

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO: PRODUÇÃO E GESTÃO DO AMBIENTE
CONSTRUÍDO

Camila Lacerda Gomes

ESTUDO COMPARATIVO DA INFLUÊNCIA DA
CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL NO
PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO
ARMADO

Belo Horizonte

2016

Camila Lacerda Gomes

**ESTUDO COMPARATIVO DA INFLUÊNCIA DA
CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL NO
PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO
ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Adriano de Paula e Silva

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2016

RESUMO

O presente estudo tem por objetivo comparar três sistemas estruturais dimensionados para classes de agressividade ambiental diferentes, mostrando as diferenças nas deformações e nos custos relativos ao concreto e ao aço para os casos avaliados. Uma estrutura simples, de três pavimentos iguais, é analisada variando-se a classe do concreto e o cobrimento dos elementos estruturais para atender os requisitos da NBR 6118:2014 para as classes de agressividade ambientais escolhidas para o estudo: II, III e IV. Os resultados obtidos mostram que as deformações nas lajes do pavimento diminuem quando a classe do concreto aumenta e o concreto com maior resistência proporciona um pavimento menos deformável. Com relação ao consumo de aço nas estruturas, percebe-se uma redução no consumo para os pilares dimensionados com o concreto de classe mais elevada. Já para as vigas e lajes já percebe-se uma tendência inversa, apesar do aumento da classe do concreto, a perda de altura útil dos elementos devido ao maior cobrimento estipulado na norma resultou em um aumento das taxas de aço. Considerando toda a estrutura, os custos aumentam para as estruturas dimensionadas para os ambientes mais agressivos.

Palavras chave: durabilidade, mecanismos de deterioração, classe de agressividade ambiental.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	V
LISTA DE TABELAS.....	VI
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	VII
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 O CONCRETO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	4
3.2 DURABILIDADE	4
3.3 MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO	5
3.3.1 Falha humana durante a concepção e execução da estrutura	6
3.3.2 Falha humana durante a utilização da estrutura	8
3.3.3 Carbonatação	8
3.3.4 Ataque por ácidos.....	9
3.3.5 Ataque por sulfatos.....	10
3.3.6 Hidrólise dos componentes da pasta de cimento.....	10
3.3.7 Reação álcali-agregado	10
3.3.8 Cristalização de sais nos poros	11
3.3.9 Ação do congelamento.....	12
3.3.10 Corrosão das armaduras.....	12
4 CRITÉRIOS NORMATIVOS RELACIONADOS À DURABILIDADE.....	14
4.1 DIRETRIZES PARA DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO SEGUNDO NBR 6118:2014.....	14
4.2 CRITÉRIOS DE PROJETO QUE VISAM A DURABILIDADE SEGUNDO NBR 6118:2014	15
4.2.1 Drenagem	15
4.2.2 Formas arquitetônicas e estruturais.....	16
4.2.3 Qualidade do concreto de cobrimento.....	16
4.2.4 Detalhamento das armaduras.....	17
4.2.5 Controle da fissuração	18
4.2.6 Medidas especiais.....	19
5 ESTUDO DE CASO: COMPARAÇÃO DOS EFEITOS DA MUDANÇA DA CAA NO PROJETO ESTRUTURAL.....	20
5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A ESTRUTURA ESTUDADA.....	20
5.2 ESTRUTURA 1: CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL II	22
5.3 ESTRUTURA 2: CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL III.....	23
5.4 ESTRUTURA 3: CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL IV	25
5.5 ANÁLISE COMPARATIVA DOS CASOS	26
6 CONCLUSÕES.....	29
REFERÊNCIAS	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 3:1 - Modelo estrutural para cálculo de vigas	6
Figura 3:2 - Detalhamento de armaduras	7
Figura 3:3 - Pilar com corrosão nas armaduras devido à carbonatação	9
Figura 3:4 - Fissuras em blocos de fundação devido a reação álcali-agregado.....	11
Figura 3:5 - Desplacamento do concreto devido a corrosão	13
Figura 4:1 - Espaçamentos mínimos entre barras.....	18
Figura 5:1 - Fôrma dos pavimentos.....	21
Figura 5:2 - Esquema de níveis	22
Figura 5:3 - Deformações para a Estrutura 1.....	23
Figura 5:4 - Deformações para a Estrutura 2.....	24
Figura 5:5 - Deformações para a Estrutura 3.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 4:1- Classes de agressividade ambiental (CAA)	15
Tabela 4:2 - Correspondência entre CAA e a qualidade do concreto	16
Tabela 4:3 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm	17
Tabela 4:4 - Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental.....	19
Tabela 5:1 - Quantitativo de concreto	22
Tabela 5:2 - Quantitativo de aço para Estrutura 1	23
Tabela 5:3 - Quantitativo de aço para Estrutura 2	24
Tabela 5:4 - Quantitativo de aço para Estrutura 3	26
Tabela 5:5 - Custos com concreto	26
Tabela 5:6 - Comparação dos quantitativos de aço	27
Tabela 5:7 - Custos com aço	27
Tabela 5:8 - Custo total	28

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

CAA – Classes de agressividade ambiental

f_{ck} – Resistência à compressão do concreto característica

NB – Norma Brasileira.

NBR – Norma Brasileira Registrada.

w_k – Abertura característica de fissuras na superfície do concreto

1 INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo a principal preocupação dos projetistas de estruturas de concreto era relacionada às características relacionadas a resistência do material. Essa realidade vem mudando e cada vez mais os projetistas se preocupam também com as características relacionadas à durabilidade da estrutura.

As estruturas vêm apresentando problemas relacionados a deterioração do concreto e isto tem feito com que os profissionais se preocupem com a questão da vida útil da estrutura ainda na fase de projeto.

Um dos fatores que faziam com que a durabilidade fosse negligenciada na fase de elaboração dos projetos era a elevação do custo inicial da construção. Temos percebido que os reparos devido à ineficiência da durabilidade das estruturas tem feito com que projetistas e construtores mudem essa ideia. Segundo Mehta (1994):

De modo crescente, os custos de reparos e substituições em estruturas devido a falhas nos materiais têm se tornado parte substancial do orçamento total das construções. Por exemplo, em países industrialmente desenvolvidos estima-se que acima de 40% do total dos recursos da indústria da construção sejam aplicados no reparo e manutenção de estruturas já existentes, e menos de 60% em novas instalações.

O custo gerado pelos reparos e manutenção tem incentivado a adoção de medidas que elevem a vida útil das estruturas. As normas brasileiras em vigor já exigem períodos mínimos de durabilidade das estruturas e recomendam a adoção de alguns critérios que visam o cumprimento desses períodos estabelecidos.

Além da influência dos critérios adotados em projeto, temos outros fatores que podem influenciar na durabilidade das estruturas como: os materiais empregados e o controle tecnológico adequado para as diversas situações, execução dentro dos requisitos normativos, consultas ao projetista em casos de necessidade de adequações do projeto.

Outro importante fator que influencia na elaboração de um projeto estrutural mais durável é a maneira de contratação dos projetos feita pela maioria das construtoras. Normalmente os projetos são contratados em etapas distintas, onde o projeto de uma disciplina só começa ser

elaborado após o a conclusão do projeto de outra disciplina. Dessa forma nem sempre é possível utilizar das melhores técnicas para resolver problemas de interferências, é necessário fazer adequações em projetos já finalizados. Com a adoção dessa prática é comum a priorização de determinadas disciplinas sobre outras. Se as disciplinas forem trabalhadas de maneira integrada e simultânea, os projetistas podem chegar a soluções que não gerem perdas para nenhum dos projetos, fazendo um projeto mais racional e durável.

Os problemas das estruturas em que a durabilidade é prejudicada gera altos custos para reparação devido ao maior grau de dificuldade de execução dos reparos mas os maiores problemas estão relacionados ao perigos que isto pode proporcionar aos usuários da edificação e de edificações vizinhas.

