



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

MATHEUS HEINRIK SANTANA COSTA

## INFLUÊNCIA DAS CLASSES DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL NO DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS

Palmas – TO

2018

MATHEUS HEINRIK SANTANA COSTA

INFLUÊNCIA DAS CLASSES DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL NO  
DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS  
PAVIMENTOS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II  
elaborado e apresentado como requisito parcial  
para obtenção do título de bacharel em  
Engenharia Civil pelo Centro Universitário  
Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.e Roldão Araújo.

Palmas – TO

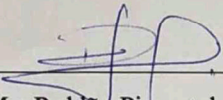
2018

MATHEUS HEINRIK SANTANA COSTA  
INFLUÊNCIA DAS CLASSES DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL NO  
DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS  
PAVIMENTOS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II  
elaborado e apresentado como requisito parcial  
para obtenção do título de bacharel em  
Engenharia Civil pelo Centro Universitário  
Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.e Roldão Pimentel de Araújo  
Junior.

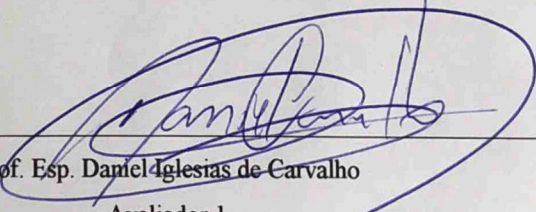
Aprovado em: 08 / 06 / 18



---

Prof. M.e Roldão Pimentel de Araújo Junior  
Orientador

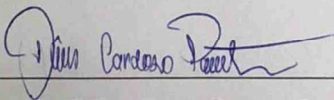
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



---

Prof. Esp. Daniel Iglesias de Carvalho  
Avaliador 1

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



---

Prof. Esp. Denis Cardoso Parente  
Avaliador 2

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2018

Dedico essa jornada intensa, ao meu pai Lucijones, minha mãe Joelza, meu irmão Rômulo, que muito me apoiaram ao longo desses anos de graduação, agradeço a eles por estarem sempre ao meu lado ajudando, incentivando, sendo pacientes, contribuindo sempre com valorosos, conselhos e por entenderem o motivo da minha ausência em determinadas ocasiões. Dedico a conquista a Deus pois sem ele eu não teria forças para essa longa jornada, a meus professores e aos meus colegas que me ajudaram na conclusão do presente trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, pois sem ele a realização desse sonho não seria possível, aos meus pais que possuem uma grande parcela nessa vitória, que me ensinaram valores para a vida, me deram força, me ensinaram a ser persistente, concedeu-me confiança e que mesmo com a distância no início do curso fizeram-se sempre presentes, a meu irmão que sempre esteve ao meu lado me apoiando ao longo dessa jornada, a minha namorada pelos conselhos, companheirismo e incentivos. Quero agradecer também aos familiares (avós, tios e primos), meus amigos e colegas de cursos que me auxiliaram e de alguma forma fizeram parte dessa jornada nesses anos de faculdade e pelos grandes momentos que pude compartilhar com eles. Sintam-se alcançados sem que eu cite nomes. Agradeço ao Professor Roldão Araújo por todas orientações necessárias para a realização do presente trabalho, e que contribuiu com valiosas informações e conhecimento, sempre incentivando para que eu conquista-se a vitória. Não posso deixar de citar todos meus professores que me transmitiram todo o conhecimento, mostrando sempre a importância do profissionalismo, moral e da ética. Agradeço também a coordenação do curso de Engenharia Civil do CEULP/ ULBRA, pelo esforço e comprometimento comigo e cada aluno do curso.

## RESUMO

COSTA, Matheus Heinrik Santana. **Influência das classes de agressividade ambiental no dimensionamento da estrutura de um edifício de múltiplos pavimentos.**2018. 76f. Trabalho de Conclusão de Curso II (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2018.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar os principais impactos e influências geradas na estrutura de um edifício em concreto armado, quando o mesmo é projetado em diferentes classes de agressividade ambiental. O objeto de estudo trata-se de um edifício residencial multifamiliar de 17 pavimentos com 48 metros de altura. Para a análise em questão primeiramente o edifício foi dimensionado na cidade de Palmas-TO onde respaldado pela norma NBR 6118/2014 devido as características predominante do macro clima da região tornou-se possível considerar classe de agressividade ambiental I ou agressividade fraca. E posteriormente foi dimensionado na cidade de Recife-PE onde devido as características predominantes do macro clima enquadrou-se na classe de agressividade ambiental III ou agressividade forte. Em busca de uma comparação mais centrada em relação aos objetivos do trabalho, foi considerado como variável no dimensionamento somente os parâmetros relacionados a classe de agressividade (classe do concreto, cobrimento mínimo) e a ação do vento. Os demais parâmetros foram considerados constantes no dimensionamento para as duas regiões, após o dimensionamento foi possível analisar a partir dos relatórios de resumo de materiais e análise estática linear de cada situação, os principais impactos gerados na estrutura, e ainda realizar uma comparação de custo total dos materiais necessários para construção de cada estrutura.

Palavras-chave: Dimensionamento estrutural, Classe de agressividade ambiental, Manifestações Patológicas, Vida útil.

## ABSTRACT

COSTA, Matheus Heinrik Santana. **Influence of the environmental aggressiveness classes on the design of the structure of a multi-storey building.**2018. 76f. Course Completion Work II (Undergraduate) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas, Palmas / TO, 2018.

The present work aims to evaluate the main impacts and influences generated in the structure of a building in reinforced concrete, when it is projected in different classes of environmental aggressiveness. The object of study is a multi-family residential building of 17 floors with 48 meters of height. For the analysis in question, the building was first scaled in the city of Palmas-TO where it was backed by NBR 6118/2014 due to the predominant characteristics of the region's macro-climate, it became possible to consider a class of environmental aggression I or weak aggression. It was later dimensioned in the city of Recife-PE where, due to the predominant characteristics of the macro climate, it was classified in the category of environmental aggression III or strong aggression. In search of a more focused comparison in relation to the objectives of the work, only the parameters related to the class of aggressiveness (concrete class, minimum cover) and wind action were considered as variables in the design. The other parameters were considered constants in the design for the two regions, after the sizing it was possible to analyze from the material summary reports and linear static analysis of each situation, the main impacts generated in the structure, and also to perform a comparison of total cost of the materials needed to build each structure.

Key words: Structural dimensioning, Class of environmental aggression, Pathological Manifestations, useful life.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b> Estratagema de ponte em arco.....	18
<b>Figura 2-</b> Diferenças entre a permeabilidade e a porosidade de uma estrutura.....	20
<b>Figura 3-</b> Relação entre a durabilidade e o desempenho de uma estrutura.....	21
<b>Figura 4-</b> Avaliação de intervenção em uma estrutura .....	22
<b>Figura5-</b> Espaçador do Tipo Cadeirinha.....	29
<b>Figura 6-</b> Espaçador do Tipo Circular .....	28
<b>Figura 7-</b> Mecanismo de Corrosão da armadura com ausência de passivação. ....	29
<b>Figura 8 -</b> Processo de Carbonatação do concreto, despassivação e corrosão da armadura .....	29
<b>Figura 9-</b> Dimensões de lajes para pré-dimensionamento .....	34
<b>Figura 10-</b> Pré-dimensionamento de vigas contínuas com vãos aproximados.....	36
<b>Figura 11-</b> Classificação de Pilares de acordo com localização .....	37
<b>Figura 12-</b> Áreas de Influência de Pilares .....	38
<b>Figura 13-</b> Mapa de localização Terreno (Palmas-TO) .....	43
<b>Figura 14-</b> Mapa de localização Terreno (Recife-PE).....	44
<b>Figura 15 -</b> Planta baixa da edificação em estudo .....	45
<b>Figura 16-</b> Cortes A-A e B-B da edificação em estudo .....	45
<b>Figura 17-</b> Elevações da edificação em estudo.....	46
<b>Figura 18 -</b> Configuração para materiais e durabilidade, dimensionamento em Palmas - TO .....	48
<b>Figura 19-</b> Configuração para qualidade do concreto, dimensionamento em Palmas - TO .....	49
<b>Figura 20-</b> Configuração para materiais e durabilidade, dimensionamento em Recife - PE.....	50
<b>Figura 21-</b> Configuração para qualidade do concreto, dimensionamento em Recife - PE .....	50
<b>Figura 22-</b> Mapa das isopletras no Brasil .....	51
<b>Figura 23-</b> Determinação da Estabilidade Global da Estruturais .....	53
<b>Figura 24 –</b> Determinação do resumo de materiais .....	54
<b>Figura 25 –</b> Estrutura Dimensionada .....	55
<b>Figura 26 –</b> Gráfico Consumo de Materiais .....	56
<b>Figura 27 –</b> Consumo de aço nas respectivas estruturas.....	57
<b>Figura 28 –</b> Esforços internos resistentes da seção.....	57



<b>Figura 29</b> – Consumo de concreto nas respectivas estruturas.....	59
<b>Figura 30</b> – Área de forma necessária.....	59
<b>Figura 31</b> – Análise Estática Linear (Estrutura em Palmas- TO).....	60
<b>Figura 32</b> – Análise Estática Linear (Estrutura em Recife - PE).....	61
<b>Figura 33</b> - Gráfico de Análise do coeficiente Gama- Z ( $\gamma_z$ ).....	61
<b>Figura 34</b> – Análise de Custo final da Estrutura.....	65

## **LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1-</b> Classes de Resistência do Grupo I .....	26
<b>Tabela 2-</b> Classes de Resistência do Grupo II .....	26

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1-</b> Classes de agressividade ambiental (CAA).....	23
<b>Quadro 2-</b> Mecanismos de deterioração da Estrutura devido a agressividade do ambiente .....	24
<b>Quadro 3-</b> Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto	25
<b>Quadro 4-</b> Correspondência entre a classe de agressividade, qualidade do concreto e consumo de cimento .....	25
<b>Quadro 5-</b> Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10 \text{ mm}$ .....	27
<b>Quadro 6-</b> Limites mínimos para espessura de Lajes maciças.....	34
<b>Quadro 7-</b> Pavimentos da Edificação em Estudo .....	46
<b>Quadro 8-</b> Parâmetros adotados para ações do vento (Palmas -TO).....	51
<b>Quadro 9-</b> Parâmetros adotados para ações do vento (Recife - PE).....	52
<b>Quadro 10</b> – Consumo de Material - Estrutura Dimensionada na cidade de Palmas-TO (classe de agressividade nível I) .....	55
<b>Quadro 11</b> – Consumo de Material - Estrutura Dimensionada na cidade de Recife-PE (classe de agressividade nível III).....	56
<b>Quadro 12</b> – Custo da estrutura dimensionada na Cidade de Palmas-TO .....	63
<b>Quadro 13</b> – Custo da estrutura dimensionada na Cidade de Recife-PE.....	64

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAA	Classes de Agressividade Ambiental
C <sub>min</sub>	Cobrimento Mínimo
C <sub>nom</sub>	Cobrimento Nominal
$\Delta C$	Tolerância de Execução
f <sub>ck</sub>	Resistência Característica do Concreto à Compressão
UR	Umidade Relativa
$\gamma_z$	Coefficiente de Estabilidade Global da Estrutura (gama-z)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA.....	15
1.2 OBJETIVOS.....	16
1.2.1 Objetivo Geral.....	16
1.2.2 Objetivos Específicos.....	16
1.3. JUSTIFICATIVA .....	17
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
2.1 CONCRETO ARMADO.....	18
2.1.1 Propriedades do Concreto.....	19
2.1.2 Durabilidade e desempenho de Estruturas em concreto armado .....	20
2.2 AGRESSIVIDADE DO AMBIENTE.....	22
2.2.1 Classificação e qualidade do Concreto.....	24
2.2.2 Cobrimento da Armadura .....	26
2.2.3 Corrosão no Concreto Armado .....	28
2.2.4 Carbonatação do Concreto.....	29
2.2.5 Agressão por íons de cloreto.....	30
2.2.6 Agressão por Sulfatos.....	31
2.3 DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO .....	31
2.3.1 Concepção estrutural .....	32
2.3.2 Pré-dimensionamento de Lajes .....	33
2.3.3 Pré-dimensionamento de Vigas .....	35
2.3.4 Pré-dimensionamento de Pilares .....	36
2.4 ORÇAMENTO.....	39
2.4.1 Levantamento de Quantitativos .....	40
2.4.2 Cotação de Preço.....	40
2.4.3 BDI.....	40
2.4.4 TCPO.....	41
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>43</b>
3.1 DESENHO DO ESTUDO.....	43
3.2 LOCAL DA REALIZAÇÃO DO ESTUDO.....	43
3.3 OBJETO DE ESTUDO.....	44

3.4 PROCEDIMENTOS .....	47
3.4.1 Critérios de Dimensionamento .....	47
3.4.2 Análise de Resultados .....	52
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>55</b>
4.1 Consumo de Aço .....	56
4.2 Consumo de Concreto e Área de forma .....	58
4.3 Coeficiente de Estabilidade Global Gama - Z ( $\gamma_z$ ) .....	59
4.4 Preço Final da Estrutura e Considerações .....	62
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>66</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>68</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>70</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O uso contínuo do concreto, a cada dia em maior escala proporcionou a necessidade de pesquisas, testes e estudos em busca de inovações e melhorias, porém junto a esta necessidade vem a possibilidade de novos riscos, seja por falta de conhecimento do método, falta de experiência na execução ou até mesmo por falta de prudência do responsável e como consequência pode se observar em algumas edificações construídas nas últimas décadas, patologias precoces, como deteriorações, corrosão de armaduras, fissuras, entre outras, podendo resultar em acidentes em situações mais graves. (RIPPER & SOUZA,1998)

De acordo com Ripper & Souza (1998), os problemas patológicos em estruturas de concreto podem ser classificados em dois grupos os simples e os complexos, onde pode se classificar como simples as patologias cujo os diagnósticos e profilaxias estão evidentes, seguindo um padrão, de forma que para seu diagnóstico e reparo não exija um profissional específico na área. Já os problemas patológicos complexo estão incluídos todos os que precisam de uma análise mais criteriosa, onde os diagnósticos se diferenciam do padrão, ou da inspeção de rotina, necessitando de um conhecimento mais profundo em patologias de estruturas, podendo ainda requerer um profissional especialista na área em questão.

Segundo a norma NBR 6118(2014), e de suma importância na elaboração do projeto estrutural de um edifício, o projetista avaliar o nível de agressividade do ambiente no qual a obra será executada, para que, de acordo com o resultado seja possível classificar a edificação entre as classes de agressividade presentes na norma, para posteriormente dimensionar a estrutura seguindo as recomendações mínimas exigidas pela norma para a determinada classe de agressividade (CAA).

No presente trabalho, pretende-se avaliar os principais impactos gerados na estrutura de um edifício ao se projetar uma edificação em diferentes regiões, com classes de agressividade ambiental distintas entre si, e demonstrar a importância de se seguir as recomendações mínimas, afim de se evitar possíveis patologias, devido ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas em decorrência da agressividade do ambiente em que estão localizadas.

### 1.1 Problema de Pesquisa

Quais são os impactos gerados na estrutura de um edifício em concreto armado e qual o custo decorrente dos mesmos, quando se projeta edifícios com projeto arquitetônico iguais, distinguindo a localização, de modo que a variável em questão seja a diferença do nível de agressividade ambiental das localidades projetadas. (Palmas- TO agressividade ambiental Fraca – classe I e Recife- PE agressividade ambiental Forte – classe III)?



## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo avaliar os principais impactos na estrutura de um edifício decorrentes da mudança do nível de agressividade ambiental do meio no qual a edificação será projetada e executada.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Dimensionar a estrutura de um edifício para as duas localidades de acordo com a classe de agressividade característica da região;
- Avaliar o consumo total de aço e concreto para cada edificação;
- Comparar o coeficiente de instabilidade global das estruturas para cada caso;
- Comparar o Custo final dos materiais necessários para execução cada Estrutura;

### 1.3. Justificativa

Considerando que toda obra de engenharia ao ser projetada e executada deve-se atender o desempenho e a durabilidade, prevendo a extensão ou o cumprimento da vida útil requerida pelo cliente e estabelecida no projeto, é de grande importância o conhecimento das especificações mínimas normativas para execução de obras, para que se torne possível a prevenção de possíveis manifestações patológicas precoces nas estruturas, contribuindo assim com a segurança, a economia em custos para futuros reparos, com a durabilidade e sustentabilidade da estrutura.

