físicas e químicas dos materiais.

E segundo a NBR 12655 (ABNT, 2015), requisitos que compõem sua composição, venda, medição e volume são medidos em metro cúbico (m^3) no estado fresco.

2.1.1.1 Aglomerantes

Aglomerantes são materiais no estado de pó fino, e que, em contato com a água, formam uma pasta que endurece através de reações químicas. Como exemplo, conota-se o cimento Portland ou usualmente conhecido na construção civil apenas por cimento.

Criado por um construtor inglês, e patenteado por Joseph Aspdin em 1824, o cimento apresenta cor, durabilidade e solidez semelhante às pedras utilizadas nas construções daquela época, que eram retiradas da ilha britânica Portland, por isso o nome cimento Portland (ABCP, 2002).

Segundo ABCP (2002), o cimento é composto de dois componentes: clínquer e adições. O Clínquer é um pó constituído de calcário e argila, que em contato com a água

provoca uma reação química, tornando-se pastoso e, após endurecido, tem alto teor de resistência e durabilidade. As adições também são matérias primas, as quais identificam vários tipos de cimentos conhecidos hoje no mercado e são misturadas ao clínquer na sua fase de moagem. Essas adições são o gesso, escórias de alto-forno, materiais pozolânicos e materiais carbonáticos.

- O gesso tem a função de controlar o tempo de pega, pois sem o gesso o cimento é capaz de endurecer de forma muito rápida em contato com a água. A quantidade adicionada geralmente no cimento é 3% de gesso e 97% de clínquer (ABCP, 2002).

- As escórias de alto forno são obtidas das siderúrgicas durante a fabricação do ferro-gusa, são adicionadas ao gesso e clínquer para melhor durabilidade e resistência (ABCP, 2002).

- Materiais pozolânicos são matérias orgânicas queimadas, como por exemplo, certos tipos de argila. Os outros materiais como gesso e escórias em contato com a água reagem tornando um material pastoso e após endurecido, os pozolânicos devem ser adicionados além da água o clínquer, pois o processo libera hidróxido de cálcio (cal) que reage com os materiais pozolânicos (ABCP, 2002).

- Materiais carbonáticos são pedras moídas, como o calcário, que apresentam carbonato de cálcio, e tem a função de dar maior trabalhabilidade ao cimento (ABCP, 2002).

A associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define características, propriedades e métodos de ensaio. É possível encontrar no mercado brasileiro vários tipos de cimentos, sendo que os mais utilizados são:

- Cimento Portland comum;
- Cimento Portland composto;
- Cimento Portland de alto-forno;
- Cimento Portland pozolânico.

Em menor escala pode ser encontrado:

- Cimento Portland de alta resistência;
- Cimento Portland resistente aos sulfatos;
- Cimento Portland branco;
- Cimento Portland de baixo calor de hidratação;
- Cimento petrolíferos.

Na tabela está representada a composição dos cimentos Portland e os tipos de acordo com a ABNT.

Tabela 1 - Composição dos cimentos Portland

Cimento Portland (ABNT)	Tipo	Clínquer + Gesso (%)	Escória siderúrgica (%)	Material pozolânico (%)	Calcário (%)
CP I	Comum	100	-	-	-
CP II – S	Comum	95-99	1-5	1-5	1-5
CP II – E	Composto	56-94	6-34	-	0-10
CP II – Z	Composto	76-94	-	6-14	0-10
CP II – F	Composto	90-94	-	-	6-10
CP III	Alto-forno	25-65	35-70	-	0-5
CP IV	Pozolânico	45-85	-	15-50	0-5
CP V - ARI	Alta resistência inicial	95-100	-	-	0-5

Fonte: < http://www.ecivilnet.com/artigos/cimento_portland_composicao.htm >

2.1.1.2 Agregado graúdo

“Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.” (NBR 7211, (ABNT, 2009)).

Na construção civil, pode-se utilizar tanto britas como pedregulhos, desde que apresentem qualidade, sejam limpos, tenham boa resistência mecânica, e que na hora de dosagem tenham granulação uniforme para obter um concreto mais econômico e com uma resistência adequada.

No momento em que o concreto é preparado, necessita-se que na mistura haja uma compactação entre os agregados, ou seja, misturar dois tipos de pedra, que normatizados, correspondem em geral por brita 1 e brita 2.

A seleção de britas que serão utilizadas para a confecção do concreto, além de salientar o consumo e a resistência, também está diretamente ligada ao espaço das armaduras e entre as fôrmas.

2.1.1.3 Agregado miúdo

“Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, em ensaio realizado de acordo

com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1. ” (NBR 7211, ABNT, 2009).

Geralmente utilizada a areia, a mesma deve respeitar as normas técnicas em seus requisitos, como a existência de substâncias nocivas, consumo, dimensão e resistência a esforços mecânicos, módulo de finura, granulometria, forma dos grãos e área específica.

A massa unitária do agregado é de extrema importância, pois dela obtém-se as unidades previstas para o traço do concreto, assim como o consumo do agregado em m³ de concreto (BAUER, 1995).

Para armazenar os agregados, os mesmos são colocados separadamente, sem qualquer tipo de contato físico entre as graduações, e diferentes granulometrias, definido pela NBR 7211 (ABNT, 1983) permitindo que a água liberada escoe facilmente ao posicionar cada fração em uma base específica.

2.1.1.4 Aditivos

Segundo a NBR 12655 (ABNT, 2015), aditivos são produtos adicionados no concreto, com concentração menor que 5%, e têm a função de modificar, no sentido de melhorar as propriedades do concreto no estado fresco e/ou endurecido.

É possível encontrar nove tipos de aditivos para concreto de cimento Portland: plastificantes , retardadores de pega, aceleradores de pega, plastificantes retardadores , plastificantes aceleradores, incorporadores de ar, superplastificante, superplastificantes retardadores e superplastificantes aceleradores prescritos na NBR 11768 (ABNT, 1992).

Para atender as especificações previstas na NBR 12655 (ABNT, 1992), quaisquer aditivos em estado líquido, mesmo não sendo utilizados, constata-se que, para seu armazenamento, devem ser mantidos em embalagem original respeitando as condições estabelecidas pelo fabricante, providenciando todo tipo de segurança a respeito de intempéries ambientais e reações como corrosão, utilizando um recipiente estanque que impeça decantação (processo que permite a separação de líquidos imiscíveis).

Caso o aditivo no estado líquido for utilizado em sua própria embalagem provinda do fabricante, observa-se que, além de ser armazenado de forma que impeça a decantação, também deve ser homogeneizado uma vez ao dia e após seu uso; ou atender recomendações do fabricante.

Para a identificação dos aditivos, utiliza-se:

a) marca;

- b) lote;
- c) tipo do produto;
- d) data de fabricação;
- e) prazo de validade.

2.1.2 Preparo e Controle

Previsto na NBR 12655 (ABNT, 2015), que determina as condições de preparo, controle e recebimento do concreto, propõe-se que existem sequências bases para a obtenção desses processos construtivos, que constituem na caracterização dos materiais pela NBR 12654 (ABNT,1992), assim como o estudo de dosagem e traço do concreto, e consequentemente cautela em seu preparo final.

Para que se tenha uma modelagem de preparo adequada, é de responsabilidade do proprietário da obra ou do responsável técnico prever as especificações de cimento, traço, quantidades, medições, e documentos que comprovem a qualidade resultante desse concreto utilizado, atendendo aos requisitos previstos em projeto, levando-se em consideração as variações de temperatura e minuciosidades dos materiais.

Em relação à estrutura, adota-se como regra que o executante da edificação também deve estar apto ao recebimento do concreto, tendo como observação que a empresa contratante é responsável pelo memorial descritivo, contendo ensaios de laboratório, dosagem, lista de materiais utilizados, assim como, em lei, esse documento é arquivado na central dosadora.

Antes de se realizar a mistura do concreto, a NBR 12655 (ABNT, 2015) mostra que todos os materiais necessitam ser organizados em níveis separados, a fim de que se tenha uma identificação, principalmente para efetuar-se a dosagem, assim como obter os tipos de classes, graduação e documentos gerais que legalizam a utilização desses materiais e de suas características previstas.

A partir do fornecimento do cimento, deve-se observar e salientar que o mesmo, deve permanecer empilhado em segurança, assegurado de intempéries como chuva ou sol em excesso, e cada pacote recebido, guardar individualizado em pilhas, também constando que não tenha contato direto com o chão ou níveis intermediários, utilizando estrado de madeira.

A NBR 12655 (ABNT, 2015) estimula que, em questão de organização, os sacos de cimento que permanecem estagnados em um período menor que quinze (15) dias, devem ser

empilhados em até quinze (15) unidades, entretanto, se permanecerem por mais tempo, em dez (10) unidades.

2.1.3 Condições de preparo do concreto

Para a obtenção de um resultado de dosagem do concreto, existem condições corretas definidas pela NBR 12655 (ABNT, 1992):

a) (classes de aplicação C10 até C80): tanto o cimento como os agregados que serão utilizados devem ser medidos em massa, a água de amassamento também medida em massa, ou com algum dispositivo dosador que realiza a medição em volume.

b) (classes de aplicação C10 até C25): previsto em norma, em contradição com as classes acima, o cimento deve ser medido em massa e os agregados em massa combinada com volume, e a água medida em volume com algum dispositivo dosador.

c) (classes de aplicação C10 até C20): nessas classes a água é medida em volume com o dispositivo dosador, os agregados medidos em volume e o cimento em massa. Para o agregado miúdo, sua umidade é verificada após realizadas três vezes um serviço de concretagem, para que se corrija o volume do mesmo, a depender do material utilizado.

d) (classes de aplicação C10 e C15): classes pouco utilizadas, devido a baixa resistência em que a medida do cimento é em massa, a dos agregados em volume, e a água de amassamento é também medida em volume. Para a correção da quantidade de água no preparo, utiliza-se uma estimativa de umidade dos agregados, assim como a consistência do concreto.

e) em concretos para a classe até C10 que apresenta uma resistência média de 10 Mpa, definido na NBR 8953 (ABNT, 1992), a consistência deve ser comprovada, além da resistência das demais classes superiores.

Em uma determinada prévia para o estudo da dosagem a ser utilizada, deve-se ter conhecimento que, ao iniciar a obra, conhecendo o valor de desvio padrão (Sd), para a resistência do concreto, são utilizados ao menos 20 resultados intercalados em 30 dias para que se obtenha uma média, desde que atenda a um requisito maior que 2 Mpa (Mega-Pascal).

Ocasionalmente, não conhecendo o valor do desvio padrão, fixa-se um valor de resistência de acordo como o concreto será preparado, desde que também ultrapasse 2 Mpa e mantendo a unidade durante o processo construtivo.

2.1.4 Classificação do concreto para fins estruturais

De acordo com a NBR 8953 (ABNT, 2015), os concretos são classificados de acordo com suas respectivas classes, tendo como base à resistência a compressão (f_{ck}), em grupos I e II, provindo de ensaios de laboratório (corpos-de-prova), pela NBR 5738 (ABNT, 2015) e rompidos de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007).

Tabela 2- Classes de Resistência do Grupo I

Grupo I de Resistência	Resistência Característica A Compressão (Mpa)
C10	10
C15	15
C20	20
C25	25
C30	30
C35	35
C40	40
C45	45
C50	50

Fonte: NBR 8953 (ABNT, 2015)

Tabela 3 - Classes de Resistência do Grupo II

Grupo II de Resistência	Resistencia Característica à Compressão (Mpa)
C55	55
C60	60
C70	70
C80	80

Fonte: NBR 8953 (ABNT, 2015)

A resistência da pasta, obtida da mistura dos elementos água e cimento, é de onde provém seu maior valor de compressão. Nos agregados graúdos, em cada dimensão máxima encontra-se um ponto em que a resistência é extremamente suficiente.

A relação água/cimento (a/c) é o principal fator de resistência à compressão do concreto, pois quanto maior esse fator menor será a resistência. Um fator que está em torno de 0,4-0,7, é geralmente normatizado, pois um fator representativo menor ou igual a 0,3 influencia negativamente na trabalhabilidade do concreto, e um fator maior que 0,8, torna o concreto fraco, devido a uma presença enorme de água, medida em m^3 .

A influência da água atinge a resistência mecânica do concreto, tanto nos processos de durabilidade e trabalhabilidade, mas também em sua porosidade, principalmente quando utilizada uma água não-potável, que aumenta os riscos da estrutura sofrer com processos de corrosão devido aos cloretos presentes. (ABCP,2012)

2.1.5 Dosagem

A dosagem compreende os procedimentos de medidas dos componentes do concreto de cimento Portland, de forma mais adequada e econômica dos materiais. Em geral, conota-se uma proporção (traço), entendendo-se que são utilizadas como medidas do sistema internacional a massa e volume. Materiais como os cimentos, aditivos, água, agregados graúdos e miúdos, e até mesmo ar incorporado e aprisionado, correspondem ao traço geralmente especificado nas obras, assim como em construções brasileiras (BERNARDO F. TUTIKIAN, UNISINOS).

No Brasil, não existe um consenso ou até mesmo uma normatização específica de como é realizado o estudo de dosagem e que, os próprios pesquisadores, fabricantes e construtoras padronizam seus métodos de dosagem, estabelecendo seus traços a partir do levantamento da obra, considerando-se principalmente a resistência do concreto e o orçamento (PAULO HELENE, 1992).

A resistência do concreto depende dessa proporção, então é de suma importância uma boa preparação da quantidade de materiais. De acordo com ABCP (2002), os requisitos para dosagem são: trabalhabilidade, resistência físico-mecânica, permeabilidade/porosidade, condição de exposição e custo.

No Brasil, as normas NBR 5738 (ABNT, 2003) e NBR 5739 (ABNT, 2007) exemplificam por meio de ensaios, métodos que levam à resistência a compressão do concreto. Já em relação aos ensaios no procedimento ainda em fase de projeto, a NBR 6118 (ABNT, 2003) estimula seus parâmetros e no processo de execução a NBR 14931 (ABNT, 2004). Se o construtor, projetista ou engenheiro necessitar de parâmetros que visem atender principalmente a resistência a compressão, deve-se consultar a NBR 8953 (ABNT, 2009).

Como parâmetro principal, a resistência à compressão é um fator primordial que determina diversas características da durabilidade do concreto, pela facilidade de procedimentos que visam conotar as especificações de ensaios em corpos-de-prova, assim como prever alterações que compõem sua mistura.

Ordinariamente constatado, engenheiros ou projetistas negligenciam seus conhecimentos a favor de uma redução de custos para a empresa fornecedora, isto é, apesar de conhecerem propriedades do concreto tanto no estado fresco como endurecido, optam por ensaios que estimulam uma dosagem insuficiente ou superinflada, que prejudica a qualidade da habitação, comprometendo a durabilidade, a segurança, a deformabilidade, e diminuindo sua vida útil e aumentando os custos futuros de manutenção.

2.1.5.1 Método ABCP de Dosagem

Criado na década de 80 pela Associação Brasileira de Cimento Portland, o método ABCP de dosagem é desatualizado, assim como exposto que os métodos atuais utilizados consistem especificamente de condições de ensaios dos fabricantes. Entretanto, permite que obtenha um traço-base, moldando-se corpos-de-prova e adquirindo resultados comprobatórios nos ensaios e que, adequando ao tipo de obra ou edificação pode ser ajustado conforme desejado (HELENE, 1992)

Conhecendo-se as informações seguintes, pode-se estimar:

- Especificações de Tipo, Resistência à compressão aos 28 dias, Massa específica, Análise Granulométrica;
- Máxima dimensão característica do agregado graúdo;
- Em estado fresco, a consistência do concreto;
- Resistência do concreto pela dosagem (f_{cj}).

Etapas do método:

- 1) Obter a relação água/cimento (conhecendo-se o tipo de cimento e o gráfico de resistência normal);
- 2) Determinar aproximadamente o consumo de água no concreto (C_a), com a dimensão máxima característica;
- 3) Determinar o consumo de cimento (C_c), que provém da relação do consumo de água com a relação (a/c);
- 4) Obter o consumo dos agregados. O consumo de agregado graúdo (C_b) necessita do conhecimento da dimensão máxima característica, como também para o agregado miúdo seu módulo de finura. E o consumo (C_m) do agregado miúdo depende do volume do agregado (V_m), sendo que fraciona-se o volume com a massa específica do agregado, e essa quantidade é medida em massa.

