

**RICARDO LUIZ ENÉAS**

**Estudo sobre as implicações das variações quantitativas no volume do concreto e peso do aço, em estruturas de concreto armado, quando do aumento na espessura da camada de cobrimento das armaduras dessas estruturas e a influência do aumento na vida útil dessas peças.**

**São Paulo**

**2014**

**RICARDO LUIZ ENÉAS**

**Estudo sobre as implicações das variações quantitativas no volume do concreto e peso do aço, em estruturas de concreto armado, quando do aumento na espessura da camada de cobrimento das armaduras dessas estruturas e a influência do aumento na vida útil dessas peças.**

**Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para o Trabalho de Conclusão do Curso de Especialização em Estruturas.**

**Área de concentração:**

**Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações.**

**Orientador: Prof. Dr. Paulo Helene**

**São Paulo**

**2014**

**RICARDO LUIZ ENÉAS**

**Estudo sobre as implicações das variações quantitativas no volume do concreto e peso do aço, em estruturas de concreto armado, quando do aumento na espessura da camada de cobrimento das armaduras dessas estruturas e a influência do aumento na vida útil dessas peças.**

**Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para o Trabalho de Conclusão do Curso de Especialização em Estruturas.**

**São Paulo**

**2014**

## RESUMO

Neste trabalho foi investigada a variação quantitativa, em termos percentuais, do peso para o aço e do volume para o concreto, sem alteração das áreas nas seções das peças, quando impomos um aumento na espessura do revestimento das suas armaduras, aumento este que retardará o contato dos elementos agressivos com a superfície destas.

Justifica-se o estudo pela necessidade do aumento da vida útil das estruturas em concreto armado, profundamente afetadas em suas armaduras pelo fenômeno da corrosão.

O trabalho foi elaborado utilizando uma modelagem eletrônica de um edifício de sete pavimentos, dimensionado para a classe de agressividade ambiental moderada, no qual, após a sua concepção estrutural, foi-se aumentando a espessura do revestimento até o limite no qual tornaria necessário o aumento nas seções das peças; com isso, foram obtidas as variações no volume de concreto e peso do aço necessários para essas condições últimas.

Palavras-chave: Vida útil. Corrosão. Revestimento.

## **ABSTRACT**

The subject to be investigated in this work is the resulting increase of total the weight of the steel and volume of concrete when there is an increase in the thickness of the concrete cover, which would delay the reaching of the aggressive elements to its surface.

The study is justified by the need of increasing structural durability, of reinforced concrete structures, greatly affected by corrosion at reinforcement.

The present study is based on electronic modeling of a seven floor building, which designed for moderate environmental aggressiveness, had its covering thickness increased up to the limit that would require an increase of concrete sections; obtaining the variation in necessary concrete volume and steel weight for these ultimate scenarios.

**Keywords:** Durability of structures. Corrosion. Covering.

## SUMÁRIO

Introdução.....	1
1 Revisão da Literatura.....	2
1.1 Corrosão das Armaduras nas Estruturas de Concreto.....	2
1.2 O Fenômeno da Carbonatação no Concreto.....	5
1.3 Ação dos Cloretos no Concreto.....	6
1.4 Interferência da Carbonatação no Estado de Passivação do Aço e na Iniciação da Corrosão da Armadura.....	8
1.5 Mecanismos de Envelhecimento do Concreto e da Armadura.....	10
1.6 Agressividade Ambiental.....	14
1.7 Conceituação de Vida Útil.....	18
1.8 Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto.....	16
1.9 Influência da Espessura de Cobrimento.....	18
2 Método Numérico para a estimativa da Vida Útil.....	20
3 Parâmetros de Projeto para a Modelagem.....	22
3.1 Figura 1 – Pórtico Espacial do Edifício Protótipo.....	23
3.2 Figura 2 – Croquis do pavimento térreo do Edifício Protótipo.....	24
3.3 Figura 3 – Croquis do pavimento tipo do Edifício Protótipo.....	25
4 Metodologia utilizada na Modelagem e coleta dos Resultados.....	26
4.1 Tabela 1 – Resultados obtidos: CA II.....	27
4.2 Tabela 2 – Resumo dos resultados obtidos: CA II.....	27
4.3 Tabela 3 – Resultados obtidos: CA II (+ 0,5 cm) .....	28
4.4 Tabela 4 – Resumo dos resultados: CA II (+ 0,5cm) .....	28
4.5 Tabela 5 – Resumo dos resultados dos consumos parciais.....	29
4.6 Tabela 6 – Resumo dos resultados dos consumos consolidados.....	30
5 Análise dos Resultados.....	31
6 Conclusões e sugestões para trabalhos futuros.....	33
Anexo A – Croquis do Pavimento Térreo.....	35
Anexo B – Pavimento Térreo – Detalhe I.....	36
Anexo B – Pavimento Térreo – Detalhe II.....	36
Anexo C – Croquis do Pavimento Tipo.....	37

Anexo D – Pavimento Tipo – Detalhe I.....	38
Anexo D – Pavimento Tipo – Detalhe II.....	38
Bibliografia.....	39

## INTRODUÇÃO

O processo de corrosão nas armaduras do concreto armado, é o principal fator da diminuição do período de vida útil dessas estruturas.

Sabe-se que, para os agentes agressivos atingirem a superfície do aço, a camada de passivação, o revestimento é a principal barreira física de proteção e, assim sendo, quanto mais espessa for a camada de revestimento maior será o tempo que esses agentes dispenderão para atingir essa camada e, conseqüentemente, maior será a durabilidade dessas estruturas. Porém há limites que devem ser atendidos para o aumento da espessura da camada de revestimento.

Inicialmente, a espessura dessa camada, fixada por Normas (NBR 6118:2014, no caso do Brasil), apresenta valores mínimos que devem ser obedecidos em função das características ambientais onde a obra será edificada. Tais valores garantem, dentro de limites aceitáveis, a durabilidade da estrutura durante um determinado período de anos.

Neste trabalho, discute-se a viabilidade de se aumentar o valor do revestimento, dentro do intervalo entre duas classes ambientais consecutivas, de forma que não seja necessária a alteração das seções das peças, para evitar alterações arquitetônicas e, com isso, possa se obter um adicional significativo no tempo de durabilidade das estruturas.

Absteve-se nesta oportunidade do estudo sobre o impacto econômico, em termos de investimento a médio e longo prazo, resultante dos custos iniciais que advindos com o aumento do peso dos aços resultantes e de possíveis variações para os volumes finais do concreto, limitando-se apenas aos quantitativos dos materiais.

O desenvolvimento está dividido em duas partes: a primeira, busca a justificativa teórica para este estudo, são apresentadas as variadas manifestações patológicas do concreto, origem e desenvolvimento dos agentes agressivos às armaduras e suas conseqüências e uma pequena apresentação sobre o fenômeno da corrosão nas armaduras. Já a segunda, apresenta os resultados comparativos e as conclusões obtidas através das simulações sobre as conseqüências do aumento na espessura do revestimento da armadura.

## 1. Revisão da Literatura

### 1.1 Corrosão das Armaduras nas Estruturas de Concreto

O desenvolvimento do fenômeno de corrosão nas armaduras das estruturas em concreto pode ser assim sintetizado:

O processo de corrosão do aço no concreto envolve uma fase inicial, na qual os agentes agressivos alteram as condições do concreto no entorno da barra, despassivando a armadura, seguindo-se da formação de uma célula de corrosão, responsável pela propagação da corrosão. (FIGUEIREDO e MEIRA, 2011, p. 903).

O concreto oferece ao aço uma dupla proteção; primeiro uma proteção física, separando o aço do contato direto com o meio externo e, segundo, uma proteção química, conferida pelo elevado pH do concreto, o qual promove a formação de uma película passivadora que envolve o aço.

A elevada alcalinidade da solução aquosa presente nos poros do concreto promove a formação e estabilidade dessa película; esta apresenta uma elevada resistência ôhmica, conferindo taxas de corrosão desprezíveis, uma vez que impede o acesso de umidade, oxigênio e agentes agressivos à superfície do aço, bem como dificulta a dissolução do ferro.

A perda de estabilidade dessa camada é que conduz o ferro ao processo de corrosão. Essa situação ocorre pela penetração de substâncias agressivas que atuam através dos seguintes mecanismos (BAKKER, 1988):

- A carbonatação do concreto, que reduz o seu pH a níveis insuficientes para manter o estado passivo das armaduras;
- A presença do agente despassivador íon cloreto em quantidade suficiente para romper localizadamente a camada passivadora; e
- A combinação dos dois fatores acima citados. (FIGUEIREDO e MEIRA, 2011, p. 905)

De acordo com a sintomatologia, apresentada pela corrosão, esta pode ser classificada em generalizada e localizada. Podemos dizer que quando o desgaste do material ocorre de forma mais ou menos uniforme, envolvendo extensas áreas do metal, esta se classifica como corrosão generalizada. Já, na corrosão localizada, observa-se que o desgaste se processa em uma superfície limitada, tendendo a se agravar mais rápido do que em um processo de corrosão generalizada.

Pode-se ainda subdividir a corrosão localizada em dois casos particulares: a corrosão por pites e a corrosão com formação de fissuras.

Resumidamente, as sintomatologias do fenômeno da corrosão podem ser assim apresentadas:

Na **corrosão generalizada**, o ataque é produzido em uma grande superfície do metal, na qual existem inúmeros ânodos e cátodos, formando micropilhas que mudam a todo tempo. Nesse caso, a perda da seção pode ser uniforme ou irregular.