Este trabalho contemplará um estudo sobre os requisitos das normas brasileiras relacionados à durabilidade das estruturas de concreto armado e em uma comparação dos efeitos desses critérios no projeto estrutural. Será feito também um levantamento bibliográfico dos principais fatores de deterioração do concreto.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é comparar a influência da alteração da Classe de Agressividade Ambiental (CAA) no dimensionamento da estrutura. A definição do CAA do projeto define os critérios de durabilidade que devem ser seguidos de acordo com as especificações da norma brasileira e visam garantir que se consiga atingir a vida útil de projeto necessária. A partir da comparação e exposição dos critérios avaliados, este trabalho de conclusão de curso irá contribuir para a orientação da análise dos critérios de durabilidade, mostrando que a alteração dos fatores adotados inicialmente no projeto visando apenas o dimensionamento propriamente dito, podem ser alterados para melhorar a durabilidade da estrutura projetada.

2.2 Objetivos específicos

- Apresentar os principais mecanismos de deterioração das estruturas;
- Verificar nas normas brasileiras em vigor quais os critérios que visam a durabilidade das estruturas;
- Avaliar como esses critérios podem ser modificados para melhorar o desempenho em relação à durabilidade;
- Verificar a influência da alteração dos critérios através da modelagem de um pequeno edifício de três pavimentos utilizando o programa TQS.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O concreto na construção civil

As edificações surgiram na busca do homem por lugares que proporcionassem abrigos seguros, protegidos das intempéries a que estavam expostos. Ao longo dos anos as técnicas construtivas foram sendo aprimoradas para proporcionar maior conforto e segurança aos usuários.

Hoje se encontram disponíveis diversas técnicas e materiais, visando proporcionar os mencionados requisitos de conforto e segurança. Um dos materiais mais utilizados na construção civil é o concreto. Os edifícios em concreto armado podem ser observados em praticamente todos os lugares do mundo.

Foi comum durante muitos anos a classificação do concreto como um material muito resistente e durável. Atualmente tem-se conhecimento de diversos problemas que afetam as estruturas de concreto armado, comprometendo sua durabilidade e segurança. Tais problemas ocorrem inclusive em estruturas com pouco tempo de uso ou ainda na fase de construção.

Na realidade a deterioração do concreto ocorre muitas vezes como resultado de uma combinação de diferentes fatores externos e internos. São processos complexos, determinados pelas propriedades físico-químicas do concreto e da forma como está exposto. Os processos de degradação alteram a capacidade de o material desempenhar as suas funções, e nem sempre se manifestam visualmente (AGUIAR, 2006).

As estruturas de concreto armado tem sido tema de diversas pesquisas, visando aprofundar o conhecimento sobre os agentes agressivos e definir critérios para melhorar as características relativas à durabilidade do material. Tais pesquisas tem por objetivo o aumento da vida útil das construções.

3.2 Durabilidade

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) a durabilidade consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

Mehta (1994) considera uma longa vida útil como sinônimo de durabilidade. O autor cita a definição do comitê 201 do ACI que define durabilidade do concreto de cimento Portland como a capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração.

De acordo com as definições de durabilidade, percebemos a importância de ter as definições claras do ambiente em que a edificação estará inserida assim como o uso que será feito. Esses fatores são de grande importância para definir quais critérios e medidas devem ser adotadas em projeto para que a durabilidade da estrutura seja garantida.

Neville (1997) alerta que para muitas condições de exposição de estruturas de concreto, tanto a resistência como a durabilidade devem ser consideradas de forma bem clara na fase de projeto. As edificações em ambientes marinhos ou com intensa industrialização são exemplos de aplicação da afirmação feita pelo autor. Esses ambientes são muito agressivos para as estruturas de concreto e os cuidados na fase de projeto são essenciais.

Souza e Ripper (1998) reforçam a ideia da importância das decisões e procedimentos adotados para garantir a à estrutura e aos materiais que a compõem um desempenho satisfatório ao longo da vida útil da construção. Eles completam:

Assim, serão a quantidade de água no concreto e a sua relação com a quantidade de ligante o elemento básico que irá reger características como densidade, compacidade, porosidade, permeabilidade, capilaridade e fissuração, além de sua resistência mecânica, que, em resumo, são os indicadores de qualidade do material, passo primeiro para a classificação de uma estrutura como durável ou não.

Com o aumento dos estudos relacionados à durabilidade do concreto, percebemos uma conscientização maior tanto de projetistas como de construtores para os cuidados necessários afim de garantir o atendimento ao período mínimo de durabilidade.

3.3 Mecanismos de deterioração

É importante conhecer os mecanismos de deterioração para saber exatamente o que deve ser feito para evitar ou corrigir cada problema. Identificações erradas das causas dos problemas pode fazer com que o problema não seja realmente corrigido, voltando a provocar problemas.

Esse conhecimento também é importante na fase de projeto pois sabendo as condições ambientais às quais a estrutura estará submetida, o projetista pode tomar os devidos cuidados no projeto para evitar os possíveis problemas.

Existem divergências na classificação dos tipos de deterioração. Cada autor normalmente apresenta sua própria classificação. Os mecanismos muitas vezes são bem parecidos e ocorrem de maneira conjunta, o que favorece essas divergências de classificações.

Neste trabalho não será feita uma classificação, os principais mecanismos de deterioração aplicáveis às estruturas de edifícios serão brevemente descritos apenas para mostrar a importância de se tomar os devidos cuidados com a durabilidade dessas estruturas.

3.3.1 Falha humana durante a concepção e execução da estrutura

Este mecanismo está relacionado às deficiências provocadas pelo homem por falta de capacitação para executar os elementos ou por considerações e especificações incorretas feitas no projeto. Podemos citar os seguintes exemplos:

- Erros na avaliação das cargas a serem consideradas para o dimensionamento da estrutura;
- Utilização de modelo estrutural incorreto, que pode gerar esforços incompatíveis com a realidade da estrutura. A Figura 3:1 mostra um exemplo;

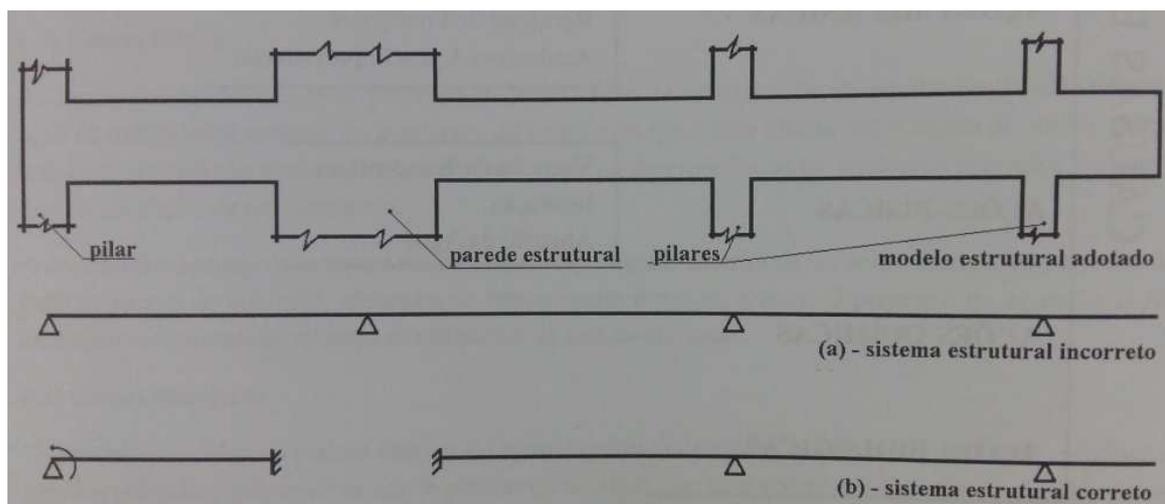


Figura 3:1 - Modelo estrutural para cálculo de vigas

Fonte: SOUZA E RIPPER, 1998

- Armaduras detalhadas de maneira insuficiente ou incorreta como mostra o exemplo da Figura 3:2;