Esse estilo de dosagem, que utiliza a dosagem do concreto, permite tracionar a resistência à compressão e é determinada a partir de estatística de controle do concreto.

A resistência do concreto em j dias é expressa por:

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65Sd \quad (1)$$

Sendo que:

f_{cj} representa a resistência à compressão aos j dias, em Mpa;

F_{ck} é a característica do concreto à compressão, em Mpa;

Sd é o desvio padrão utilizado no controle do concreto, em Mpa.

Para o f_{ck} utilizado, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) utiliza-se de um coeficiente de minoração ($F_{ck}/1,4$), que possibilita que a estrutura aumente sua segurança nos seguintes aspectos:

- Devido a valores de variação nas características dos materiais;
- Inexatidão de cargas e pesos de materiais;
- Carregamento da estrutura que apresente distribuições distorcidas ou com inexatidão.

Condições variáveis durante o processo construtivo são obtidas através do desvio-padrão (Sd), que são consideradas na resistência do concreto.

O Sd é determinado a partir do processo de controle na produção:

- Controle rigoroso ($Sd = 4,0$): utilizado por um especialista em tecnologia de concreto, provindo de medidas do traço em massa, com um controle de umidade e unidade de água. Ex.: concretos usinados;

- Controle razoável ($Sd = 5,5$): engenheiro responsável pela obra que utiliza um traço misto (um traço que o mesmo busca de seus conhecimentos, mas também verificando normas) e que utiliza como medidas o cimento em massa e em volume quaisquer outros materiais, sempre adequando a um controle de umidade;

- Controle regular ($Sd = 7,0$): Desvio no qual é habilitado por profissional de execução da obra, em que não estabelece um controle, tanto para a massa, assim como a umidade.

Ex.: concreto fabricado no canteiro da obra.

Quadro 1 - Prático para traços

TRAÇO	CONSUMO POR M ³ DE CONCRETO FRESCO						RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO			
	FATOR A/C	CIMENTO		AREIA	BRITAS		ÁGUA	3 dias	7 dias	28 dias
	litros/kg	kg	sacos	m ³	Nº1 m ³	Nº2 m ³	Litros	kgf/cm ²	kgf/cm ²	MPa
1:1:2	0,44	514	10,3	0,363	0,363	0,363	226	228	300	400
1:1 ^{1/2} :3	0,49	387	7,7	0,409	0,409	0,409	189	188	254	350
1:2:2 ^{1/2}	0,55	374	7,5	0,330	0,330	0,330	206	148	208	298
1:2:3	0,61	344	6,9	0,364	0,364	0,364	210	117	172	254
1:2 ^{1/2} :3	0,65	319	6,4	0,337	0,337	0,337	207	100	150	228
1:2:4	0,68	297	5,94	0,420	0,420	0,420	202	90	137	210
1:2 ^{1/2} :3 ^{1/2}	0,71	293	5,86	0,362	0,362	0,362	208	80	123	195
1:2 ^{1/2} :4	0,73	276	5,5	0,390	0,390	0,390	201	74	114	185
1:2 ^{1/2} :5	0,79	246	4,9	0,435	0,435	0,435	195	58	94	157
1:3:5	0,88	229	4,6	0,405	0,405	0,405	202	40	70	124
1:3:6	0,95	208	4,2	0,441	0,441	0,441	198	30	54	100
1:4:8	1,20	161	3,2	0,456	0,456	0,456	194	NÃO	NÃO	NÃO

Fonte: <construfacilrj.com.br/dosagem-e-tabela-pratica-para-traco-do-concreto/>

O quadro acima representa uma dosagem base de uma construção, com as quantidades especificadas em medidas, e a resistência à compressão.

Antes de iniciar a concretagem, já definido o traço no estudo de dosagem, de acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2015), deve ser preparada uma amassada de concreto na obra, para comprovação do traço. Porém, se a dosagem vir de central ou elaborada com os mesmos materiais e condições de execução torna-se desnecessário, uma vez que estarão registradas na documentação, os ensaios e ajustes efetuados.

Em concretos de classe até C10, definido na NBR 8953 (ABNT, 2015), a consistência deve ser comprovada, e em maiores que C10, sua resistência à compressão.

A dosagem de cada composto para concretos de classe C15 ou superior deve ser racionada anteriormente a concretagem, visto que, pela maior resistência, as condições de execução tornam-se mais cautelosas. E, prevendo qualquer tipo de alteração na procedência dos materiais, classe ou qualidade, refazer um novo cálculo de dosagem.

2.1.6 Mistura

Após a obtenção do traço do concreto, os componentes (cimento, areia, brita e água) devem ser misturados até formarem uma mistura homogênea, para uma melhor resistência e durabilidade do concreto. A quantidade de água é um fator de extrema importância, pois ela é

responsável por ativar a reação química de hidratação do cimento. A mistura pode ser realizada de forma manual ou mecanizada.

Mistura manual só poderá ser feita em obras de pequeno porte, ou seja, o volume não justifica o emprego de equipamento mecânico. Deve ser realizada em superfície plana e impermeável, misturando primeiro os materiais secos, e logo após a água de forma a obter-se uma mistura homogênea de adequada resistência.

Mistura em caminhão betoneira ou centrais misturadoras: os componentes do concreto são colocados no caminhão betoneira após o pedido do traço. Pode-se misturar completamente o concreto e depois transportar até a obra, ou pode-se misturar uma parte da água e os componentes secos de forma a acrescentar o restante da água antes da mistura final e descarte do concreto (NBR 7212 (ABNT, 2012)).

O tempo mínimo para mistura em betoneira estacionária compreende um intervalo de 60s médios, de forma que o tempo pode ser aumentado em 15s por metro cúbico, dependendo da capacidade da betoneira, considerando que em presença de qualquer uniformidade esse tempo também pode ser diminuído. (NBR 12655 (ABNT, 2015)).

2.1.7 Transporte e lançamento

Embora muitas vezes negligenciado, o ato de transportar o concreto a fim de realizar a concretagem, é de extrema importância, principalmente em lajes e geralmente último passo a ser realizado, para menor duração e consequente aproveitamento de recursos. Muitas vezes, é o transporte que determina as características finais de resistência e trabalhabilidade do concreto.

Evitando exposição ao meio ambiente, deve-se realizar o mais rápido possível, para que o mesmo ainda adquira as exigências previstas em sua dosagem e funcionalidade. Dessa forma, previne-se a concretagem utilizando fôrmas específicas com a dimensão da estrutura a ser colocada.

O transporte é feito por caminhão betoneira podendo ou não ter dispositivo de agitação, desde que apresente fundo e paredes revestidas de material impermeável. O tempo de transporte desde a mistura e adição de água deve ser feito de forma que:

1. O adensamento não ocorra após o início de pega;
2. Para caminhão betoneira com agitação, o tempo de entrega inferior a 90 minutos e de forma que o fim da descarga (lançamento e adensamento) seja menor que 150 minutos;

3. Para caminhão betoneira sem agitação o tempo de entrega inferior a 40 minutos e de forma que o fim da descarga (lançamento e adensamento) seja menor que 60 minutos (NBR 7212 (ABNT, 2012)).

4. O lançamento do concreto, basicamente é operado pelo mesmo sistema em que foi transportado, entretanto muitos cuidados devem ser tomados para que ainda garanta sua resistência e evite sua segregação.

5. Em torno de uma hora, após preparado na obra, o concreto deve ser lançado e em nenhuma hipótese ocorrer após o tempo de cura. (comunidade da construção).

6. Já em termos de estrutura, nas lajes e vigas, por exemplo, uma forma de impedir a segregação do concreto é constar um lançamento que não acumule uma porção de montes distantes, pois devido a distância, pode separar a argamassa do agregado graúdo, no caso brita. Nos pilares, pede-se uma altura de dois metros equivalentes em queda livre à medida que também evita qualquer tipo de degradação, segundo a NBR 14931 (ABNT, 2003).

7. Temperaturas que estejam muito baixas ou bastante elevadas influenciam na resistência de agressão por elementos do meio externo, prejudicando sua vida útil.

8. A NBR 7212 (ABNT, 2012) estabelece que para o lançamento do concreto, são aceitas temperaturas que variam de 10°C a 32°C, pois além desses limites, há possibilidade de ocorrência de qualquer tipo de fissura provinda de origem térmica.

9. No momento do lançamento, a temperatura da massa do concreto não pode ser inferior a 5°C , prescrito pela NBR 14931 (ABNT, 2003).

2.1.8 Tempo de Pega, Adensamento e Cura

Tempo de Pega: Segundo a NBR NM 65 (ABNT, 2003), tempo de início de pega define-se como o momento em que é adicionada água ao cimento a partir do momento em que é penetrada a agulha de Vicat (aparelho em que identifica a consistência da pasta), em (4+-1) mm em relação ao molde da pasta. Entretanto, o fim de tempo de pega consiste em determinar o tempo decorrido desde quando a água é adicionada ao cimento em relação de (0,5) sobre a agulha de Vicat.

De acordo com Metha & Monteiro (1994), o início do tempo de pega, também denomina as reações presentes em sua cristabilidade, que consiste em uma lenta hidratação de seus compostos, como os aluminatos, muitas vezes responsáveis pela perda de consistência.

No processo de endurecimento, que ocorre posteriormente, substâncias como silicatos conduzem ao concreto uma maior resistência mecânica.

Usualmente, nas obras, esses intervalos representam quando o concreto começa sua solidificação, que é um período não trabalhável, ou seja o mesmo perde sua plasticidade e conseqüentemente sua durabilidade.

Quadro 2 – Tempo de Pega de acordo com o tipo de Cimento

	CP I	CP I - S	CP II - Z, F, E	CP III	CP IV	CP V - ARI
Início de pega	≥ 1h	≥ 1h	≥ 1h	≥ 1h	≥ 1h	≥ 1h
Fim de pega	≤ 10h	≤ 10h	≤ 10h	≤ 12h	≤ 12h	≤ 10h

Fonte: NBR NM 65 (ABNT, 2003)

Adensamento: Processo no qual se opera na retirada de ar presente na massa do concreto, logo após o lançamento, cujo intuito é reduzir a porosidade do mesmo, melhorando a resistência mecânica, e como ótimo benefício, dificulta que elementos agressivos preencham o concreto, além de facilitar no encaixamento das fôrmas. O adensamento é geralmente realizado por vibração, apesar de que não se retira todo o ar aprisionado. O ar incorporado no concreto representa cerca de 1,5% a 2% e que com o tempo aumenta devido ao processo de evaporação da água.

O adensamento manual do concreto, que funciona como um processo de golpes, é realizado utilizando barras de aço ou pedaços de madeira. Feito por camadas, as mesmas devem ter espessura máxima de 15 a 20 cm, em que são repetidos golpes a fim de que na superfície do concreto, apareça uma camada lisa de cimento juntamente com elementos finos.

O adensamento mecânico é utilizado em obras de médio a grande porte, e para isso existem diversas maneiras de acordo com o tipo de construção e a forma como será executada.

➤ **Vibrador de imersão:** também denominado como vibrador de agulha, sua vibração é realizada transmitindo-se ao concreto através de um mangote onde encontra-se uma agulha na extremidade. Essa agulha é cravada à massa perpendicularmente em espaçamentos previstos de até 40 cm. Um intervalo de 5 a 30 segundos é o suficiente em cada ponto a ser realizado, desde que as camadas a serem vibradas tenham espessura máxima de 50 cm e que com os cuidados necessários evitar que realize vibração em camadas já adensadas

ou próximo às fôrmas, evitando o aparecimento de bolhas de ar. Muito utilizado em vigas, colunas e pavimentação.

Figura 1– Vibração por imersão



Fonte:< <https://www.royalmaquinas.com.br/blog/adensamento-concreto-o-que-e-vantagens/>>

➤ Régua Vibratória: equipamento que adensa o concreto sobre um nível, que desliza dando à superfície um acabamento adequado. Bastante utilizado para adensar lajes, pisos e superfícies planas em geral.

Figura 2– Vibração por régua vibratória



Fonte:< <https://www.royalmaquinas.com.br/blog/adensamento-concreto-o-que-e-vantagens/>>

➤ Centrifugação: Utilizado em peças pré-moldadas, como postes, tubos e estacas, representa um processo de adensamento que consiste em aumentar o peso aparente do concreto acerca das paredes da fôrma. Elementos constituintes do concreto, os quais são mais

pesados, são lançados ao exterior da peça, e no interior resta uma concentração alta de cimento.

Figura 3– Vibração por centrifugação



Fonte: <http://www.tea.com.br/?p=1959/Préfabricados>

A NBR 14931 (ABNT, 2004), exemplifica as generalidades em um caso de adensamento por vibração mecânica ou manual:

- Evitar que a armadura sofra vibração a fim de que não prejudique a aderência com o concreto;
- Em um adensamento manual, alturas superiores a 20 cm para as camadas são inadequadas;
- Ao concreto, a vibração em falta ou excesso são igualmente prejudiciais;
- Deve-se retirar o vibrador lentamente com o mesmo ligado;

Conclui-se que as etapas de lançamento e adensamento são fundamentais para garantir e interferir na durabilidade do concreto. O tipo de peça e as necessidades construtivas determinam os parâmetros para o lançamento e adensamento garantindo segurança, qualidade e principalmente durabilidade.

Cura: A cura do concreto refere-se ao procedimento técnico que tende a desacelerar a evaporação da água de amassamento na fabricação do concreto, ao mesmo tempo em que permite uma hidratação completa do cimento, prescrito por Cimento Itambé, acesso em 2017. Quando bem realizada, a cura pode aumentar a resistência mecânica do concreto em até 30%, já diminuindo a incidência de fissuras iniciais.

O conceito de cura relaciona-se diretamente com a presença de água na mistura, que especifica a trabalhabilidade e a hidratação, que compõem necessidades básicas do concreto. Parte da água da mistura permite que ocorra um adequado adensamento e o restante sai da massa de concreto por evaporação. E esse fenômeno de evaporação deve ser controlado de forma que não seja muito rápido para prevenir tensões internas, e conseqüentemente trincas e fissuras.

Na prática, a cura deve iniciar após a conclusão do acabamento, garantido adensamento adequado e uma certa umidade superficial. Como o concreto ainda não tem sua resistência total para suprir os esforços, nas primeiras horas é fundamental garantir o processo de cura, com os devidos cuidados de condições climáticas.

A cura deve impedir também que a parcela de água que tende a reagir para hidratar o cimento evapore. Usualmente, com uma maior demanda na utilização de aditivos superplastificantes, nas dosagens utilizam-se menos quantidade de água.

A aspersão ou borrifamento de água são os métodos mais usuais, porém a utilização de películas químicas próprias para cura, cobrimento com areia, e processos térmicos também são considerados.

De acordo com Cimento Itambé, acesso em 2017, a molhagem por aspersão deve ser contínua para obter uma cura ótima. Apesar de mais simples, muitos problemas podem ser encontrados nas obras, pois muitos engenheiros iniciam a cura um dia após a concretagem ou o concreto é molhado uma vez por dia apenas.

Figura 4– Cura sendo realizada por aspersão



Fonte:< <https://construfacilrj.com.br/cura-do-concreto/>>

A partir da NBR 14931 (ABNT, 2004), estima-se que o tempo mínimo para cura é de sete dias, desde que o concreto atinja uma resistência mínima de 15 Mpa. Essa resistência garante que a hidratação do concreto estará em processo avançado e logo, a cura pode ser finalizada. Consequentemente, o cimento utilizado juntamente com a relação água/cimento tornam-se aspectos fundamentais para o tempo de cura.

A NBR 5738 (ABNT, 2003) estabelece os critérios necessários para o processo de cura nos corpos-de-prova. Após a moldagem, devem ser armazenados em ao menos 24 h protegidos de intempéries, para evitar a perda de água, em uma câmara com temperatura em torno de 23 °C.