A **corrosão localizada**, trata-se de um ataque intermediário entre a corrosão generalizada e a corrosão por pites. O ataque se produz em zonas mais ou menos extensas do material, as quais, por diferentes razões são anódicas em relação as demais. Um dos motivos para que isso ocorra pode ser a mudança ou heterogeneidade de composição química do material ou do eletrólito que o circunda.

Na **corrosão por pites**, o ataque se produz em zonas discretas do material, as quais são mais ativas do que o resto da superfície. É comum no caso da ação de contaminantes que têm a propriedade de romper a capa passiva em pontos específicos, como é o caso dos cloretos.

A **corrosão com formação de fissuras**, ocorre quando, além das condições propícias para a corrosão, o metal se encontra submetido a tensões importantes de tração. Nesse caso surgem fissuras no material que se propagam na direção transversal à carga, produzindo rupturas com níveis baixos de tensão. (FIGUEIREDO e MEIRA, 2011, p. 907).

Nas estruturas e concreto armado, observa-se que as formas mais comuns da corrosão são a generalizada e a corrosão puntiforme ou por pites.

A primeira é desencadeada pela carbonatação do concreto e a segunda pela ação dos íons cloreto. Já, as estruturas protendidas, estão sujeitas ao que se denomina corrosão sob tensão em que as ações mecânicas, aliadas às eletroquímicas, favorecem o surgimento de fissuras no metal (corrosão com fissuração).

## 1.2 O Fenômeno da Carbonatação no Concreto

Do estudo da Química Inorgânica, sabe-se que, a ação ácida do dióxido de carbono presente no ar pode vir a transformar íons alcalinos como os cátions de sódio, potássio e cálcio em sais de carbonato desses elementos.

Dessa ação natural, poderá advir uma das mais sérias patologias nas estruturas de concreto, a carbonatação, a qual pode ser resumidamente assim apresentada:

A estrutura interna do concreto propicia um ambiente de elevada alcalinidade. Essa alcalinidade é proveniente do alto pH da solução do poro contida na pasta de cimento, que pode ser reduzido com o tempo em função da ação preponderante do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), além de outros gases ácidos como o  $\text{SO}_2$  e o  $\text{H}_2\text{S}$ , os quais atuam nas superfícies expostas das estruturas de concreto.

Em especial, a carbonatação do concreto, que está associada à ação do  $\text{CO}_2$ , representa um dos fatores indicadores mais importantes da corrosão das armaduras e, felizmente, ocorre a uma velocidade lenta, atenuando-se com o tempo. Isso pode ser explicado pela hidratação crescente do cimento, além dos próprios produtos da reação de carbonatação ( $\text{CaCO}_3$ ) que colmatam os poros superficiais, dificultando cada vez mais o acesso de  $\text{CO}_2$  presentes no ar para o interior do concreto.

Essa ação do  $\text{CO}_2$ , segundo Neville (1997), é passível de ocorrer mesmo em ambientes cuja concentração desse gás seja tão baixa quanto cerca de 0,03% em volume, considerado este um teor representativo do ambiente rural. Porém, são em concentrações mais elevadas que o fenômeno da carbonatação é mais intenso e significativo. No caso de grandes cidades, pode-se chegar até 0,3%, tendo-se, em situações excepcionais, marcas de até 1%. (CASCUDO e CASAREK, 2011, p. 850).

### 1.3 Ação dos Cloretos no Concreto

A literatura sobre a vida útil das estruturas de concreto frequentemente cita, a corrosão das armaduras, como o principal fator de redução no seu tempo de duração.

Entre as causas que dão início ao processo corrosivo destas, os íons cloretos, como agentes iniciadores, surgem como um dos mais sérios problemas que sofre esse material.

De forma resumida, podemos entender a mecânica de atuação desses íons:

Os íons cloretos podem chegar até o interior do concreto por meio de distintas formas:

- Uso de aceleradores de pega que contêm  $\text{CaCl}_2$ ;
- Impurezas dos agregados e da água de adensamento;
- Atmosfera marinha (maresia);
- Água do mar (estruturas *off shore*);
- Uso de sais de degelo; e
- Processos industriais (branqueamento da celulose e papel, por ex.)

Os íons cloreto podem ser encontrados no interior do concreto em uma das seguintes formas:

- Quimicamente combinados com as fases alumínio-ferríticas para formar o cloro aluminato;
- Fisicamente adsorvidos na superfície dos poros capilares; e
- Livres na solução dos poros do concreto.

Uma certa quantidade de íons cloreto pode ser tolerada sem risco de corrosão, uma vez que, após reagirem com os aluminatos, provenientes do clínquer, esses íons não estarão livres para atacar o filme passivante (HANSSON *et al.*, 1985). No entanto existe um valor limite de concentração no qual os íons cloreto podem romper a camada de óxidos passivante e iniciar o processo de corrosão da armadura. Esse limite não está associado a um valor fixo, embora algumas normas ou recomendações de alguns países apresentem valores orientativos. O *Building Research Establishment* (1982)

considera que um baixo risco de corrosão está associado a uma quantidade de cloretos inferior a 0,4%, um risco intermediário a quantidades de cloretos entre 0,4% e 1,0% e um alto risco em quantidades superiores a 1%. O ACI 222R (1985) permite um conteúdo máximo de cloretos, em relação à massa do cimento de 0,15% e a BSI-BS 8110 (1985) estabelece 0,4% como o limite máximo para as estruturas correntes de concreto armado. A ABNT NBR 6118:2007 não se reporta ao teor de cloretos, mas enfatiza que não é permitido utilizar aditivos contendo cloretos em sua composição, tanto em estruturas de concreto armado como em protendidas.

Basicamente os parâmetros que influenciam a penetração dos íons cloreto no concreto são os mesmos envolvidos na penetração do CO<sub>2</sub>. Entretanto, esses parâmetros nem sempre influenciam da mesma forma. (FIGUEIREDO, 2011, p. 887)

#### 1.4 Interferência da Carbonatação no Estado de Passivação do Aço e na Iniciação da Corrosão da Armadura

A carbonatação, resumidamente, é um fenômeno que surge da ação ácida do dióxido de carbono presente na atmosfera, quando este, reagindo com íons alcalinos como os cátions de sódio, potássio e principalmente de cálcio, promove a transformação em sais de carbonatos desses elementos. Essa carbonatação do concreto, que está associada ao  $\text{CO}_2$  é um dos mais importantes indicadores da corrosão das armaduras.

O concreto representa um meio altamente alcalino, com pH em geral variando de 12,5 a 13,5. Mesmo considerando cimentos contendo adições minerais, o pH é pouco afetado por esses materiais. Sellevold & Nielsen (1987 *apud* HELLENE, 1993) destacam que, em concretos com adições, cujos teores (referentes à massa total do aglomerante – cimento e adições) são de até 30%, para cinza volante e sílica ativa, e de 70% para a escória de alto forno, o pH nunca resulta inferior a 11,7.

Essa alta alcalinidade provém da fase líquida constituinte dos poros do concreto, a qual, com base nas informações de Constatiner & Diamond (1995), é essencialmente composta por hidróxidos alcalinos e possuem uma concentração de íons alcalinos  $\text{OH}^{(-)}$  (que define o pH) variando de cerca de 0,3N até um máximo de 1,0N, em função do teor de álcalis do cimento.

Nessa faixa de elevado pH do concreto, então, as reações de eletrodo verificadas são reações de passivação, conforme demonstrou o estudo de Pourbaix (1974), que avaliou as reações termodinamicamente possíveis de ocorrer em diversos sistemas metal-solução, tendo como variáveis o potencial de eletrodo (ou de corrosão) e o pH da solução. (CASCUDO e CARASEK, 2011, p.863).

De acordo com (Cascardo e Carasek, 2011), para o sistema ferro-água a  $25^\circ\text{C}$ , que pode ser extrapolado para o aço no interior do concreto, ocorre no metal uma reação lenta, em que há a deposição na superfície metálica de uma capa ou película de óxidos de caráter protetor, a chamada película de passivação do aço. Essa deposição de óxido sobre a armadura exerce um

efeito protetor, impedindo, por barreira, o contato de agentes agressivos do meio com a superfície metálica, consistindo no principal elemento protetor das armaduras contra a corrosão.

A carbonatação, avança como uma “frente”, constituída por duas zonas de pH muito diferentes: uma com pH em torno de 9 ou menor (carbonatada) e outra com pH maior do que 12 (não carbonatada). É comumente conhecida como “frente de carbonatação” e deve sempre ser mensurada com relação a espessura do concreto de cobertura da armadura.

A camada carbonatada ao se aprofundar e atingir o nível das armaduras irá desp passivá-las, ou seja, provocará instabilidade na película de passivação, uma vez que em meios onde o pH é da ordem de 9 ou inferior não há condições termodinâmicas para a estabilidade e manutenção dessa película de óxidos de ferros passivos.

## 1.5 Mecanismos de Envelhecimento do Concreto e da Armadura

De acordo com S3EG e Qisat (2011), os mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto são assim denominados:

### **a) Lixiviação**

Dissolução e transporte dos compostos hidratados da pasta de cimento por ação de águas puras, carbônicas agressivas e ácidas.

Poderá ocorrer quando o concreto for mal adensado e estiver, por algum motivo, fissurado ou apresentar juntas mal executadas, permitindo, dessa forma, percolação de água através do material.