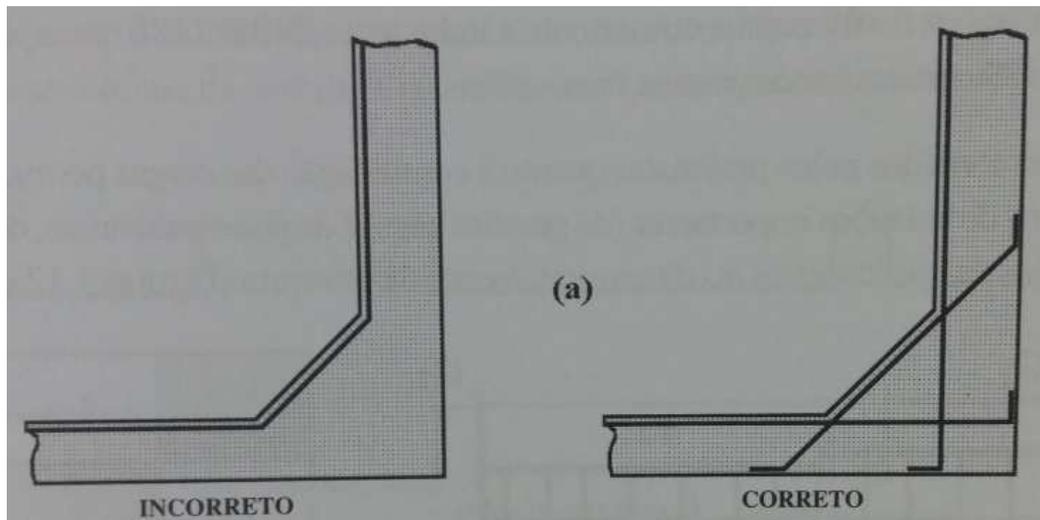


Figura 3:2 - Detalhamento de armaduras
 Fonte: SOUZA E RIPPER, 1998

- Deficiências causadas durante a concretagem como: transporte inadequado que provoca segregação do concreto, vibração e adensamento incorretos que podem gerar vazios ou irregularidades na superfície, juntas de concretagem em que não são tomados os devidos cuidados como evitar regiões de concentração de tensões;
- Escoramento ou sistema de fôrmas inadequados, como retirada precoce de escoramentos e falta de estanqueidade das fôrmas;
- Deficiência na representação do projeto gerando dúvidas que podem resultar em erros e montagem incorreta das armaduras devido à falta de capacitação da equipe responsável;
- Utilização incorreta de materiais como fck diferente do especificado, dosagem inadequada e uso incorreto de aditivos;
- Controle de qualidade insuficiente ou inexistente como falta de um tecnologista de concreto e o cumprimento das recomendações das normas;

3.3.2 Falha humana durante a utilização da estrutura

Este mecanismo está relacionado às deficiências provocadas pelo homem por utilização incorreta da edificação. Podemos citar os seguintes exemplos:

- Falta de manutenção;
- Uso e ocupação diferente do projetado, aplicando sobrecargas acima do limite previsto para a estrutura;
- Ampliações não previstas e sem acompanhamento de um responsável técnico;

3.3.3 Carbonatação

A carbonatação é um fenômeno que ocorre devido a reações que ocorrem entre elementos presentes no concreto e no meio ambiente em que ele está inserido. Amorim (2010) explica como ocorre este processo:

É o processo físico-químico de neutralização da fase líquida intersticial do concreto, saturada de hidróxido de cálcio e de outros compostos alcalinos hidratados. O dióxido de carbono (CO_2), os óxidos de enxofre (SO_2 , SO_3), e o gás sulfídrico (H_2S), presentes na atmosfera desencadeiam processo de reações químicas em contato com a estrutura recebe o nome de carbonatação devido à maior incidência de CO_2 nas reações de neutralização.

A carbonatação provoca alteração do pH do concreto, que é normalmente básico com valores acima de 12,5, para valores abaixo de 9,0. Essa alteração do pH sozinha não gera danos, os problemas são causados quando, além da carbonatação, temos a presença de cloretos. O baixo pH do concreto carbonatado favorece a despassivação das armaduras, o que possibilita a ação dos cloretos na corrosão da armadura. A Figura 3:3 apresenta o exemplo de um pilar em indústria com corrosão nas armaduras devido à carbonatação.



Figura 3:3 - Pilar com corrosão nas armaduras devido à carbonatação
Fonte: AGUIAR, 2006

Para reduzir os impactos da carbonatação a NBR 6118 (ABNT, 2014) recomenda observar a espessura do cobrimento a ser adotada em projeto, a abertura de fissuras dos elementos e a utilização de concreto com porosidade reduzida.

3.3.4 Ataque por ácidos

Os ataques por ácidos normalmente atacam o concreto porque reagem com alguns de seus componentes, decompondo-os e formando novos compostos. Os solúveis formados nessas reações são lixiviados pelo concreto e podem favorecer a entrada de outros agentes agressivos, os insolúveis ficam depositados no local da formação bloqueando os poros e tornando o concreto menos permeável, fato que seria benéfico, ou podem sofrer expansão. A expansão dos compostos pode provocar deslocamento do concreto, exposição e corrosão das armaduras.

O concreto pode ser atacado por líquidos com pH menor do que 6,5 mas o ataque é severo somente com pH menor do que 5,5; com pH menor do que 4,5 o ataque é muito severo (NEVILLE, 1997).

3.3.5 Ataque por sulfatos

Os sulfatos que entram em contato com o concreto podem reagir com a pasta de cimento hidratado. Os sulfatos mais comuns são de potássio, sódio, magnésio e cálcio.

Segundo Mehta (1994) a degradação do concreto pelo ataque por sulfatos ocorre de duas formas distintas: pela expansão ou perda progressiva de resistência e perda de massa. Quando ocorre a expansão, o concreto tem seu número de poros aumentados, o que facilita a entrada de novos agentes agressivos.

Atualmente existem no mercado cimentos resistentes a sulfatos que podem auxiliar na prevenção a este tipo de mecanismo.

3.3.6 Hidrólise dos componentes da pasta de cimento

Água com baixa concentração de íons de cálcio que entra em contato com o concreto reage dissolvendo os componentes que contem cálcio. Os compostos calcários formados são lixiviados para a superfície do concreto formando as eflorescências. Além dos problemas estéticos causados, o concreto também apresenta redução da sua resistência devido às perdas dos componentes hidrolisados.

É importante reduzir a infiltração que ocorre no concreto, impedindo que a hidrólise ocorra de forma contínua. Podem ser utilizados aditivos hidrofugantes.

3.3.7 Reação álcali-agregado

A NBR 6118 (ABNT, 2014) define a reação álcali-agregado como sendo a expansão por ação das reações entre os álcalis do concreto e agregados reativos. A expansão e fissuração que ocorrem devido às reações podem provocar redução da resistência, elasticidade além da durabilidade. A Figura 3:4 mostra um exemplo das fissuras em um bloco de fundação.

Mehta (1994) cita também outras formas de identificar a ocorrência desse problema como o pipocamento e exsudação de um fluido viscoso álcali-silicoso. O autor também enumera os mais importantes que influenciam este fenômeno:

- (1) o conteúdo de álcalis do cimento e o consumo de cimento no concreto;
- (2) a contribuição de íons alcalinos de outras fontes, que não o cimento

Portland, tais como aditivos, agregados contaminados com sais e penetração de água do mar ou solução salina degelante no concreto; (3) a quantidade, tamanho e reatividade do constituinte reativo aos álcalis presentes no agregado; (4) a disponibilidade de umidade junto à estrutura de concreto; (5) a temperatura ambiental.



Figura 3:4 - Fissuras em blocos de fundação devido a reação álcali-agregado
Fonte: AGUIAR, 2006

3.3.8 Cristalização de sais nos poros

A cristalização de sais nos poros do concreto ocorre sem que haja reações químicas. Substâncias contendo sais dissolvidos podem ser transportadas pelos poros do concreto. Quando ocorre a evaporação, os sais ficam depositados nos poros cristalizam e geram tensões no concreto. Essas tensões pode provocar a deterioração do concreto.

As superfícies expostas à umidade de maneira intermitente estão mais sujeitas a este mecanismo. Uma maneira de minimizar os problemas é reduzir a permeabilidade do concreto para evitar que as substâncias percolem pelo concreto carregando os sais.