Tornando assim de grande importância a realização de um estudo para aferição da variação estrutural e financeira possíveis ao se realizar uma edificação em diferentes localidades, onde a estrutura se encontrara sujeitas a diferentes níveis de agressividades ambientais. Possibilitando a geração de resultados com variações significantes na estrutura.

Os resultados obtidos deste trabalho serão de grande importância para o construtor poder se confrontar com os dados obtidos e tomar decisões quanto a escolha do terreno e construção do edifício na região mais adequada, enfatizando a importância da classificação da região de acordo com a classe de agressividade adequada. Levando em consideração a possibilidade de se implantar edifícios com um mesmo projeto arquitetônico em diferentes estados e cidades.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

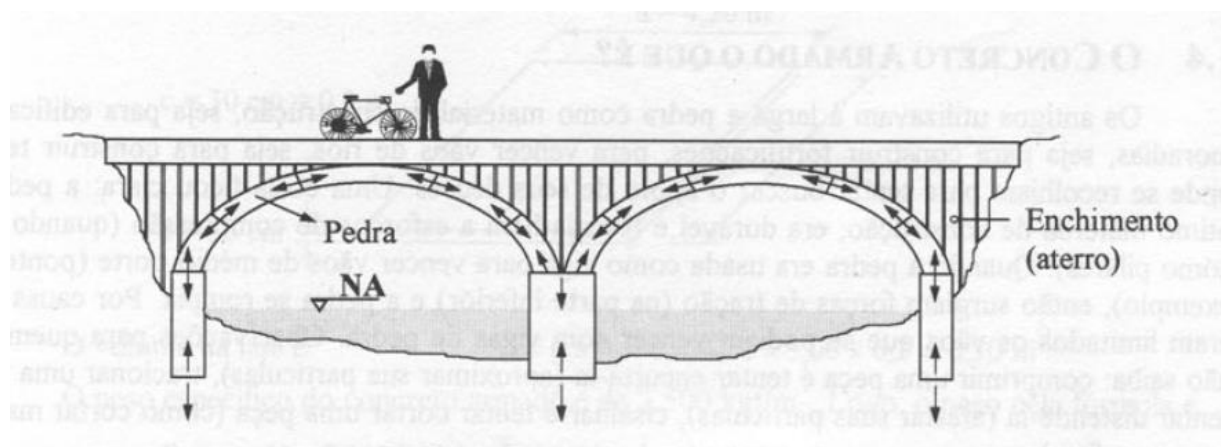
### 2.1 Concreto armado

O concreto armado encontra-se hoje como um dos materiais mais utilizados na construção civil, sua grande utilização pode ser justificada pelas suas propriedades físicas, a alta resistência à compressão do concreto e a resistência à tração proveniente do aço. (SILVA,2010)

Segundo Botelho & Marchetti (2002), o conceito do concreto armado surgiu nos primórdios a partir da necessidade da construção de moradias, fortificações, construção de pontes e templos, onde utilizavam-se como materiais prima principal a pedra visto que tem como principais propriedades a alta durabilidade e a alta resistência a compressão, porém quando utilizavam-se as pedras como vigas para vencer vãos de médio porte elas se rompiam, como consequência do surgimento da força de tração nas partes inferiores destas, visto que a pedra assim como o concreto possuem baixa resistência a tração.

Ainda segundo Botelho & Marchetti (2002), Devido à baixa resistência a tração da pedra e do concreto eram utilizados muitos arcos nas construções, de modo que com este modelo estrutural cada pedra era estudada para trabalhar somente a compressão, como mostra na Figura 1, os romanos foram pioneiros nas construções de pontes de pedra com arcos. Quando se começou a utilizar o concreto nas construções se depararam com as mesmas limitações, onde os tamanhos das vigas de eixo reto eram limitados pelo esforço máximo a tração que o concreto conseguia absorver.

**Figura 1-** Estratagemma de ponte em arco



Fonte: Botelho & Marchetti, 2002

Partindo deste princípio surgiu-se a ideia de se utilizar mais de um material nas construções, de modo que cada material trabalharia a um tipo de esforço, no caso do concreto

aplicado na parte onde sofreria compressão e outro material (aço) aplicado na parte em que estaria sujeito a tração, partindo dessa ideia surge o conceito do concreto armado, que é a ligação entre o concreto e o aço para resistir aos diversos esforços presentes na estrutura quando solicitada (BOTELHO & MARCHETTI, 2002).

### 2.1.1 Propriedades do Concreto

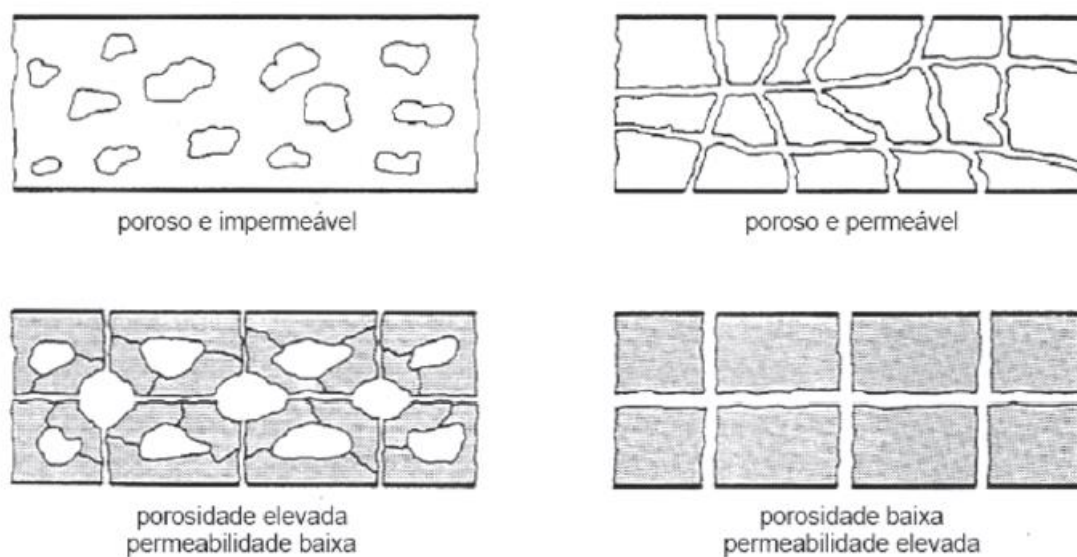
O concreto é uma mistura homogeneia composta de cimento, agregados miúdos e graúdos, água e podendo ser acrescido de aditivos para diversos fins. Sua estrutura é composta por micros (estruturas visíveis a vista humana) e macros (estruturas visíveis com auxílio de microscópios) estruturas. As microestruturas do concreto possuem influência direta em suas propriedades como a resistência, elasticidade, retração, fluência, fissuração e durabilidade (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

A partir da mistura dos compostos do concreto (cimento, agregados e água), se obtém dois compostos secundários, que são os agregados, que se constitui do agregado graúdo e miúdo utilizados, e a Pasta de cimento que é constituída pela mistura do cimento e água, pelo processo de hidratação.

O agregado possui um papel muito importante nas propriedades finais do concreto, visto que o mesmo representa aproximadamente 80% do peso total do concreto. É de grande importância que os agregados possuam uma boa graduação, ou seja possuam grãos de variados tamanhos a fim de se diminuir ao máximo os índices de vazios do concreto, e consequentemente diminuído o custo. (GIOVANNETTI & TARTUCE, 1999)

E de grande importância a diferenciação do conceito de permeabilidade e porosidade do concreto, entende-se como porosidade a relação entre o volume de vazios de um elemento e seu volume total, esta relação é expressa em percentagem. A permeabilidade de um elemento é a capacidade ou facilidade com que ocorre a circulação de um fluido nas estruturas internas do elemento. Com isso pode se afirmar que todo elemento permeável pode ser poroso, porem nem todo elemento poroso é permeável, pois dependera das ligações entre os poros para que ocorra a permeabilidade. Fortes (2014) representa essa diferença na figura 2.

**Figura 2-** Diferenças entre a permeabilidade e a porosidade de uma estrutura



Fonte: Fortes, 2014

### 2.1.2 Durabilidade e desempenho de Estruturas em concreto armado

A Durabilidade de uma estrutura em concreto armado está relacionada a duração com que a estrutura conseguirá cumprir com sua finalidade estrutural. Esta duração é diretamente influenciada pela execução e pelo o nível de exposição, infiltração de agentes agressivos na estrutura seja por meio da permeabilidade e porosidade do concreto, ou até mesmo devido à falta de cobrimento mínimo das armaduras, deixando-as mais expostas. (FORTES,2012)

Em outras palavras Fortes (2012) associa a durabilidade da estrutura com o potencial com que os agentes agressivos conseguem infiltrar-se e se deslocar no interior do concreto. Os agentes agressivos podem infiltrar-se na camada de cobrimento da estrutura por meio da absorção capilar ou por meio da difusão, devido as microestruturas da pasta de cimento hidratada.

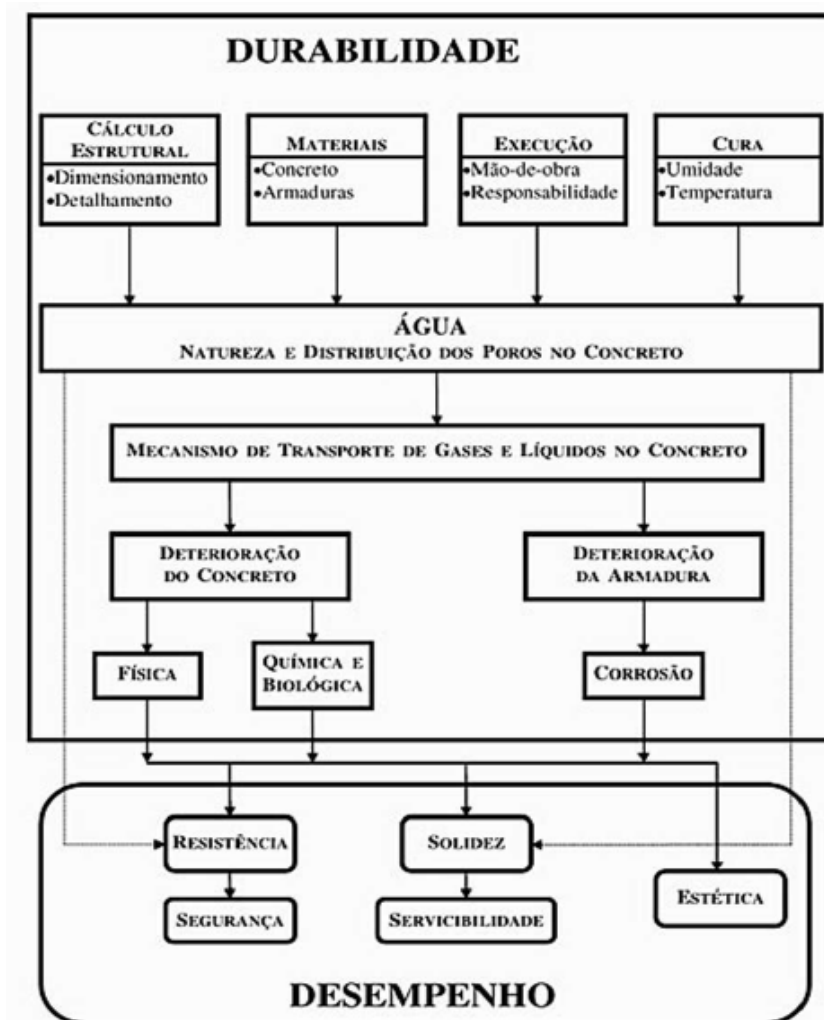
Para melhor compreensão da definição de durabilidade deve se entender o conceito de vida útil de uma estrutura, que é a unidade de tempo, estimado ou especificado no projeto, que um elemento, estrutura ou edifício, permanecem acima dos limites de utilização permitidos em normas. O tempo de vida útil possui relação direta com as condições de uso (nível de exposição a agentes agressivos), condições de trabalho e a periodização das manutenções.

O fim da vida útil de uma estrutura pode ocorrer da seguinte forma, vida útil técnica que é o tempo de serviço até quando deixa de estar dentro dos limites mínimos da norma. Vida útil económica quando o custo para a manutenção da estrutura já não é mais viável, onde a

construção de uma nova estrutura é economicamente mais vantagem. E Vida útil funcional que é o tempo necessário para que a estrutura deixe de cumprir sua função para qual foi submetida. (FORTES, apud FOLIC,2012).

Segundo Souza & Ripper (1998), o desempenho de uma estrutura é diretamente proporcional as fases de projeto, de manutenção e construção da mesma. Logo se a estrutura foi projetada, construída e realizada a manutenção de acordo com as especificações técnicas, esta estrutura possuirá um bom desempenho durante sua vida útil. A figura 3 a seguir demonstra a relação entre a durabilidade e desempenho de uma estrutura, levando em consideração o projeto, execução, exposição e utilização da estrutura.

**Figura 3-** Relação entre a durabilidade e o desempenho de uma estrutura

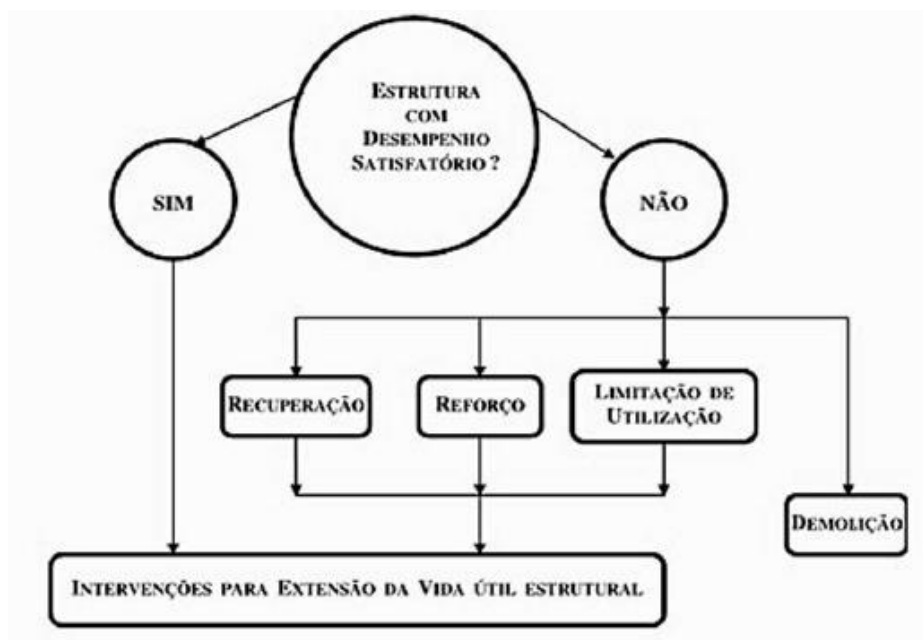


Fonte: Souza & Ripper,1998.

É fundamental a avaliação da estrutura no que tange ao cumprimento satisfatório do seu desempenho, para que seja possível tomar a melhor decisão quanto a viabilidade da manutenção na estrutura com desempenho insatisfatório ou se mais favorável a demolição e reconstrução

da mesma. Souza & Ripper (1998) demonstra esta avaliação de intervenção a partir da figura 4.

**Figura 4-** Avaliação de intervenção em uma estrutura



Fonte: Souza & Ripper,1998.

## 2.2 Agressividade do Ambiente

Segundo a norma NBR 6118(2014), agressividade do ambiente pode ser definida da seguinte maneira:

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

Para execução de projetos de estruturas correntes o local de construção deve ser avaliado e enquadrado em uma das quatro classes de agressividade ambiental (CAA) de acordo com o Quadro 1, contida na norma NBR 6118(2014).

**Quadro 1-** Classes de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fracá	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>a, b</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>a</sup>	Grande
		Industrial <sup>a, b</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>a, c</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

<sup>a</sup> 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).

<sup>b</sup> 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.