Sintomatologia:

- Superfície arenosa
- Agregados expostos sem a pasta superficial
- Eflorescências de carbonatos
- Elevada retenção de fuligem e desenvolvimento de fungos
- Redução do pH do extrato aquoso dos poros superficiais

### **b) Expansão por ação de sulfatos**

Ocorre pela reação química entre os compostos da pasta de cimento hidratada e os íons sulfatos trazidos pela água.

É uma reação expansiva, gerando grandes aumentos de volume da fase sólida a (formação de estringita).

O aumento de volume gera tensões de tração no interior do concreto, resultando na desagregação progressiva do material. Com isso, novamente tem-se acentuada a possibilidade de surgimento da corrosão da armadura.

Sintomatologia:

- Superfície com fissuras aleatórias
- Esfoliação
- Redução da dureza e da resistência superficial do concreto
- Redução do pH do extrato aquoso dos poros superficiais do concreto

### ***c) Reação álcali-agregado***

Expansão por ação das reações entre os álcalis do cimento e certos agregados reativos, dentre estes, a opala, a calcedônia, as sílicas amorfas e certos calcários.

Estas reações requerem a presença de umidade.

Sintomatologia:

- Expansão geral da massa de concreto com fissuras superficiais e profundas.

### ***d) Reações deletérias superficiais***

Decorrentes de transformações de produtos ferruginosos presentes na constituição mineralógica dos agregados.

Sintomatologia:

- Manchas
- Cavidades
- Protuberância na superfície dos concretos

Ainda, de acordo com S3EG e Qisat (2011), os mecanismos preponderantes de deterioração relativos a armadura são:

### ***a) Despassivação por carbonatação***

Ocorre por ação do gás carbônico da atmosfera, que penetra por difusão e reage com hidróxidos alcalinos da solução dos poros do concreto, reduzindo o pH dessa solução.

A umidade relativa do ambiente deve encontrar-se entre 65% e 98% ou em ambientes de ciclos de molhagem e secagem, dando origem a corrosão da armadura.

Sintomatologia:

- Manchas
- Fissuras
- Destacamentos de pedaços de concreto
- Perda de seção resistente e da aderência
- Colapso de parte ou totalidade da estrutura

### ***b) Despassivação por elevado teor de íons cloro***

Os íons cloro penetram nos poros do concreto através de processos de difusão, impregnação ou absorção capilar de águas com elevado teores de cloretos e, ao atingir a armadura, despassivam a superfície do aço e instalam a corrosão.

Alguns aditivos aceleradores de pega podem conter elevado teor de cloretos, podendo ser, também, instaladores desse processo.

A evolução da penetração desses íons cloretos somente podem ser avaliadas através de ensaios específicos, o que, muitas vezes, dificulta sua prevenção e implica em manutenção corretiva após a corrosão acentuada das armaduras.

Sintomatologia:

- Manchas
- Fissuras
- Destacamento de pedaços do concreto
- Perda de seção resistente e da aderência
- Colapso de parte ou totalidade da estrutura

### ***Mecanismos de deterioração da estrutura propriamente dita:***

A estrutura como um todo, ou seus componentes, também podem sofrer um processo de deterioração devido às ações mecânicas, movimentações de origem térmica, impacto, ações cíclicas, retração, fluência e relaxação.

## 1.6 A agressividade ambiental

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014 (item 6.4.1), temos:

*“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, de retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas de concreto.”*

Na Norma acima, foi introduzido o conceito da classe de agressividade ambiental (CAA) o qual se propõe, através de um escalonamento de meios ambientes agressivos, a qualidade da estrutura e, em consequência, sua durabilidade.

Nesta, as condições de agressividade do meio ambiente são elencadas em ordem crescente de classes (I, II, III e IV) partindo-se da “agressividade fraca”, normalmente encontrada em ambientes rurais ou submersos, onde o risco de deterioração da estrutura é considerado insignificante.

Segue-se sequencialmente a “moderada”, para obras em ambientes urbanos, onde o risco de deterioração é classificado como pequeno, a “forte”, para ambientes marinhos ou industriais, já com o risco de deterioração considerado como grande e, finalmente, a classe de agressividade “muito forte”, assim entendido os ambientes industriais quimicamente agressivos e os ambientes sob os efeitos dos respingos de maré.

## 1.7 Conceituação de Vida útil

Conceituação de vida útil das estruturas de concreto tomando por referência o fenômeno de corrosão de armaduras:

- **Vida útil de projeto:** Período de tempo que vai até a despassivação da armadura, normalmente denominado de período de iniciação. Corresponde ao período de tempo necessário para que a frente de carbonatação ou a frente de cloretos atinja a armadura. O fato da região carbonatada ou de certo nível de cloretos atingir a armadura e teoricamente despassivá-la, não significa que necessariamente a partir desse momento haverá corrosão importante, apesar de que em geral ela ocorre. Esse período de tempo, no entanto, é o período que deve ser adotado no projeto da estrutura, a favor da segurança;

- **Vida útil de serviço:** Período de tempo que vai até o momento em que aparecem manchas na superfície do concreto, ou ocorrem fissuras no concreto de cobrimento, ou ainda quando há destacamento do concreto de cobrimento. É muito variável de um caso para outro, pois depende das exigências associadas ao uso da estrutura. Enquanto em certas situações é inadmissível que uma estrutura de concreto apresente manchas de corrosão ou fissuras, em outros casos somente o início da queda de pedaços de concreto, colocando em risco a integridade de pessoas e bens, pode definir o momento a partir do qual se deve considerar terminada a vida útil de serviço;

- **Vida útil última ou total:** Período de tempo que vai até a ruptura ou colapso parcial ou total da estrutura. Corresponde ao período de tempo no qual há uma redução significativa da seção resistente da armadura ou uma perda importante da aderência armadura / concreto, podendo acarretar o colapso parcial ou total da estrutura;

• **Vida útil residual:** Corresponde ao período de tempo em que a estrutura ainda será capaz de desempenhar suas funções, contado nesse caso a partir de uma data qualquer, corresponde a uma vistoria. Essa vistoria e diagnóstico podem ser feitos em qualquer instante da vida da estrutura. O prazo final, nesse caso, tanto pode ser o limite de projeto, o limite das condições de serviço, quanto o limite de ruptura, dando origem a três possíveis vidas úteis residuais: uma mais curta, contada até a despassivação da armadura, outra até o aparecimento de manchas, fissuras ou destacamento do concreto e outra contada até a perda significativa da capacidade resistente do componente estrutural ou seu eventual colapso. (DE MEDEIROS; ANDRARE; HELENE, 2011, p. 778).

## 1.8 Durabilidade e vida útil das Estruturas de Concreto

Em função dos crescentes problemas de degradação precoce observados nas estruturas, das novas necessidades competitivas e das exigências de sustentabilidade no setor da construção civil, observa-se nas últimas duas décadas, uma tendência mundial no sentido de privilegiar os aspectos de projeto voltados à durabilidade e à extensão da vida útil das estruturas de concreto armado e protendido (CLIFTON, 1993). (DE MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011, p. 773).

Segundo o *fib Model Code for Service Life Design* (2006), a questão da vida útil deve ser tratada sob, pelo menos, três aspectos:

- Métodos de Introdução ou Verificação da Vida Útil no projeto;
- Procedimentos de Execução e Controle de Qualidade;
- Procedimentos de Uso, Operação e Manutenção.

Segundo o conceito de desempenho formulado pela ISO 6241:1984 *Performance standards in building – Principles for their preparation and factors to be considered*, e pela ASTM E 632, incorporado às normas de estrutura de concreto no Brasil pela ABNT NBR 6118:2003, a durabilidade é uma das necessidades do usuário; é o resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente e as condições de uso, de operação e manutenção.

Para a ABNT NBR 6118:2007, item 5.1.2.3, Durabilidade “consiste na capacidade da estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto”. No item 6.1 prescreve que “as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que 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 período previsto em sua vida útil”.

Segundo a ISO 13823:2008 entende-se por *vida útil* “o período efetivo de tempo durante o qual uma estrutura ou qualquer de seus componentes satisfazem os requisitos” de desempenho do projeto, sem ações imprevistas de manutenção ou reparo”. Observe-se que essa definição engloba o conceito de desempenho, introduzido na normalização brasileira através da ABNT NBR

15575:20010. Para a ABNT NBR 6118:2007 item 6.2, vida útil de projeto é o *“período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais”*.

Em resumo, pode-se afirmar que vida útil é um conceito quantitativo associado a um período de tempo e que deve sempre ser analisada de um ponto de vista amplo que envolva o projeto, a execução, os materiais, o uso, operação e a manutenção sob um enfoque de desempenho, qualidade e sustentabilidade. [...] no presente estudo. (DE MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011).

## 1.9 Influência da Espessura do Cobrimento

A vida útil das estruturas depende fundamentalmente da espessura e da qualidade da camada de cobrimento de suas armaduras.

Em relação aos fatores da composição do concreto, ar incorporado, tamanho dos agregados e consistência, a influência, às vezes é pouco significativa na permeabilidade do concreto (TUUTTI, 1982). Entretanto, alguns fatores intrínsecos, isoladamente ou associados, produzem variações mais acentuadas. Um deles é a espessura do cobrimento, sendo que, algumas variações no cobrimento podem produzir os seguintes efeitos:

- Um cobrimento mais espesso pode permitir uma melhor cura na parte mais interna e, portanto um maior grau de hidratação;
- A quantidade de poros abertos pode diminuir quando o grau de hidratação aumenta e a espessura aumenta; e
- Um cobrimento mais fino também tem a possibilidade de fissurar-se, particularmente na zona de transição entre agregado e pasta.