Assim que retirados, impedir a secagem nas superfícies, totalmente identificados, para que sejam levados ao laboratório para ensaios. Para o teste de compressão axial, aos 28 dias, devem permanecer nas condições citadas por pelo menos 21 dias.

3 ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

O projeto estrutural de uma edificação, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2003) apresenta as recomendações necessárias para um correto dimensionamento em concreto armado, utilizando ou não armações de aço, a fim de que atenda aos requisitos propostos anteriormente pela NBR 12655 (ABNT, 1992), relacionados à durabilidade da estrutura, assim como o uso adequado dos materiais na fabricação do concreto.

De acordo com a norma, questões como rupturas, resistência, desempenho e qualidade, estão diretamente relacionadas ao projeto dimensional da edificação, que por sua vez, deve integrar o projeto arquitetônico, como também qualquer tipo de instalações, seja elétrica, hidráulica, e possíveis adaptações em design.

O sistema estrutural em concreto armado tem como base a busca por dimensões, materiais e projeções que atendam às necessidades atuais em questão de economia, melhoria nos processos de cálculo e desempenho, analisando a quantidade de pavimentos da edificação, segundo (CARVALHO, 2013).

O comportamento da estrutura é algo a ser pensado desde o início do projeto, visto que, futuras deformações podem ocorrer com um mau dimensionamento, prejudicando sua vida útil e segurança. A análise estrutural de um sistema tem como objetivo determinar tensões, esforços e deslocamentos, sempre observando o tipo de carregamento ou solicitação que a estrutura está recebendo. (MARTHA, 1955).

A mão de obra, associada à questão de segurança e custos, segundo Nogueira Borges (2010), é um processo que deve ser bastante cauteloso para que se evite superdimensionamentos, ocasionando em um orçamento exagerado ou um subdimensionamento, que prejudica a edificação, oferecendo riscos.

Todas as exigências apresentadas existem para que a estrutura como um todo garanta qualquer tipo de desempenho e funcionalidade, atendendo as respectivas normas e condições de uso que uma vida útil regulamentada deve oferecer. A resistência da estrutura como um todo à ação do meio ambiente depende de fatores previstos na resistência do concreto, a própria estrutura e a armadura.

Figura 5– Visão de uma estrutura em concreto armado



Fonte: <blog.construir.arq.br>

3.1 LAJES, VIGAS E PILARES

A breve conceituação de lajes, vigas e pilares, que será apresentada, tem como intuito defini-los e explicar as consequências das deformações na durabilidade da estrutura, e possíveis parâmetros na vida útil.

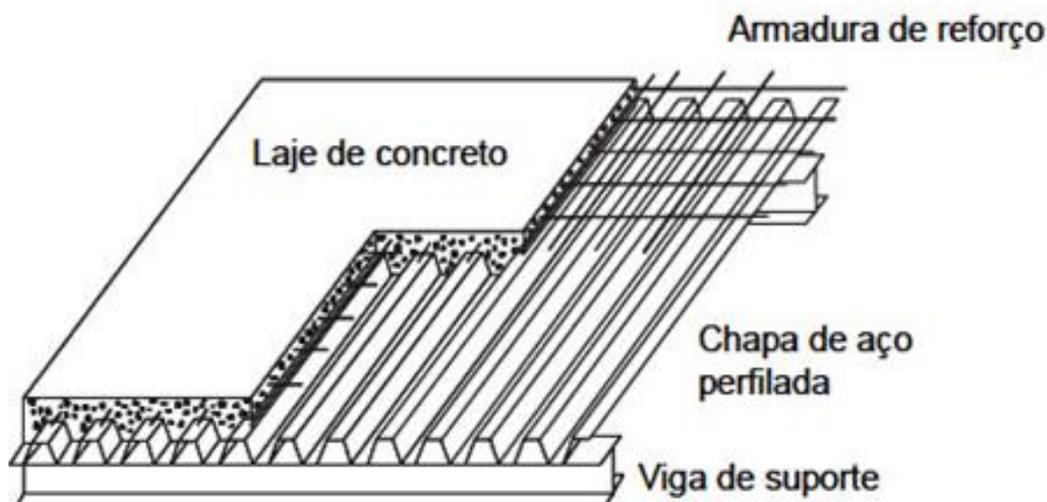
3.1.1 Lajes

De acordo com Borges (2010), “As lajes são estruturas planas que recebem diretamente a maior parte dos carregamentos suportados por toda a estrutura. Estes carregamentos estão distribuídos sobre a superfície da laje, que os descarrega, normalmente, sobre vigas de apoio”.

As lajes, além de terem como propósito suportar os carregamentos da estrutura, também atuam de forma a combater ao esforço que é ocasionado pelo carregamento, chamado Momento.

Milton de Araújo (2010) conceitua que, ao fazer o dimensionamento de lajes, inúmeros fatores são levados em consideração, tais como a sobrecarga, o peso próprio, a largura, a armadura e a capacidade de resistir a momentos.

Figura 6- Laje de concreto armado



Fonte: SSEDTA, 2005

Para o cálculo de uma laje em concreto armado, o engenheiro projetista analisa as cargas características, as reações e os esforços solicitantes. As cargas características representam aquelas que contribuem para o peso próprio da estrutura, assim como as que definem a utilização de determinado ambiente numa edificação, segundo SILVEIRA (2000).

As reações e os esforços solicitantes, todavia, exigem um detalhado planejamento em projeto, em seu pré-dimensionamento, para assegurar que a estrutura futuramente atenda as necessidades de durabilidade, seja por flexão, cisalhamento ou a esforços de tração e compressão.

Em um pré-dimensionamento, adotam-se os seguintes requisitos:

- Determinação das ações;
- Determinação das resistências;
- Verificação da segurança.

“As ações são as solicitações à peça, as resistências levam em conta a seção transversal e as características mecânicas dos materiais, e a segurança deve ser garantida com um dimensionamento que supere os esforços que incidam sobre a peça com uma certa folga.” (SILVEIRA, 2000).

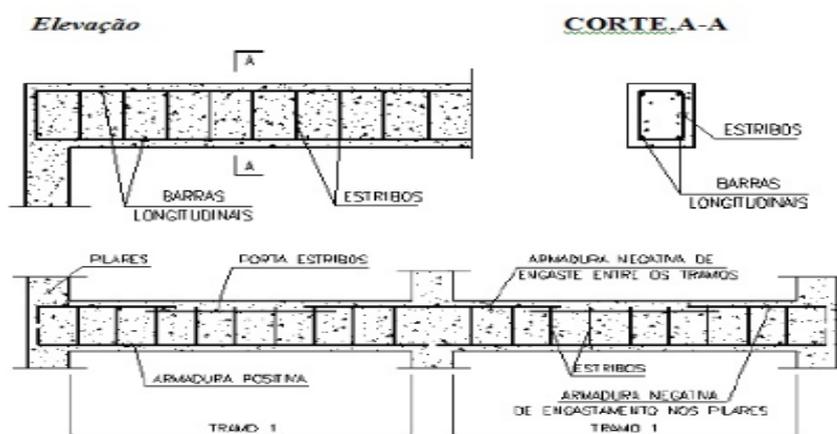
3.1.2 Vigas

De acordo com Borges, 2010, as vigas são estruturas, as quais têm a função de distribuir cargas para os pilares, de forma que as mesmas concentram essas cargas em seus

planos horizontais. O dimensionamento das vigas consiste em obter a altura, largura, determinar a área de aço a ser utilizada, e assim como as lajes prever um detalhamento das armaduras a fim de que se obtenha dados suficientes para a estabilidade da estrutura, dos apoios e o carregamento.

As armaduras principais da viga (positivas) tendem a reduzir os esforços de tração solicitantes, já as armaduras secundárias (negativas) contêm os esforços de compressão. É necessário que exista um cobrimento na armadura com um diâmetro mínimo com o propósito de deter o momento atuante.

Figura 7- Detalhe de armadura em viga



Fonte: Mackenzie

3.1.3 Pilares

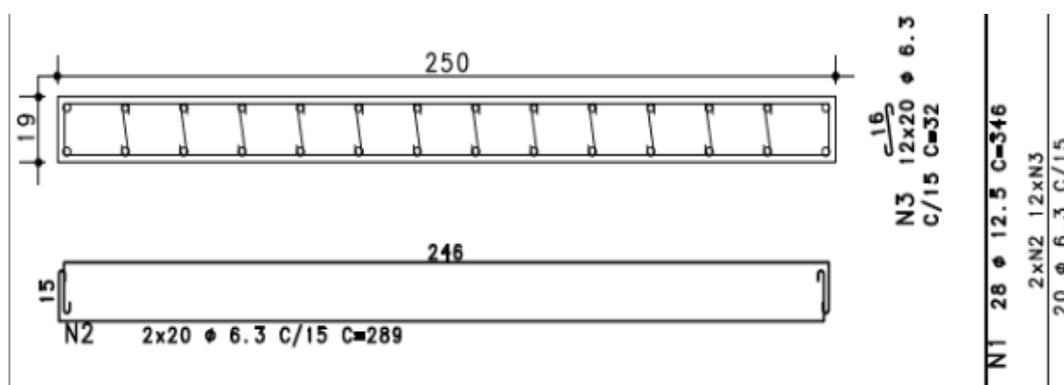
“Pilares são estruturas verticais que, normalmente, sustentam vigas de teto e/ou outros pilares de andares superiores. Em edifícios são submetidos a cargas concentradas verticais na direção do seu eixo, aplicadas no seu topo, e as transmitem às fundações. Sua seção reta pode ter qualquer formato, sendo mais usuais o circular e o retangular”(BORGES, 2010).

O autor explica que no dimensionamento, considerou-se um comprimento, que determina a distância entre eixos de vigas. E como nas vigas, denotam-se os esforços solicitados na sua seção reta e também na armadura. As cargas nos pilares sofrem de um fenômeno denominado Excentricidade, que é a distância do ponto em que a força é aplicada do centro da seção reta.

Essa excentricidade dá ao pilar uma carga não só no topo de sua seção, mas também no centro do mesmo. No dimensionamento, levam-se em consideração as excentricidades de

primeira e segunda ordem, que correspondem à direção da carga lançada, ocasionando ou não efeitos de flambagem.

Figura 8- Detalhamento de armadura com estribo em pilar



Fonte: Canal do Engenheiro.

3.1.4 Estado limite último de deformação e cisalhamento em lajes, vigas e pilares associados à durabilidade da estrutura

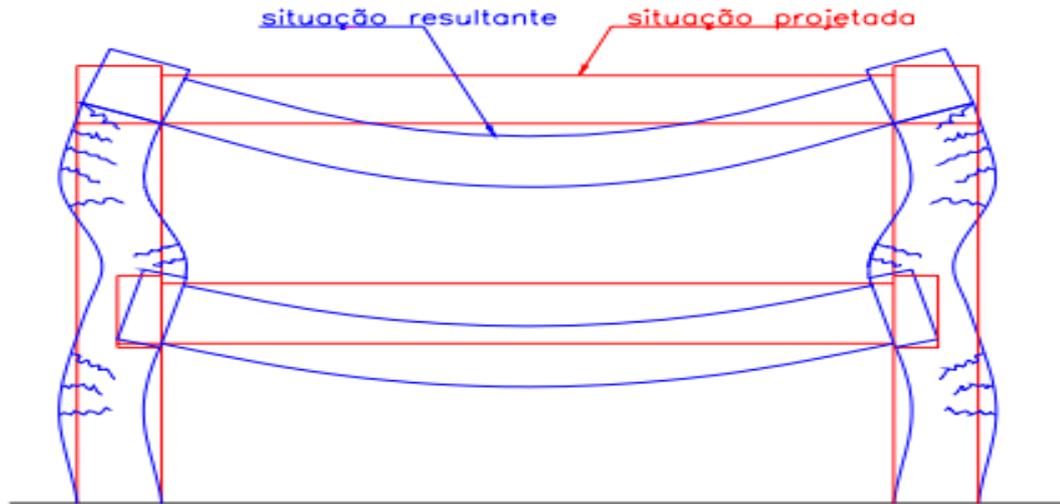
O Estado Limite Último (ELU) representa a segurança e o uso de determinada estrutura para que atenda as questões de ruptura e colapso, onde encontram-se situações onde o dimensionamento deve respeitar tais limites, sempre projetados como se estivessem a romper. O colapso, uma vez, remete principalmente ao último limite de segurança existente. Os danos causados não só incluem materiais, mas também perda de vidas e de toda uma ética profissional envolvida. Entretanto, existe um coeficiente de segurança utilizado (ponderação), que permite que a estrutura resista além dos carregamentos solicitantes.

“Por exemplo, no caso de um pilar de Concreto Armado submetido à uma força normal de compressão de 100 kN (10 tf), o dimensionamento teórico do pilar é feito como se a força normal fosse 140 kN, valor calculado multiplicando-se a força de compressão real pelo coeficiente de segurança γ_f de 1,4. A força normal de 140 kN é chamada “força de cálculo”(BASTOS, 2006),

Para que se verifique o estado limite de deformação, deve-se analisar o item 17.3.2 da NBR 6118 (ABNT, 2014), que determina a avaliação das tensões de flexão e cisalhamento. Avalia-se a altura utilizada, se a mesma atender ao dimensionamento, não haverá deformação excessiva. Caso houver, o correto é adotar uma altura maior que a prevista.

O item da norma também considera uma estrutura que apresente rigidez efetiva das seções do elemento estrutural, basicamente definido pela armadura utilizada, quaisquer fissuras no concreto, etc.

Figura 9- Exemplo de deformação de laje

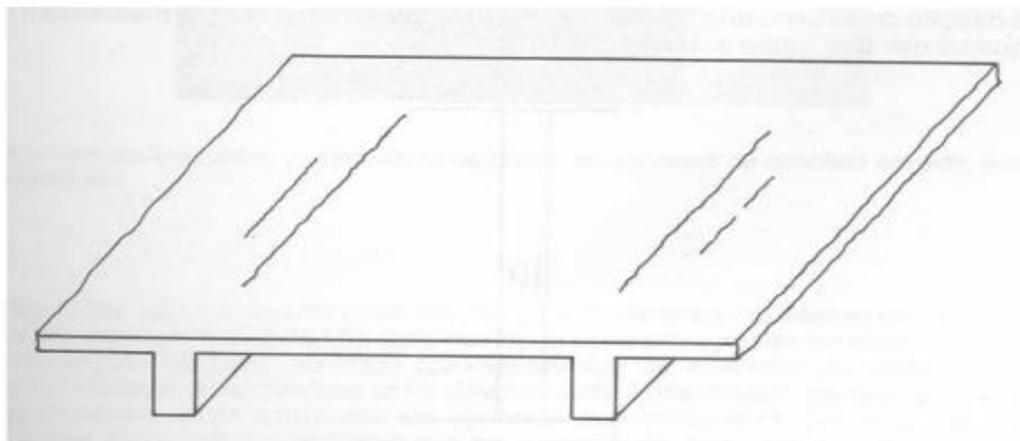


Fonte: Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e perícias, Belo Horizonte/MG

As deformações por fissuras, por sua vez, também na NBR 6118 (ABNT, 2014), assim que respeitados os limites últimos, não permitem danos à durabilidade da estrutura. O processo de execução da estrutura abre condições de ocorrência para fissuras em lajes, por isso estima-se que, normalmente, o elemento estrutural já tende a um comportamento próprio de sofrer fissura.

Ao cisalhamento, denota-se o uso de armaduras como precursoras dos efeitos do mesmo, evitando o uso de estribos e pelo fato de não existir paredes sobre a laje.

Figura 10- Trincas na face superior da laje devido ausência de armadura negativa



Fonte: THOMAS, (1989)

3.2 DURABILIDADE

Durabilidade consiste na capacidade de a estrutura conservar seu desempenho previsto no projeto ao longo do tempo, sob condições de instalação, operação e manutenção especificados pelo fornecedor, de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013)).

O conceito de durabilidade associa-se também em como os agentes agressivos do meio ambiente agem sobre a estrutura, por meio de sua penetração no concreto. É um tema complexo devido à dependência de inúmeras variáveis.