<sup>c</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT NBR 6118, 2014

A norma NBR 6118(2014) enfatiza ainda que “ O responsável pelo projeto estrutural, de posse de dados relativos ao ambiente em que será construída a estrutura, pode considerar classificação mais agressiva que a estabelecida no Quadro 1”.

No quadro 2 é representado alguns processos causados nas estruturas devido ao nível de agressividade do ambiente, especificando para cada processo as regiões mais propícias, identificação visual e o resultado ou efeito na estrutura.



**Quadro 2-** Mecanismos de deterioração da Estrutura devido a agressividade do ambiente

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

Fonte: Isaia,2011

### 2.2.1 Classificação e qualidade do Concreto

Depois de classificada a região em que a edificação se encontra de acordo com a classe de agressividade ambiental predominante, o projetista deve ainda seguir as recomendações exigidas na norma NBR 6118(2014) quanto à qualidade do concreto (Fck , fator água/cimento em massa e consumo de cimento por metro cubico de concreto) a ser utilizado em cada elemento estrutural específico, que possuem valores mínimos e máximos para dimensionamento, de acordo com o componente ou elemento estrutural. Estes valores são apresentados no Quadro 2 presente na norma NBR 6118(2014) e no Quadro 3 presente na norma NBR 12655 (2015).

**Quadro 3-**Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto <sup>a</sup>	Tipo <sup>b, c</sup>	Classe de agressividade			
		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
<sup>a</sup> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655. <sup>b</sup> CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado. <sup>c</sup> CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: ABNT NBR 6118 (adaptado), 2014

**Quadro 4-** Correspondência entre a classe de agressividade, qualidade do concreto e consumo de cimento

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		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
Consumo de cimento por metro cúbico de concreto kg/m <sup>3</sup>	CA e CP	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360
NOTA CA Componentes e elementos estruturais de concreto armado; CP Componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: ABNT NBR 12655 (adaptado), 2015

A relação água/cimento do concreto, representa a quantidade ou proporção de água na mistura em massa, em relação a quantidade de cimento utilizado na mistura.

As classes de Concreto são determinadas em função das Resistências característica á compressão (Fck) em Mpa, de acordo com a tabela 1 e tabela 2 abaixo, contidas na norma NBR 8953(2015).

Tabela 1- Classes de Resistência do Grupo I

Grupo I de resistência	Resistência característica à compressão (MPa)
C10	10
C15	15
C20	20
C25	25
C30	30
C35	35
C40	40
C45	45
C50	50

Fonte: ABNT NBR 8953 (adaptado), 2015

Tabela 2-Classes de Resistência do Grupo II

Grupo II de resistência	Resistência característica à compressão (MPa)
C55	55
C60	60
C70	70
C80	80

Fonte: ABNT NBR 8953 (adaptado), 2015

### 2.2.2 Cobrimento da Armadura

É denominado de cobrimento a camada de concreto localizada sobre o aço do elemento seja, pilar, viga ou laje. Tem como função principal a proteção da armadura do elemento contra o contato direto com os agentes agressivos do ambiente e ainda resistir a impactos e cargas verticais e para sua medição tem se como referência a superfície da armadura externa até a superfície externa da peça. De acordo com a norma NBR 6118(2014), para cada componente ou elemento estrutural existe o seu respectivo valor mínimo para o cobrimento nominal, representado no Quadro 5 a seguir.

O cobrimento nominal ( $C_{nom}$ ) de um elemento é composto pela soma do cobrimento mínimo ( $C_{min}$ ) e a tolerância de execução ( $\Delta c$ ).

**Quadro 5-** Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para  $\Delta c = 10 \text{ mm}$

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

<sup>a</sup> Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.  
<sup>b</sup> 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  $\geq 15 \text{ mm}$ .  
<sup>c</sup> 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.  
<sup>d</sup> No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45 \text{ mm}$ .

Fonte: ABNT NBR 6118 (adaptado), 2014

A norma NBR 6118(2014) respalda ainda a possibilidade de o projetista considerar 5 mm para o valor da tolerância da execução ( $\Delta c$ ) desde que exista um maior controle na execução, para que estabeleça a menor variabilidade possível na hora da execução do cobrimento do elemento, e ainda, deve ser explicado no projeto este controle de maior rigor. Posto isto o projetista possui a possibilidade de reduzir em 5mm os cobrimentos nominais presentes no quadro 5.

Para garantir as dimensões de cobrimentos estabelecidas no projeto, na execução e concretagem dos elementos o projetista e executor, pode utilizar espaçadores (figura 5 e figura 6), que são peças com tamanhos variados produzidas em diversos tipos de materiais, como por exemplo plástico de alta densidade ou até mesmo concreto para casos onde possui uma carga mais elevada. Estes espaçadores para garantir o real cobrimento dimensionado devem ser posicionados nos locais em que foram especificados no projeto, e ainda deve-se utilizar espaçadores com a resistência necessária. Além de garantir o cobrimento, o espaçador auxilia também na centralização da armadura na forma.

**Figura 5-** Espaçador do Tipo Cadeirinha

Fonte: Frankó,2017

**Figura 6-** Espaçador do Tipo Circular

Fonte: Frankó,2017

### 2.2.3 Corrosão no Concreto Armado

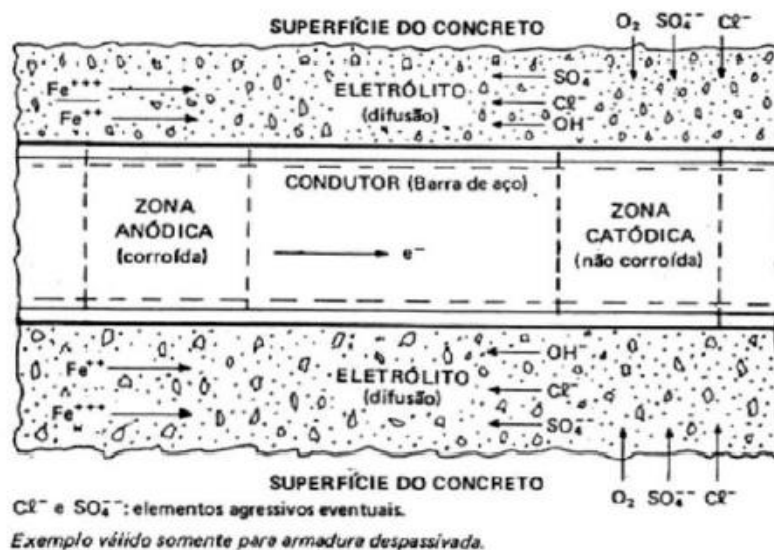
Dentre as patologias presentes no concreto armado, atualmente a corrosão das armaduras é encontrada com maior frequência em relação as demais, o processo de corrosão das armaduras é um processo de deterioração ou destruição do aço presente na estrutura, além da diminuição da seção de aço, ocorre a perda de aderência da armadura e o concreto, a formação de produtos expansíveis que podem gerar fissuração no concreto, e futuramente pode ocorrer o deslocamento do concreto na região afetada, comprometendo a estrutura em questão. (SANTOS,2015).

De acordo com Santos (2015) a corrosão é classificada como um processo eletroquímico, que pode ser causada pela carbonatação, que diminui o pH da estrutura e posteriormente acontece a despassivação da armadura, ou por meio de íons cloretos que agem diminuindo a resistividade do concreto, aumentando a sua condutividade e atacando a camada de passivação.

A corrosão da armadura por ser um processo eletroquímico deve acontecer em meio aquoso, considerando isso, a corrosão no concreto, só se manifesta na presença de água ou em ambiente com elevada umidade relativa (U.R.>60%). Para que ocorra é necessário a presença de um eletrólito, existindo a presença de oxigênio e uma diferença de potencial (entre ânodo e o cátodo). (FORTES, 2001).

O Mecanismo de corrosão de uma armadura, devido a sua despassivação é representada na figura 7 por Mota et al (2015).

**Figura 7-** Mecanismo de Corrosão da armadura com ausência de passivação.

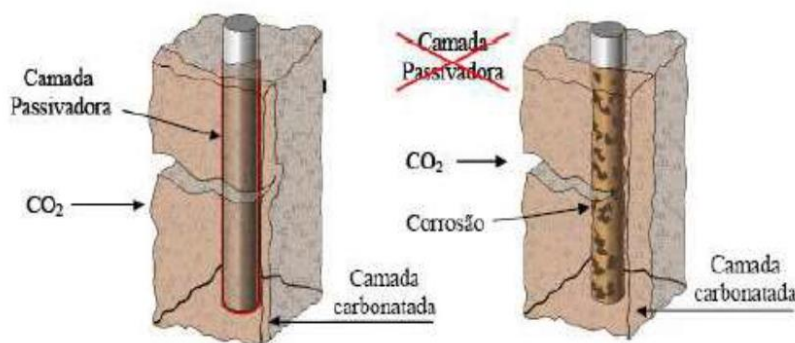


Fonte: Mota et al ,2015

#### 2.2.4 Carbonatação do Concreto

O Processo da carbonatação consiste na redução do pH da estrutura de concreto da faixa de 12-14 para a faixa de 7-9. Inicialmente forma-se a frente de carbonatação, separando a estrutura em duas partes no que se refere ao pH. Uma parte neutra e outra parte básica. Com o desenvolvimento do processo ao passar do tempo essa frente de carbonatação se desenvolve e atinge as camadas internas do concreto armado, provocando a despassivação da armadura tornando-a suscetível ao processo de corrosão, como ilustrado na figura 8. Atualmente o processo de carbonatação é considerado um dos principais agentes de despassivação das armaduras no concreto armado. (SANTOS,2015).

**Figura 8 -** Processo de Carbonatação do concreto, despassivação e corrosão da armadura



Fonte: Santos,2015 *apud* Bazan,2014

O dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), ou mais conhecido como gás carbônico, penetra no concreto através dos poros e na presença de umidade nas microestruturas ele é dissolvido,



formando ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). O ácido carbônico reage com componentes do cimento hidratado o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) que é responsável em manter o pH do concreto elevado, dando origem a água e carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), devido a essa reação ocorre a redução do pH do concreto (GENTIL,1996).

De acordo com Souza & Ripper (1998) quanto maior a exposição da estrutura a concentração de  $\text{CO}_2$  maior será a camada carbonatada de concreto e consequentemente menor será o pH, tornando assim a armadura mais sucessível a corrosão, no processo de carbonatação a corrosão da armadura se apresenta de forma generalizada na extensão do Aço.

Segundo Santos (2015), pode-se citar como variáveis principais que influenciam na velocidade de carbonatação de uma estrutura, quanto a condições de exposição: a elevada concentração de  $\text{CO}_2$  que é o agente principal para o processo, umidade relativa do ar que influencia diretamente na saturação dos poros do concreto, e a temperatura que influencia na velocidade da carbonatação. Quanto as características do concreto: É importante destacar o cobrimento mínimo da estrutura que aumenta a camada de passivação ou proteção da armadura, o traço do concreto principalmente no parâmetro água/cimento que influencia na porosidade do concreto que diminuindo os poros consequentemente diminuirá a difusão de  $\text{CO}_2$  na estrutura, e cuidados com a cura do concreto para que se minimize os possíveis surgimentos de fissuras que contribui com a infiltração de agentes agressivos no concreto.

Para a identificação da carbonatação no concreto é utilizado um composto químico indicador de acidez, a fenolftaleína. A partir do seu contato com a estrutura, se apresentar cor roxa significa pH alto, se com o contato apresentar-se incolor indica-se pH abaixo de 8 ou provável presença de carbonatação.

### 2.2.5 Agressão por íons de cloreto

As reações por íons de cloretos no concreto armado, é apresentada tanto no concreto quanto no aço, afetando a estrutura em geral. No concreto o íon cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) reage com as moléculas de água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) do concreto, dando origem ao ácido clorídrico ( $\text{HCl}$ ) que baixa o pH do concreto, quebrando a camada passivadora da armadura. No aço o íon cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) reage com o íon ferro ( $\text{Fe}^{++}$ ) gerando cloreto ferroso que a partir da sua reação com a hidroxila presente nas moléculas internas do concreto dando origem ao hidróxido de ferro  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  responsável pelo processo de corrosão da armadura. No ataque por íons de cloreto a corrosão acontece de forma localizada ou em pites (MOTA et al, 2015).

Os íons de cloreto podem atingir a estrutura de concreto por meio de alguns agentes, dentre eles impurezas contidas nos agregados ou na água de amassamento do concreto, pela

utilização de aditivos a base de cloretos, devido a exposição da estrutura em zonas marítimas seja por contato direto com água salina ou através da maresia, estruturas expostas a zonas industriais entre outras.

No contato dos cloretos com a estrutura os mesmos podem reagir com os compostos do cimento no qual são absorvidos pelos poros capilares ou ficarem presentes livremente nos poros do concreto, podendo chegar ao aço e dar início a corrosão. (MACIOSKI; MAZER; SOTO, 2012)

#### 2.2.6 Agressão por Sulfatos

Em geral todos os sulfatos levam a deterioração do concreto, porem o mecanismo e o grau de ataque varia de acordo com o tipo de sulfato agindo na estrutura entre eles sulfatos de cálcio, magnésio, cálcio, sódio, potássio e amônio.

Segundo Fortes (2012), os íons sulfato penetram no concreto quando saturado por meio de difusão e quando seco por meio da absorção, em seguida reagem com hidróxido de cálcio, formando gesso e com os aluminatos de cálcio hidratados formando a etringita ou com a alumina do agregado causando expansão, fissuras, podendo levar a desintegração de partes do concreto.

Perante a constatação da exposição constante de sulfatos no ambiente a qual a estrutura será construída, é de grande importância que o cimento utilizado tenha baixas concentrações (abaixo de 5%) de aluminatos tricálcico, devido a sua reação com sulfatos. (FORTES, 2012)

### 2.3 Dimensionamento de Estruturas em Concreto Armado

A estrutura de um edifício em concreto armado consiste no modelo físico da arquitetura prevista, ou seja, o dimensionamento da estrutura traz a realidade ao que foi proposto no projeto arquitetônico, é a parte resistente do projeto. (MELO, 2013)

Dimensionar uma estrutura, é dar condições para que a mesma suporte as solicitações na qual será submetida, como os carregamentos de utilização, peso próprio, e ações diversas. (REBELLO, 2000)

No dimensionamento de uma estrutura deve levar-se em consideração a segurança da estrutura, pois a edificação projetada terá o abrigo ou tráfego de pessoas, um erro pode comprometer vidas e consequentemente a carreira do projetista. Outro aspecto a ser considerado é a disponibilidade de matéria prima na qual será requisitada no projeto, observando a viabilidade de sua utilização e sua oferta no mercado. (BACARJI, 1993)



Ainda segundo Bacarji (1993), o projetista deve manter o equilíbrio entre o aspecto econômico e a segurança da estrutura, procurando compatibilizar o custo total da estrutura sem comprometer a segurança e a durabilidade da estrutura, buscando sempre seguir as recomendações normativas.