As camadas superficiais do concreto são mais suscetíveis a uma porosidade mais acentuada e a rede porosa pode ser formada precocemente, enquanto que as mais profundas alcançam uma melhor cura, devido a retenção da água. (DA SILVA, 2011, p. 830).

Com base no modelo qualitativo de corrosão da armadura (TUUTTI, 1982), que subdivide o processo em iniciação e propagação, pode-se pensar em uma premissa básica para a durabilidade das estruturas de concreto, qual seja, a de que “ a garantia da durabilidade de estruturas de concreto reside na máxima extensão do período de iniciação”, pois a partir daí, no período de propagação, a estrutura fica “refém” do fenômeno eletroquímico de corrosão, que é controlado pela disponibilidade de  $O_2$  e umidade, com influência da temperatura, e da conseqüente deterioração físico-mecânica do concreto que advém desse processo.

Assim, o correto “ajuste” do período de iniciação, alinhado com a agressividade ambiental, passa por definições acertadas ao nível do projeto, principalmente da espessura do cobrimento.

Um dos modelos mais empregados para representar a penetração de agentes agressivos através da rede de poros do concreto é denominado modelo da raiz quadrada do tempo, que foi inicial e historicamente apresentado no começo do século passado, sendo representado por:

$$X = k \sqrt{t}$$

Em que:

- $x$  = profundidade de carbonatação (cm)
- $k$  = coeficiente de carbonatação ( $\text{cm}^2 / \text{ano}$ )
- $t$  = tempo (anos)

Essa modelagem é decorrente da *1ª Lei de Difusão de Fick*.

Pesquisadores como Helene (1993) e Rodrigue & Andrade (2000) defendem que esse modelo também pode ser estendido para o caso de ataque por cloretos e outros. [...] no presente estudo. (DE MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011).

## 2. Método Numérico para a estimativa da Vida Útil

Da cinética da carbonatação, aplicada a modelos de vida útil para estruturas de concreto, podemos considerar que:

A velocidade de carbonatação em geral pode ser modelada de acordo com a Equação 1, que decorre da *1ª Lei de Difusão de Fick*.

$$e_{(CO_2)} = k_{(CO_2)} \times t^{(1/2)} \quad (\text{Equação 1})$$

em que:

$e_{(CO_2)}$  = espessura ou profundidade carbonatada, geralmente expressa em mm;

$k_{(CO_2)}$  = coeficiente de carbonatação, depende da difusividade do  $CO_2$ , geralmente expresso em mm/ano<sup>(1/2)</sup>;

t = tempo de exposição, geralmente expresso em anos. (CASCUDO; CARASEK, 2011, p.867).

Considerando:

- Modelo da Raiz Quadrada do Tempo:  $x = k t^{(1/2)}$ ;

Onde:

x => profundidade de carbonatação (cm)

k => coeficiente de carbonatação (cm<sup>2</sup>/ano)

t => tempo (anos)

- Classe de agressividade ambiental II (moderada), (Tabela 6.1 da ABNT NBR 6118:2014);
- Valor do recobrimento recomendado de 3,0 cm, (Tabela 7.2 da ABNT NBR 6118:2014);
- Expectativa de vida útil da estrutura de 50 anos;

- a) Cálculo do coeficiente de carbonatação considerado pela ABNT NBR 6118:2014:

$$k = x / t^{(1/2)} = 3,0 / 50^{(1/2)} = 0,4243 \text{ cm/ano}^{(1/2)}$$

- b) Cálculo do tempo da vida útil para um aumento de 0,5 cm no recobrimento:

$$t = (x / k)^2 = [(3,0 + 0,5) / 0,4243]^2 = 68,06 \text{ anos}$$

- c) Ganho no tempo da vida útil da estrutura para um aumento de 0,5 cm:

$$68,06 - 50,00 = 18,06 \text{ anos}$$

- d) Para o caso do aumento para 1,0 cm no cobrimento, o ganho no tempo de vida útil da estrutura será de 38,87 anos.

### 3. Parâmetros de Projeto para a Modelagem

#### I. **Fundações**

- Dados Geotécnicos:
  - a) Tipo de solo => arenoso
  - b) Pressão Admissível => 300 kN/m<sup>2</sup>
  - c) Peso específico => 16 kN/m<sup>3</sup>
  - d) Ângulo de atrito => 30°
- Estacas pré-moldadas, capacidades de: 200 kN; 300 kN e 500 kN

#### II. **Estrutura**

- Concreto Armado,  $F_{ck} = 40$  MPa
- Aços: CA50 e CA60

#### III. **Carregamentos**

- Concreto armado =>  $\gamma = 25$  kN/m<sup>3</sup>
- Alvenarias =>  $\gamma = 16$  kN/m<sup>3</sup>
- Carga acidental – pisos =>  $q = 2$  kN/m<sup>2</sup>
- Carga acidental – cobertura =>  $q = 0,5$  kN/m<sup>2</sup>
- Carga acidental – escadas =>  $q = 3$  kN/m<sup>2</sup>
- Vento =>  $V_0 = 35$  m/s
- Revestimentos – pisos =>  $g = 0,5$  kN/m<sup>2</sup>

#### IV. **Pré-Dimensionamento**

- Lajes =>  $h = 2,5\% L_{menor}$
- Vigas isostáticas =>  $h = L/10$  a  $L/12$
- Vigas contínuas =>  $h = L/12$  a  $L/15$
- Pilares => área de influência – carga média distribuída de 10 kN/m<sup>2</sup> por pavimento.

#### V. **Classe de agressividade ambiental**

- Primeira hipótese: Classe II – agressividade moderada;
- Segunda hipótese: Classe II – agressividade moderada, acrescidos seus parâmetros em 0,5 cm.

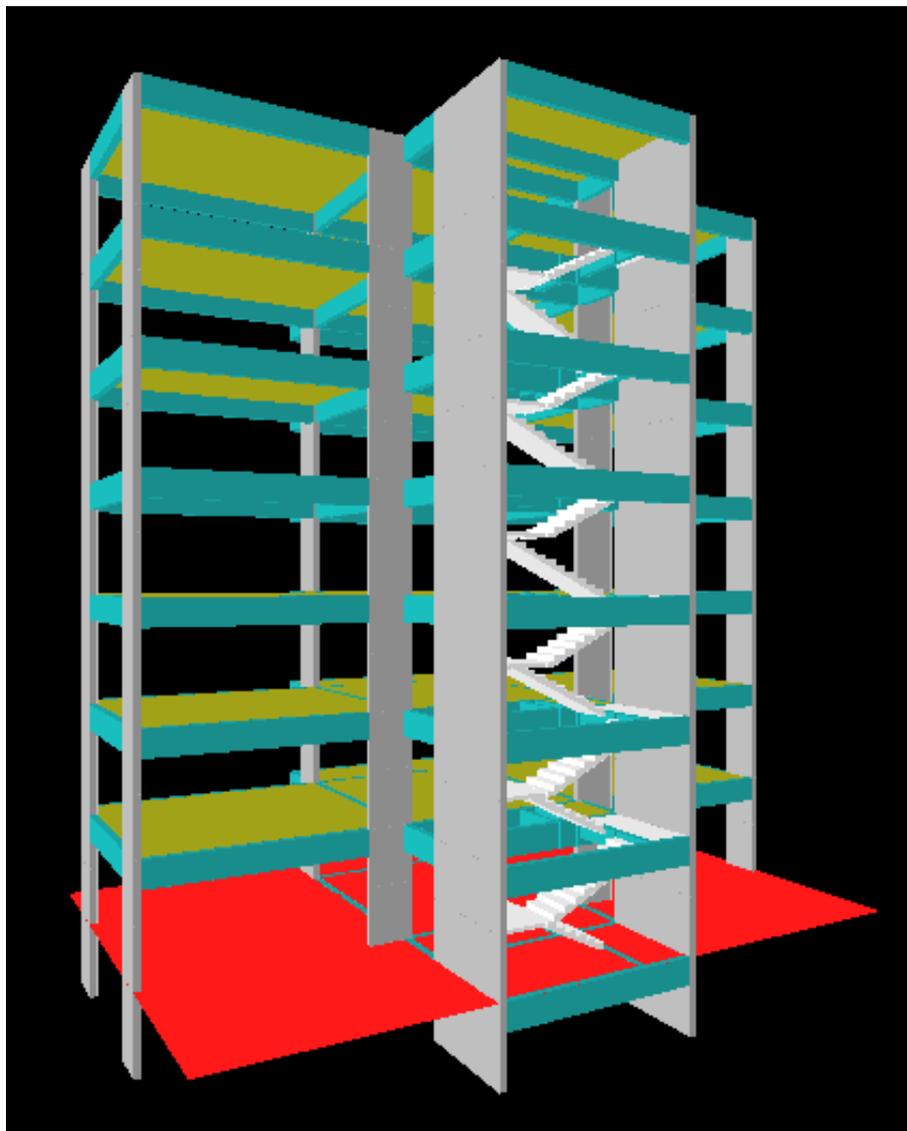


Figura 1 – Pórtico Espacial do Edifício Protótipo

Fonte: Próprio autor (2014)