As edificações de concreto devem atender ao desempenho, sob condições ambientais, garantindo segurança, estabilidade e aptidão durante sua vida útil (NBR 6118, ABNT, 2014).

As estruturas de concreto podem sofrer agressividade do meio, sejam ações químicas ou físicas, podendo afetar a durabilidade do concreto. O concreto para ser durável ele deve ser impermeável, pois, a permeabilidade é uma das condições que o expõe aos agentes externos (RIBEIRO; PINTO; STARLIN, 2011).

A durabilidade é também um fator constatado pela presença de diversidades como maresia, chuvas ácidas, sais, além de solicitações mecânicas, como impactos, carga monotônica e às propriedades do concreto, principalmente a relação a/c, aditivos, adições e porosidade (HELENE, 1993).

Observando a estrutura como um todo, a NBR 6118 (ABNT, 2014), a NBR 12655 (ABNT, 2006) e a NBR 14931 (ABNT, 2004), asseguram a durabilidade como fator primordial a partir das especificações adequadas acerca da relação água/cimento, a espessura de cobertura à armadura, resistência à compressão mínima, e ao consumo de cimento, previsto em projeto as condições em que serão expostos.

Um grande avanço revisado pela NBR 6318 (ABNT, 2003), proporciona parâmetros no projeto em função do ambiente agressivo presente na edificação. Entretanto, de acordo com Andrade (2005), a maior dificuldade encontrada é a interação de todos os envolvidos no projeto, tais como, os projetistas, construtores, arquitetos, fornecedores dos materiais na conscientização da importância que a durabilidade influencia nos critérios sociais e de segurança.

No quadro 3, observa-se a classe de agressividade ambiental de acordo com o ambiente.

Quadro 3– Classes de Agressividade Ambiental e qualidade do concreto

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	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha Industrial	Grande
IV	Muito forte	Industrial Respingos de maré	Elevado

1)Pode-se admitir um micro-clima com classe de agressividade um nível mais brando para ambientes internos secos (salas, dormitórios banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residentes e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura)

2) Pode-se admitir uma classe de agressividade um nível mais branda em obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuvas em ambientes predominantemente secos ou regiões onde chove raramente.

3)Ambientes quimicamente agressivos, tanques industrias galvanoplastia,branqueamento em industrias de celulas e papel armazém de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014)

No quadro 4, mostram-se as principais causas externas e internas responsáveis pela redução da durabilidade.

Quadro 4– Causas internas e externas da redução de durabilidade

Causas externas	Físicas	Intempéries, ocorrência de temperaturas extremas
	Químicas	Ataques por líquidos ou gases, naturais ou artificiais
	Mecânicas	Abrasão, erosão e cavitação
Causas internas		Inerentes ao próprio concreto: reação álcali-agregado, Permeabilidade

Fonte: (RIBEIRO; PINTO; STARLIN, 2011).

A corrosão das armaduras é um fator importante a ser observado, o cobrimento mínimo de acordo com a classe de agressividade ambiental, conforme no quadro 5 e tabela 4.

Quadro 5– Classe de agressividade ambiental

Classe de agressividade	I	II	III	IV
Agressividade	Fraca	Média	Forte	Muito forte
Risco de deterioração da estrutura	Insignificante	Pequeno	Grande	Elevado

Fonte: (RIBEIRO; PINTO; STARLIN, 2011).

Tabela 4– Cobrimento nominal

Tipo de concreto	Tipo de estrutura	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Cobrimento nominal (mm)					
Armado	Laje	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Protendido	Todos	30	35	45	55

Fonte: (RIBEIRO; PINTO; STARLIN, 2011).

3.3 CONDIÇÕES DO AMBIENTE

Quando em contato com terra e água, o concreto da estrutura pode sofrer deficiências por pouco cobrimento, recebendo agentes agressivos do solo. Esse processo ocorre quando no projeto, não levam em consideração a ação de diversos efeitos de ambiente, como por exemplo, os ventos, chuvas, variações de temperatura, etc. É necessário também que tenha uma excelente análise do solo, afim de que compreenda os efeitos que a fundação utilizada transmite a estrutura, e conseqüentemente sua estabilidade e durabilidade.

Os conceitos de durabilidade da estrutura de concreto apresentados, remetem principalmente ao que o ambiente traz de reações á estrutura, atendendo as condições de dimensionamento e desempenho durante toda sua vida útil. Uma vez projetada, a estrutura sempre estará sujeita aos diversos efeitos ambientais já previstos em projeto.

“A agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas” (NBR 8681 (ABNT, 2004)).

Assim como na fabricação no concreto, existem fatores que o levam a sua degradação e, conseqüentemente a ruptura. O quadro a seguir mostra a classe de agressividade do ambiente em relação ao plano estrutural, onde possibilita uma verificação de localidade para o projeto, normalizada pela NBR 6118 (ABNT, 2014)).

Quadro 6- Exigências de durabilidade relacionadas á fissuração e a proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental

Tipo de concreto Estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré - tração com CAA I Ou Pós- tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	Combinação frequente
Concreto protendida nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II Ou Pós- tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	Combinação frequente
		ELS-F	
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	ELS-D	Combinação quase Permanente
		Verificar as duas condições abaixo	Combinação rara
		ELS – F	
		ELS – D	Combinação frequente

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014)

Em relação a deterioração do concreto pelo meio ambiente, pode-se afirmar que é a principal patologia existente, prejudicando principalmente a armadura das construções e, logo deteriorando a estrutura. A seguir, apresentam-se as principais reações, as quais o concreto é submetido:

a) **lixiviação**: “É o mecanismo responsável por dissolver e carrear 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 forma a minimizar a infiltração de água, e proteger as superfícies expostas com produtos específicos, como os hidrófugos”.

b) **expansão por sulfato**: “É a 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”. Segundo a NBR 5737 (ABNT, 1992), pode-se utilizar um cimento que resista a sulfatos.

c) **reação álcali-agregado**: Segundo a (NBR 15577 (ABNT, 2008) é a expansão por ação das reações entre os álcalis do concreto e agregados reativos.

Quadro 7- Principais mecanismos de deterioração das estruturas de concreto armado.

agressividade do ambiente		consequências sobre a estrutura	
natureza do processo	condições particulares	alterações iniciais na superfície do concreto	efeitos a longo prazo
carbonatação	UR 60% a 85%	imperceptível	redução do pH corrosão de armaduras fissuração superficial
lixiviação	atmosfera ácida, águas puras	eflorescências, manchas brancas	redução do pH corrosão de armaduras desagregação superficial
retração	umedecimento e secagem, ausência de cura UR baixa (< 50%)	fissuras	fissuração corrosão de armaduras
fuligem	partículas em suspensão na atmosfera urbana e industrial	manchas escuras	redução do pH corrosão de armaduras
fungos e mofo	temperaturas altas (>20°C e <50°C) com UR > 75%	manchas escuras e esverdeadas	redução do pH desagregação superficial corrosão de armaduras
concentração salina, Cl ⁻	atmosfera marinha e industrial	imperceptível	despassivação e corrosão de armaduras
sulfatos	esgoto e águas servidas	fissuras	expansão → fissuras desagregação do concreto corrosão de armaduras
álcali-agregado	composição do concreto umidade, UR > 95%	fissuras gel ao redor do agregado graúdo	expansão → fissuras desagregação do concreto corrosão de armaduras

Fonte: Paulo Helene, 1993

d) **Corrosão**: Prescrito por Silva (1995), a corrosão ocorre quando na camada protetora ao aço do concreto, cuja película em volta é bastante alcalina (ph acima de 12,5), em um meio que o ph está abaixo de 11, à mesma pode ser destruída através da penetração de íons cloretos.

As substâncias mais agressivas a corrosão destaca-se: cloretos, dióxido de carbono, nitritos, óxido de enxofre. Estas podem estar contidas no concreto ou, por meio de reações de neutralização ou penetração, aderirem ao concreto.

Para que ocorra esse processo, há a necessidade de existência de um eletrólito (no caso água no concreto), juntamente com diversas partes aeradas do concreto, que facilita a introdução dos agentes devido à perda de alcalinidade.

Na corrosão, formam-se óxidos e hidróxidos que provocam tensões no concreto, aumentando seu volume de acordo com a velocidade de ocorrência, visto que é salientada através da umidade, composição química presente, porosidade, classe de agressividade e espessura de revestimento nas armaduras.

Segundo Helene (1986), na hidratação do cimento, diversos produtos como hidróxidos de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), solubilizam com a água gerando uma reação eletroquímica nos poros do concreto. Com isso, permite-se que a umidade e a porosidade sejam fatores cruciais para o início de corrosão.

Quadro 8– Fatores determinantes da corrosão em concreto

Fatores determinantes da corrosão em concreto	
Fatores mecânicos	Entre os fatores mecânicos, as vibrações podem ocasionar fissuras no concreto, possibilitando o contato da armadura com o meio corrosivo. Líquidos em movimento, principalmente contendo partículas em suspensão, podem ocasionar erosão no concreto, com o seu conseqüente desgaste. A erosão é mais acentuada quando o fluido em movimento contém partículas em suspensão na forma de sólidos, que funcionam como abrasivos, ou mesmo na forma de vapor, como no caso de cavitação.
Fatores físicos	Os fatores físicos, como variações de temperatura, podem ocasionar choques térmicos com reflexos na integridade das estruturas. Variações de temperatura entre os diferentes componentes do concreto (pasta de cimento, agregados e armadura), com características térmicas diferentes, podem ocasionar microfissuras na massa do concreto que possibilitam a penetração de agentes agressivos.
Fatores biológicos	Os fatores biológicos, como microrganismos, podem criar meios corrosivos para a massa do concreto e armadura, como aqueles criados pelas bactérias oxidantes de enxofre ou de sulfetos, que aceleram a oxidação dessas substâncias por ácido sulfúrico.
Fatores químicos	Os fatores químicos estão relacionados com a presença de substâncias químicas nos diferentes ambientes, normalmente água, solo e atmosfera. Entre as substâncias químicas mais agressivas devem ser citados os ácidos, como sulfúrico e clorídrico. Os fatores químicos podem agir na pasta de cimento, no agregado e na armadura de aço-carbono.

Fonte: Gentil, 2003

e) Fissuras: Com base em Oliveira (2012), fissura é uma manifestação patológica provocada principalmente por tensões, sejam normais ou tangenciais, que abrangem desde pilares, lajes, vigas a elementos como pinturas e pisos. Geralmente, ocorrem na superfície de um material, provocando uma abertura, devido a um maior esforço recebido.

Previsto na NBR 9575 (ABNT, 2003), a fissura é normatizada a partir de uma abertura inferior ou igual a 0,5mm. E por Piancastelli (1997), o concreto sofre fissuras

inerentes, visto que é um levantamento de projeto, as seções de ruptura, principalmente aos Estados Limites.

Souza (1998) relata que fatores como falhas humanas, erro de projeto de cargas devido a um mau dimensionamento e inconstância com a classe de agressividade ambiental levam à formação de fissuras.

Salienta também que nos processos de execução, antes do início de pega, o excesso de água evapora e faz com o que o concreto sofra uma contração plástica, o que permite a ocorrência de rachaduras prévias e abertura de poros.

Thomas (1989) exemplifica os principais fatores para o surgimento de fissuras:

- Variações de temperatura e umidade;
- Sobrecargas;
- Recalques das fundações;
- Reações químicas nos materiais;
- Retração de produtos por ligantes hidráulicos;

Para minimizar o efeito das fissuras, os profissionais devem observar detalhes sobre controle, qualidade dos serviços, materiais, manuseio, mão-de-obra, estocagem, e utilização, previstos nas propriedades do concreto e sua durabilidade, atentando a funcionalidade, estética e segurança.

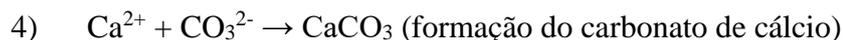
f) Carbonatação: Segundo a NBR 5737 (ABNT, 1992), para a deterioração das armaduras destaca-se a despassivação por carbonatação, que é o efeito que o gás carbônico age sobre o aço da armadura, também introduzida como uma corrosão, porém com um efeito maior sobre a estrutura.

Assim como em qualquer processo corrosivo, a película protetora é retirada devido a diferença de pH da reação. Poglialli (2009), demonstra que o gás carbônico (CO₂) é o maior incidente para a neutralização do concreto sobre as armaduras de uma estrutura, além do gás sulfídrico (SO₂) e do dióxido de enxofre (SO₂).

O início da carbonatação começa na superfície do concreto, intercalando zonas de pH, em que a medida que o tempo passa, atinge o interior do material e conseqüentemente a armadura, promovendo a despassivação, que generaliza uma corrosão descontrolável.

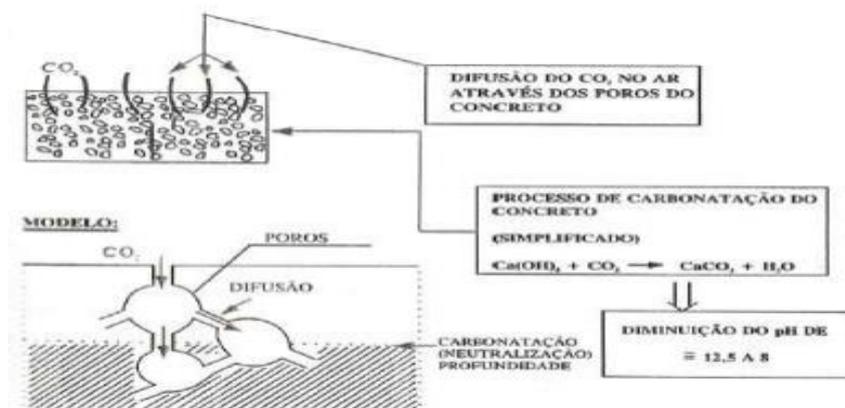
Segundo Vaghetti (2005), a partir da difusão do CO₂ nos poros do concreto, desenvolvem-se as seguintes reações:

- 1) $\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^-$ (dissolução do hidróxido de cálcio)
- 2) $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ (dissolução CO₂ na solução do poro)
- 3) $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$ (formação do íon carbonato)



As mesmas exemplificam como forma-se o carbonato de cálcio a partir da liberação dos íons, quando dissolvidos nos poros do concreto.

Figura 11– Esquema de avanço da carbonatação



Fonte: Figueiredo (2005)

Acerca de seus efeitos, a carbonatação, através da infusão do carbonato de cálcio na estrutura, ocasiona a redução de pH, da permeabilidade, assim como um aumento da resistência superficial e para a resistividade elétrica.

Poglialli (2009) define que a carbonatação é uma variável principalmente determinada pela relação água/cimento, visto que a mesma determina a porosidade do concreto; e conseqüentemente em um concreto de baixa qualidade, e com um ambiente em uma umidade relativa entre 50 e 70%, a velocidade do processo é muito maior, também determinada pela concentração de CO₂ na superfície.

Questões como controle de fissuração e cobrimento das armaduras adequados previnem esse efeito, que poderiam levar a corrosão da armadura, pela diminuição da alcalinidade do concreto, ou seja, o gás torna o concreto em um meio propício a formação de fissuras.

A fim de evitar que a despassivação atinga as armaduras, torna-se essencial que haja uma espessura do cobrimento do concreto que permita uma proteção e segurança para a estrutura, assim como será explicado no capítulo Vida Útil.

3.4 VIDA ÚTIL

3.4.1 Definição

De acordo com ISO 13823 (2008), vida útil é o tempo em que a estrutura de modo geral, ou seus componentes, atendam às exigências dos usuários, ou seja, satisfazem o desempenho para os quais foi projetada sem ações imprevistas de manutenções, observando-se o meio ambiente exposto no conceito de Durabilidade.

Esse período da vida útil não pode ser estabelecido com precisão. Mas a partir de estudos sobre deterioração, propriedades químicas e físicas dos materiais, pode-se estabelecer a vida útil de projeto (IBRACON, 2011).