### 2.3.1 Concepção estrutural

Entende-se como concepção estrutural de um edifício a definição de um arranjo (posições) dos elementos estruturais, de modo que os mesmos possam atender às finalidades para as quais foram projetados, sendo capaz de transmitir os esforços atuantes na estrutura para o solo, atendendo os aspectos econômico, de segurança e aos aspectos arquitetônicos do projeto. (PINHEIRO,2007)

Para maior facilidade na concepção estrutural o projetista pode seguir algumas ideias, propostas por Bacarji (1993):

- Dispor o sistema estrutural com a funcionalidade na qual o edifício será submetido; de modo que edifícios com diferentes finalidades de utilização podem ter disposição estrutural distintas entre si. De modo que o posicionamento dos pilares no pavimento tipo poderá não ser a mesma que no pavimento térreo;
- Determinar as ações com maior influência na edificação, por exemplo se a ação do vento tem grande influência em relação as demais na estrutura;
- Determinar os tipos de carregamentos (estáticos ou dinâmicos) no qual a edificação será submetida;
- Definir e esquematizar os elementos estruturais de maneira eficiente, procurando definir subsistemas;
- Adotar, sempre que possível, as mesmas seções para elementos estruturais (vigas, lajes, pilares e fundação) ao longo dos pavimentos, tornando-se possível a reutilização das fôrmas e consequentemente a redução no custo final da edificação;
- Compatibilizar o projeto estrutural com os demais projetos (hidráulico, sanitário, elétrico, incêndio, etc.);

A etapa de locação dos elementos da estrutura, deve ser realizada criteriosamente, deve-se seguir a seguinte ordem: primeiramente a locação dos pilares, em seguida locação das vigas e posteriormente a locação das lajes. (ALVA,2007)

Para a locação dos pilares é interessante se seguir a seguinte sequência: primeiramente posicionar os pilares dos cantos externos, em seguida posicionar os pilares da escada e do elevador que serão pilares comuns a todos os pavimentos e posteriormente realizasse o posicionamento dos demais pilares de acordo com a necessidade. É de grande importância procurar compatibilizar os pilares dos pavimentos tipos com os demais pavimentos afim de se evitar o surgimento de vigas de transições. Deve-se ainda procurar realizar o máximo de alinhamento entre pilares possíveis, afim de se obter pórticos planos, que contribuem para a estabilidade global da estrutura. (BACARJI,1993)

Posteriormente ao posicionamento dos pilares, segue-se com o posicionamento das vigas, que se encontram pré-definidos pelos alinhamentos dos pilares, com algumas exceções, por exemplo em casos da necessidade de se apoiar uma viga em outra. Deve-se sempre evitar-se vãos maiores que 6m. Outro critério utilizado é a presença de vigas sempre onde existir alvenaria, procurando sempre que possível manter a largura da viga igual à largura da alvenaria, por questões estéticas e facilidade de acabamento. Finalizado o posicionamento das vigas temos definidos os panos de lajes. (BACARJI,1993)

As normas técnicas Brasileira, não determinam regras para o pré-dimensionamento dos elementos estruturais, porem com base nas recomendações mínimas normativas, em estudos e experiências de calculistas estruturais, algumas recomendações são encontradas em literaturas. (ALVA,2007)

### 2.3.2 Pré-dimensionamento de Lajes

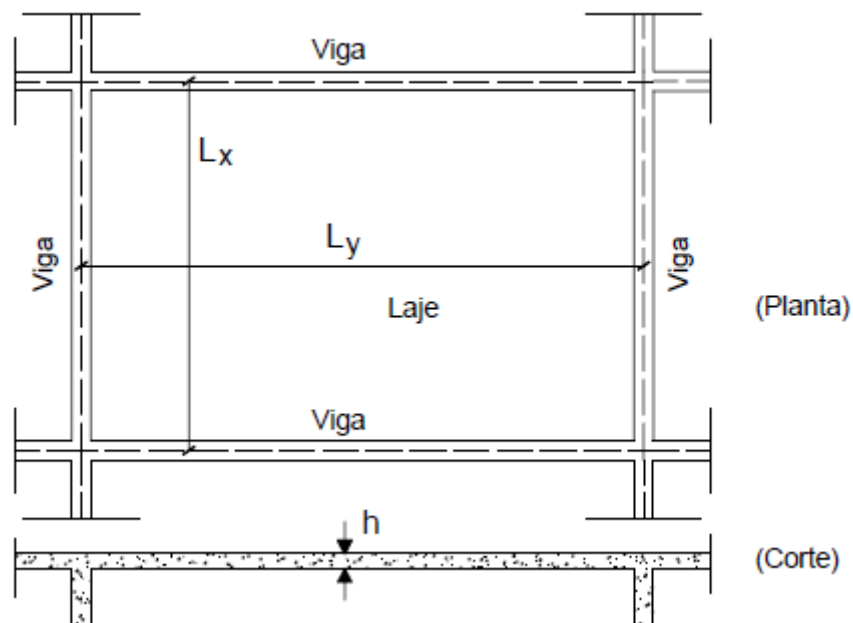
O pré-dimensionamento em lajes consiste na predeterminação da altura (h), e é realizada a partir de equações nas quais é levado em consideração o tamanho (L) do vão. (ALVA 2007 apud DIAS, 2004)

De acordo com Alva (2007) a espessura da laje (h) pode ser estimada a partir da equação a baixo:

$$h \cong \frac{Lx}{40} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

Lx é o menor vão da laje.

**Figura 9-** Dimensões de lajes para pré-dimensionamento

Fonte: Alva,2007

Deve-se considerar os limites mínimos para a espessura de lajes maciças estabelecido pela norma NBR 6118(2014), de acordo com o quadro 6 abaixo:

**Quadro 6-** Limites mínimos para espessura de Lajes maciças

Espessura Mínima (cm)	Tipologia da Laje
7 cm	Para cobertura não em balanço
8 cm	Para lajes de piso não em balanço
10 cm	Para lajes em balanço
10 cm	Para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 <u>kN</u>
12 cm	Para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 <u>kN</u>
15 cm	Para lajes com protensão apoiadas em vigas, com o mínimo de $L/42$ para lajes de piso biapoiadas e $L/50$ para lajes de piso contínuas
16 cm	Para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel

Fonte: ABNT NBR 6118 (adaptado), 2014

É importante a utilização de lajes com espessuras superiores a 10 cm para garantir um isolamento acústico mínimo entre pavimentos e evitar deformações indesejáveis. (ALVA 2007 apud BATLOUNI NETO, 2005).

### 2.3.3 Pré-dimensionamento de Vigas

Para o pré-dimensionamento de vigas de acordo com Pinheiro (2007), as alturas das vigas podem ser estimadas pelas seguintes equações:

- Para vigas internas:  $h = \frac{L}{12}$ ; (Equação 2)
- Para vigas externas ou vigas biapoiadas:  $h = \frac{L}{10}$ ; (Equação 3)
- Para vigas em balanço:  $h = \frac{L}{5}$ ; (Equação 4)

Onde:

L é o comprimento da Viga.

Pinheiro (2007) afirma ainda que deve evitar-se muitos valores diferentes para as alturas das vigas de uma estrutura, afim de se facilitar na montagem da estrutura de cimbramento e também por fatores econômicos no que se refere a reutilização de formas.

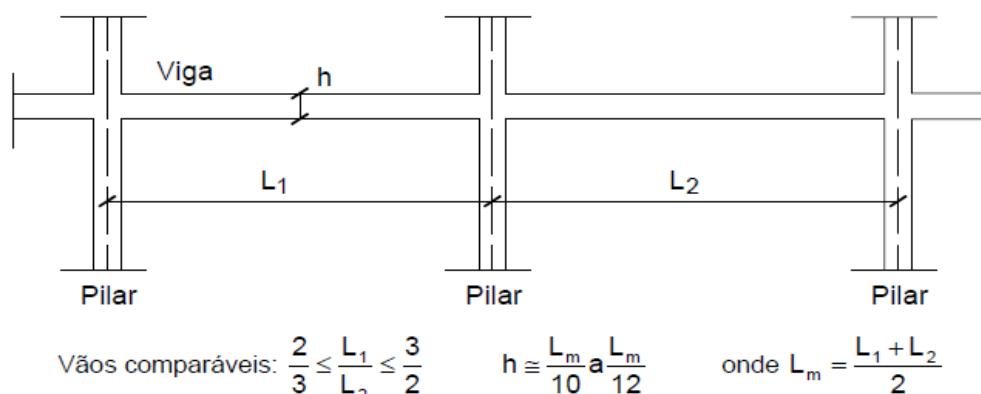
De acordo com Alva (2007), a altura da seção transversal de uma viga isostática pode ser estimada a partir da equação:

$$h \cong \frac{L}{10} a \frac{L}{12} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

L é o vão da viga, que pode ser considerado no pré-dimensionamento como sendo a distância entre os eixos dos pilares em que a viga se apoia.

Em caso de vigas contínuas com vãos aproximados, adota-se uma única altura para a viga em sua extensão, a altura (h) é estimada a partir da média entre os comprimentos dos vãos, como esquematizado na figura 10. Em caso de vigas contínuas com vãos muito diferentes entre si, deve-se adotar diferentes alturas para cada vão. (ALVA,2007)

**Figura 10-** Pré-dimensionamento de vigas contínuas com vãos aproximados

Fonte: Alva,2007

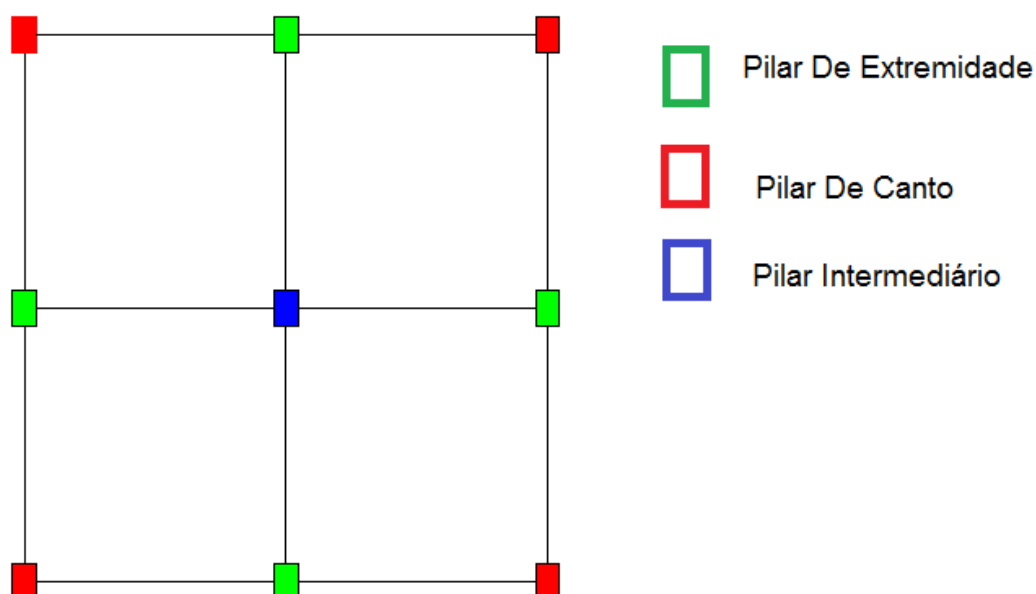
A largura da viga é definida na maioria das vezes através da compatibilização com o projeto arquitetônico, buscando sempre que possível seguir a largura das paredes de alvenaria na qual a viga se encontra. Para pré-dimensionamento da largura da viga leva-se em consideração a espessura dos tijolos cerâmicos ou de blocos de concreto utilizados (9 cm, 14 cm e 19 cm) acrescidos da espessura do revestimento. (ALVA,2007)

#### 2.3.4 Pré-dimensionamento de Pilares

A determinação das áreas de seção transversal dos pilares no pré-dimensionamento pode ser realizada pelo método das áreas de influência, que consiste na estimativa da carga em que cada pilar receberá, a partir da divisão do pavimento em áreas de influência. (BACARJI,1993)

A área de influência de cada pilar é encontrada a partir do valor de carga que cada pilar ira absorver, essa estimativa é realizada de acordo com a localização do pilar, dividindo-se em 3 tipos, pilares intermediários, pilares de extremidade e pilares de canto, conforme a figura 11.

**Figura 11-** Classificação de Pilares de acordo com localização



Fonte: Acervo Pessoal.

De acordo com pinheiro (2007), para realização dos cálculos das áreas de influência utiliza-se as seguintes relações conforme a localização dos pilares:

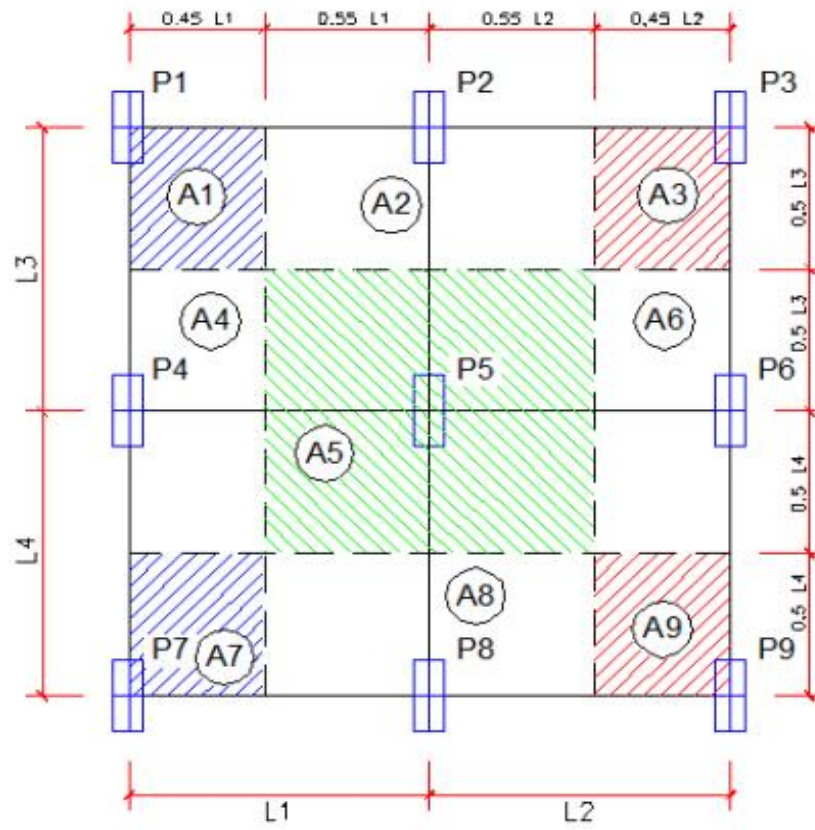
0,45L: o pilar de canto ou pilar de extremidade na direção da menor dimensão do pilar;

0,55L: complemento dos vãos do caso anterior;

0,50L: pilar de canto ou pilar de extremidade na direção da maior dimensão do pilar.

A partir das relações anteriores, obtém-se as áreas de influência de acordo com o a figura 12 a seguir:

**Figura 12- Áreas de Influência de Pilares**



Fonte: Araujo,2017.

Depois de encontrado as áreas de influência dos pilares, a área da seção transversal pode ser estimada pela seguinte formula proposta por pinheiro (2007):

$$A_e \cong \frac{\alpha \cdot A \cdot P(n+0,7)}{\sigma_{id}} \quad (\text{Equação 6})$$

$$\alpha = \gamma_f \cdot \alpha_o \quad (\text{Equação 7})$$

Sendo:

$\alpha$  = ao coeficiente de majoração da carga

A = área de influência de cada pilar

P = carga uniformemente distribuída na laje (7 a 13 kN/m<sup>2</sup>)

n = número de repetições de pavimento tipo

0,7 = coeficiente de cobertura (retira, se for o caso)

$\sigma_{id}$  = tensão ideal de cálculo

$\sigma_{id} = (0,85 \cdot f_{cd} + \rho \cdot \sigma_{sd})$

$\rho$  = taxa geométrica de armadura

$\sigma_{sd}$  = tensão no aço relativa a deformação específica 0,002

$\gamma_f = 1,4$

$\alpha_o$  = coeficiente de majoração da carga em função da redução das situações de flexão composta normal/oblíqua em uma situação de compressão centrada.

Pilar intermediário  $\alpha_o = 1,285$

Pilar de Extremidade  $\alpha_o = 1,570$

Pilar de canto  $\alpha_o = 1,785$

## 2.4 Orçamento

Segundo a Norma Técnica IE – Nº 01/2011 orçamento é a avaliação do custo da obra tendo como base preços dos insumos praticados no mercado, ou valores de referência e levantamento de quantidades de materiais e serviços obtidos a partir do conteúdo dos elementos descritos nos itens anteriores, elaborada de acordo com as prescrições deste Regulamento Técnico.

Para MATTOS (2006) em geral, um orçamento é determinado somando-se os custos diretos – mão-de-obra de operários, material, equipamento – e os custos indiretos – equipes de supervisão e apoio, despesas gerais do canteiro de obras, taxas, etc – e por fim adicionando-se impostos e lucro para se chegar ao preço de venda.

Para se dá início a um orçamento, é preciso conhecer o preço unitário de cada serviço ou item e a quantidade dos materiais que compõem. Para isso é importante se ter também os valores dos materiais, custo da hora de trabalho dos operários que irão realizar os serviços. As composições de preços unitários é a principal base para a efetuação de compras de materiais, pois é através destes que se obtém as quantidades gastas por serviços (AZEVEDO, 1921).