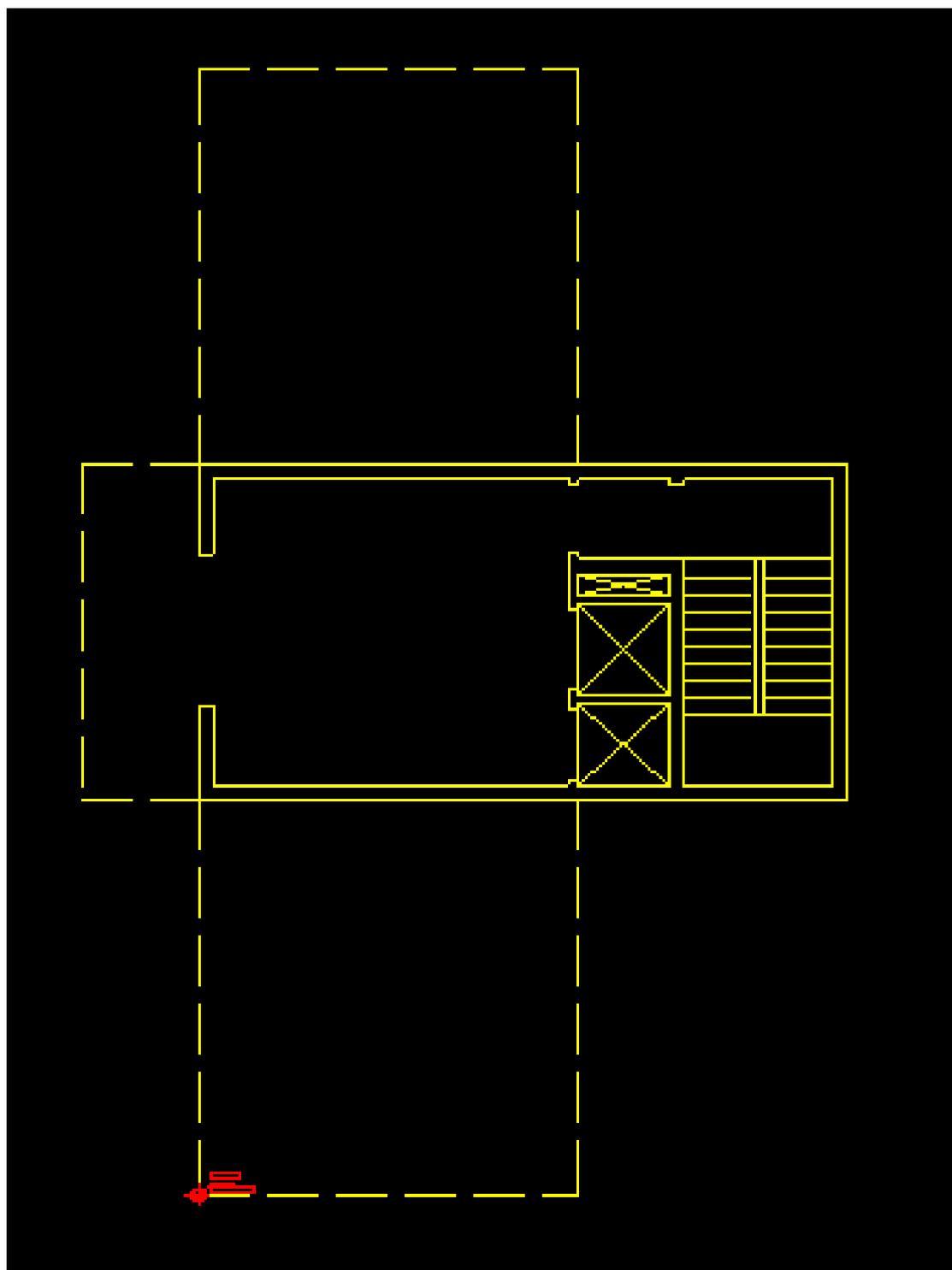


Figura 2 – Croquis do pavimento térreo do Edifício Protótipo

Fonte: Próprio autor (2014)

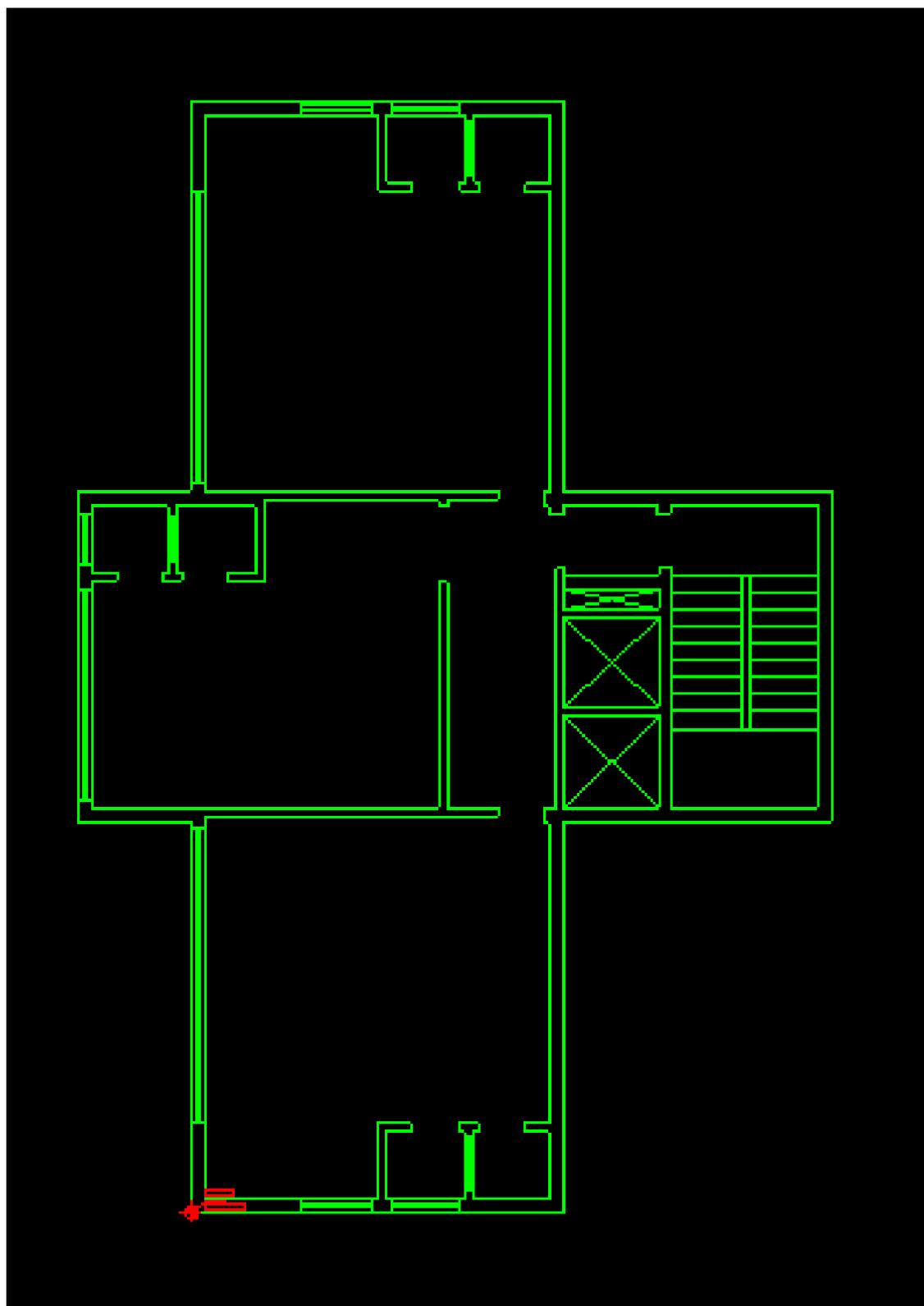


Figura 3 – Croquis do pavimento tipo do Edifício Protótipo

Fonte: Próprio autor (2014)

#### 4. Metodologia utilizada na Modelagem Eletrônica e coleta dos resultados.

O trabalho foi iniciado pela concepção arquitetônica de um “Edifício Protótipo” de sete pavimentos, sobre pilotis, com pavimento térreo e três escritórios por andar, conforme pórtico espacial e croquis das arquiteturas mostradas às páginas nº 23, 24 e 25.

Foi utilizado o software para cálculo estrutural de edifícios, *EBERIC V8 Golden* da empresa *AltoQi Tecnologia em Informática Ltda.*

Em uma primeira etapa, foram inseridos no programa os parâmetros de projeto conforme o capítulo 3 acima e modelado o edifício para que fossem satisfeitas as condições previstas na ABNT NBR 6118:2014 para a classe de agressividade II.

Foram obtidos os seguintes valores para a estabilidade global e desaprumo da estrutura:

Análise de 1ª ordem: Processo de pórtico espacial

Cargas verticais:

Peso próprio = 792.87 tf    Adicional = 776.87 tf    Acidental = 257.69 tf

Total = 1827.43 tf

Área aproximada = 1030.68 m<sup>2</sup>

Relação = 1773.03 kgf/m<sup>2</sup>

Deslocamento horizontal:

Direção X = 0.25 cm (limite 1.35)

Direção Y = 0.31 cm (limite 1.35)

Coeficiente Gama-Z: Direção X = 1.06 (limite 1.10)

Direção Y = 1.10 (limite 1.10)

Análise de 2ª ordem:

Processo P-Delta Deslocamentos no topo da edificação:

Acidental: 0.03 »» 0.03 (+3.27%) Vento X+: 0.83 »» 0.86 (+3.56%) Vento

X-: 0.83 »» 0.86 (+3.56%) Vento Y+: 1.03 »» 1.15 (+11.54%) Vento Y-: 1.03

»» 1.15 (+11.54%) Desaprumo X+: 0.09 »» 0.10 (+3.56%) Desaprumo X-:

0.09 »» 0.10 (+3.56%) Desaprumo Y+: 0.20 »» 0.22 (+11.69%) Desaprumo

Y-: 0.20 »» 0.22 (+11.69%).