Atendendo a requisitos de desempenho e aos estados limites de serviço ou utilização (ELS), também define-se vida útil como um processo subjetivo, analisando as características do concreto e a armadura, expondo os mesmos ao meio ambiente, condições estas que não são explicitadas na NBR 6118 (ABNT, 2014)).

A vida útil pode ser subdividida em:

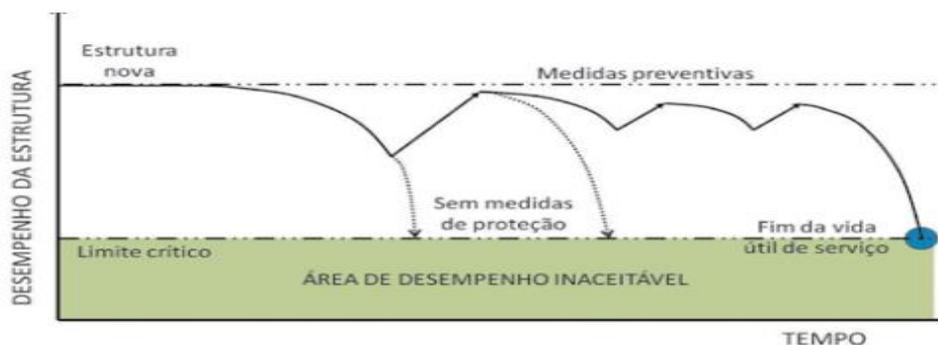
- Vida útil de projeto é o período previsto em que a estrutura ou componente atende os requisitos informados pelo fornecedor. Entretanto, o usuário deve cumprir manutenções corretivas, que devem ser disponibilizadas no manual de uso, operação e manutenção fornecido pelo projetista (IBRACON, 2011).
- Vida útil de projeto (ELS) pode ser ainda definida como uma expressão de caráter econômico, e/ou uma relação entre custo global versus tempo, sendo uma exigência do consumidor e a partir de várias técnicas e materiais disponíveis é possível determiná-la (NBR 15575 (ABNT, 2013)).
- É também o momento em que adota-se no projeto, medidas de segurança que assegurem a despassivação da armadura, em processos que serão vistos no tópico Durabilidade.
- No Brasil, no início da década de 90, propôs-se uma definição de vida útil de projeto (Helene, 1993), que atende aos processos de corrosão das armaduras, exposto anteriormente por Tuutti (1982).
- Vida útil de serviço: Intervalo no qual, na superfície do concreto, ocorrem fissuras no cobrimento ou até mesmo manchas, e que pode acarretar em quaisquer danos a partir do momento em que pedaços do concreto começam a cair (HELENE, 1993)).

- Vida útil residual: É o período de tempo, após a vida útil de projeto em que a estrutura ou componente apresenta decréscimo do desempenho em função do uso e/ou do envelhecimento natural. Para continuar atendendo o desempenho há necessidade de uma maior atenção, com manutenções mais dispendiosas (IBRACON, 2011).
- Vida útil total é o período de tempo total da vida útil de projeto e residual. Neste momento, a segurança e os níveis de desempenho podem ser afetados (IBRACON, 2011).

O conceito de vida útil existe para que se possa estimar e até mesmo aumentar a mesma, que em longo prazo, reduz impactos ao meio ambiente, aos recursos naturais, obtendo economia de energia e desempenho satisfatório.

Barbudo & Castro Borges (2001), apresentam um diagrama que considera os processos e variáveis envolvidos durante a vida útil, como mostrado na figura a seguir:

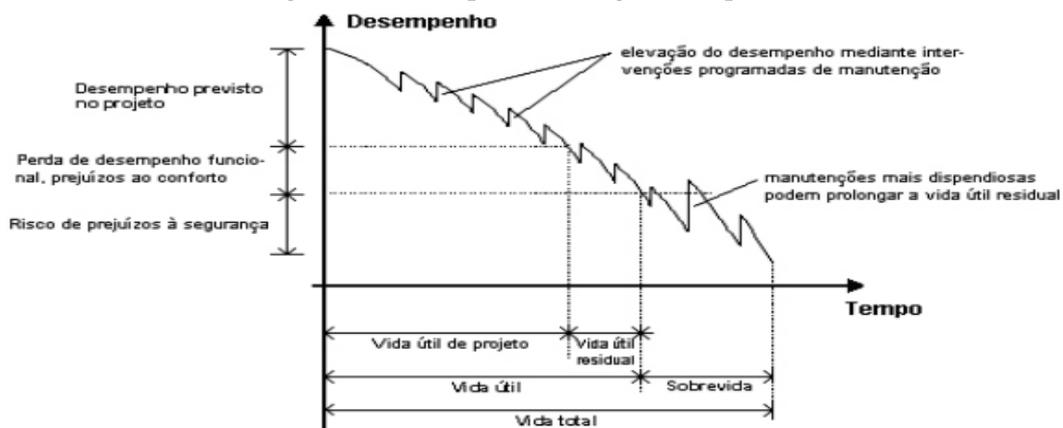
Figura 12- Variação do desempenho de uma estrutura de concreto armado ao longo do tempo



Fonte: Barbudo & CastroBorges(2011)

Na figura está representado o desempenho de uma estrutura ao longo do tempo, indicando também a vida útil de projeto, vida útil residual e vida útil total. Podem-se verificar as manutenções e sua importância para garantir ou prolongar a vida útil.

Figura 13– Desempenho ao longo do tempo e vida útil



Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

Após definir a VUP, são estabelecidas obrigações já na fase de construção para obter-se o desempenho e vida útil desejada. Se o consumidor na fase de projeto tem limitações econômicas, pode-se optar por menor VUP e no futuro é possível prolongar a vida útil através de manutenções (NBR 15575 (ABNT, 2015)).

3.4.2 Determinação da vida útil de projeto

Conforme NBR 15575 (ABNT, 2013), para estimar o primeiro parâmetro de VUP é incorporado três conceitos:

Problemas de segurança e/ ou saúde, causados por falha de um subsistema;

Facilidade ou dificuldade de reparação ou manutenção;

Custo para reparar a falha.

Após conhecidos esses conceitos, é possível determinar o grau de complicação que essa falha pode resultar, e algumas falhas podem gerar acidentes. No quadro está indicado o grau de severidade apresentando ou não risco a vida ou segurança.

Quadro 9- Efeito das falhas no desempenho

Categoria	Efeito no desempenho	Exemplos típicos
A	Perigo a vida (ou de ser ferido)	Colapso repentino da estrutura
B	Risco de ser ferido	Degrau de escada quebrado
C	Perigo à saúde	Séria penetração de umidade
D	Interrupção do uso do edifício	Rompimento de coletor de esgoto
E	Comprometer a segurança de uso	Quebra de fechadura de porta
F	Sem problemas excepcionais	Substituição de uma telha

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

Alguns componentes, ao apresentar falhas, podem passar por manutenções resolvendo assim o problema, já outros devem ser trocados. No quadro 10 constam exemplos para as partes de edifícios.

Quadro 10- Categoria de Vida Útil de Projeto para partes do edifício

Categoria	Descrição	Vida útil	Exemplos típicos
1	Substituível	Vida útil mais curta que o edifício, sendo sua substituição fácil e prevista na etapa de projeto	Muitos revestimentos de pisos, louças e metais sanitários
2	Manutenível	São duráveis, mas necessitam de manutenção periódica, e são passíveis de substituição ao longo da vida útil do edifício	Revestimentos de fachadas e janelas
3	Não-manutenível	Devem ter a mesma vida útil do edifício por não possibilitarem manutenção	Fundações e muitos elementos estruturais

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

O custo é o outro aspecto muito importante a ser observado. A manutenção preventiva pode evitar danos maiores no futuro, maiores gastos e desperdício. No quadro 11, mostra-se a categoria, descrição da manutenção e cita alguns exemplos.

Quadro 11- Custo de manutenção e reposição ao longo da vida útil

Categoria	Descrição	Exemplos típicos
A	Baixo custo de manutenção	Vazamento em metais sanitários
B	Médio custo de manutenção ou reparação	Pintura de revestimentos internos
C	Médio ou alto custo de manutenção ou reparação Custo de reposição (do elemento ou sistema) equivalente ao custo inicial	Pintura de fachadas, esquadrias de portas, pisos internos e telhamento
D	Alto custo de manutenção e/ou reparação Custo de reposição superior ao custo inicial Comprometimento da durabilidade afeta outras partes do edifício	Revestimento de fachadas e estrutura de telhados
E	Alto custo de manutenção ou reparação Custo de reposição muito superior ao custo inicial	Impermeabilização de piscinas

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

A partir dos parâmetros obtidos nas tabelas anteriores, pode-se determinar o valor sugerido da VUP para sistemas, elementos e componentes. As *VUPs* entre 5% e 15% da VUP da estrutura podem ser aplicáveis apenas a componentes. (NBR 15575 -1, 2013)

A norma indica nível mínimo e nível superior de projeto para cada sistema da edificação conforme a tabela 6 , desse modo, as estruturas deverão apresentar uma vida útil de projeto de, no mínimo 50 anos.

Tabela 5- Critérios para o estabelecimento da VUP das partes do edifício

Valor Sugerido de VUP para os sistemas, elementos e componentes	Efeito de falha (Quadro 1)	Categoria de VUP (Quadro 2)	Categoria de custos (Quadro 3)
Entre 5% e 5% da VUP da estrutura	F	1	A
Entre 8% e 15% da VUP da estrutura	F	1	B
Entre 15% e 25% da VUP da estrutura	E, F	1	C
Entre 25% e 40% da VUP da estrutura	D, E, F	2	D
Entre 40% e 80% da VUP da estrutura	Qualquer	2	D,E
Igual a 100% da VUP da estrutura	Qualquer	3	Qualquer

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

Tabela 6- Vida Útil de Projeto mínima e superior (VUP)

Sistema	VUP (anos)	
	Mínimo	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 75
Pisos internos	≥ 13	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 30
Hidrossanitário	≥ 20	≥ 30

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

Para alcançar o desempenho desejado pelo consumidor, é necessário que todos os envolvidos desenvolvam sua parte da melhor forma, podendo até obter maior vida útil do que aquela estabelecida no projeto.

- Fornecedor de insumo, material, componente e/ou sistema: deve caracterizar o desempenho e fornecer produtos que atendam a vida útil mínima;
- Projetista: deve estabelecer vida útil de projeto de cada elemento, especificando e detalhando os materiais, produtos e processos;
- Construtor e incorporador: identificar riscos previsíveis ao projetista, o incorporador deve providenciar estudos técnicos e passa-los para o projetista. Deve também, elaborar o manual de operação uso e manutenção atendendo a NBR 14037 (ABNT, 1998) e NBR 5674 (ABNT, 2012), de ser entregue ao proprietário e além disso, elaborar o manual das áreas comuns caso seja condomínio;
- Usuário: deve realizar manutenções de acordo com a NBR 5674 (ABNT, 2012) e o manual de operação, uso e manutenção.

3.4.3 Métodos para estimar Vida Útil

Para estimar a vida útil de estruturas de concreto, de acordo com Helene (2004), consideram-se como requisitos os procedimentos:

- Conhecimentos em obras e experiências;
- Ensaios acelerados;
- Enfoque determinista;
- Estimativa probabilista.

Com as recentes tecnologias e o conhecimento dos mecanismos das propriedades do concreto, o transporte dos líquidos e de gases que são agressivos, possibilitou a criação de métodos matemáticos que viabilizam a quantitativa vida útil em anos e não somente ao que a estrutura é exposta e à qualidade dos materiais.

Apesar de a degradação real em estruturas ser um processo lento e os resultados de ensaios em laboratórios modificarem-se com estudos de campo, os métodos são um avanço no estudo de vida útil.

3.4.4 Método com base nas experiências anteriores

Modelo que consiste em exigências que garantam a durabilidade, primeiramente publicado por uma norma americana ACI 318-08, e que no Brasil foi adaptada pela Associação Brasileira de Concreto (ABC), em 1931 (HELENE, 2004).

Especifica-se nesse método:

- consumo de cimento ≥ 240 kg/m³;
- consumo de cimento ≥ 270 kg/m³ para alvenaria exposta;
- consumo de cimento ≥ 300 kg/m³, para viadutos ou pontes;
- água de amassamento deve ser potável, não contendo cloretos, contaminantes, sulfatos e matéria orgânica;
- cobrimento $\geq 1,0$ cm para lajes interiores e $\geq 1,5$ cm para lajes exteriores;
- cobrimento $\geq 1,5$ cm para pilares e vigas interiores e $\geq 2,0$ cm para pilares e vigas exteriores ou em canto.

Para Andrade e Helene (2004), esse método também é utilizado por países desenvolvidos, porém com cobrimentos maiores, e um f_{ck} mínimo de 24 Mpa e os mesmos consideram que esse estudo de vida útil é ultrapassado a partir da existência de métodos modernos e adequados de normatizar a vida útil em um projeto.

3.4.5 Método com base em ensaios acelerados

Método introduzido por Americanos em 1978, intitulado na norma ASTM E 632,1996 cujo objetivo é estudar os efeitos dos produtos orgânicos nas estruturas, e que, por meio de ensaios realizados em câmaras de carbonatação e de fundamento eletroquímico pode prever a vida útil de uma estrutura. Entretanto, a degradação real difere do que é estabelecido em um laboratório, devido à dificuldade de aplicação em um projeto pelo fato de os materiais serem provindos de natureza inorgânica.

Conforme a degradação ocorre, estimula-se:

$$K = T_{ea}/T_{cr} \quad (2)$$

Em que:

T_{ea} = taxa de degradação pelo ensaio acelerado;

T_{cr} = taxa de degradação em condições reais.

De acordo com Possan (2004), a falta de informação sobre o desempenho dificulta encontrar uma T_{cr} adequada, e para isso em ensaios, observou que, adicionando a presença do material sílica ao concreto, em uma relação a/c alta em torno de 0,8, e submetendo o concreto a um ensaio acelerado que prevê a carbonatação, e concentração de CO₂ (gás carbônico) em 5% em um intervalo de 14 semanas, o concreto nesse período corresponde a 420 semanas em ambiente real, ou seja uma vida útil de 8 anos.

3.4.6 Método com enfoque determinista

Modelo cujo mecanismo é o estudo dos efeitos dos gases, fluidos e íons e seu transporte através da estrutura de concreto, no quesito corrosão (HELENE, 1997).

3.4.7 Previsão da Despassivação – Cinética da Corrosão

Neste modelo, utiliza-se uma previsão que baseia-se em:

- Equação de Faraday – estudo da deterioração em massa do aço;
- Difusão da ferrugem- equações de Fick;
- Geometria - cálculo de resistência dos materiais.

É considerada neste método a qualidade envolvida no concreto, como a permeabilidade e como os agentes químicos comportam-se ao atingir a armadura da estrutura e a que ponto a mesma pode deteriorar-se. Essa qualidade afeta diretamente numa possível redução do cobrimento, portanto dá-se uma liberdade ao projetista, quando utilizado de um concreto cujos adensamento e cura, nos processos de permeabilidade, forem bem executados, um gradativo aumento da vida útil de projeto.

Para especificar como a penetração dos agentes age nos poros do concreto, desenvolveu-se:

$$x = k\sqrt{t} \quad (3)$$

Em que:

x = profundidade de carbonatação (cm) ou cloretos;

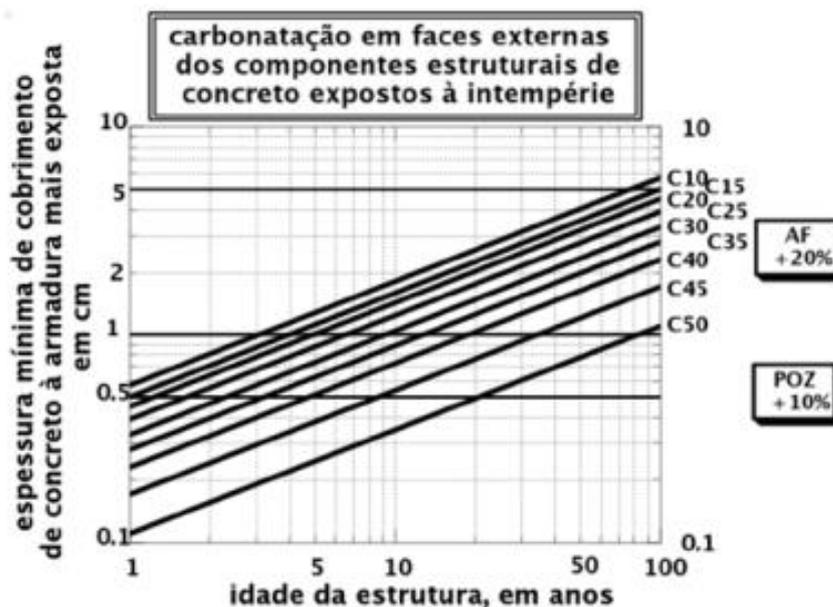
k = coeficiente de carbonatação (cm^2/ano) ou cloretos;
 t = tempo (anos).