Ainda segundo Azevedo (1921), custo direto é o resultado da soma de todos os custos unitários dos serviços necessários para a construção da edificação, obtidos pela aplicação dos consumos dos insumos sobre os preços de mercado. Já na mão de obra aparece os encargos sobre a mão de obra sendo encargos obrigatórios exigidos pela Lei Trabalhista ou através de sindicatos.

#### 2.4.1 Levantamento de Quantitativos

Silva Filho (2004) descreve levantamento de quantitativo como a quantificação de um determinado serviço dentro da obra a ser executada. Para o seu levantamento se faz necessária a aplicação de planilhas próprias, que têm por objetivo simplificar os cálculos, facilitarem as totalizações e a organização dos dados, que são de suma importância à elaboração do orçamento.

Segundo Mattos (2006) a etapa de levantamento de quantitativo é uma das que intelectualmente mais exigem do orçamentista, porque demanda leitura de projeto, cálculos de áreas e volumes, consulta a tabelas de engenharia, tabulação de números, etc. A quantificação dos diversos materiais (ou levantamentos de quantidades) de um determinado serviço deve ser feita com base em desenhos fornecidos pelo projetista, considerando-se as dimensões especificadas e suas características técnicas.

Segundo a Norma Técnica IE – Nº 01/2011 é o levantamento, com base nos desenhos, dos quantitativos dos materiais e dos serviços a serem calculados separadamente para cada elemento detalhado e valor global, de modo a permitir a sua orçamentação.

#### 2.4.2 Cotação de Preço

Consiste na coleta de preços de mercado para os diversos insumos da obra. Mattos (2006) esclarece que a cotação de preço dos materiais é uma tarefa que requer cuidado, porque tem algumas particularidades que o orçamentista deve levar em consideração. São variadas as formas pelo quais os fornecedores dão seus preços, assim como nem sempre as cotações obtidas referem ao mesmo escopo, devendo considerar algumas particularidades e comparar as cotações entre os fornecedores.

#### 2.4.3 BDI

Segundo o ABENC-BA (2009), BDI é a taxa que se adiciona adicionada ao custo de uma obra para se cobrir as despesas indiretas que se tem o construtor, mais o risco que se tem o empreendimento, despesas financeiras incorridas, tributos incidentes na operação, eventuais despesas na comercialização, o lucro do empreendedor e o seu resultado é alcançado por uma operação matemática baseados em dados objetivos envolvidos em cada obra.

Segundo TISAKA (2006), para se calcular o BDI se faz necessário os seguintes dados:

- Custo direto da obra, obtido nos passos antecedentes;
- Local em que será executado a obra e sua possível distância à sede da empresa;
- Prazo de execução da obra;
- Conhecimento sobre infraestrutura local dos serviços (água, energia, linha telefônica, transporte, recursos humanos, fornecedores de materiais e serviços, etc.);
- ISS da prefeitura local;
- Salários dos funcionários da administração central;
- Despesa mensal da Administração Central;
- Media de faturamento da empresa ou do exercício fiscal;
- Se a contabilidade da empresa pertence ao Lucro Real ou Presumido;
- Taxas dos tributos federais;
- Gastos da empresa na comercialização;

Sendo assim se faz necessário esses dados para o cálculo que devem respeitar os termos do acordo vigente.

O valor do BDI pode ser calculado a partir da equação 8 a seguir:

$$BDI = \frac{(1 + AC + S + R + G) * (1 + DF) * (1 + L)}{1 - I} - 1 \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

AC – Administração Central;

S – Seguro;

R – Riscos;

DF – Despesas Financeiras;

L – Taxa de Lucro/Remuneração;

I – Incidência de Impostos (PIS, COFINS e ISS);

#### 2.4.4 TCPO

O TCPO (Tabela de Composições e Preços para Orçamentos) atualmente está entre umas das principais referências de engenharia de custos do Brasil. Lançado há mais de 60 anos, em 1955, quando reunia 100 serviços de construção anteriormente publicados na revista "A Construção" em São Paulo. (TCPO,2017)

De acordo com TCPO (2017), hoje a Base TCPO conta com mais de 8.500 composições de Serviços, Preços de Referência calculados pelo departamento de Engenharia da PINI e Composições de Empresas da indústria de materiais e serviços de construção civil.

A base TCPO alimenta diversas ferramentas disponibilizadas pela PINI para o mercado da Construção Civil Brasileira. Esta informação é destinada a engenheiros civis, arquitetos, construtores, orçamentistas, consultores, instaladores, projetistas, empreiteiros e mestres de obra. (TCPO,2017)

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Desenho do Estudo

O presente trabalho tem como finalidade metodológica o estudo da variação no dimensionamento das estruturas de uma edificação submetida a níveis de agressividades ambientais distintos.

Tem como forma de abordagem o estudo avaliativo e quantitativo, que consistem na comparação e quantificação das variações estruturais da edificação propostas a partir dos resultados obtidos para cada localidade.

Os dimensionamentos dos edifícios foram realizados a partir de uma ferramenta computacional, e a análise em questão realizada a partir dos relatórios gerados.

#### 3.2 Local da Realização do Estudo

O estudo foi realizado a partir do dimensionamento de uma edificação, seguindo os seguintes critérios: primeiramente considerou-se a localização da obra na cidade de Palmas, Tocantins, Avenida Teotônio Segurado no centro. E posteriormente realizou-se o dimensionamento na cidade de Recife, Pernambuco, Avenida Beira Mar no bairro Boa Viagem.

**Figura 13-** Mapa de localização Terreno (Palmas-TO)



Fonte: Google Maps, 2017

**Figura 14-** Mapa de localização Terreno (Recife-PE)



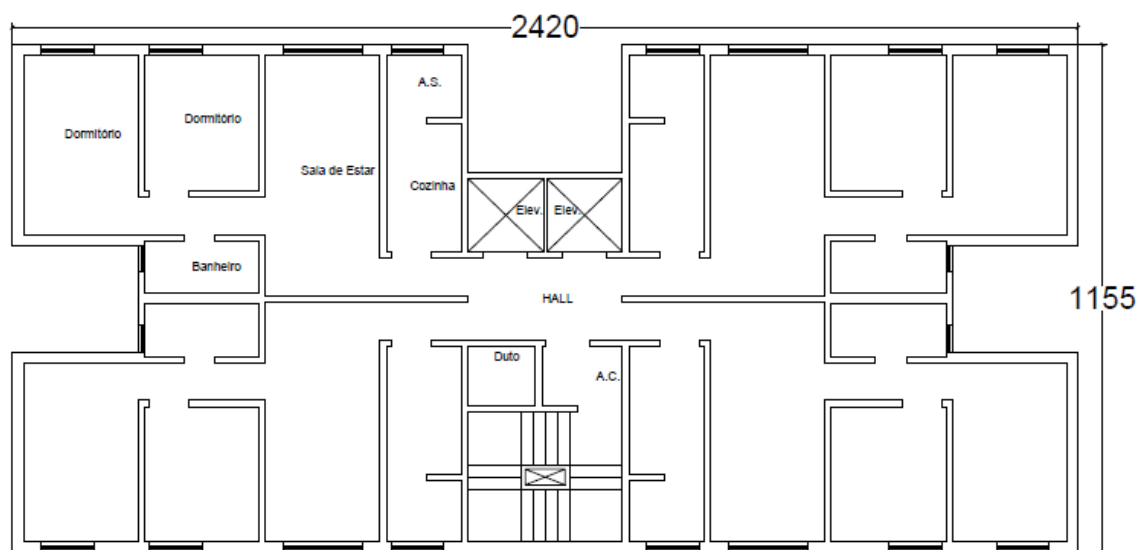
Fonte: Google Maps, 2017

### 3.3 Objeto de Estudo

Para realização deste trabalho foi utilizado como modelo base um edifício proposto em uma disciplina no ano de 2007 pelo Professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Engenheiro Tulio Nogueira Bittencourt, que elaborou o projeto deste edifício com o objetivo de promover um curso de apresentação das etapas para elaboração de um projeto de estrutura de um edifício em concreto armado.

Trata-se de um edifício residencial multifamiliar de 17 pavimentos com 48 metros de altura sendo a cobertura com platibanda e casa de máquina e o térreo com estacionamento, hall e Salão de festa. E 15 pavimentos tipo com 4 apartamentos por andar, cada apartamento contendo: 2 dormitórios, 1 banheiro, sala de estar, cozinha e área de serviço, conforme a planta baixa ilustrada na figura 15. No dimensionamento de ambas estruturas não foi considerado a escada visto que para a análise em questão no presente trabalho as mesmas se fazem irrelevantes.

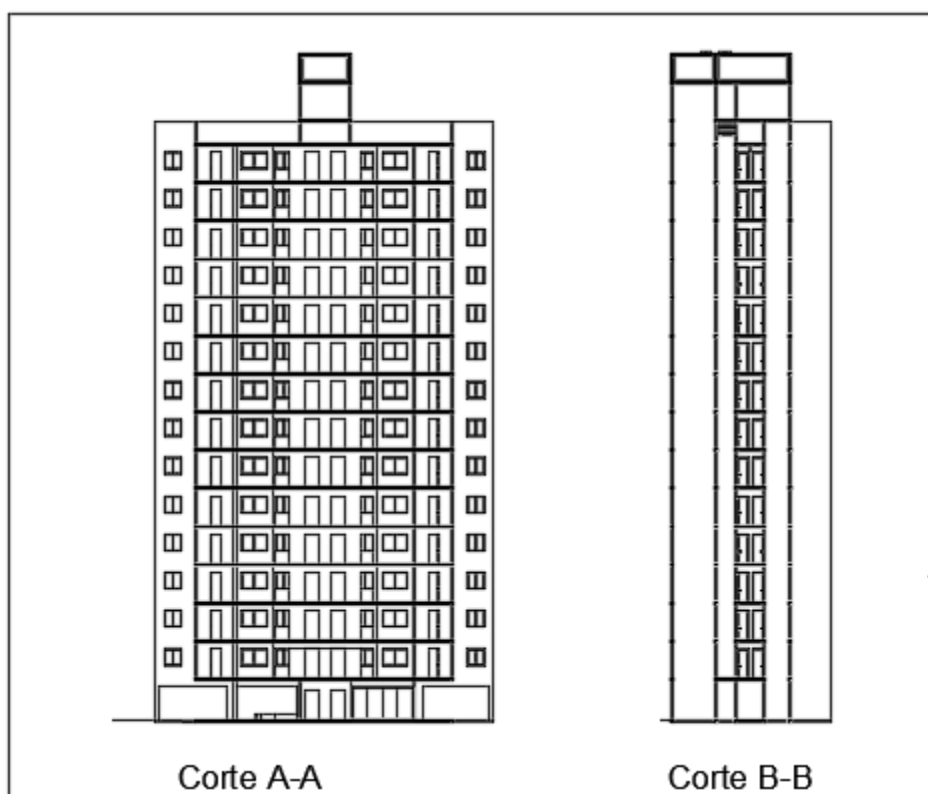
**Figura 15** - Planta baixa da edificação em estudo



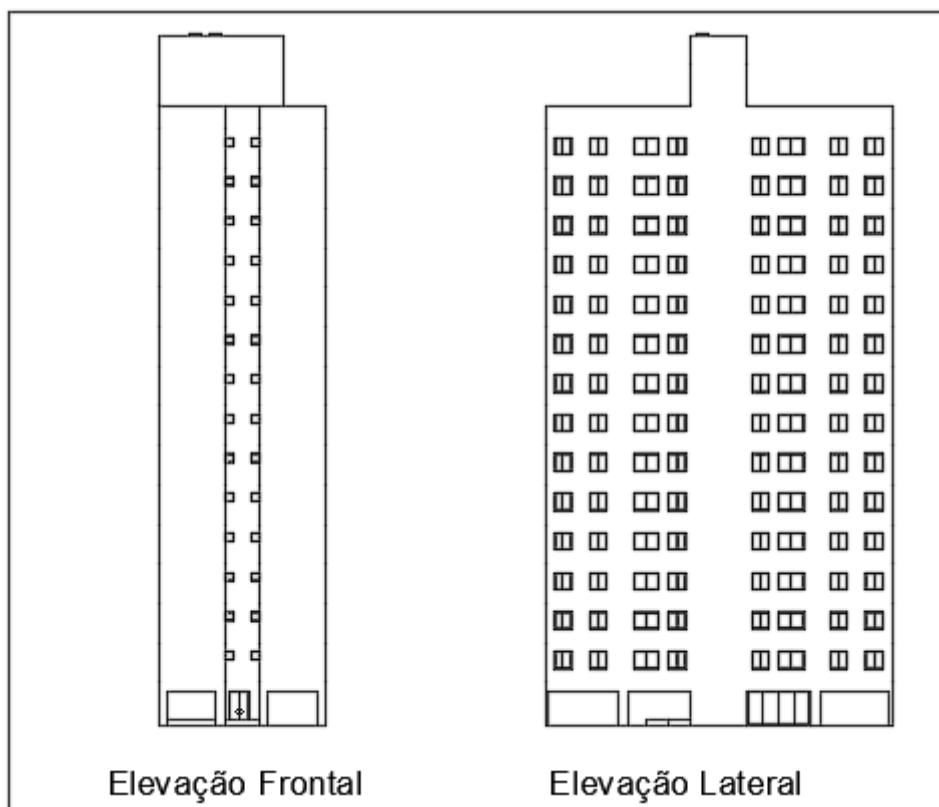
Fonte: Bittencourt, 2007

Nas figuras 16 e 17 a baixo, estão representados, os cortes e as elevações do edifício respectivamente.

**Figura 16-** Cortes A-A e B-B da edificação em estudo



Fonte: Bittencourt, 2007

**Figura 17-** Elevações da edificação em estudo

Fonte: Bittencourt,2007

O quadro 7 abaixo mostra a divisão e o altura respectiva de cada pavimento.

**Quadro 7-** Pavimentos da Edificação em Estudo

Pavimento	Altura (cm)
Cobertura (caixa d'água)	200
Cobertura (casa de máquina)	450
Pavimento 15	275
Pavimento 14	275
Pavimento 13	275
Pavimento 12	275
Pavimento 11	275
Pavimento 10	275
Pavimento 9	275
Pavimento 8	275
Pavimento 7	275
Pavimento 6	275
Pavimento 5	275
Pavimento 4	275
Pavimento 3	275
Pavimento 2	275
Pavimento 1	300
Térreo	150

Fonte: Bittencourt,2007

### 3.4 Procedimentos

Foi realizado o dimensionamento da estrutura de uma edificação em duas regiões distintas, de acordo com as recomendações normativas, a partir de um software voltado para elaboração de projetos estruturais de concreto armado e pré-moldado, o Eberick, produzido pela empresa AltoQI. Para a realização deste trabalho utilizou-se a versão V 08.

#### 3.4.1 Critérios de Dimensionamento

Os critérios de dimensionamento adotados neste projeto, foram estabelecidos através de especificações normativas, afim de se obter um desempenho e durabilidade satisfatória, buscando atender a vida útil prevista para a estrutura.

Para o dimensionamento de edifícios localizados em zonas urbanas, com pouca presença de agentes agressivos, deve ser considerado segundo a norma NBR 6118(2014) classe II de agressividade ambiental , Entretanto a norma respalda a possibilidade de o projetista admitir uma classe de agressividade mais branda, em regiões onde predomina-se o clima seco, com umidade media relativa menor a 65%, parâmetros que são atendidos na cidade de Palmas-TO levando em consideração ainda a baixa emissão de gás carbono ainda nessa região, se comparado aos grandes centro, possibilitando o dimensionamento da estrutura considerando-a como localizada em um ambiente com classe de agressividade insignificante ou Classe I.

No dimensionamento da edificação para a cidade de Recife-PE, por estar localizado em via beira mar, uma região marinha de acordo com a norma deve ser classificada como classe III, considerando grande risco para a deterioração da estrutura, devido a presença de íons de cloretos, sulfatos entre outros agentes agressivos predominantes neste tipo de ambiente.