3.3.9 Ação do congelamento

As estruturas em regiões com temperaturas muito baixas podem ser deterioradas por este mecanismo. Os danos mais comuns causados pelo ciclo gelo-degelo são a fissuração e o deslocamento provocados pelas tensões criadas durante o ciclo.

Powers (1958, apud Mehta, 1994) descreve o mecanismo da ação do congelamento na pasta de cimento e explica a razão da incorporação de ar ser eficaz na redução das expansões associadas ao fenômeno:

Quando a água começa a congelar em uma cavidade capilar, o aumento do volume que acompanha o congelamento da água, requer uma dilatação da cavidade igual a 9% do volume da água congelada, ou a saída do excesso de água através das fronteiras do material, ou um pouco de cada efeito. Durante este processo, é gerada pressão hidráulica e a magnitude desta pressão depende da distância a uma “fronteira de escape”, da permeabilidade do material que se interpõe e da taxa na qual o gelo é formado. A experiência mostra que pressões destrutivas se desenvolverão em um corpo de pasta saturado a menos que cada cavidade capilar na pasta não esteja mais distante do que 8 ou 10×10^{-2} cm da fronteira de escape mais próxima. Tais fronteiras proximamente espaçadas são conseguidas através do uso de um agente de incorporação de ar adequado.

3.3.10 Corrosão das armaduras

Trata-se de um processo eletroquímico no qual temos o efeito da pilha e é formada a ferrugem. A formação da ferrugem gera uma variação volumétrica que produz tensões no concreto, podendo fissurar o concreto e deslocar a camada de revestimento existente. A Figura 3:5 apresenta um exemplo de deslocamento provocado pela corrosão das armaduras.

O principal problema gerado por este mecanismo é a perda da seção de aço existente. Essa perda faz com que a resistência da estrutura seja reduzida significativamente, podendo levar ao colapso da estrutura.

O processo de corrosão das armaduras normalmente está associado a algum dos mecanismos citados anteriormente, que contribuem para criar o ambiente propício à formação da pilha. Os

principais cuidados para evitar o problema estão relacionados com a porosidade e permeabilidade do concreto.



Figura 3:5 - Deslocamento do concreto devido a corrosão
Fonte: SOUZA E RIPPER, 1998

4 CRITÉRIOS NORMATIVOS RELACIONADOS À DURABILIDADE

Devido aos problemas relatados ao longo do tempo, as entidades que elaboram as normas técnicas em todo o mundo passaram a acrescentar critérios voltados à durabilidade das estruturas.

No Brasil a NBR 6118:2014 que trata dos procedimentos para elaboração de projetos também já contempla itens voltados exclusivamente à durabilidade. Percebemos uma evolução nas publicações de revisões dessa norma, como a classificação do ambiente em que o projeto está inserido para determinar parâmetros mínimos de cobrimento, fck e fator água/cimento.

Em 2013 entrou em vigor a NBR 15575:2013 que trata do desempenho das edificações habitacionais. Essa norma estabeleceu um período mínimo de 50 anos para a vida útil do sistema estrutural. A definição de vida útil para esta norma é a seguinte:

Período de tempo em que um edifício e/ou seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos considerando a periodicidade e correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção (a vida útil não pode ser confundida com prazo de garantia legal e certificada).

Nesse item serão abordados os principais critérios normativos brasileiros na elaboração do projeto relacionados com a durabilidade das estruturas de concreto.

4.1 Diretrizes para durabilidade das estruturas de concreto segundo NBR 6118:2014

A NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece como exigências de durabilidade:

As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil.

A norma define as classes de agressividade a qual as estruturas estão submetidas de acordo com o ambiente em que ela se encontra. A classificação leva em consideração os fatores físicos e químicos presentes em cada ambiente. A classificação também apresenta o risco de deterioração

para cada classe. A Tabela 4:1 apresenta as classes de agressividade ambiental (CAA) definidas pela norma.

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

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

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

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

Tabela 4:1- Classes de agressividade ambiental (CAA)

Fonte: ABNT NBR 6118:2014

No início da elaboração do projeto deve ser definido a CAA da estrutura. Essa classificação serve como base para definição de alguns critérios a serem adotados no projeto que serão vistos posteriormente. A norma permite que o responsável pela elaboração do projeto adote uma classe mais agressiva que a indicada por ela.

4.2 Critérios de projeto que visam a durabilidade segundo NBR 6118:2014

4.2.1 Drenagem

As recomendações feitas pela norma visam impedir a presença ou acúmulo de água nas superfícies expostas das estruturas. São feitas recomendações para áreas como coberturas, platibandas e juntas de dilatação. Todas as recomendações são importantes para impedir os mecanismos de deterioração que dependem da presença da água para se manifestar.

4.2.2 Formas arquitetônicas e estruturais

A norma recomenda que sejam evitadas as formas e disposições que possam comprometer a durabilidade da estruturas. Também apresenta a preocupação em manter acessos para inspeção e manutenção de elementos com vida útil menor, como impermeabilizações, aparelhos de apoio, e com ventilação e aberturas para drenagem de elementos que possam acumular água.

Essas recomendações são importantes pois visam a correta manutenção da estrutura que garantirá uma estrutura durável e segura para utilização.

4.2.3 Qualidade do concreto de cobrimento

Segundo a norma, a durabilidade da estrutura é altamente dependente das características do concreto e da espessura e qualidade do concreto do cobrimento da armadura.

A norma apresenta uma tabela onde estabelece os requisitos mínimos de durabilidade. Esses parâmetros apresentados na Tabela 4:2 podem ser utilizados quando não forem feitos ensaios para comprovar o desempenho com relação a durabilidade.

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.
^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Tabela 4:2 - Correspondência entre CAA e a qualidade do concreto

Fonte: ABNT NBR 6118:2014

A norma alerta que não devem ser utilizados aditivos que contenham cloretos. Isso se deve ao fato dos cloretos serem responsáveis por grande parte dos problemas nas estruturas.

Os elementos com protensão devem seguir cuidados especiais como proteção por bainha preenchida com graute, calda de cimento Portland sem adições, quando forem aderentes, ou

graxa, quando o sistema for não aderente. As ancoragens ativas também devem ser protegidas para evitar danos ao sistema de protensão.

A Tabela 4:3 apresenta os valores mínimos de cobrimento estipulados pela norma que também estabelece requisitos de aceitação do cobrimento como os desvios toleráveis na execução e as dimensões aceitáveis para os agregados. Esses critérios podem ser encontrados na seção 7.4.7 da referente norma.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Tabela 4:3 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm

Fonte: ABNT NBR 6118:2014

Quando o concreto utilizado for de uma classe maior que a mínima exigida, a norma permite a redução de até 5mm no valor do cobrimento estabelecido na tabela.

4.2.4 Detalhamento das armaduras

Deve-se tomar o cuidado de dispor as barras dentro do elemento estrutural, permitindo e facilitando as operações de lançamento e adensamento. O detalhamento deve prever espaço suficiente para entrada da agulha do vibrador.

A norma indica espaçamentos mínimos entre barras para cada tipo de elemento assim como o diâmetro máximo das barras que podem ser utilizadas. A Figura 4:1 apresenta um esquema das recomendações de espaçamentos para as armações de vigas. Para pilares, devem ser seguidos as mesmas recomendações indicadas na figura para o valor de “A”

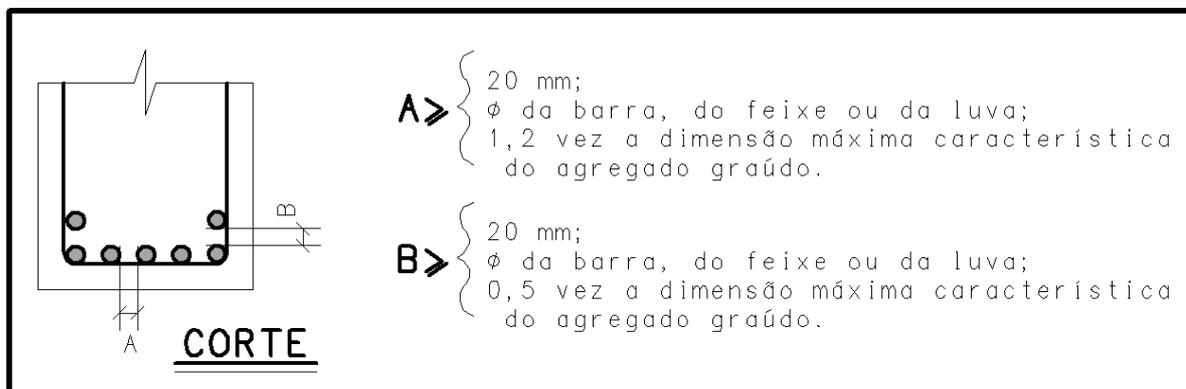


Figura 4:1 - Espaçamentos mínimos entre barras

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6118:2014

Essas observações são importantes para garantir a boa qualidade do concreto, evitando brocas e demais imperfeições que possam comprometer a resistência do concreto e deixar barras expostas à agentes agressivos.