Em seguida foram levantados os dados sobre os quantitativos dos materiais (aço, concreto e formas) de projeto para a edificação:

**Tabela 1 – Resultados obtidos: Classe de Agressividade II**

Aço	Diâmetro	Vigas	Pilares	Peso (kg)		Fundações	Total
				Lajes	Escadas		
CA50	6.3	58.4	118.2	15.5	66.4		258.5
CA50	8.0	2095.9		780.4	21.3		2897.6
CA50	10.0	879.1	3206.8	249.5		70.0	4405.3
CA50	12.5	2203.4		8702.1	849.3	112.4	11867.2
CA50	16.0	870.9					870.9
CA50	20.0	611.5				294.3	905.8
CA60	5.0	1348.0	1687.4	154.2	1.6	54.7	3245.9

**Tabela 2 – Resumo dos resultados obtidos: Classe de Agressividade II**

		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Total
Peso total (kg)	CA50	6719.2	3324.9	9747.4	937.0	476.7	21205.2
	CA60	1348.0	1687.4	154.2	1.6	54.7	3245.9
	Total	8067.2	5012.4	9901.6	938.6	531.3	24451.1
Volume concreto (m <sup>3</sup> )	C-40	101.0	70.9	135.1	2.8	8.7	318.4
Área de forma (m <sup>2</sup> )		1164.2	798.5	900.8	29.2	19.5	2912.2
Consumo de aço (kgf/m <sup>3</sup> )		79.9	70.7	73.3	336.1	61.3	76.8

Repetiu-se o processo acima alterando-se apenas o valor do cobrimento estipulado pela ABNT NBR 6118:2014, Tabela 7.2 em mais 0,5 cm, para os mínimos previstos na Classe de Agressividade II.

Processada a estrutura, os parâmetros de estabilidade global e desaprumo não se alteraram, porém, observou-se que os quantitativos dos materiais sofreram algumas alterações conforme as Tabelas abaixo:

**Tabela 3 – Resultados obtidos: Classe de Agressividade II (+ 0,5 cm)**

Aço	Diâmetro (mm)	Peso (kg)					Total
		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	
CA50	6.3	48.4	120.3	7.4	66.3		242.3
CA50	8.0	1930.3		815.5	21.6		2767.4
CA50	10.0	1097.9	3223.6	247.1		69.8	4638.4
CA50	12.5	2146.6		8859.6	968.2	111.9	12086.4
CA50	16.0	882.2					882.2
CA50	20.0	670.0				291.7	961.7
CA60	5.0	1318.3	1657.6	167.1	2.4	54.4	3199.8

**Tabela 4 – Resumo dos resultados: Classe de Agressividade II (+ 0,5 cm)**

		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Total
Peso total (kg)	CA50	6775.4	3343.9	9929.7	1056.1	473.3	21578.4
	CA60	1318.3	1657.6	167.1	2.4	54.4	3199.8
	Total	8093.7	5001.4	10096.8	1058.6	527.7	24778.3
Volume concreto (m <sup>3</sup> )	C-40	101.0	70.9	135.1	2.8	8.7	318.4
Área de forma (m <sup>2</sup> )		1164.2	798.5	900.8	29.2	19.5	2912.2
Consumo de aço (kgf/m <sup>3</sup> )		80.2	70.6	74.7	379.1	60.9	77.8

Na segunda etapa do trabalho, foi elaborada uma planilha com os resultados quantitativos de consumo dos materiais encontrados para os dois casos, fins determinar a variação percentual ocorrida:

*Observação:* nas Tabelas seguintes, o termo *norma* refere-se ao valor mínimo de cobrimento estabelecido pela ABNT NBR 6118:2014 na Tabela 7.2; já a expressão (+0.5 cm) refere-se ao valor da norma supra, acrescido de 0,5 cm.

**Tabela 5 – Resumo dos resultados dos consumos parciais (kg)**

Aço	Diâmetro (mm)	Vigas			Pilares			Lajes		
		Norma	(+ 0.5 cm)	Var.	Norma	(+ 0.5 cm)	Var.	Norma	(+ 0.5 cm)	Var.
CA50	6.3	58.4	48.4	-17%	118.2	120.3	2%	15.5	7.4	-52%
CA50	8.0	2095.9	1930.3	-8%				780.4	815.5	4%
CA50	10.0	879.1	1097.9	25%	3206.8	3223.6	1%	249.5	247.1	-1%
CA50	12.5	2203.4	2146.6	-3%				8702.1	8859.2	2%
CA50	16.0	870.9	882.2	1%						
CA50	20.0	611.5	670.0	10%						
CA60	5.0	1348.0	1318.3	-2%	1687.4	1657.6	-2%	154.2	167.1	8%

Aço	Diâmetro (mm)	Escadas			Fundações		
		Norma	(+ 0.5 cm)	Var.	Norma	(+ 0.5 cm)	Var.
CA50	6.3	66.4	66.3	0%			
CA50	8.0	21.3	21.6	1%			
CA50	10.0				70.0	69.8	0%
CA50	12.5	849.3	968.2	14%	112.4	111.9	0%
CA50	16.0						
CA50	20.0				294.3	291.7	-1%
CA60	5.0	1.6	2.4	50%	54.7	54.4	-1%

**Tabela 6 – Resumo dos resultados dos consumos consolidados**

Aço (kg)	Vigas			Pilares			Lajes		
	Norma	(+ 0.5 cm)	Var.	Norma	(+ 0.5 cm)	Var.	Norma	(+ 0.5 cm)	Var.
CA50	6719.2	6775.4	1%	3324.9	3343.9	1%	9747.4	9929.7	2%
CA60	1348.0	1318.3	-2%	1687.4	1657.6	-2%	154.2	167.1	8%
Total	8067.2	8093.7	0%	5012.4	5001.4	0%	9901.6	10096.8	2%
Concreto (m <sup>3</sup> )	101.0	101.0	0%	70.9	70.9	0%	135.1	135.1	0%
Formas (m <sup>2</sup> )	1164.2	1164.2	0%	798.5	798.5	0%	900.8	900.8	0%
Cons. (kg/m <sup>3</sup> )	79.9	80.2	0%	70.7	70.6	0%	73.3	74.7	2%

Aço (kg)	Escadas			Fundações		
	Norma	(+ 0.5 cm)	Var.	Norma	(+ 0.5 cm)	Var.
CA50	937.0	1056.1	13%	476.7	473.3	-1%
CA60	1.6	2.4	50%	54.7	54.4	-1%
Total	938.6	1058.6	13%	531.3	527.7	-1%
Concreto (m <sup>3</sup> )	2.8	2.8	0%	8.7	8.7	0%
Formas (m <sup>2</sup> )	29.2	29.2	0%	19.5	19.5	0%
Cons. (kg/m <sup>3</sup> )	336.1	379.1	13%	61.3	60.9	-1%

## 5. Análise dos resultados

- a. Observou-se que não houve variação nas áreas de formas necessárias, indicando que, mesmo tendo sido aumentada a espessura do cobrimento, não ocorreu o aumento nas seções das peças estruturais;
- b. As vigas tiveram um acréscimo em peso de 25% do aço para o CA50  $\Phi$  10.0, 1%  $\Phi$  16.0 e de 10% para o  $\Phi$  20.0; o que está em acordo com o esperado, já que foi diminuída, após o aumento da camada de cobrimento, a distância do centro geométrico das armaduras até as fibras mais comprimidas do concreto nas peças e, em consequência, é necessário aumentar-se a seção do aço. Porém, ocorreu a diminuição em peso de 17% para o aço CA50  $\Phi$  6.3, 8%  $\Phi$  8.0, 3%  $\Phi$  10.0 e 2% para o CA60  $\Phi$  5.0;
- c. Para os pilares, praticamente não houve variação, registrou-se um leve aumento em peso, de 2% para o CA50  $\Phi$  6.3 e de 1% para o  $\Phi$  10.0, apresentando uma redução em peso de 2% para o CA60  $\Phi$  5.0;
- d. As lajes apresentaram uma redução significativa na menor das bitolas, 52% em peso para o CA50  $\Phi$  6.3 e uma pequena redução de 1% para o CA50  $\Phi$  10.0, ao passo que, pelo mesmo motivo do item b, um aumento no consumo em peso para os aços CA50  $\Phi$  8.0 em 4%,  $\Phi$  12.5 em 12% e para o CA60 em 8%;
- e. As lajes das escadas, devido a sua pouca espessura, apresentaram um significativo aumento para o consumo em peso do CA50  $\Phi$  12.5 de 14% e de 50% para o CA60  $\Phi$  5.0, ficando praticamente estável o consumo em peso do CA50  $\Phi$  8.0 com um acréscimo da ordem de 1%;
- f. Para as fundações pode-se observar que praticamente não houve alterações nos consumos;

- g. Nas análises dos consumos consolidados observou-se que não houve acréscimo no consumo de concreto e de formas, e uma variação para mais, em 1%, no peso total do aço necessário quando foi aplicado o acréscimo de 0,5 cm à espessura do cobrimento.