Levando em consideração as especificações mínimas por norma para cada classe de agressividade, foram utilizadas as seguintes configuração para dimensionamento:



Dimensionamento na cidade de Palmas- TO:

-Classe de Agressividade I (fraca)

-Cobrimento nominal:

Lajes: 2 cm

Viga/pilar: 2,5 cm

Elementos em contato com o solo: 3,0 cm

-Concreto:

C-20: fck 20 Mpa

Relação água/cimento em massa:  $\leq 0,65$

Consumo de cimento por metro cubico de concreto (kg/m<sup>3</sup>):  $\geq 260$

No software Eberick as configurações foram realizadas conforme especificado nas figuras 18 e figura 19.

**Figura 18** - Configuração para materiais e durabilidade, dimensionamento em Palmas - TO

**Materiais e durabilidade**

Aplicação  
☒ Projeto inteiro  
☐ Por pavimento

Pavimento  
 Pavimento 12  
 Pavimento 11  
 Pavimento 10  
 Pavimento 9  
 Pavimento 8  
 Pavimento 7  
 Pavimento 6  
 Pavimento 5  
 Pavimento 4  
 Pavimento 3  
 Pavimento 2  
 Pavimento 1  
 Terreo  
 Baldrame

Avisos  
 Todas as informações estão definidas corretamente  
 Detalhes...

Geral  
 Classe de agressividade: I (fraca)  
 Dimensão do agregado: 19 mm  
☒ Controle rigoroso nas dimensões dos elementos

Abertura máxima das fissuras  
 Contato com o solo: 0.2 mm  
 Contato com a água: 0.1 mm  
 Demais peças: 0.3 mm

Elementos	Concreto	Cobrimento (peças externas)	Cobrimento (peças internas)
Vigas	C-20	2.5 cm	2.5 cm
Pilares	C-20	2.5 cm	2.5 cm
Lajes	C-20	2 cm	
Reservatórios	C-20	2 cm	
Blocos	C-20	3 cm	
Sapatas	C-20	3 cm	
Tubulões	C-20	3 cm	
Muros	C-20	3 cm	
Radier	C-20	3 cm	

OK Cancelar Ajuda Fluência... Barras... Classes...

Fonte: Eberick, 2018

**Figura 19-** Configuração para qualidade do concreto, dimensionamento em Palmas - TO

Fonte: Eberick,2018

Dimensionamento na cidade de Recife-PE :

-Classe de Agressividade III (Forte)

- Cobrimento nominal:

Lajes: 3,5 cm

Viga/pilar: 4,0 cm

Elementos em contato com o solo: 4,0 cm

-Concreto:

C-30: fck 30 Mpa

Relação água/cimento em massa:  $\leq 0,55$

Consumo de cimento por metro cubico de concreto (kg/m³):  $\geq 320$

As configurações para a cidade de Recife – PE no software Eberick foram realizadas de acordo com as figuras 20 e figura 21

**Figura 20-** Configuração para materiais e durabilidade, dimensionamento em Recife - PE

**Materiais e durabilidade**

**Aplicação**  
☒ Projeto inteiro  
☐ Por pavimento

**Pavimento**  
 Pavimento 12  
 Pavimento 11  
 Pavimento 10  
 Pavimento 9  
 Pavimento 8  
 Pavimento 7  
 Pavimento 6  
 Pavimento 5  
 Pavimento 4  
 Pavimento 3  
 Pavimento 2  
 Pavimento 1  
 Terreo  
 Baldrame

**Avisos**  
 Todas as informações estão definidas corretamente  
 Detalhes...

**Geral**  
 Classe de agressividade: III (forte)  
 Dimensão do agregado: 19 mm  
☐ Controle rigoroso nas dimensões dos elementos

**Abertura máxima das fissuras**  
 Contato com o solo: 0.2 mm  
 Contato com a água: 0.1 mm  
 Demais peças: 0.3 mm

**Elementos**

	Concreto	Cobrimento (peças externas)	Cobrimento (peças internas)	
Vigas	C-30	4 cm	4 cm	Bitolas...
Pilares	C-30	4 cm	4 cm	Bitolas...
Lajes	C-30	3.5 cm		Bitolas...
Reservatórios	C-30	3.5 cm		Bitolas...
Blocos	C-30	4 cm		Bitolas...
Sapatas	C-30	4 cm		Bitolas...
Tubulões	C-30	4 cm		Bitolas...
Muros	C-30	4 cm		Bitolas...
Radier	C-25	4 cm		Bitolas...

OK Cancelar Ajuda Fluência... Barras... Classes...

Fonte: Eberick, 2018

**Figura 21-** Configuração para qualidade do concreto, dimensionamento em Recife - PE

**Classes de concreto**

**Classes de resistência**  
 C-20  
 C-25  
 C-30  
 C-35  
 C-40  
 C-45  
 C-50

**Identificação**  
 C-30

**Resistência à compressão**  
 Resistência característica (fck): 300 kgf/cm²  
 Coeficiente de minoração ( $\gamma_c$ ): 1.4  
 Resistência de cálculo (fcd): 214.29 kgf/cm²

**Peso específico**  
 2500 kgf/m³

**Abatimento (slump)**  
 5 cm

**Tipo de agregado**  
 granito

**Módulo de elasticidade**  
☒ Obter a partir do fck  
 Módulo secante (Ecs): 260716 kgf/cm²  
 Módulo inicial (Eci): 306725 kgf/cm²

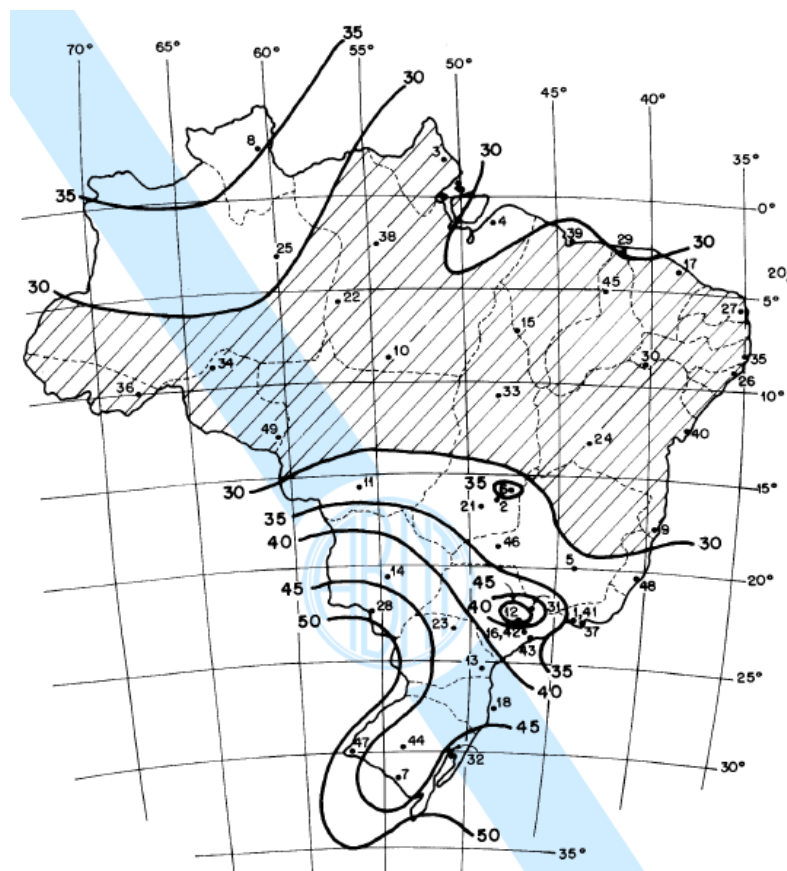
**Resistência à tração**  
☒ Obter a partir do fck  
 Resistência média (fctm): 28.96 kgf/cm²  
 Característica inferior (fctk,inf): 20.28 kgf/cm²  
 Característica superior (fctk,sup): 37.65 kgf/cm²  
 Resistência de cálculo (fctd): 14.48 kgf/cm²

OK Cancelar Ajuda

Fonte: Eberick, 2017

Para ações do vento foram considerados de acordo com a predominância em cada região, os valores foram extraídos a partir do mapa de isopletras da figura 22, extraído da norma NBR 6123(1988).

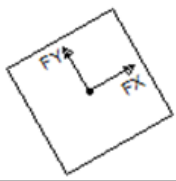
**Figura 22-** Mapa das isopletas no Brasil



Fonte: NBR 6123,1988

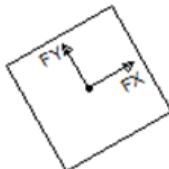
A partir das isopletas obtidas, as configurações para ações do vento no software para as cidades de Palmas- TO e Recife- PE, foram realizadas conforme quadros 8 e 9 respectivamente.

**Quadro 8-** Parâmetros adotados para ações do vento (Palmas -TO)

Parâmetros	Valor adotado	Observações
Velocidade	33.00m/s	-
Nível do solo (S2)	100.00cm	-
Maior dimensão horizontal ou vertical (S2)	Entre 20 e 50 m	-
Rugosidade do terreno (S2)	Categoria II	Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas.
Fator topográfico (S1)	1.0	Demais casos.
Fator estatístico (S3)	1.00	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação.
Ângulo do vento em relação à horizontal	30°	
Direções de aplicação do vento	Vento X+ (V1) Vento X- (V2) Vento Y+ (V3) Vento Y- (V4)	De acordo com combinações automáticas do software.

Fonte : Eberick,2018

**Quadro 9-**Parâmetros adotados para ações do vento (Recife - PE)

Parâmetros	Valor adotado	Observações
Velocidade	35.00m/s	-
Nível do solo (S2)	100.00cm	-
Maior dimensão horizontal ou vertical (S2)	Entre 20 e 50 m	-
Rugosidade do terreno (S2)	Categoria II	Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas.
Fator topográfico (S1)	1.0	Demais casos.
Fator estatístico (S3)	1.00	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação.
Ângulo do vento em relação à horizontal	30°	
Direções de aplicação do vento	Vento X+ (V1) Vento X- (V2) Vento Y+ (V3) Vento Y- (V4)	De acordo com combinações automáticas do software.

Fonte: Eberick,2018

Os demais parâmetros e configurações adotadas foram constantes para o dimensionamento nas duas localidades, conforme segue abaixo:

**-Carregamentos:**

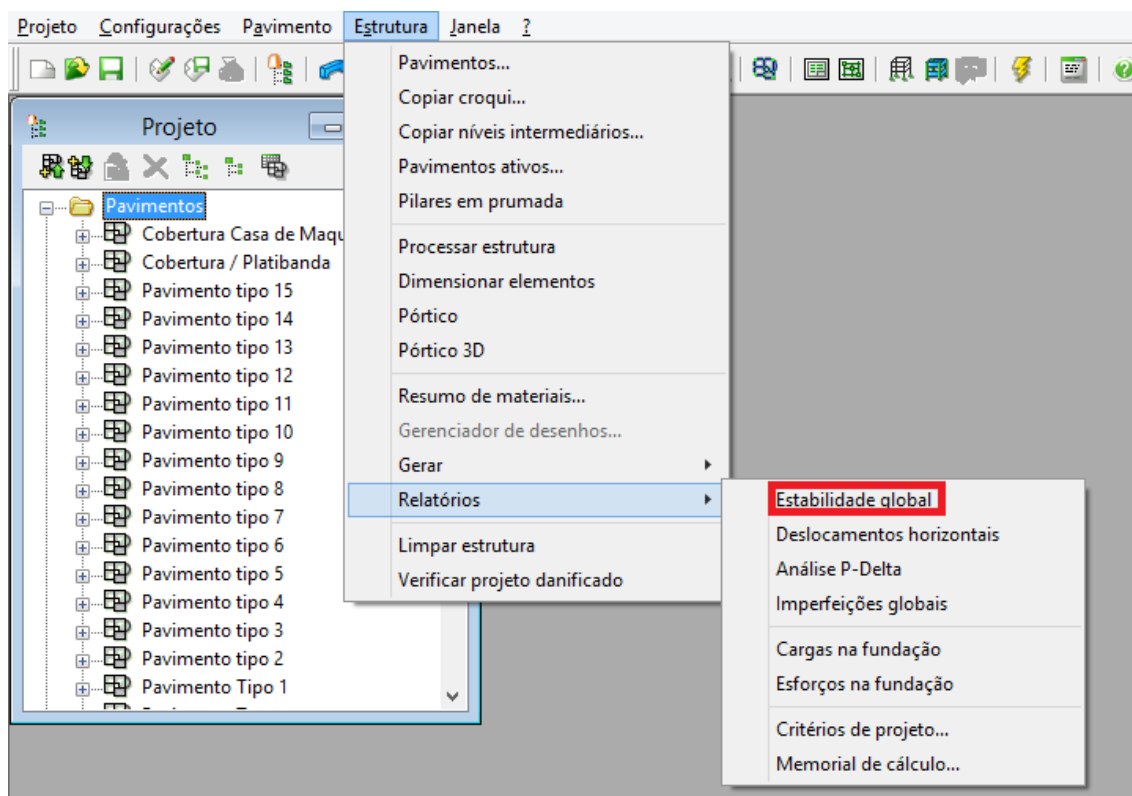
- Lajes- Para os carregamentos das lajes será definido conforme especificado pela norma NBR 6120 (1980), de acordo com cada utilização.
- Paredes- Será considerado o carregamento de paredes de alvenaria acabada com tijolos furados com peso específico  $\gamma = 1300 \text{ Kg/m}^3$ , com espessura de 15 cm e altura conforme o pé direito do pavimento, sobre todas as vigas, exceto no pavimento cobertura.
- Revestimento: espessura de concreto 5 cm multiplicados pelo peso específico de  $2400 \text{ kg/m}^3$ , totalizando um valor de  $120 \text{ kg/m}^2$ ,

### 3.4.2 Análise de Resultados

Após o processamento dos dimensionamentos da edificação na cidade de Palmas –TO e na cidade de Recife- PE no Software Eberick, os dados necessários para a avaliação e realização do presente trabalho foram obtidos da seguinte forma:

A partir da aba Estrutura – Relatório, após o dimensionamento é possível encontrar o relatório de estabilidade global da estrutura, onde foi utilizado para determinar e comparar os valores do coeficiente de estabilidade global ( $\gamma_z$ ) para cada estrutura.

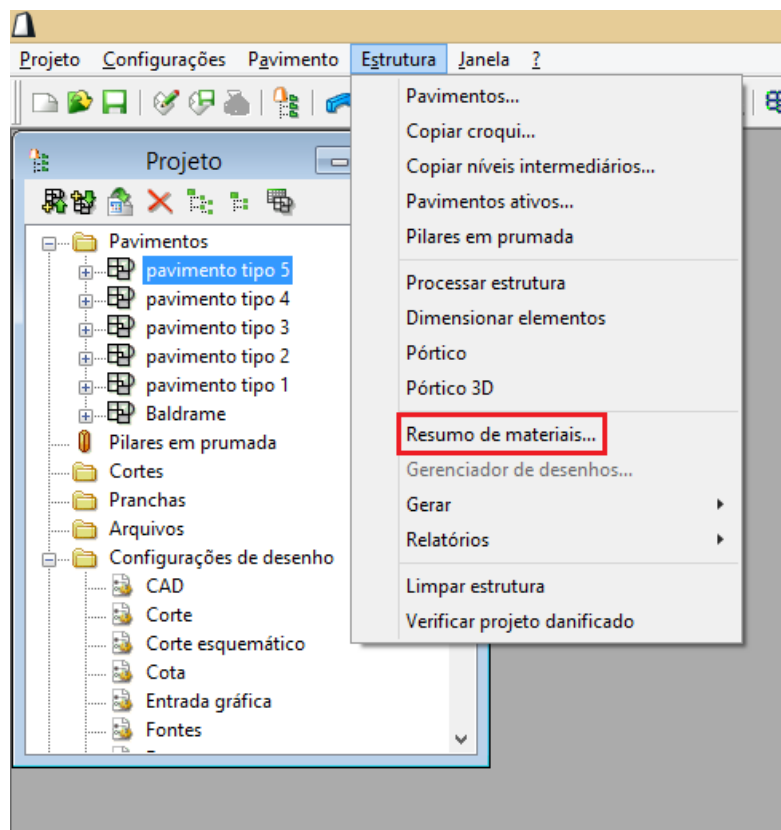
**Figura 23-** Determinação da Estabilidade Global da Estruturais



Fonte: Eberick, 2018

Na aba Estrutura da barra de ferramentas, a partir da opção resumo de materiais foi possível encontrar e comparar o consumo total de aço e concreto para cada dimensionamento, de acordo com a figura 24.