4.2.5 Controle da fissuração

Quando as fissuras estão dentro dos valores estabelecidos pela norma, elas não representam risco significativos para as armaduras passivas. Para armaduras ativas, os limites são um pouco mais restritivos pois existe o risco da corrosão sob tensão.

A Tabela 4:4 apresenta os valores estabelecidos para a abertura característica w_k das fissuras. A norma alerta que esses limites devem ser vistos como critérios para um projeto adequado de estruturas, as estimativas devem respeitar os limites mas as fissuras reais podem eventualmente ultrapassar os limites. Isso se deve à variabilidade das grandezas envolvidas e do estágio atual do conhecimento.

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 protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação frequente
		ELS-D ^a	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D ^a	Combinação frequente
^a A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com $a_p = 50$ mm (Figura 3.1). NOTAS 1 As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2. 2 Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV, exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens. 3 No projeto de lajes lisas e cogumelo protendidas, basta ser atendido o ELS-F para a combinação frequente das ações, em todas as classes de agressividade ambiental.			

Tabela 4:4 - Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental

Fonte: ABNT NBR 6118:2014

4.2.6 Medidas especiais

A norma alerta para necessidade de medidas especiais visam a proteção e conservação das estruturas sujeitas a condições de exposição adversas. Algumas das medidas a serem adotadas são: aplicação de revestimentos hidrofugantes e pinturas impermeabilizantes sobre as superfícies do concreto, galvanização da armadura, proteção catódica da armadura e outros.

5 ESTUDO DE CASO: COMPARAÇÃO DOS EFEITOS DA MUDANÇA DA CAA NO PROJETO ESTRUTURAL

É muito importante que o projetista observe as condições ambientais nas quais a obra estará inserida para definir quais critérios serão adotados no projeto. Considerações incompatíveis com a realidade pode comprometer a durabilidade da edificação.

Nesse trabalho será feito um estudo comparativo de uma estrutura simples dimensionada para três classes de agressividade ambiental distintas: Classe II, Classe III e Classe IV.

5.1 Considerações gerais sobre a estrutura estudada

Para demonstrar o impacto que o ambiente pode causar no projeto estrutural de uma edificação para manter os critérios mínimos de durabilidade previstos em norma, será estudado uma estrutura simples de três pavimentos. Será feito um estudo das deformações resultantes no pavimento e o consumo de materiais em função das alterações dos critérios de durabilidade para as diferentes classes de agressividade ambiental. Será feito também uma comparação dos custos finais da estrutura em cada uma das condições propostas.

Para a análise estrutural, dimensionamento e detalhamento estrutural foi utilizado o sistema CAD/TQS na versão V18.14.61. Os pavimentos são analisados pelo modelo de grelha e a análise global será feita pelo modelo de pórtico espacial.

Como citado anteriormente, para cada classe a NBR 6118:2014 define cobertura, classe de concreto e fator água/cimento mínimos para cada classe de agressividade ambiental. Para desenvolvimento do trabalho serão utilizados os valores mínimos estipulados pela norma, que podem ser encontrados nas Tabelas 4:2 e 4:3. Mais adiante será apresentado um resumo dos critérios utilizados no estudo.

Os três pavimentos do edifício proposto são iguais em geometrias e cargas. A Figura 5:1 apresenta a fôrma do pavimento com suas respectivas dimensões. O pé-direito considerado entre os pavimentos pode ser observado no esquema da Figura 5:2. O carregamento considerado em todas as lajes foi de 150 kg/m² para cargas permanentes e 400 kg/m² para cargas acidentais. Essa estrutura será dimensionada em três classes de agressividade ambiental diferentes: Classe II, Classe III e Classe IV.

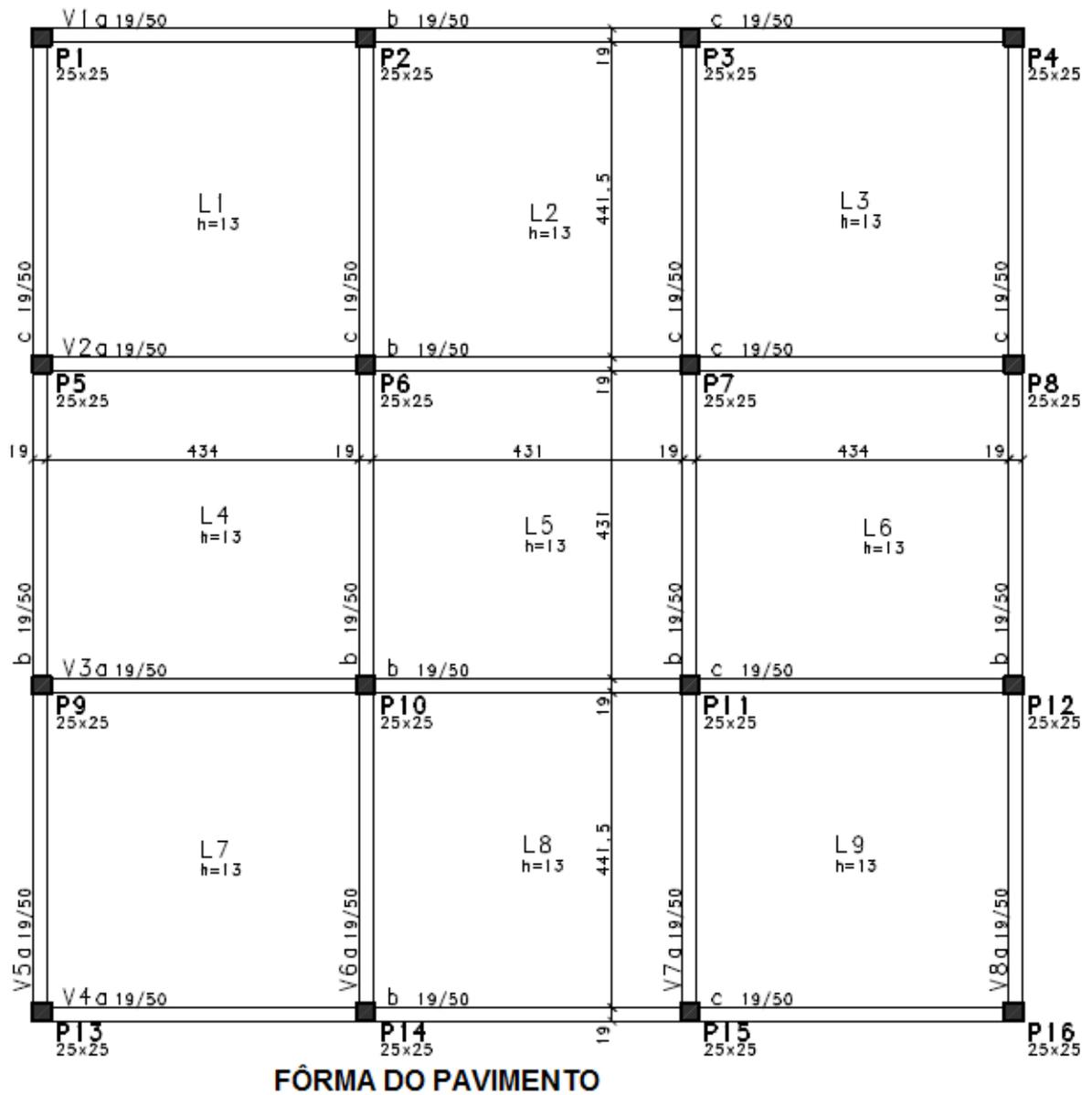


Figura 5:1 - Fôrma dos pavimentos



Figura 5:2 - Esquema de níveis

Os quantitativos de concreto para os três pavimentos considerados encontram-se na Tabela 5:1. Como as dimensões dos elementos não irão alterar entre os modelos estudados, os quantitativos apresentados valem para todos eles. Os quantitativos referentes aos elementos de fundação, cintas e blocos não serão considerados no estudo.