## 6. Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

Este trabalho aborda a questão do impacto, em termos do aumento do peso total final, das ferragens das armaduras, áreas de forma e volume de concreto, para uma edificação em concreto armado, quando é aplicado à sua estrutura um aumento de cinco centímetros na espessura de cobrimento das armaduras de todas as suas peças estruturais.

A questão chave que se coloca é que se o aumento nessa espessura, que naturalmente garantirá um aumento na vida útil da edificação, já que esta, com esse aumento, amplia a eficiência da sua barreira física de proteção contra os agentes agressivos ao aço, forçará alterações nas áreas das seções de suas peças estruturais com suas conseqüentes implicações, notadamente na arquitetura e nos seus quantitativos dos materiais.

Para o desenvolvimento da pesquisa, foi modelado um edifício com sete pavimentos através do software EBERICK V8, específico para estruturas de concreto armado, no qual foi possível efetuar as várias simulações e obter os resultados necessários ao estudo.

Na primeira etapa a modelagem foi realizada com o valor do cobrimento das armaduras previsto pela ABNT NBR 6118:2014 para a classe de agressividade II e, ao ser atingido os parâmetros de estabilidade Gama-Z, nos valores de 1.06 na direção X e 1.10 na direção Y, dentro do que é previsto como limites pela mesma Norma, foi levantado os quantitativos dos materiais empregados (peso e bitolas dos aços, volume do concreto e áreas de forma), os quais formaram a base para a comparação percentual no estudo.

Na segunda etapa, foi realizada a modelagem com um acréscimo de meio centímetro ao cobrimento anterior das armaduras. Observou-se que não houve mudanças nos valores anteriormente obtidos para o parâmetro de estabilidade Gama-Z e tão pouco para as áreas de forma, de onde se conclui que o acréscimo aplicado a camada do cobrimento das armaduras não implica em uma interferência necessária à geometria arquitetônica da edificação.

Já, para as peças submetidas predominantemente a flexão, ocorreram substituições nas bitolas dos aços (para maior), de onde se conclui que houve uma compensação pela diminuição das distâncias entre os centros geométricos das armaduras até as fibras mais comprimidas do concreto nas peças fletidas, e

essa compensação, foi realizada através do aumento das seções dos aços dessas armaduras, o que veio a implicar em um acréscimo, para o peso total do aço a ser utilizado de 1% (um por cento). Para o volume do concreto não há alteração no seu valor global.

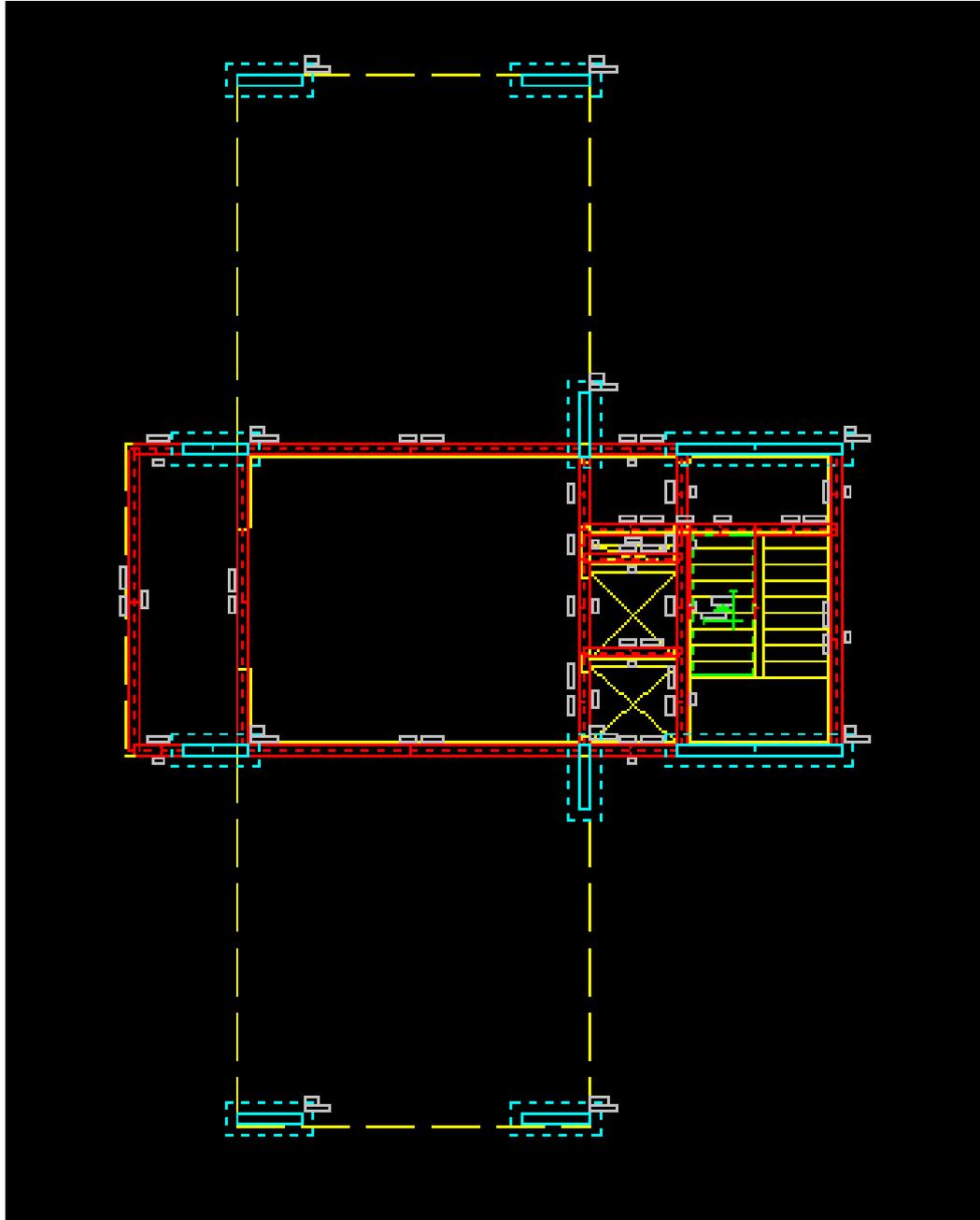
Finalizando, conclui-se que, pelos dados obtidos e as condições de projeto apresentadas, um acréscimo de meio centímetro aplicado à espessura mínima prevista para o cobrimento dos aços das armaduras da estrutura, trará como consequência um aumento no peso total do aço dessa estrutura, porém, em contrapartida, devido ao aumento na espessura da barreira física que protege essas armaduras, haverá um acréscimo na vida útil da estrutura de aproximadamente dezoito anos.

Para trabalhos futuros, seria importante que fosse pesquisado se as mesmas proporções encontradas para o consumo de aço serão mantidas quando se utiliza concretos com diferentes valores de  $f_{ck}$ , após os necessários ajustes para estabilizar o coeficiente “Gama-Z” para cada caso específico.

Importante também é verificar se as proporções para o consumo do aço se manterá quando se aplicar o aumento do cobrimento para as armaduras em edifícios altos e em edifícios esbeltos.

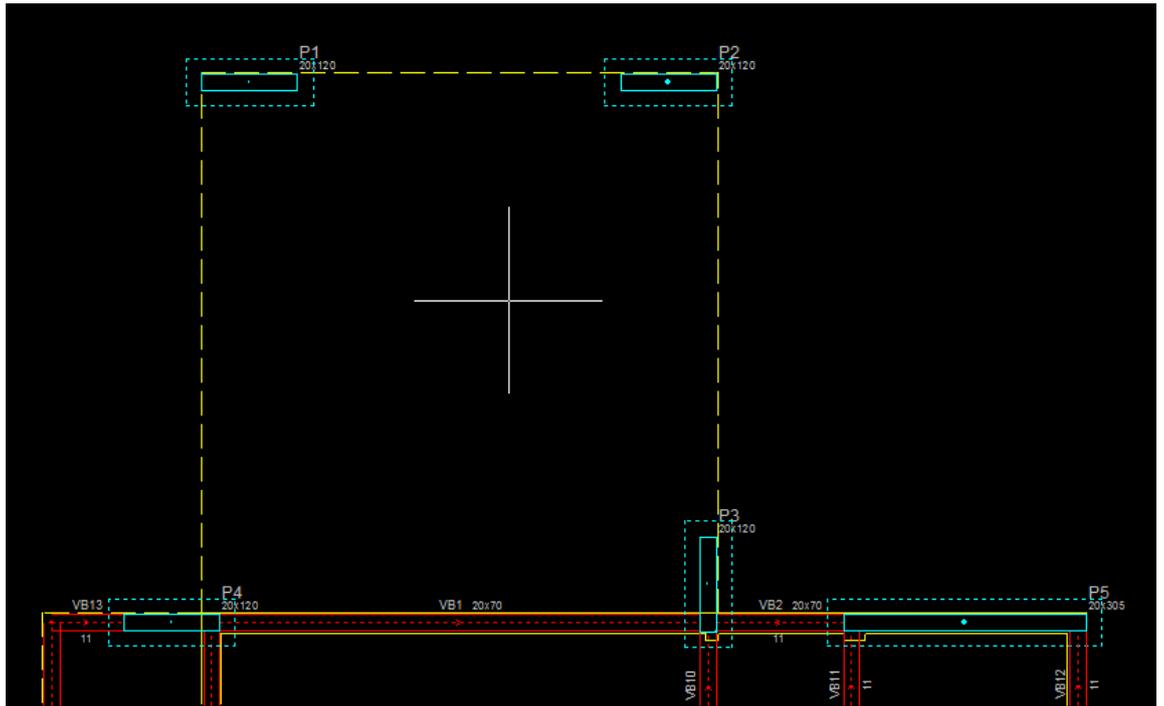
Este trabalho pretendeu contribuir para uma linha de pesquisas que busquem aprimorar as técnicas de edificar, na construção civil, visando aumentar o período de vida útil das estruturas em concreto armado.