**Figura 24** – Determinação do resumo de materiais



Fonte: Eberick, 2017

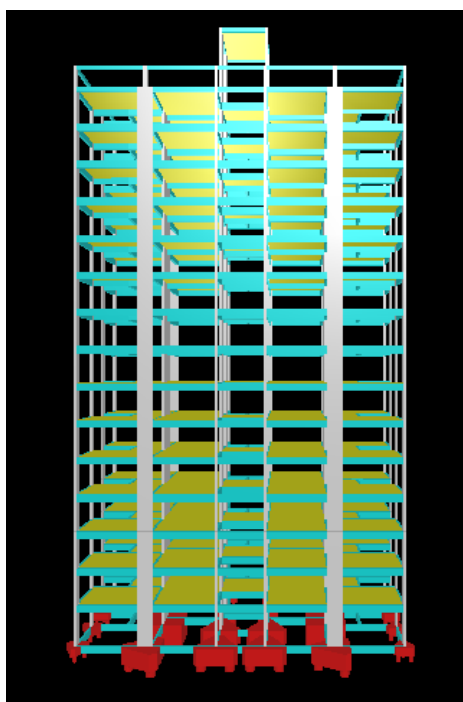
Após obtenção do consumo total de materiais (concreto e aço), foi realizado o levantamento de custo a partir do banco de dados do TCPO WEB, uma ferramenta online, disponibilizada pela PINI, onde consta o preço atualizado dos materiais necessários com referência ao preço de mercado de Palmas-TO, e posteriormente a comparação do custo final da estrutura da edificação quando dimensionada de acordo com cada classe de agressividade.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização do dimensionamento de ambas edificações conforme metodologia descrita, obteve-se as seguintes informações apresentadas nos quadros 10 e 11 abaixo, a partir do resumo de materiais disponibilizado pelo software ao final do dimensionamento. Onde possibilitou a análise comparativa dos resultados para cada caso, no que se refere ao peso de aço, volume de concreto, e área de forma.

No dimensionamento da estrutura não foi realizado o dimensionamento das escadas e do reservatório, levando em consideração que os mesmos não apresentaria significância para a análise em questão abordada no presente trabalho, tornando o dimensionamento dispensáveis.

**Figura 25** – Estrutura Dimensionada



Fonte: Eberick,2018

**Quadro 10** – Consumo de Material - Estrutura Dimensionada na cidade de Palmas-TO (classe de agressividade nível I)

		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Reservatórios	Muro	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	17645.0	22421.3	18342.8		4734.8			63143.9
	CA60	2495.2	4282.3	3697.9		1137.6			11612.9
	Total	20140.2	26703.5	22040.7		5872.4			74756.8
Volume concreto (m³)	C-20	275.5	208.2	320.6					804.3
	C-30					92.6			92.6
	Total	275.5	208.2	320.6		92.6			896.8
Área de forma (m²)		3407.8	2504.2	3192.8		167.4			9272.2
Consumo de aço (kgf/m³)		73.1	128.3	68.7		63.4			83.4

Fonte: Eberick,2018



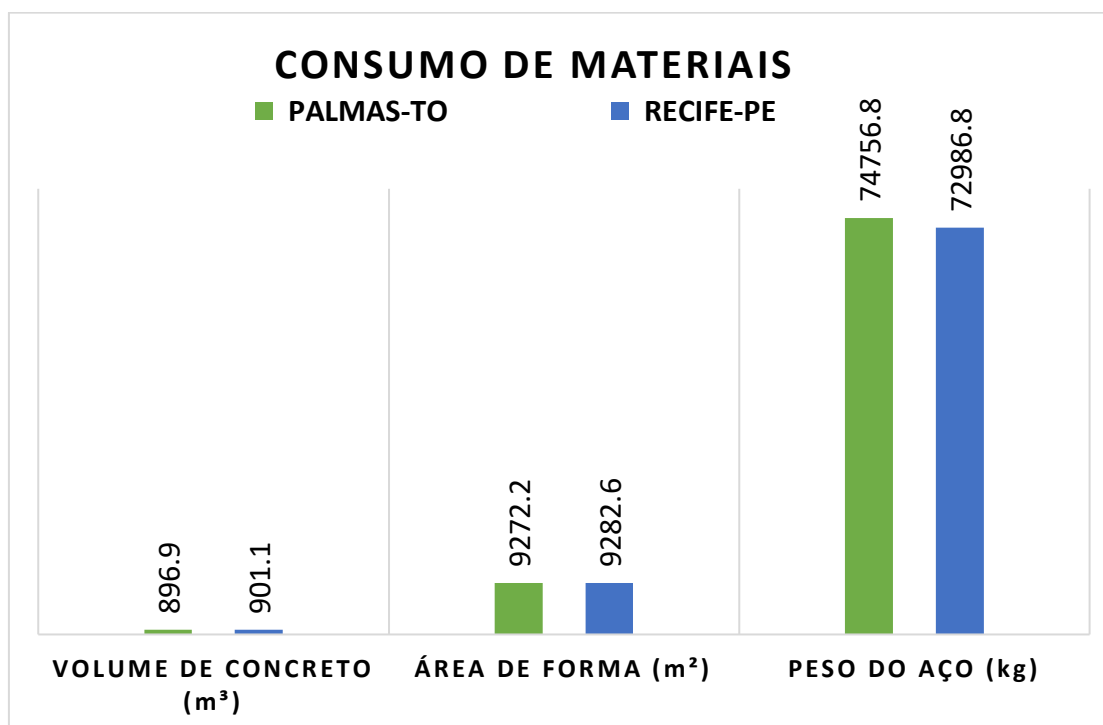
**Quadro 11** – Consumo de Material - Estrutura Dimensionada na cidade de Recife-PE (classe de agressividade nível III)

		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Reservatórios	Muro	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	17766.5	15360.1	23760.7		4789.3			61676.7
	CA60	2780.4	4347.6	3068.4		1113.6			11310.1
	Total	20547.0	19707.7	26829.2		5902.9			72986.8
Volume concreto (m³)	C-30	275.5	208.4	320.6		96.6			901.1
Area de forma (m²)		3407.8	2507.3	3192.8		174.7			9282.6
Consumo de aço (kgf/m³)		74.6	94.5	83.7		61.1			81.0

Fonte: Eberick,2018

A seguir o gráfico representado na figura 26 apresenta a comparação entre os consumos para cada material a ser utilizado para a construção da estrutura para cada localidade.

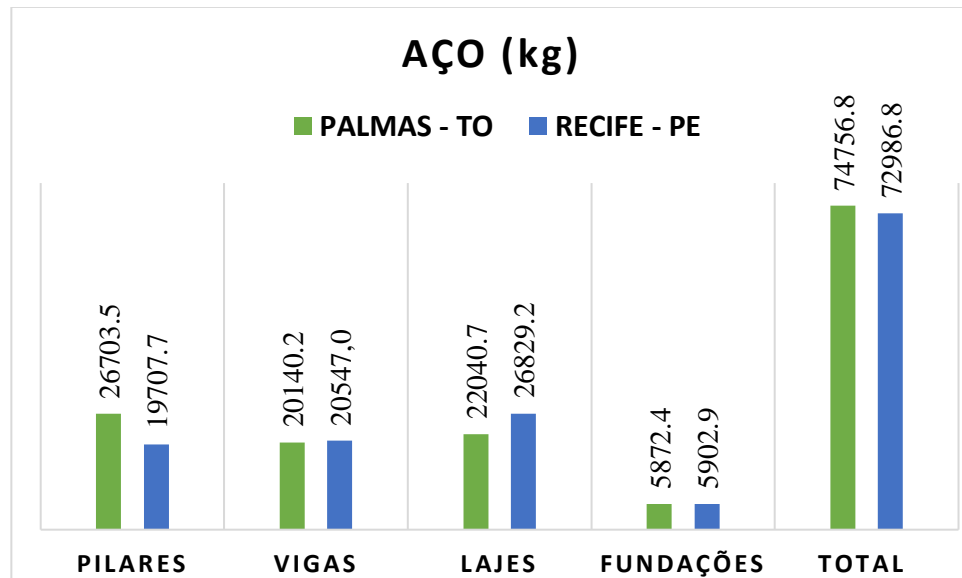
**Figura 26** – Gráfico Consumo de Materiais



Fonte: Autoria propria,2018

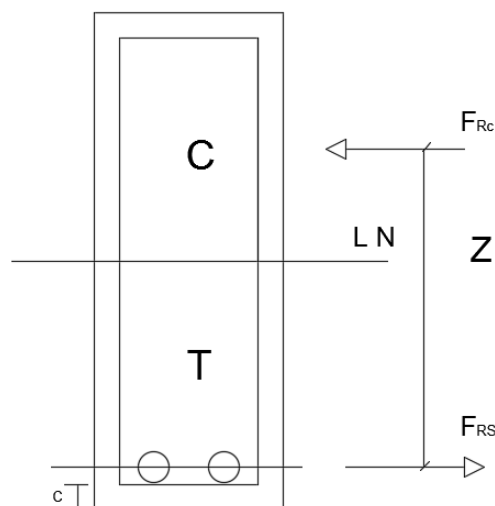
#### 4.1 Consumo de Aço

A partir da comparação dos dados para consumo de aço obtidos nos quadros de resumo de materiais, transcritos para o gráfico da figura 27 abaixo, nota-se um aumento do aço para as vigas, lajes e fundação contrapondo uma redução do consumo de aço para os pilares quando comparado os valores obtidos para a edificação na cidade de Recife – PE, onde considerou-se classe de agressividade ambiental nível III, com os resultados da edificação dimensionada na cidade de Palmas-TO onde considerou-se classe de agressividade ambiental nível I.

**Figura 27** – Consumo de aço nas respectivas estruturas.

Fonte: Autoria propria, 2018

O aumento do consumo de aço nos elementos vigas e lajes que, no entanto, se tratam de elementos submetidos essencialmente a flexão pode ser explicado devido aos esforços internos resistentes da seção de acordo com a figura 28 apresentada a seguir.

**Figura 28** – Esforços internos resistentes da seção.

Fonte: Autoria propria, 2018

Considerando-se que deve haver o equilíbrio de momentos fletores na seção, o momento fletor solicitante deve ser equilibrado por um momento fletor resistente da seção, proporcionado pelo concreto comprimido (C) e pela armadura tracionada (T). As forças resistentes internas

resultantes do concreto comprimido (FRC) e pela armadura tracionada (FRS), formam um binário oposto ao momento fletor solicitante. (BASTOS,2015)

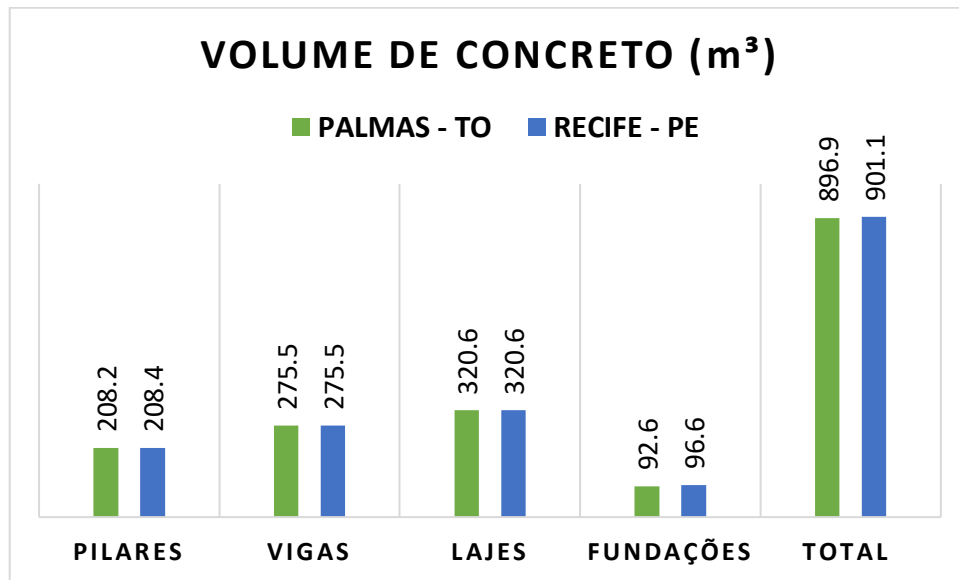
Portanto com o aumento do cobrimento mínimo ( $c$ ) da peça em decorrência da exigência para a determinada classe de agressividade ambiental, haverá uma diminuição no valor do braço de alavanca ( $Z$ ), gerando uma queda no momento ultimo resultante da peça, como consequência para compensar a perda de resistência interna deve-se aumentar a área de aço da seção, afim de se obter ganhos na força resistente proveniente da armadura tracionada.

Para a fundação a redução no consumo de aço na edificação localizada na cidade de Recife-PE, se obteve em função da consideração dos efeitos de segunda ordem para o edifício localizado na cidade de Palmas-TO no que se refere a análise estatística linear, consequentemente a partir da consideração das reações de segunda ordem, a estrutura com ênfase nos pilares, será mais solicitada, tornando-se necessária uma maior taxa de aço.

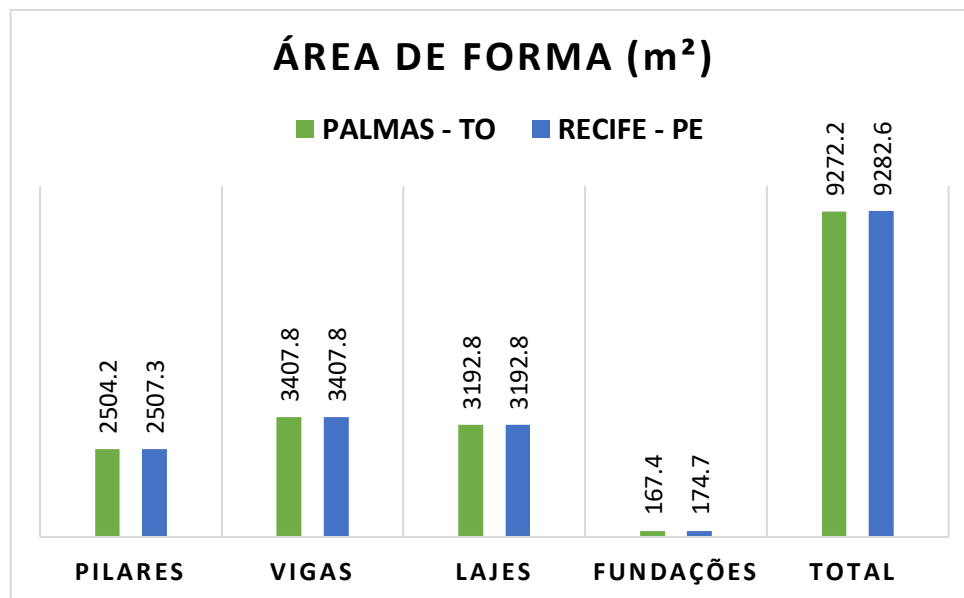
#### 4.2 Consumo de Concreto e Área de forma

Os resultados obtidos para o volume de concreto e área de forma estão representados nos gráficos das figuras 29 e 30. O valor manteve-se constante para as vigas e as lajes, levando em consideração que as geometrias destes elementos não foram alteradas com o dimensionamento nas duas regiões. Os parâmetros nos quais diferem as classes de agressividade que são o cobrimento mínimo, classe do concreto, fator água/cimento não afetam na dimensão da geometria final do elemento.

A variação existente no volume de concreto e área de forma para os pilares e a fundação se obteve em função da consideração dos efeitos de segunda ordem no dimensionamento do edifício na cidade de Palmas-TO.