ELEMENTO	VOLUME DE CONCRETO (m ³)			
	1º Pavto.	2º Pavto.	3º Pavto.	Total
Pilares	3,2	3,0	3,0	9,2
Vigas	9,7	9,7	9,7	29,1
Lajes	22,2	22,2	22,2	66,6
Totais	35,1	34,9	34,9	104,9

Tabela 5:1 - Quantitativo de concreto

5.2 Estrutura 1: Classe de agressividade ambiental II

O primeiro estudo a ser realizado será referente ao edifício com classe de agressividade ambiental II - Moderada. Os critérios adotados visando a durabilidade da estrutura serão:

- Classe do concreto a ser utilizado: C25
- Cobrimento nominal dos elementos: lajes = 2,5 cm; vigas e pilares = 3,0 cm.

Fazendo o processamento da grelha não-linear para obter as deformações do pavimento, obtemos uma deformação máxima nas lajes de 0,85cm, como pode ser observado na Figura 5:3.

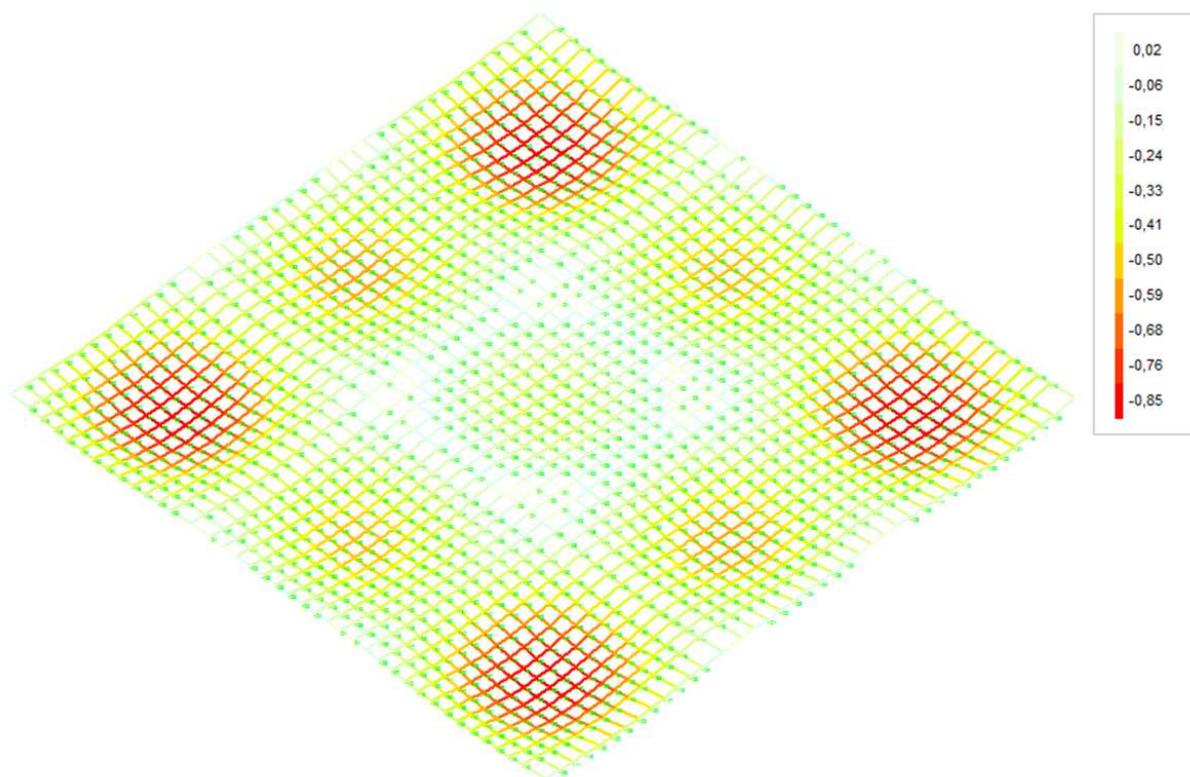


Figura 5:3 - Deformações para a Estrutura 1

Fazendo os detalhamentos das lajes, vigas e pilares da estrutura utilizando concreto C25 e os cobrimentos especificados acima, obtemos os quantitativos de aço separado por \emptyset das barras apresentados na Tabela 5:2.

ELEMENTO	AÇO (kg)							Total
	\emptyset 5 mm	\emptyset 6.3 mm	\emptyset 8 mm	\emptyset 10 mm	\emptyset 12.5 mm	\emptyset 16 mm	\emptyset 20 mm	
Pilares	169,0	0,0	12,0	122,0	371,0	92,0	221,0	987,0
Vigas	353,0	5,0	0,0	764,0	234,0	254,0	0,0	1610,0
Lajes	570,0	3063,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3633,0
Total	1092,0	3068,0	12,0	886,0	605,0	346,0	221,0	6230,0

Tabela 5:2 - Quantitativo de aço para Estrutura 1

Observa-se que os pilares representam cerca de 16% do total de aço, as vigas 26% e as lajes representam a maior parte sendo 58% do total.

5.3 Estrutura 2: Classe de agressividade ambiental III

O primeiro estudo a ser realizado será referente ao edifício com classe de agressividade ambiental III-Forte. Os critérios adotados visando a durabilidade da estrutura serão:

- Classe do concreto a ser utilizado: C30
- Cobrimento nominal dos elementos: lajes = 3,5 cm; vigas e pilares = 4,0 cm.

Fazendo o processamento da grelha não-linear para obter as deformações do pavimento, obtemos uma deformação máxima nas lajes de 0,80cm, como pode ser observado na Figura 5:4.