## Anexo A - CROQUIS DO PAVIMENTO TÉRREO



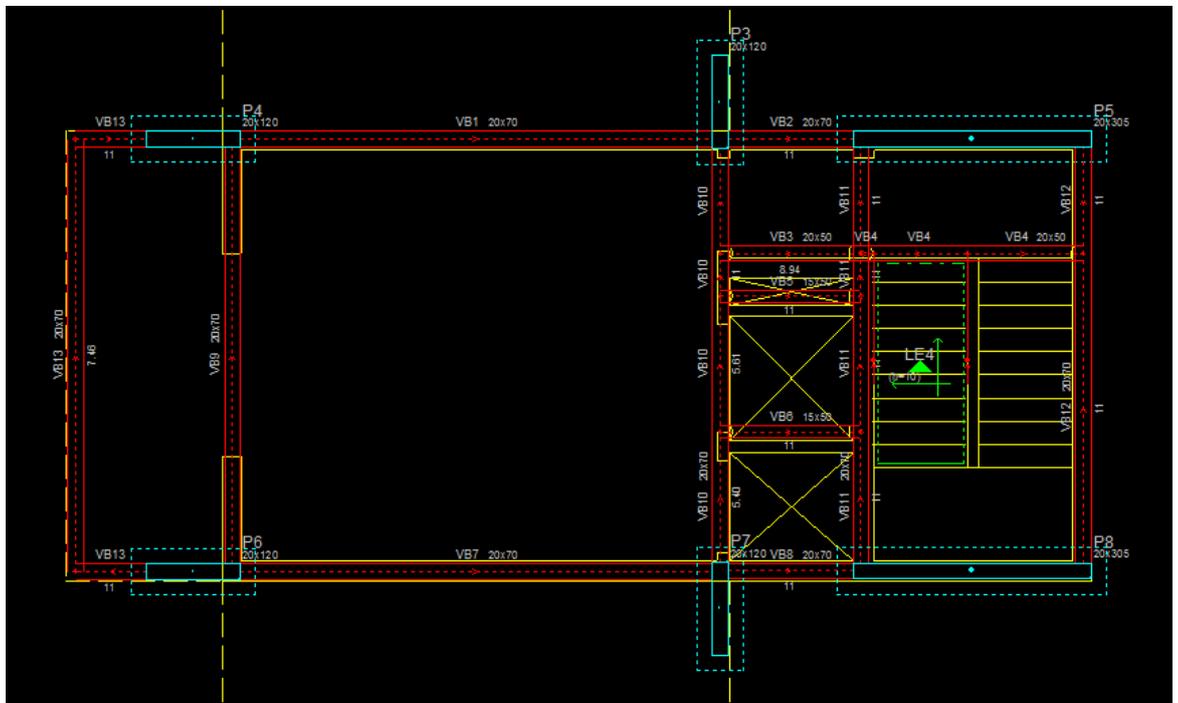
Fonte: Próprio autor (2014)

Anexo B - PAVIMENTO TÉRREO – DETALHE I



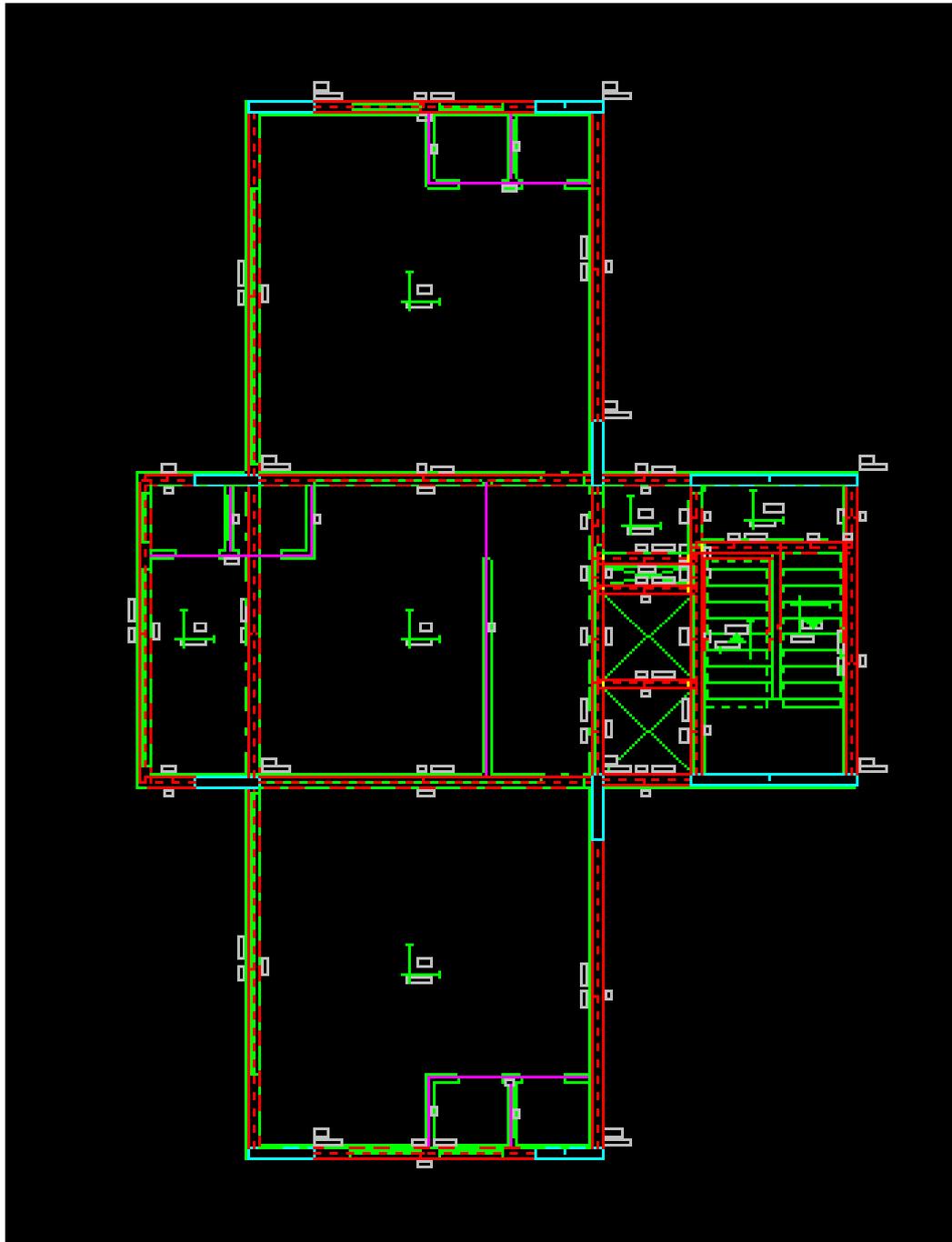
Fonte: Próprio autor (2014)

PAVIMENTO TÉRREO – DETALHE II



Fonte: Próprio autor (2014)

## Anexo C - CROQUIS DO PAVIMENTO TIPO



Fonte: Próprio autor (2014)



## Bibliografia

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento.** ABNT. Rio de Janeiro, 2014. Item 6.4.1.

**DE MEDEIROS, M.H.F.; ANDRADE.J.J.O.; HELENE.P.** Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** G.C Isaia. 1.ed. São Paulo, **IBRACON**, 2011. 1v. p. 773 – 806.

**DA SILVA. T.J.** Mecanismo de Transporte de Massa no Concreto. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** G.C Isaia. 1.ed. São Paulo, **IBRACON**, 2011. 1v. p. 809 – 845.

**CASCUDO. O; CARASEK. H.** Ação da Carbonatação no Concreto. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** G.C Isaia. 1.ed. São Paulo, **IBRACON**, 2011. 1v. p. 849 – 883.

**FIGUEIREDO. E.P.** Ação dos Cloretos no Concreto. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** G.C Isaia. 1.ed. São Paulo, **IBRACON**, 2011. 1v. p. 887 – 900.

**FIGUEIREDO. E. P; MEIRA. G.R.** Corrosão das Armaduras das Estruturas de Concreto. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** G.C Isaia. 1.ed. São Paulo, **IBRACON**, 2011. 1v. p. 903 – 929.

**S3ENG-TECNOLOGIA APLICADA À ENGENHARIA S/A; QISAT-MN Tecnologia e Treinamento Ltda.** Curso NBR 6118:2007 – Concreto Armado “via internet”. Nota de Aula. Florianópolis-SC, 2011. Disponível em: <http: [www.qisat.com.br](http://www.qisat.com.br)>. Acesso em: 01 jun. 2014.