A profundidade (x), é expressa através de uma projeção de uma edificação anterior, cujo grau de deterioração foi exposto a carbonatação, por exemplo.

O coeficiente (k), no entanto depende da concentração de gás carbônico no ambiente, em que a estrutura está exposta e a difusividade.

Para um engenheiro projetar esse método na prática, torna-se às vezes inviável, devido à dificuldade de estimativa de um coeficiente exato da ação da intempérie. Entretanto, para exemplificar essa equação, Helene (2007), propôs um ábaco que mostra o desempenho da estrutura em um meio carbonático.

Figura 14– Ábaco representativo de um meio em carbonatação, obtendo-se o cobrimento mínimo das armaduras



Fonte: (HELENE, 2007)

Tal cobrimento mínimo característico corresponde em pelo menos superiormente a 95% de ocasiões efetivas na obra. Um cobrimento médio, utilizado em obra ou projeto, acrescenta-se em torno de 10 mm em relação ao cobrimento mínimo.

O coeficiente K_{CO_2} , que expressa a carbonatação, varia de acordo com diversas propriedades do concreto, expressas em adições no cimento, cura, temperatura a qual foi exposto e também a concentração de gás carbônico previsto no ambiente. Já o de

difusividade, muitas vezes dos cloretos, depende de variáveis da penetração existente de cloreto e a espessura que sofreu carbonatação, para calcular os coeficientes KCO_2 e KCl .

Conhecendo-se essas constantes, pode-se calcular a velocidade e o tempo em que a carbonatação atinge a armadura ou cobrimento em sua forma mais tarde. De acordo com (IBRACON, 2011), com esse método determinista, em pouco tempo, os pesquisadores irão classificar o concreto com base nas constantes k e dessa forma, permite uma maior conscientização a respeito da durabilidade do concreto no dimensionamento do projeto.

Apesar de ensaios de laboratório e coletas de campo auxiliarem aos pesquisadores ou projetistas na previsão de qualquer coeficiente, métodos especializados baseados na condução térmica de Fourier (1768 –1830) e porosidade e difusão nos materiais proposto por Fick (1829 – 1901), porém aplicado por Collepardi et al. (1970), ajudaram a entender o processo em que gases e cloretos atingem a superfície da estrutura.

Para a aplicação desse ensaio matemático, como condições admitem-se:

1. O concreto deve ser um material homogêneo;
2. Considerar apenas a difusão como transporte em um concreto isotrópico;
3. Desconsiderar quaisquer interações que ocorrem entre componentes do concreto com os cloretos na penetração;
4. Admitir que a quantidade de cloretos, assim como o coeficiente de difusão, é constante ao longo do tempo.

Entretanto, observaram que essas condições não refletem numa situação real de penetração no concreto, pois os efeitos de difusão e as interações com cloretos podem estar ocorrendo simultaneamente. E solucionando essa problemática, um projeto Europeu, que visa corrigir a variação de difusão de acordo com o tempo, denominado Duracrete (1999), resolveu:

Sendo que:

$$x(t) = 2 \cdot \operatorname{erf}^{-1} \left(1 - \frac{C_{er}}{C_s} \right) \cdot \sqrt{Kt \cdot D_{rcm, o. ke. kc} \cdot \left(\frac{t_0}{t} \right)^a \cdot t} \quad (4)$$

$x(t)$ = espessura do cobrimento do concreto em função do tempo;

$C(t)$ = quantidade de cloretos no concreto em relação ao tempo;

C_{er} = concentração de cloretos crítica;

C_s = concentração de cloretos na superfície;

$D_{rcm,0}$ = coeficiente que expressa a migração de cloretos medido no tempo $0t$;

k_t = coeficiente para a influência do ensaio no valor do coeficiente efetivo de difusão na idade $0t$;

k_e = coeficiente para a influência do ambiente, no valor do coeficiente efetivo de difusão na idade $0t$;

k_c = coeficiente para a influência das condições de cura no valor do coeficiente efetivo de difusão na idade $0t$;

t = período da exposição;

t_0 = tempo inicial;

a = coeficiente referente à idade;

erf = curva normal da função inversa de erro de Gauss.

O parâmetro Kt é utilizado na conversão para o coeficiente de difusão efetivo (D_0):

$$D_0 = D_{rcm,0}.Kt$$

Andrade (2011), propôs um modelo que permite identificar como o transporte dos cloretos age na estrutura:

$$y_{0,4\%} = 7,35 \frac{UR^{0,7} T^{0,1}}{k_1 f_{ck} k_2} \frac{CL^{0,7}}{(1 + Ad)^{0,2}} \sqrt{t} \quad (5)$$

$y_{0,4\%}$ = posição em que a concentração crítica (C_{cr} em 0,4%) dos cloretos encontra-se na superfície da estrutura do concreto (mm);

UR = média da umidade relativa no ambiente (%);

T = temperatura ambiente (°C);

Cl = concentração dos cloretos da superfície (%);

K_1 = fator de concentração do cimento de acordo com seu tipo;

F_{ck} = resistência a compressão aos 28 dias (Mpa);

K_2 = fator sobre a adição empregada existente no concreto;

Ad = quantidade do tipo de adição empregada no concreto (%);

t = tempo (anos).

Os modelos apresentados têm como objetivo representar o período no qual inicia-se a corrosão, seja por carbonatação ou por íons cloretos. A taxa em que uma armadura sofre com processo de corrosão, pode ser estimada conhecendo-se no concreto, sua umidade de equilíbrio, resistividade elétrica ou corrente de corrosão (lei de Faraday).

Como explicitado anteriormente, admite-se que os parâmetros são constantes ao longo do tempo, o que permite prever o intervalo de tempo em que a estrutura pode alcançar uma manifestação patológica mais grave.

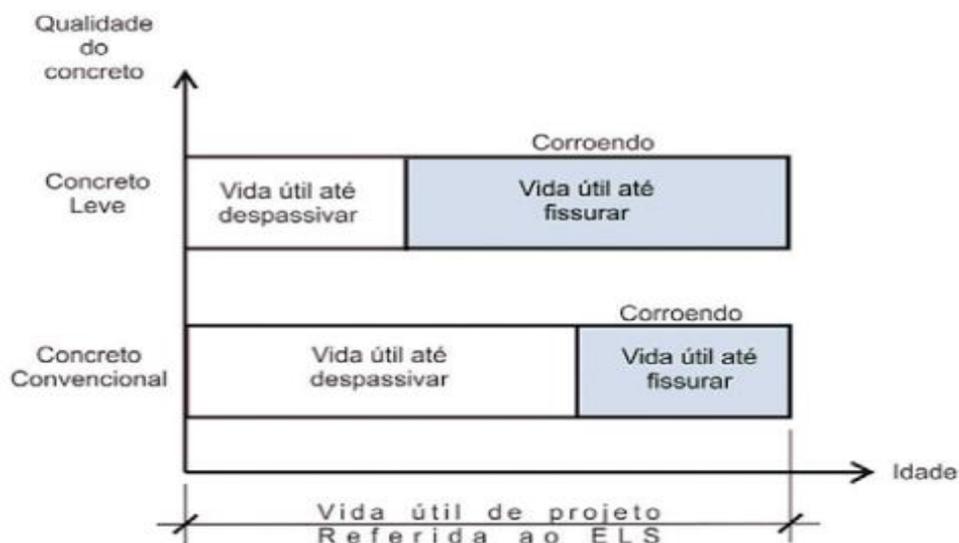
Esse período de tempo, denominado vida útil de serviço ou vida útil de utilização, é o que corresponde ao término da edificação até o surgimento de uma patologia grave. Entretanto, a olho nu, muitas vezes não se observa qualquer tipo de deterioração ou corrosão existente. Após a despassivação, por exemplo, Helene (1993), desenvolveu um monograma que identifica uma determinada espessura corroída na seção transversal da armadura em que inicia uma ruptura do concreto de cobertura.

O fato de se prever a vida útil total, que é quando a estrutura atinge uma ruptura total ou parcial, auxilia no conhecimento de levantamento de dados de caminhos críticos, e na correção de problemas, entretanto, assim que a construção atinge esse ponto, significa que a mesma já perdeu sua funcionalidade e desempenho projetados.

Em questão de fissura longitudinal na armadura, mostrou-se que a aderência da armadura é uma perda significativa ao concreto, em uma redução de 1,5% a 7,5%, dependendo da espessura do cobrimento.

Tentando quantificar como os produtos da corrosão atingem as propriedades mecânicas do concreto, Cascudo & Helene (1999), formularam um experimento no qual nota-se a vida útil total de projeto sendo representada pelo somatório de tempo da despassivação e corrosão até a formação de produtos em volume consideráveis para romper o cobrimento, pelo modelo a seguir:

Figura 15– Vida útil total de projeto



Em um intervalo de tempo além dessa projeção, observando a estrutura, a mesma apresentaria fissuras ou destacamentos, que, do ponto de vista social, seria irregular, porém a estrutura continua estável.

O Estado Limite Último (ELU) aconteceria décadas após qualquer tipo de fissuração, e a partir desse modelo, observa-se que uma importante colocação é a qualidade do concreto, principalmente no quesito porosidade, que, quanto maior, mais tempo leva até a formação de um volume de produtos capaz de romper o cobrimento do concreto.

Em relação à vida útil de projeto (ELS), que é o período de tempo da vida útil de projeto associada aos estados limites até o colapso, utiliza-se um cálculo proposto por Helene (1993), com base na Lei de Faraday a seguir:

$$m = \frac{i \cdot t \cdot a}{n \cdot F} \quad (6)$$

Visto que:

m – massa do metal corroído em g;

i – corrente elétrica em A¹²;

t – tempo em s;

a – massa atômica em g;

n – valência dos íons do metal;

F – constante de Faraday [96.493 C]

Exemplificado, segundo (HELENE, 1993), considerando uma armadura com diâmetro de 4,2 mm em um concreto denominado “poroso”, em que seu produto de corrosão apresenta um coeficiente de expansão três vezes maior que a massa de metal; nota-se que:

- Com a porosidade do concreto, no início da corrosão, o produto químico ocupa as cavidades, microfissuras internas e os poros;
- A expansão não é um fator significativo, entretanto reduz a seção resistente da armadura por processo de corrosão, ocasionando fissuras;
- Como limite de (ELU), adota-se uma redução de 15 % da seção inicial da armadura;
- Com base na Lei de Faraday, uma medida de taxar a corrosão é através do fluxo de elétron ou íons, nas reações eletroquímicas;
- O modelo depende da área da seção transversal, visto que, quanto menor a área mais intensa é a corrosão.

Para um metal, a taxa em que ocorre a corrosão torna-se proporcional à corrente de corrosão, i_{corr} ;

$$r = k \cdot i_{\text{corr}} \quad (7)$$

r = taxa de corrosão ($\mu\text{m}/\text{ano}$);

$$k = 11,61 \cdot i_{\text{corr}}$$

$$i_{\text{corr}} = \mu\text{A}/\text{cm}^2$$

Uma taxa de corrosão na unidade de $0,5\mu\text{A}/\text{cm}^2$ é normatizada como máximo viabilizado em um componente estrutural interno, e em uma exposição de no máximo setenta e dois dias seguidos de umidade, que corresponde a 20 % dos dias do ano em que ocorre período chuvoso. E para corroer 15 % da armadura de seção em aço no concreto, necessitaria de mais de quarenta anos para que ocorresse.

Rodríguez e Andrade (2000), a partir desse método, concluíram que o cobrimento, associado à qualidade do concreto e ao diâmetro da barra, são os fatores primordiais para a abertura de fissuras, e que, nesse procedimento inicial de corrosão de 15 % da armadura, pode ser precavido com um cobrimento nominal mínimo de 30 mm em uma bitola de 4,2 mm.

3.4.8 Método com enfoque estocástico ou probabilista

Modelo realístico e moderno que apresenta princípios da segurança no projeto de estruturas de concreto, baseado nas referências ASTM STP 1098:1990, RILEM Report 12 (1995), RILEM Report 14 (1996) e CEB Bulletin 238 (1997) (HELENE, 1993).

Admite-se nesse método a distribuição de Weibull, baseado na função probabilística, segundo J. Appl. Mech. 18, 293–296 (1951). Originalmente proposto por W. Weibull em 1954, estudava-se a fadiga de metais de acordo com seu tempo de falha, descrevendo assim o período de vida de diversos produtos industriais. Em aplicações práticas, torna-se muito útil devido à variedade de formas, ou seja, a função de taxa de degradação é de forma crescente, decrescente ou constante.

De acordo com essas informações, adota-se uma teoria de falhas, aplicado a um conceito de risco que determina certo prejuízo causado a partir do produto da probabilidade de falha.

A partir do coeficiente β , que indica a confiabilidade, encontra-se a espessura adequada do revestimento que permite verificar a probabilidade de ocorrência de uma corrosão ou fissuração, em determinada idade útil, conforme apresentado a seguir.

Considerando:

$$\beta(t) = \frac{[\mu(R,t) - \mu(S,t)]}{[\sigma^2(R,t) + \sigma^2(S,t)]^{0,5}} \quad (9)$$

$\beta(t)$ = coeficiente da probabilidade;

$\mu(R,t)$ = valor de R médio na idade t;

$\mu(S,t)$ = valor S médio na idade t;

$\sigma^2(R,t)$ = variância na idade t de R (resistência ao tempo);

$\sigma^2(S,t)$ = variância na idade t de S (ação deletéria no tempo);

Obtém-se:

$$\beta(t) = \frac{[c - k_{CO_2} \cdot t^{0,5}]}{[(\delta \cdot c)^2 + (\delta \cdot k_{CO_2} \cdot t^{0,5})^2]^{0,5}} \quad (10)$$

c = espessura de carbonatação;

$k_{CO_2} \cdot t$ = coeficiente de carbonatação na idade t;

$\delta \cdot c$ = coeficiente de variância de acordo com a espessura (em torno de 25%);

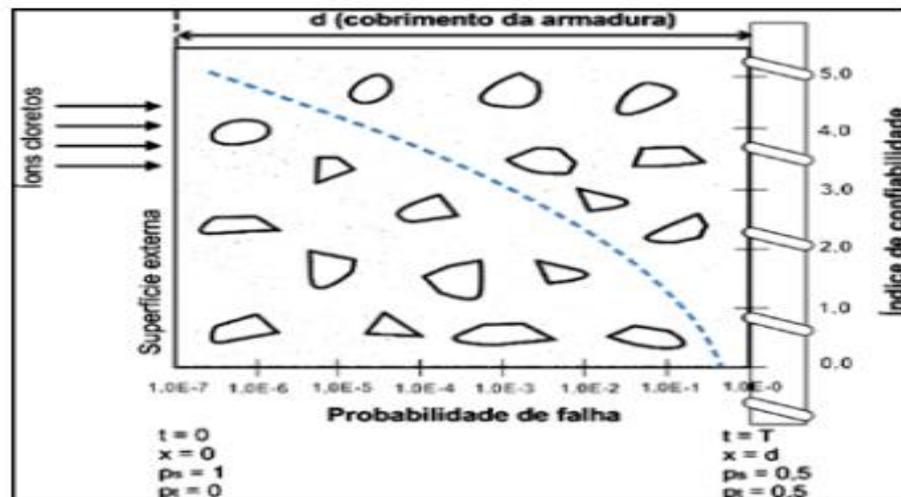
Para a previsão da vida útil de estruturas, diversos pesquisadores têm empregado estudos de confiabilidade (teoria das falhas), uma vez que prevê como a estrutura vai se comportar de acordo com o tempo. (ANDRADE, 2001).