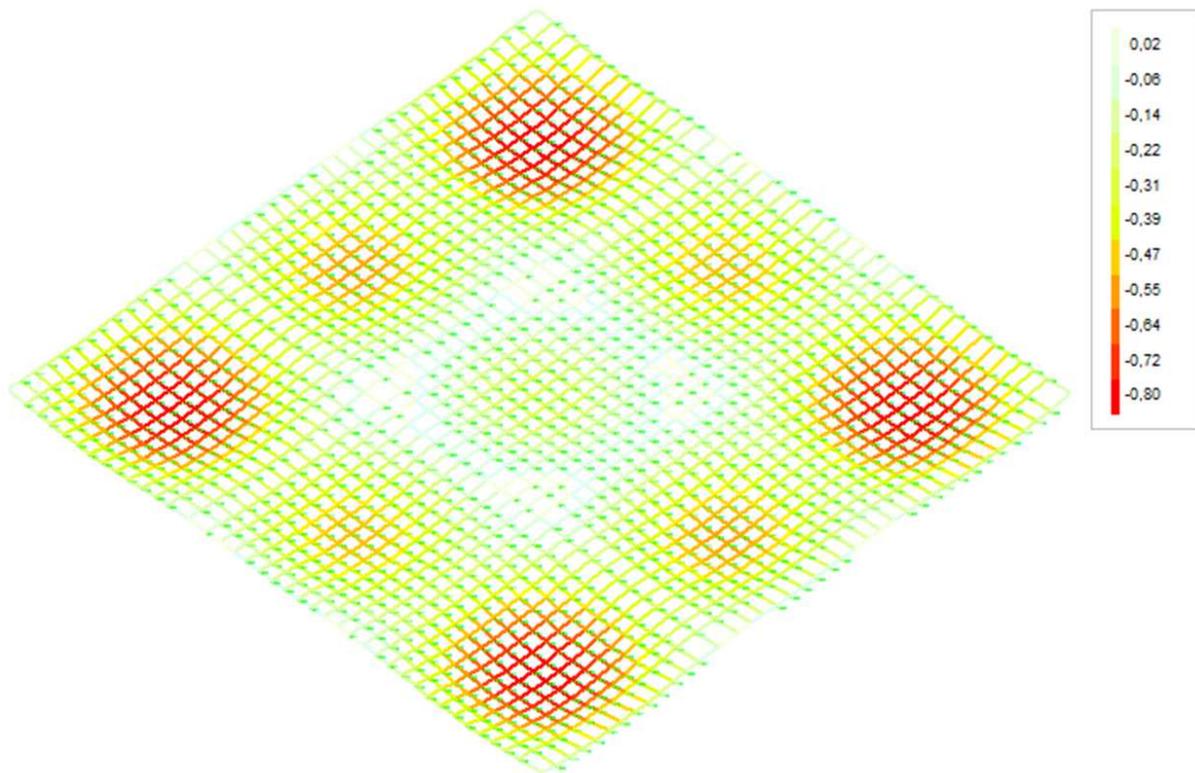


Figura 5:4 - Deformações para a Estrutura 2

Fazendo os detalhamentos das lajes, vigas e pilares da estrutura utilizando concreto C30 e os cobrimentos especificados acima, obtemos os quantitativos de aço separado por \varnothing das barras apresentados na Tabela 5:3.

ELEMENTO	AÇO (kg)							Total
	\varnothing 5 mm	\varnothing 6.3 mm	\varnothing 8 mm	\varnothing 10 mm	\varnothing 12.5 mm	\varnothing 16 mm	\varnothing 20 mm	
Pilares	158,0	0,0	12,0	122,0	425,0	130,0	0,0	847,0
Vigas	373,0	0,0	0,0	717,0	281,0	278,0	0,0	1649,0
Lajes	381,0	2490,0	1089,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3960,0
Total	912,0	2490,0	1101,0	839,0	706,0	408,0	0,0	6456,0

Tabela 5:3 - Quantitativo de aço para Estrutura 2

Observa-se que os pilares representam cerca de 13% do total de aço, as vigas 26% e as lajes representam a maior parte sendo 51% do total.

5.4 Estrutura 3: Classe de agressividade ambiental IV

O primeiro estudo a ser realizado será referente ao edifício com classe de agressividade ambiental IV-Muito Forte. Os critérios adotados visando a durabilidade da estrutura serão:

- Classe do concreto a ser utilizado: C40
- Cobrimento nominal dos elementos: lajes = 4,5 cm; vigas e pilares = 5,0 cm.

Fazendo o processamento da grelha não-linear para obter as deformações do pavimento, obtemos uma deformação máxima nas lajes de 0,67cm, como pode ser observado na Figura 5:5.

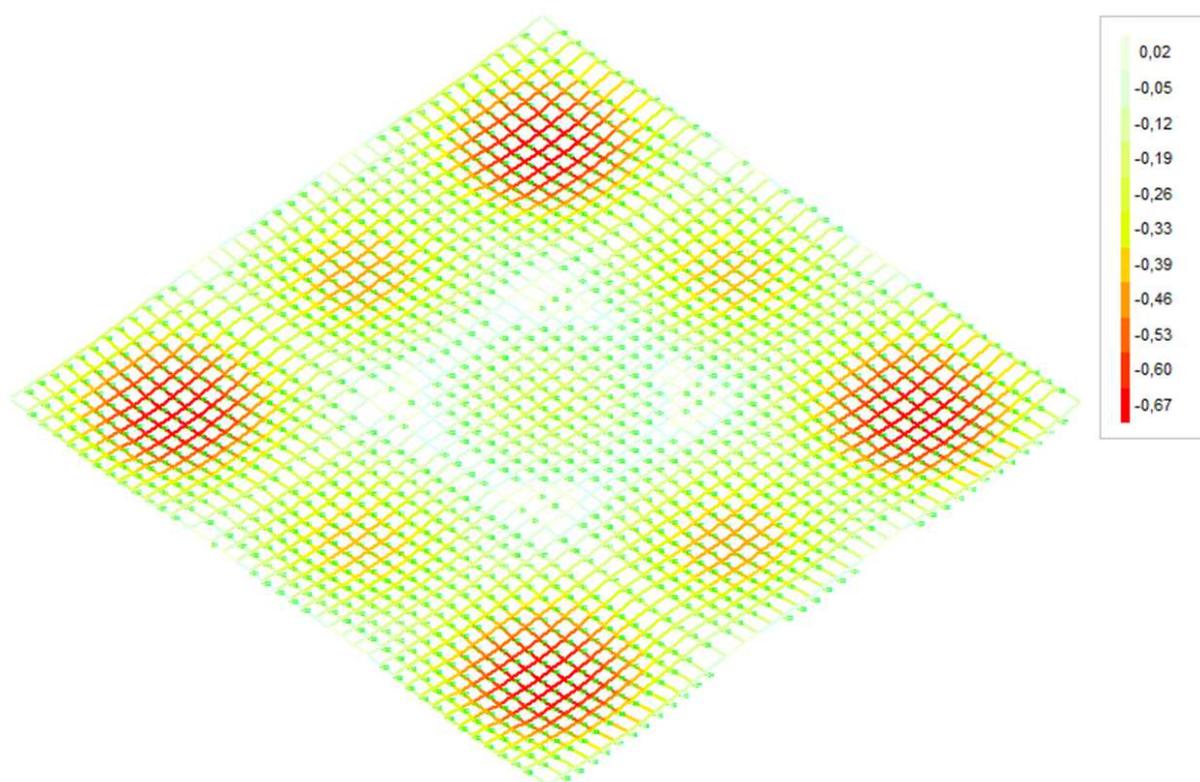


Figura 5:5 - Deformações para a Estrutura 3

Fazendo os detalhamentos das lajes, vigas e pilares da estrutura utilizando concreto C40 e os cobrimentos especificados acima, obtemos os quantitativos de aço separado por \emptyset das barras apresentados na Tabela 5:4.

ELEMENTO	AÇO (kg)							Total
	Ø 5 mm	Ø 6.3 mm	Ø 8 mm	Ø 10 mm	Ø 12.5 mm	Ø 16 mm	Ø 20 mm	
Pilares	153,0	0,0	12,0	217,0	344,0	0,0	0,0	726,0
Vigas	484,0	0,0	0,0	108,0	927,0	291,0	0,0	1810,0
Lajes	276,0	1431,0	2733,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4440,0
Total	913,0	1431,0	2745,0	325,0	1271,0	291,0	0,0	6976,0

Tabela 5:4 - Quantitativo de aço para Estrutura 3

Observa-se que os pilares representam cerca de 10% do total de aço, as vigas 26% e as lajes representam a maior parte sendo 64% do total.

5.5 Análise comparativa dos casos

As Figura 5:3, Figura 5:4 e Figura 5:5 mostram os resultados para as deformações nas lajes dos pavimentos para cada estudado. Percebe-se que com o aumento da classe de concreto utilizada, os valores para deformações diminuem, chegando a reduzir até 21%. De maneira simplificada, podemos considerar que o concreto de uma classe mais elevada possui maior módulo de elasticidade, o que resulta em menores deformações nas lajes da estrutura analisada.

A partir de valores obtidos no mercado, foi elaborada a Tabela 5:5 que mostra o comparativo dos custos de concreto para as três classes utilizadas: Estrutura 1 utilizou C25, Estrutura 2 utilizou C30 e a Estrutura 3 utilizou C40.

ELEMENTO	CONCRETO		
	QUANTIDADE (m ³)	CUSTO UNITÁRIO (R\$/m ³)	CUSTO TOTAL (R\$)
ESTRUTURA 1 (C25)	104,9	230,00	24127,00
ESTRUTURA 2 (C30)	104,9	238,00	24966,20
ESTRUTURA 3 (C40)	104,9	252,00	26434,80

Tabela 5:5 - Custos com concreto

Com relação ao concreto, a Estrutura 1 apresenta o menor custo, seguida pela Estrutura 2, que apresenta um aumento de 3,5%, e por último, a Estrutura 3 com o maior custo, representando aumento de 9,5% quando comparada a estrutura de menor custo.

Avaliando os quantitativos de aço, percebe-se uma redução nas armaduras dos pilares quando aumentamos a classe do concreto, já nas vigas e lajes ocorre o contrário. A tabela mostra a comparação dos quantitativos de aço por elemento para os três casos avaliados.

ELEMENTO	AÇO (kg)		
	ESTRUTURA 1	ESTRUTURA 2	ESTRUTURA 3
Pilares	987,0	847,0	726,0
Vigas	1610,0	1649,0	1810,0
Lajes	3633,0	3960,0	4440,0
Total	6230,0	6456,0	6976,0

Tabela 5:6 - Comparação dos quantitativos de aço

Como os pilares nos modelos estudados trabalham basicamente com compressão, a melhora na classe do concreto impacta diretamente nas armaduras, que podem ser reduzidas uma vez que a seção de concreto resiste às tensões mais elevadas. Observa-se uma redução de 26,4% para a Estrutura 3 e de 14,2% para a Estrutura 2.

As vigas e lajes trabalham no regime de tração, onde o aumento da classe do concreto utilizado não impacta tanto nas armaduras. Somando-se a isso, temos ainda a forte influência da perda de altura útil provocada pelo aumento da camada de cobrimento para ambientes com classe de agressividade mais elevada. Para as lajes observa-se aumento de 22,2% e 9% para as Estruturas 3 e 2, respectivamente; nas vigas o aumento foi de 12,4% e 2,4%.

Para os quantitativos totais de aço das estruturas, temos aumento de 3,6% e 12% para as Estruturas 2 e 3, quando comparadas à Estrutura 1. Os custos relativos ao aço encontram-se na Tabela 4:1. O aumento das armaduras para as classes mais elevadas de concreto, além dos fatores citados anteriormente, pode ter tido influência da armadura mínima recomendada pela norma. Essa armadura mínima é maior conforme a classe do concreto aumenta.

ELEMENTO	AÇO		
	QUANTIDADE (kg)	CUSTO UNITÁRIO (R\$/kg)	CUSTO TOTAL (R\$)
ESTRUTURA 1	6230,00	3,70	23051,00
ESTRUTURA 2	6456,00	3,70	23887,20
ESTRUTURA 3	6976,00	3,70	25811,20

Tabela 5:7 - Custos com aço

Analisando o custo total para estrutura proposta em cada uma das situações, tem-se um aumento de 3,6% para a Estrutura 2 e de 10,7% para a Estrutura 3 quando comparadas à Estrutura 1. A

Tabela 5:8 apresenta os valores para o custo total das estrutura. Os custos com o concreto representam a maior parte dos custos estudados neste trabalho, com cerca de 51% do custo total para os três casos estudados.

ELEMENTO	CUSTOS		
	CONCRETO	AÇO	TOTAL
ESTRUTURA 1	24127,0	23051,00	47178,00
ESTRUTURA 2	24966,2	23887,20	48853,40
ESTRUTURA 3	26434,8	25811,20	52246,00

Tabela 5:8 - Custo total

6 CONCLUSÕES

A preocupação com a durabilidade das edificações é tema que ganha mais importância a cada dia. Para saber como melhorar o desempenho é importante que os profissionais saibam as causas dos problemas mais recorrentes para que possam tomar as medidas de prevenção no início do desenvolvimento do projeto.

Com o conhecimento dos custos gerados pelas obras de intervenções para sanar problemas que podem comprometer as construções, as construtoras começam a observar que é financeiramente mais interessante trabalhar para prevenir estes problemas.

As normas brasileiras já estabelecem critérios bem claros relacionados ao tema, como tempo de vida útil que as estruturas devem ter e critérios que buscam garantir que esse período seja atingido. A definição da CAA de acordo com os dados da NBR 6118:2014 é muito importante pois os critérios a serem seguidos dependem dessa classificação, que deve ser feita no início do projeto.

Os profissionais envolvidos no projeto devem estar cientes da importância da definição correta da CAA, sendo assim, devem solicitar no início dos trabalhos todas as informações necessárias para que o projeto seja elaborado de forma correta. Uma definição errada pode comprometer seriamente a vida útil da edificação, gerando custos elevados de manutenção.

Os principais requisitos definidos pela classe de agressividade ambiental são a qualidade do projeto, definindo classes de concreto mínima para cada ambiente, e o cobrimento das armaduras, que dificultam a entrada de agentes agressivos que podem provocar corrosão das armaduras e comprometer a durabilidade e segurança da estrutura.

A execução dos elementos estruturais também deve ser feita de maneira correta para garantir que as especificações de projeto sejam seguidas. Essa etapa é tão importante quando a de projeto. Uma estrutura com falhas de execução pode ter sua durabilidade comprometida e gerar problemas visíveis ainda no período de execução da edificação.

O estudo realizado contemplou a análise dos resultados dos gastos de aço e concreto para uma mesma estrutura projetada para três classes de agressividade ambiental diferentes: Classes II, III e IV. A classe de concreto utilizada em cada um dos estudos era alterada conforme os requisitos da norma, assim como o cobrimento dos elementos.

Ao pensar em uma mesma estrutura projetada com classes de concreto diferentes, pensa-se primeiramente que quanto maior a classe de concreto utilizada menor será o consumo de aço pois a maior resistência do concreto provocaria a redução das taxas de armaduras. Pela análise dos pilares, percebe-se que essa ideia foi acertada para estes elementos, que trabalham predominantemente à compressão. Para elementos submetidos à esforços de tração, essa diferença não é tão clara. Tem-se ainda a taxa mínima de armadura recomendada pela norma que cresce à medida que a classe do concreto aumenta. Nos elementos pouco solicitados, onde temos muitas regiões com armadura mínima, a taxa irá crescer mesmo com o concreto de maior resistência.

Outro fator importante que afeta diretamente o dimensionamento dos elementos é o cobrimento. Quanto maior o cobrimento das peças, menor será a altura útil utilizada para calcular as armaduras necessárias. Os elementos de mesma seção porém com cobrimentos diferentes necessitam de armaduras diferentes para um mesmo esforço solicitante. Isoladamente isso pode fazer a taxa de armações do projeto crescer.

No estudo realizado tem-se classes de concreto mais elevadas com os maiores cobrimentos para as peças. Essa combinação resultou em estruturas mais caras para a classe de agressividade mais elevada. O concreto de maior qualidade, C40 por exemplo, custa mais que um concreto de qualidade inferior, como o C25, assim o custo com o concreto já será maior para a estrutura com CAA-IV. A redução da altura útil devido ao aumento do cobrimento fez com que a taxa de aço fosse maior para a estrutura com CAA-IV.

É importante destacar que em uma mesma classe de agressividade ambiental, ou seja, mantendo os mesmos valores de cobrimento, a utilização de uma classe de concreto maior pode gerar reduções da taxa de aço que compensem o custo do concreto ao manter as seções das peças ou pode reduzir o volume de concreto ao permitir que a redução das dimensões dos elementos.

Destaca-se também que o estudo foi realizado com uma estrutura simples de pequeno porte. Ao variar o tipo de estrutura os resultados podem ser diferentes dos encontrados neste trabalho. Os esforços solicitantes diferentes que outros tipos de estrutura podem estar submetidas podem levar à resultados distintos.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, José Eduardo de. *Avaliação dos ensaios de durabilidade do concreto armado a partir de estruturas duráveis*. Dissertação de mestrado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2006 173p.

AMORIM, Anderson Anacleto de. *Durabilidade das estruturas de concreto armado aparentes*. Trabalho de conclusão de curso de especialização. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2010, 74p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 6118. Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado*. Rio de Janeiro: 2014, 238p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 15575-1. Edificações Habitacionais - Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais*. Rio de Janeiro: 2013, 71p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais*. 1. ed. São Paulo: Editora Pini, 1994, 580 p.

NEVILLE, Adam M. *Propriedades do concreto*. Trad. Por Salvador E. Giammusso. 2. Ed. São Paulo: Pini, 1997, 828 p.

SOUZA, Vicente Custódio de, RIPPER, Thomaz. *Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto*. 1.ed. São Paulo: Editora Pini, 1998.