Em uma aplicação prática, para uma edificação com vida útil de projeto em 50 anos, utilizando um coeficiente de carbonatação para dois concretos com resistências de 15 e 40 Mpa, e utilizando o conceito de Weibull, conota-se que $\beta(t)$ torna-se função exclusiva de c. E com base nisso, surge o questionamento de uma possível solução para a probabilidade de fadiga nessa problemática.

Dessa forma, em uma probabilidade de 10% da armadura sofrer despassivação, o valor de $\beta = 1,28$ corresponde a uma espessura média de $c \geq 55$ mm para o concreto de menor resistência e de $c \geq 15$ mm para o $f_{ck} = 40$ MPa.

A figura a seguir representa o valor de confiabilidade probabilística β , em função da probabilidade de falha de acordo com o cobrimento utilizado:

Figura 16 – Representação gráfica do índice de confiabilidade (β), com a probabilidade de falha (pf), juntamente com a ação dos cloretos.



Fonte: Andrade, 2011

Uma estrutura que é posicionada em um ambiente que contém cloretos ($t = 0$), sua confiabilidade é máxima, ou seja, a tendência da mesma de falhar tende a zero. Contudo, a partir do momento que os íons cloreto iniciam sua penetração no concreto, mais especificamente no cobrimento (d), a taxa de confiabilidade tende a ser diminuída ($t = T$), até que ocorra uma despassivação nas barras.

Andrade (2003), em processos laboratoriais, objetivou como a penetração dos cloretos em concretos moldados, em soluções de NaCl com concentrações de 1,5 M e 3,5 M, com dois tipos de cimento utilizados (CP IV e CP V), influencia na utilização de análises probabilísticas. Observou-se que, utilizando a Lei de Fick como estado limite, nos resultados de confiabilidade, o intervalo de despassivação ao cimento CP V na solução de 1,5 M foi de um ano, e para o cimento CP IV de quatro anos na mesma solução.

O alto teor de pozolona no CP IV ajuda na estabilidade reativa no meio alcalino, especialmente por sulfatos. No CP V, apesar de apresentar alta resistência inicial, não contém pozolona, o que facilita na penetração de agregados reativos.

Portanto, uma alternativa que pode ser utilizada para prolongar a vida útil de projeto está na espessura de cobrimento das armaduras, nas quais comprova-se, que, em um parâmetro de aumento de 2 cm para 5 cm, o tempo de despassivação que anteriormente era quatro anos, pode chegar a mais de treze.

Essa relação existente de probabilidade, mais uma vez, exemplifica a importância da utilização de um revestimento adequado na estrutura, uma vez que, ao projetar a obra, muitos aspectos são negligenciados e trabalhados com condições incertas, além de nas atividades de planejamento poder ajudar no correto dimensionamento e qualidade do concreto.

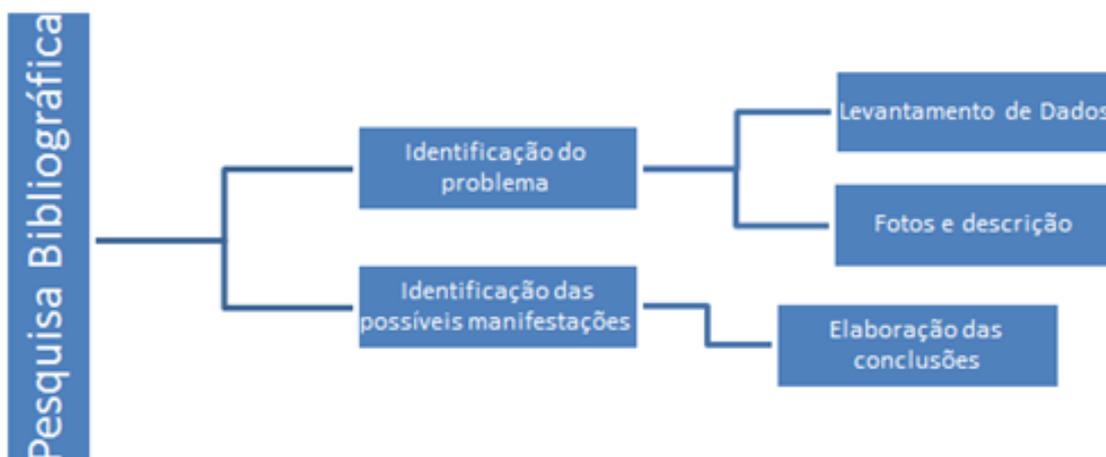
4 ANÁLISE SISTEMÁTICA DE REAÇÕES NAS ESTRUTURAS COM EFEITO NA DURABILIDADE

Um dos maiores efeitos provocados pelas reações químicas, que originam as patologias, são as fissurações, a ação de cloretos, corrosão e a despassivação por carbonatação. E para Souza (1998), esses efeitos, por mais desastrosos que tendam a parecer, muitas vezes são comuns, devido aos problemas de técnicas em projeto e execução, uma vez que, devido à baixa resistência à tração, o concreto sempre fissurará.

A análise de reações ocorridas em uma estrutura é uma etapa em que se coletam informações para o entendimento de como as mesmas atuam sobre a durabilidade e vida útil da estrutura, promovendo o surgimento das mesmas e resultados para possíveis correções. As patologias são os resultados que interferem na durabilidade da estrutura, e conseqüentemente nota-se o descaso e negligência com a necessidade das manutenções.

A seguir, apresenta-se um fluxograma utilizado para o procedimento de identificação de reações patológicas:

Figura 17– Fluxograma de procedimento



Fonte: Próprio Autor, 2017

De acordo com Krug (2006), a identificação do problema existe para que se explique a procedência das reações, baseado no histórico da edificação, para que exista um

levantamento de dados, muitas vezes visuais ou de laboratório, e assim fornecer dados suficientes para a correção do problema ou soluções imediatas para sua prevenção.

A seguir apresenta-se um levantamento fotográfico de manifestações, com a indicação de prováveis causas no efeito da durabilidade da estrutura:

Figura 18– Dilatação aparente em pilar em shopping ativo em Anápolis - GO



Fonte: Próprio Autor, 2017

- No caso específico de pilares, muitas manifestações de dilatações, onde podem promover fissuras ou rachaduras são de origem de recalque do solo, pois apresenta um deslocamento vertical assim como cargas em excesso atuando sobre o pilar;
- A retração do concreto nesse caso, deve-se ao tempo de cura, pois obteve uma provável perda de água.
- Há a necessidade de identificação do posicionamento do pilar sobre a fundação, sendo também solicitado um reforço estrutural.

Figura 19- Fissura em alvenaria em oficina ativa em Anápolis - GO



Fonte: Próprio Autor, 2017

- A figura representa um tipo de deformação onde houve retração do revestimento.
- Além de tensões de cisalhamento ocorridas, a retração do cimento é de extrema importância para o aparecimento de fissuras em alvenarias com aberturas:
 - A finura do cimento promove o aumento da retração, principalmente quando é composto por cloretos (CaCl_2) e álcalis (KOH e NaOH).
 - A retração será maior quando o consumo de cimento for elevado;
 - O módulo de deformação do agregado quando bem inferior, aumenta a retração do cimento e também, a dos agregados que tem maior poder na absorção de água;
 - A quantidade de pasta de cimento para recobrir os agregados, varia de quanto a finura dos agregados é expansiva, que quanto maior, mais aumento de retração;
 - Quanto maior relação a/c (água/cimento), haverá maior necessidade de retração de secagem;
 - No processo de cura, caso a evaporação da água ocorra antes da pega do aglomerante terminar, ou seja, quando na hidratação, iniciar as reações entre os cristais, a retração provavelmente será acentuada.

Figura 20– Exposição da armadura nas vigas



Fonte: LOTTERMAN, 2013

- Na figura, nota-se a presença de armadura dos estribos exposta;
- Considerando um aço CA-50 utilizado, com a armadura exposta, a mesma tende a sofrer processo de corrosão por oxidação, visto que são vigas no interior do térreo da edificação.
 - Com a presença de agentes agressivos, forma-se uma reação de diferença de ph, entre a película e o ambiente.
 - Com um revestimento inadequado, para corrigir o problema, de acordo com Techne Engenharia, acesso em 2017, necessita-se efetuar uma limpeza do local, com uso de sílica, que promove a limpeza de ferrugem, a fim de que refaça o revestimento da armadura com o uso de resina epóxi (plástico que endurece na presença de um catalisador) ou utilizando uma argamassa polimérica, que é uma mistura de cimento-cola com polímeros líquidos.

Figura 21– Base de pilar no subsolo



Fonte: LOTTERMAN, 2013

- Nota-se na figura a presença de segregação do concreto na base do pilar.
- Visualmente, encontram-se imperfeições, devido ao surgimento de agregados graúdos.
- Uma possível causa deste problema deve-se ao lançamento do concreto.
- Para evitar a segregação da argamassa aos agregados pede-se uma altura de até 2 m em queda livre, como visto no tópico Lançamento, previsto na NBR 14931 (ABNT, 2003).
- Especificamente em pilares ou paredes, a norma também considera que o lançamento do concreto das 4 primeiras camadas deve ser realizado através de tubo com diâmetro de 100 ou 150 mm, a fim de que a argamassa não se desagregue, lembrando sempre de que a cada lançamento o tubo tem que ser retirado e ser realizada uma vibração, para assim recolocar e repetir a operação. Dessa forma, evita-se que surjam ruínas que prejudiquem a resistência nos pilares.

Figura 22– Despassivação por carbonatação na base do pilar



Fonte: Próprio Autor, 2017

- Na figura, encontra-se uma corrosão ocasionada por carbonatação, em um ambiente com muita umidade e em torno de 60% e com grande concentração de CO₂.
- Nota-se que, além da superfície do concreto, existe a despassivação do aço, que pode acarretar na perda de seção da armadura, como também na aderência do concreto a armadura.
- Para evitar esse tipo de reação, elementos como dosagem, que garante a resistência à compressão adequada, adensamento e a cura, que evita a evaporação no concreto da água utilizada, considerando mão-de-obra especializada e o ambiente a qual está exposto com a respectiva classe de agressividade.
- Há a necessidade de realizar a limpeza do local, como em qualquer tipo de corrosão, e refazendo o cobrimento para garantir reforço estrutural.
- Com o surgimento de novas pesquisas, o Blog da Engenharia, apresenta o concreto autocicatrizante:

Desenvolvido no ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica), o estudo sobre o princípio-ativo da autocicatrização se baseia na utilização de fibras sintéticas, juntamente com um aditivo cristalizante provindo de materiais como pó de alumínio, polipropileno e vidro. Os mesmos geram microfissuras em até 0,4mm, que a partir da água penetrada, torna-se um tamanho ideal, devido ao catalisador cristalino funcionar com um processo de cicatrização.

A autocicatrização do concreto parte do princípio de transformação da portlandita (Ca(OH)₂), que está presente em diversas faces do concreto em seções fissuradas, em compostos insolúveis que apresentem uma resistência mecânica boa.

Com base nesses métodos, em testes laboratoriais, estuda-se a possibilidade de utilizar-se de uma microcápsula na hora do preparo do concreto, que, ao romper os corpos-de-prova, os compostos liberados combinariam-se com a portlandita evitando que diversos agentes agressivos penetrassem na armadura dos concretos.

Figura 23– Concreto autocicatrizante na linha 4 do Metrô do Rio de Janeiro



Fonte: <https://blogdaengenharia.com/bde-explica-concreto-autocicatrizante/>

Figura 24– Rampa em entrada de estacionamento

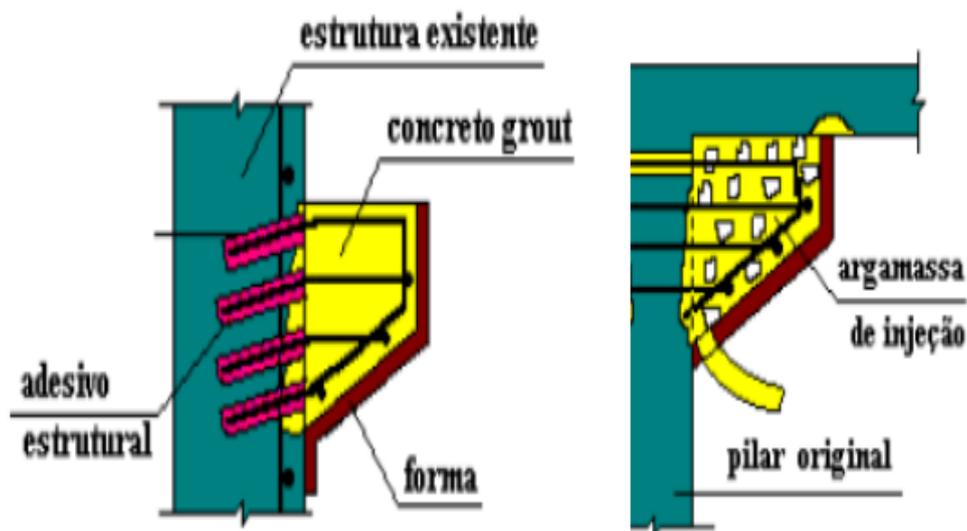


Fonte: LOTTERMAN, 2013

➤ Pela figura, a armadura da rampa sofre com falta de engastamento perante ao pilar, expondo a mesma.

- Como está exposta, a armadura apresenta sinais de corrosão por oxidação, além de notar o desprendimento de agregados do concreto.
- Conclui-se que houve uma má execução, devido a existência da segregação dos agregados durante a execução de montagem da armadura e ao concreto o adensamento.
- Pode-se também salientar que no projeto estrutural pode ter tido falhas, onde não teve detalhamento na ancoragem da armadura no pilar de apoio. E por apresentar armadura exposta, também é uma manifestação de que não houve inspeção no local ou qualquer tipo de manutenção.
- Quanto á segregação dos agregados, outra ocorrência como ausência de vibração ou falta de atenção ao adensamento, pode ter ocasionado a separação entre a pasta ou argamassa com os agregados. E esse efeito provoca o acúmulo de água na estrutura, que aumenta a chance de fissuras ou trincas.
- Após todo o procedimento de limpeza da armadura com sílica, com a presença de fissuras na região de engaste, Piancastelli (1997), sugere reforçar com consolos curtos, que são estruturas que auxiliam na deficiência de transmissão de cargas auxiliares, como na figura:

Figura 25- Detalhe de consolo utilizado para aumentar a área de transmissão de cargas entre o pilar e a rampa.



Fonte: Piancastelli, 1997

As patologias apresentadas, sejam por meio de reações, propriedades do concreto ou ocasionadas por mau dimensionamento em projeto, com possíveis causas e soluções, prescrevem os principais efeitos na durabilidade de uma estrutura. O conhecimento dessas

propriedades permite que, em caso de avaliação, a perícia técnica autorizada permita determinar os parâmetros necessários para a solução dos problemas encontrados e prescrever novas atitudes de manutenção que já deveriam constar em projeto.

Técnicas para a proteção, como reparo das armaduras existem para que se evite qualquer processo de corrosão, e o conhecimento das mesmas, juntamente com as exigências básicas, fornece possibilidades de prevenção enquanto a construção está em fase de projeto. Outro ponto relevante está na determinação da causa encontrada, pois para o reparo, os materiais escolhidos são em função dessas condições.

E para apresentar uma utilização de armadura que protege contra a degradação Adriana de Araújo e Zehbour Panossian, 2011, no artigo *Techne*, consideram uma técnica de utilização de armaduras revestidas por zincagem para evitar a degradação prematura à corrosão.

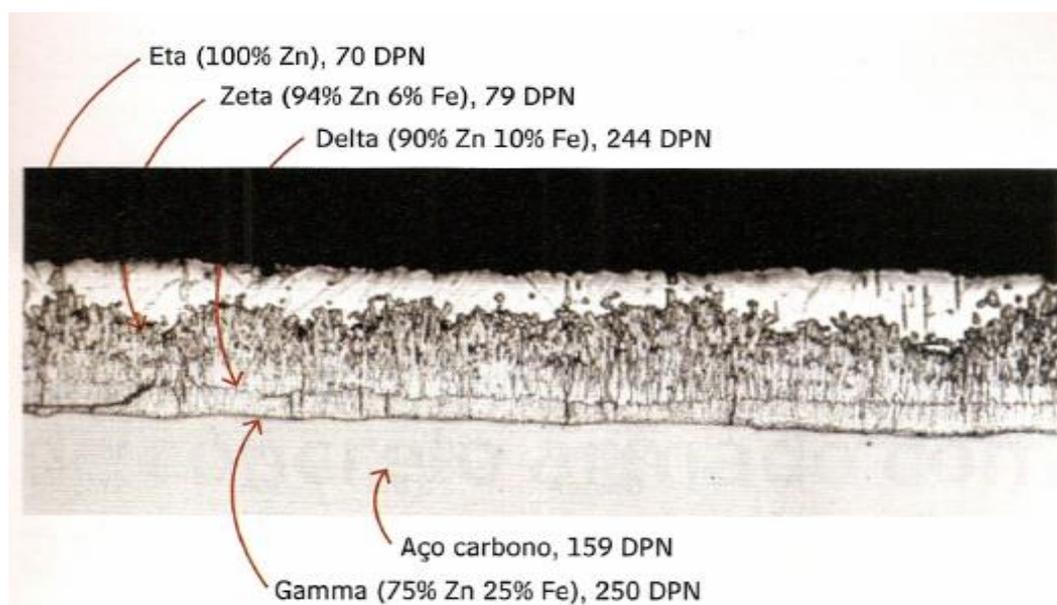
A NBR 6118 (ABNT, 2014) prevê esse tipo de aplicação, porém com condições adversas. A armadura zincada é um processo que isola o aço carbono do meio, funcionando com um ânodo de sacrifício, isto é, há uma diminuição da permeabilidade do concreto, devido aos vazios e capilares do concreto ser preenchidos por produtos da corrosão do revestimento de zinco, que em relação ao ferro, tem volume menor.

O aço pode ser revestido com zinco pelos seguintes processos: eletrodeposição, zincagem por imersão a quente, pintura com tinta rica em zinco e aspensão térmica. A zincagem por imersão a quente, por exemplo, consiste num processo em indústria em que o aço é pré-tratado, banhado em zinco fundido, com temperatura média de 450 °C.

Como existe o elemento ferro no aço, obtém-se um revestimento intercalado em camadas metálicas, assim como uma puramente de zinco, ocasionada com as reações metalúrgicas entre os metais, e devido ao tempo de resfriamento, quanto maior, mais a camada de zinco torna-se pura.

Na figura a seguir, observa-se um revestimento com zincagem por imersão a quente, com a dureza Vickers (DPN), que consiste num método em que classifica a dureza de determinado material em ensaio laboratorial:

Figura 26– Revestimento a zinco por imersão a quente



Fonte: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/170/artigo287843-3.aspx>>

Pela figura, a dureza das camadas intermetálicas é maior que a do aço propriamente, que juntamente com a menor dureza nas camadas externas, promove um revestimento com resistência a abrasão. Essas características permitem que o aço zincado tenha mais facilidade de ser manuseado e transportado sem que haja danos superficiais.

O processo de zincagem por imersão a quente pode ser realizado por meio contínuo, que são aplicadas camadas contínuas em diferentes estágios de zincagem, ou por batelada, isto é, o banho de zinco é imerso a partir de uma quantidade de barras ou fios de aço, entretanto é somente utilizado para barras com pequena espessura.

A aplicação por imersão a quente nas armaduras é um processo exclusivo para estruturas que se encontram em um meio que tende a sofrer por carbonatação, devido ao revestimento ser uma barreira que combate a despassivação do aço, considerando que o pH do meio tenha diminuído.

A tabela em que é expressa a espessura para armadura zincada é apenas estabelecida por normas estrangeiras. E para isso, Swamy (2004), estabelece alguns limites que variam de acordo com a classe de agressividade ambiental. Para corrosão, entre 8 a 16 mm é recomendado, e maiores que 16 mm pode prejudicar a aderência com o concreto ou dobramento das barras.

Terminado o processo industrial, recomenda-se que o revestimento seja cromatizado, o que evita o mesmo ser desestabilizado por meio de reações com hidróxidos da pasta de cimento, com um pH de 13 por exemplo. Nessas reações, há a formação de gás hidrogênio na região, que é acumulado e impacta diretamente na aderência do aço ao concreto.

Há uma diminuição da espessura total, devido às reações, com uma perda da camada externa de zinco. Recomenda-se também que, a adição de cromato na água de amassamento, garante uma passivação do revestimento.

Com o revestimento por zincagem, em um concreto que apresente pH 9,5, a armadura é estável perante a corrosão, já em um concreto apenas com aço carbono, em um pH 9,5, o mesmo já pode sofrer processos de corrosão, assim como em um pH um pouco mais elevado, a despassivação.

Exposta a Íons Cloreto, o revestimento na armadura pode resistir a 2,5 vezes mais em relação ao aço. Andrade (1992), expressa que a espessura de revestimento, essencialmente a camada externa de zinco, como decisiva no desempenho em um meio de íons cloreto.

Conclui-se que o uso de revestimento por zincagem é eficiente na proteção do aço ao ambiente agressivo, tanto em carbonatação quanto a exposição aos íons cloreto. O aumento da vida útil da estrutura quando utilizado do mesmo, é obtido com a aplicação correta e de conhecimento de prévias limitações técnicas. Embora o estudo e aplicação de zincagem seja um ótimo benefício estrutural, no Brasil ainda é pouco conhecido e aplicado, e portanto, ainda recomenda-se a utilização da NBR 6118 (ABNT, 2014) que apresenta os padrões nacionais de cobertura e condições climáticas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os estudos abordados, as propriedades do concreto refletem diretamente no posicionamento do engenheiro civil a respeitar e orientar quaisquer envolvidos na utilização normativa dos materiais e procedimento, visto que, são definitivamente, as causas com maior ocorrência para as reações e consequentes patologias apresentadas. A modelagem de mecanismos de degradação, juntamente com a prática, permite o entendimento dos mecanismos que afetam a durabilidade, especialmente a ação de íons cloreto, corrosão e carbonatação.

A quantificação da vida útil, por meio de métodos aplicáveis, representa uma ferramenta que direciona o projeto aos fenômenos envolvidos, já sendo necessária também a incorporação dos Estados Limites sobre a estrutura, a partir do desenvolvimento probabilístico de ruptura e degradação, com as diversas variáveis do concreto e condições ambientais.

O desempenho da estrutura é um manifesto de decisões partidas dos envolvidos na construção, apontando as propriedades do concreto, juntamente com a verificação em serviço após o início de sua utilização. E para isso, no projeto deve ser especificada a quantitativa vida útil com o desempenho esperado, tendo condições de orçamento para futuras manutenções e para a qualidade dos materiais envolvidos, com execução satisfatória.

As normas brasileiras de projeto estrutural ainda utilizam modelos que estimam vida útil, e condições como cobrimentos, consumo e resistência, em métodos com base em experiências anteriores. A introdução dos modelos probabilísticos e deterministas torna-se um desafio aos engenheiros civis, entretanto provê uma estimativa mais confiável, precisa e com necessidade de versatilidade de correção ou precauções.

De uma forma geral, há a necessidade de conhecimento técnico dessas previsões, que torna uma variável a espessura de cobrimentos utilizados, principalmente a um meio por carbonatação, tomando como base as condições de exposição e fornecendo resultados passíveis de menor erro.

Uma obra que não prevê quaisquer estimativas de durabilidade e vida útil será prejudicada pelas ações de dimensionamento, intempéries e condições do ambiente. As patologias, sem manutenção, degradam e muitas vezes sobrepõem a estrutura a um meio de segurança grave. O conhecimento das mesmas, juntamente com possíveis soluções, por mais que satisfaçam a necessidade momentânea, corromperam a qualidade e suporte que a estrutura necessita.

REFERÊNCIAS

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Edificações Habitacionais – Desempenho: NBR 15575-1**. 2013

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Execução de concreto dosado em central – Procedimento**. NBR 7212, 2012.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ações e segurança nas estruturas – Procedimento: NBR 8681**. 2003

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - requisitos: NBR 11768**. 2011

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados para o concreto - especificação: NBR 7211**. 2009

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimentos Portland resistentes a sulfatos: NBR 5737**. 1992

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento: NBR 12655**. 2015

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Execução de concreto dosado em central – procedimento: NBR 7212**. 2012

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento: NBR 6118**. 2014

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14.931:2003

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova** NBR 5738. 2008.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. NBR 5739. 2007.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistência**. NBR 8953. 1992.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Impermeabilização – Seleção e projeto**. NBR 9575:2003

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento portland – Determinação do tempo de pega**. NBR NM 65:2003

Adensamento do Concreto Definição. Disponível em <<https://construfacilrj.com.br/adensamento-concreto-definicao/>>. 2004.

Adensamento do concreto: O que é? Quais as vantagens?. Disponível em: <<https://www.royalmaquinas.com.br/blog/adensamento-concreto-o-que-e-vantagens/>>.

AMBROSIO, Thais da Silva. **Patologia, Tratamento e Reforço de Estruturas de Concreto no Metrô de São Paulo**. 2004. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2004. 128 P.

ANDRADE, Tibério. Tópicos Sobre Durabilidade do Concreto. In: ISAIA, Geraldo

AOKI, Jorge. **Início e Fim de Pega. Qual a utilidade?.** Disponível em <www.cimentoitambe.com.br/inicio-e-fim-de-pega-qual-a-utilidade/>. 26 de janeiro de 2010

AOKI, Jorge. **Proteja Seu Concreto.** Disponível em <<http://www.cimentoitambe.com.br/proteja-seu-concreto-3/>>. 18 de dezembro de 2007.

Aparente em Atmosfera Urbana. São Paulo: Editora PINI, 1995.

ARAÚJO, J. M. **Curso de Concreto Armado**. 2. ed., v.3. Rio Grande: Dunas, 2003. (obra completa em 4 volumes).

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, 1995. 529P.

BORGES, Alberto Nogueira. **Curso prático de concreto armado**. 3. ed. Rio de Janeiro: Imperial Novo Milênio, 2010. 268p.

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 2. ed., v.2. São Paulo: Pini, 2013.

Cechella. (Ed) **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: Editora

CONCRETO: Estrutura, Propriedades e Materiais, P. Kumar Mehta e Paulo J. M. Monteiro, São Paulo: Pini, 1994.

CONSTRU FACIL RJ – PORTAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL. Adensamento do concreto definição. Disponível em: <<https://construfacilrj.com.br/adensamento-concreto-definicao/>>. Acesso em: 2017.

CONSTRU FACIL RJ – PORTAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL. Cura do concreto. Disponível em: <<https://construfacilrj.com.br/cura-do-concreto/>>. Acesso em: 2017.

CP IV – Cimento Portland Pozolânico. Disponível em <<http://cimento.org/cp-iv-32-cimento-portland-pozolanico/>> Acesso em: 2017.

CP V-ARI – Cimento Portland de alta resistência inicial. Disponível em <<http://cimento.org/cp-v-ari-cimento-portland-de-alta-resistencia-inicial/>>. Acesso em: 2017.

Distribuição de Weibull. Disponível em <<http://www.portalaction.com.br/confiabilidade/412-distribuicao-de-weibull>>. Acesso em: 2017.

Durabilidade e vida útil das Estruturas de Concreto. Disponível em <<http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc55.pdf>>. Acesso em: 2017.

Engenharia De Materiais. SÃO PAULO: IBRACON, 2007. V2, CAP. 27, P. 905 -944.

Extensão da vida útil das estruturas de concreto armado com uso de armaduras zincadas. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/170/artigo287843-1.aspx>>. Acesso em: 2017.

FIGUEIREDO, E.P.; MEIRA, G. **Corrosão das Armaduras das Estruturas de Concreto.** Boletim Técnico 06, México, 2013.

FLAUSINO, Danilo. **Trincas, Fissuras e Rachaduras: Identificação e Causas.** Disponível em <<https://www.reformweb.com.br/single-post/2017/02/03/TRINCAS-FISSURAS-E-RACHADURAS-IDENTIFICA%C3%87%C3%83O-E-CAUSAS>>.

GENTIL, Vicente. **Corrosão.** 4º ED. Editora LTC. Rio de Janeiro, 2003. 341P.

Geraldo Cechella. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência.**

HELENE, Paulo. ANDRADE, Tibério. Concreto de Cimento Portland. In: ISAIA, IBRACON, 2005. V1. CAP. 25, P. 753-754, 761,762.

HELENE, P. A Nova ABNT NBR 6118 e a Vida Útil das Estruturas de Concreto. In: Seminário de Patologia das Construções, 2, 2004, Porto Alegre. Proceedings... Porto Alegre: Novos Materiais e Tecnologias Emergentes, LEME, UFRGS, 2004. v. 1. p. 1-30.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **General Principles on the Design of Structures for Durability.** ISO 13823. Geneva: ISO/TC, 2008.

KRUG, Lucas Fernando. **Manifestações Patológicas em Edificação Construída na Década de 1930: Um Estudo de Caso.** 2006. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2006. 74 P.

LOTTERMANN, André Fonseca. **Patologias em Estruturas de Concreto: Estudo de Caso.** Ijuí/Rs 2013 Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

LUCENA, Andrey. **BDE Explica: concreto autocicatrizante.** Disponível em <<https://blogdaengenharia.com/bde-explica-concreto-autocicatrizante/>>. Novembro, 2016.

MARTHA, L. F., **Análise de estruturas: conceitos e métodos básicos.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. 524 p.

Modelagem Estocástica Da Carbonatação E Previsão De Vida Útil De Estruturas De Concreto Em Ambiente Urbano. Porto Alegre: UFRGS, 2010. Tese (Doutorado Em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

NAKAMURA, Juliana. **Reparo, reforço e recuperação de concreto.** Disponível em <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/146/artigo285462-1.aspx>>. Maio, 2009.

NET.COM, ECIVIL. **Cimento Portland.** Disponível em: http://www.ecivilnet.com/artigos/cimento_portland_composicao.htm>. Acesso em: 2017.

OLIVEIRA, Alexandre Magno. **Fissuras, Trincas e Rachaduras Causadas por Recalque Diferencial de Fundações.** 2012. Monografia (Especialização em Gestão em Avaliações e Perícias) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. 96 P.

Paulo: Editora PINI, 1989. P. 17.

PIANCASTELLI, Élvio M. - **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado** - ED. Departamento de Estruturas da EEUFMG - 1997 - 160P.

POGLIALLI, F.S.J. **Durabilidade de Estruturas de Concreto em Usinas Siderúrgicas.** Monografia. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009, 81 P.

RIBEIRO, Carmen; PINTO, Joana; STARLING, Tadeu. **Materiais de construção civil.** 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2011. 112p.

SANTOS, Licínio Batista. **Deformações em estruturas de concreto.** 2007

SILVA, Paulo Fernando Araújo. **Durabilidade das Estruturas de Concreto.**

Sistemas construtivos, concretagem, práticas e execução. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/sistemas-construtivos/3/concretagem-praticas/execucao/60/concretagem-praticas.html>>. Acesso em: 2017.

SOUZA, Vicente Custódio de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto.** São Paulo: Editora PINI, 1998.

THOMAS, Ercio. **Trincas em Edifícios: causas, prevenção e recuperação.**

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios.** São Paulo, 2007. (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Instituto de Pesquisas Tecnológicas – 1989).

VAGHETTI, M.A.O. **Estudo da Corrosão do Aço, Induzida por Carbonatação, em Concretos com Adições Mineraias.** Tese de Doutorado. Departamento de Metalurgia da Escola de Engenharia da UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: 2005, 274 P.

W. WEIBULL: **A Statistical Distribution Function Of Wide Applicability,** J. APPL. MECH. 18, 293–296 (1951)