**Figura 29** – Consumo de concreto nas respectivas estruturas.

Fonte: Autoria propria,2018

**Figura 30** – Área de forma necessária.

Fonte: Autoria propria,2018

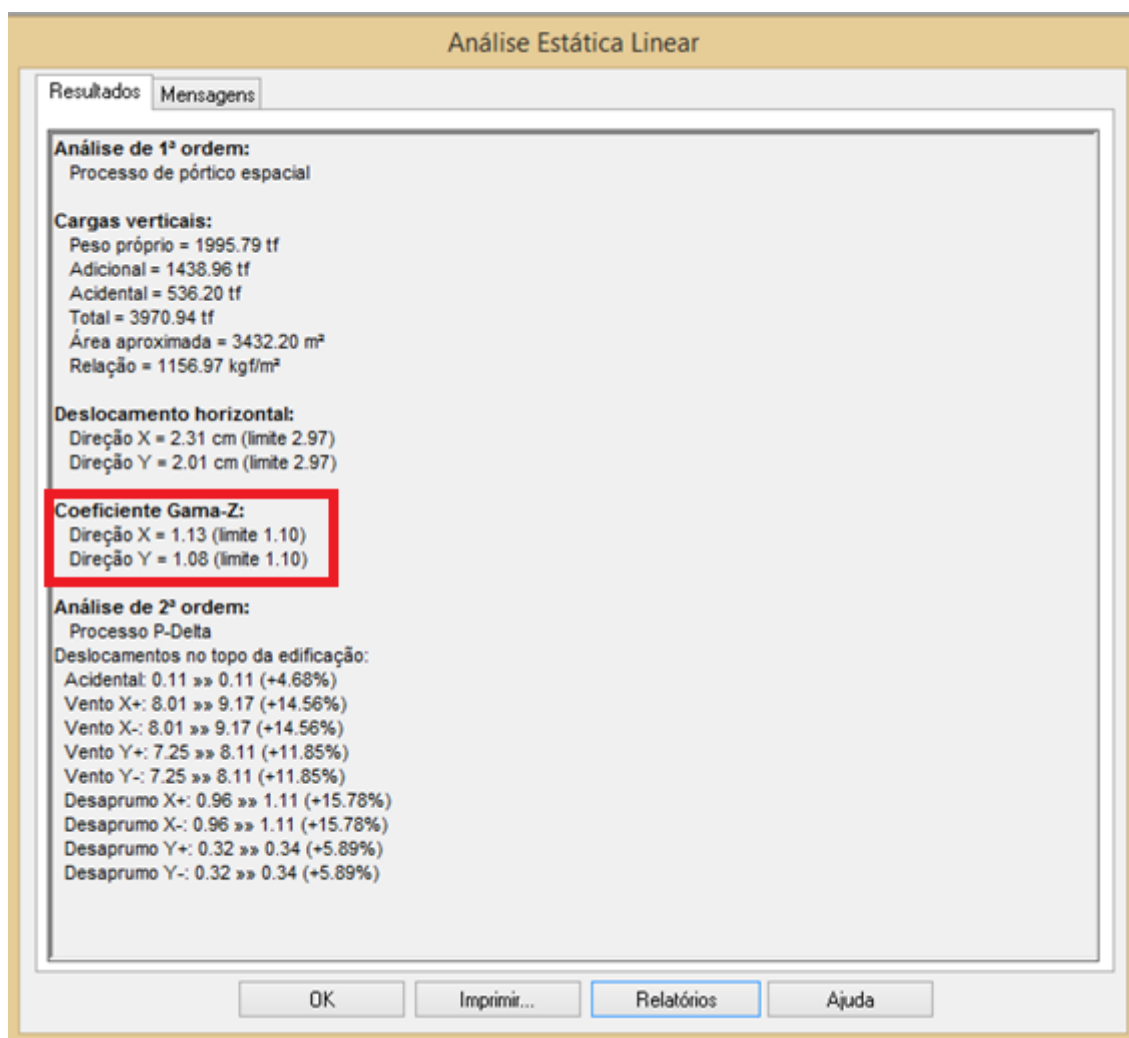
#### 4.3 Coeficiente de Estabilidade Global Gama - Z ( $\gamma_z$ )

A partir do resultado da Análise estáticas linear do software após o dimensionamento, observou-se que a instabilidade global da estrutura obteve influência direta devido as alterações realizadas para adequação da estrutura quando dimensionada para cada região, visto que para o edifício dimensionado na cidade de Palmas-TO obteve-se os seguintes valores para o coeficiente  $\gamma_z$  na direção  $x = 1.13$  e direção  $y = 1.08$ , e para a cidade de Recife-PE obteve-se

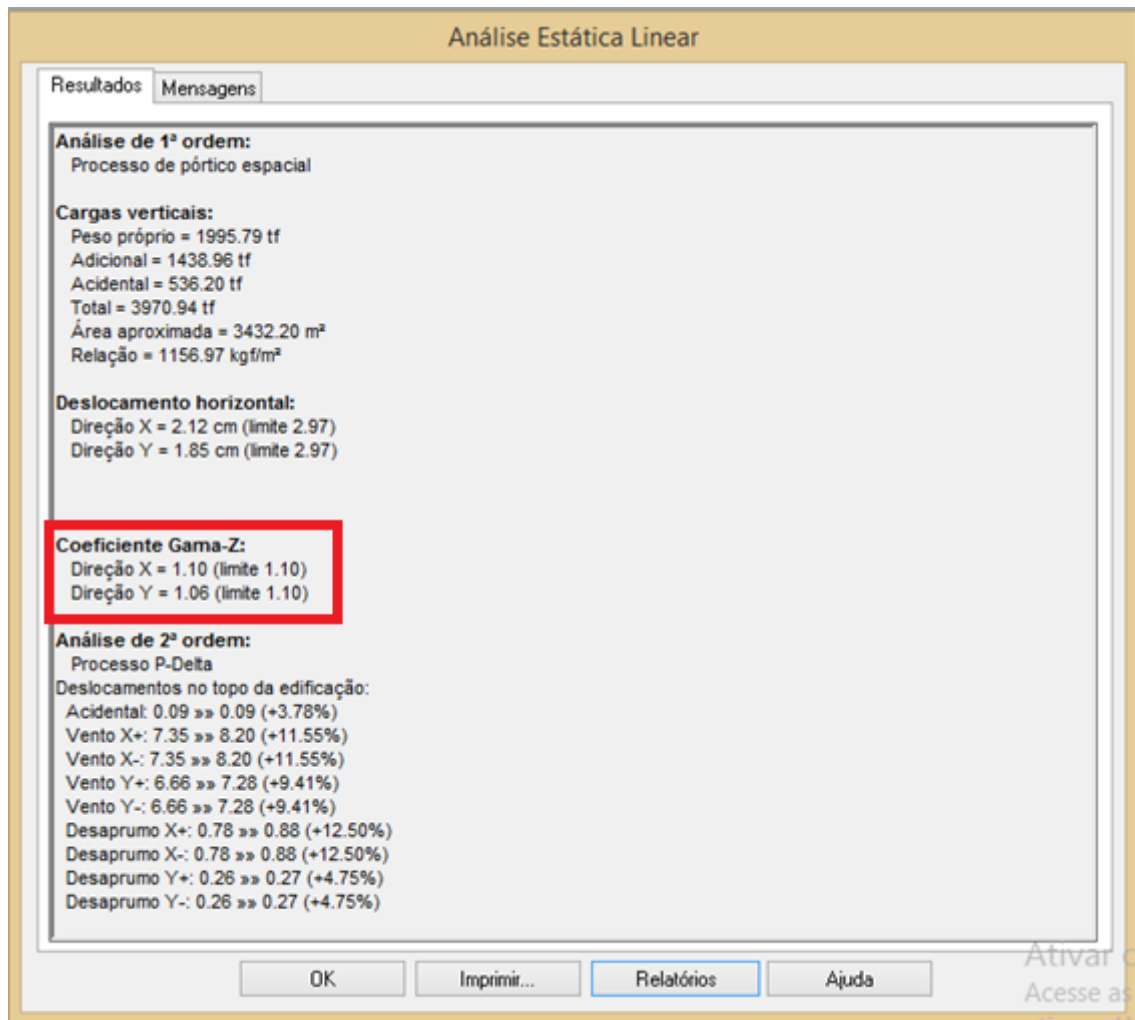
o Yz na direção  $x = 1.10$  e direção  $y = 1.06$  como apresentados na figura 31 e figura 32, e posteriormente comparadas no gráfico da figura 33.

Esta variação observada para o coeficiente Yz entre as estruturas, pode ser explicada devido a diferença da rigidez nos elementos estruturais principalmente nas vigas, onde a partir do quadro de resumo observou-se uma menor taxa de aço nas vigas para a edificação dimensionada em Palmas-TO, quando comparada a edificação dimensionada em Recife-PE que possui valores consideravelmente superiores para as lajes e vigas, resultando em uma estrutura de maior rigidez, influenciado diretamente na redução do coeficiente.

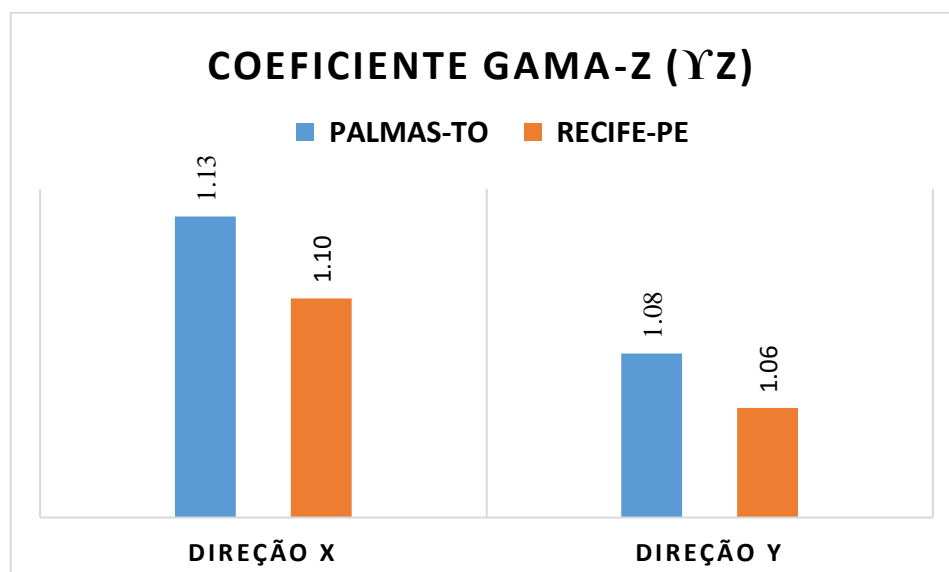
**Figura 31** – Análise Estática Linear (Estrutura em Palmas- TO)



Fonte: Eberick, 2018

**Figura 32** – Análise Estática Linear (Estrutura em Recife - PE)

Fonte: Eberick,2018

**Figura 33** - Gráfico de Análise do coeficiente Gama- Z (Yz)

Fonte: Autoria propria,2018

De acordo com a Norma NBR 6118/2014 para resultados do coeficiente  $\gamma_z$  menor que 1,10, ou seja, esforços de segunda ordem menor ou igual a 10 % em intensidade em relação ao esforço de primeira ordem na estrutura, pode-se desconsiderar a ação do mesmo na estrutura, considerando assim como uma estrutura de nós fixos, em caso dos esforços de segunda ordem superar o limite de 10% do valor dos esforços de primeira ordem, deve-se considerar os efeitos de segunda ordem, calculando a estrutura como uma estrutura de nós moveis.

Diante destas considerações e dos resultados obtidos, foi possível observar que na estrutura dimensionada na cidade de Palmas – TO se fez necessário a consideração dos efeitos de segunda ordem atuando na estrutura, enquanto que para a estrutura dimensionada na cidade de Recife – PE, o valor do coeficiente na direção mais crítica apresentou-se igual a 1,10 tornando desprezível a consideração dos efeitos de segunda ordem na estrutura.

#### 4.4 Preço Final da Estrutura e Considerações

A partir do resumo de material de cada edificação foi realizado o cálculo do valor final dos materiais necessárias para cada estrutura. O orçamento foi realizado utilizando como base a tabela TCPO do mês de abril de 2018 com referência ao preço de mercado de Palmas-TO, chegando nos resultados apresentados no quadro 12 e 13.

**Quadro 12** – Custo da estrutura dimensionada na Cidade de Palmas-TO

<b>Estrutura Dimensionada na Cidade de Palmas-TO (Classe de Agressividade Ambiental I)</b>					
<b>Material</b>	<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Un.</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>
<b>Aço</b>					
CA50	6.3	7942,5	Kg	R\$ 4,72	R\$ 37.488,60
CA50	8.0	10847	Kg	R\$ 4,72	R\$ 51.197,84
CA50	10.0	21900,1	Kg	R\$ 4,38	R\$ 95.922,44
CA50	12.5	12943,8	Kg	R\$ 4,16	R\$ 53.846,21
CA50	16.0	3425	Kg	R\$ 4,13	R\$ 14.145,25
CA50	20.0	5226	Kg	R\$ 4,13	R\$ 21.583,38
CA50	22.2	711,7	Kg	R\$ 4,01	R\$ 2.853,92
CA50	25.0	147,8	Kg	R\$ 4,01	R\$ 592,68
CA60	5.0	11612,9	Kg	R\$ 4,25	R\$ 49.354,83
<b>Total Aço</b>			R\$ 326.985,14		
<b>Concreto</b>					
Concreto	C-20	804,3	m³	R\$ 324,43	R\$ 260.939,05
Concreto	C-30	92,6	m³	R\$ 369,85	R\$ 34.248,11
<b>Total Concreto</b>			R\$ 295.187,16		
<b>Forma</b>					
Forma	-	9272,2	m²	R\$ 37,79	R\$ 350.396,44
<b>TOTAL</b>					<b>R\$ 972.568,73</b>

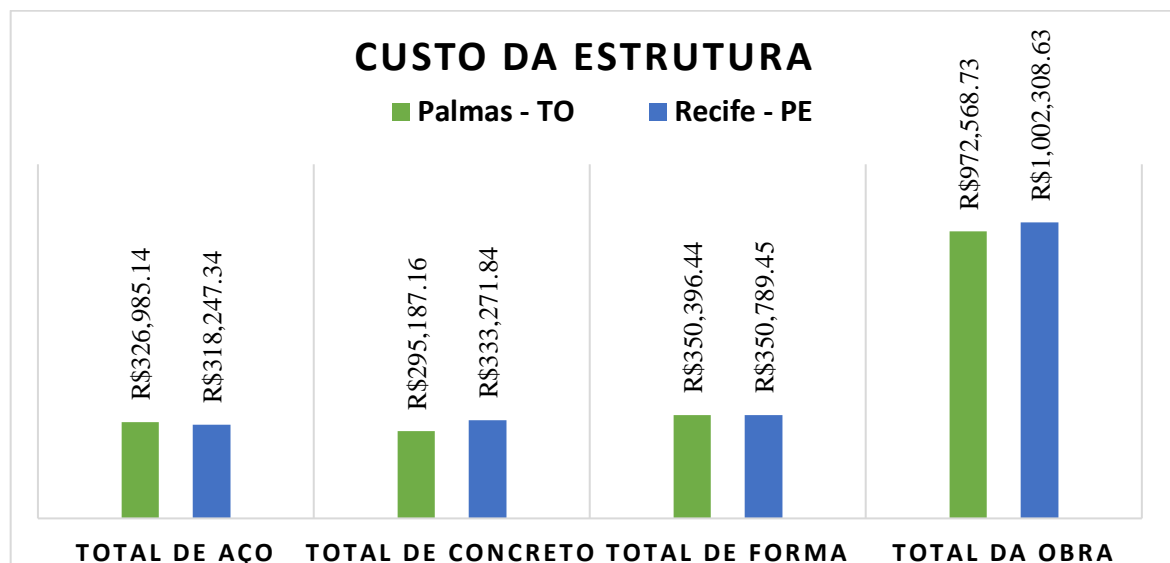
Fonte: Autoria propria, 2018



**Quadro 13** – Custo da estrutura dimensionada na Cidade de Recife-PE

<b>Estrutura Dimensionada na Cidade de Recife-PE (Classe de Agressividade Ambiental III)</b>					
<b>Material</b>	<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Un.</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>
<b>Aço</b>					
CA50	6.3	4683,6	Kg	R\$ 4,72	R\$ 22.106,59
CA50	8.0	11561,5	Kg	R\$ 4,72	R\$ 54.570,28
CA50	10.0	23251,7	Kg	R\$ 4,38	R\$ 101.842,45
CA50	12.5	12795,4	Kg	R\$ 4,16	R\$ 53.228,86
CA50	16.0	3940,4	Kg	R\$ 4,13	R\$ 16.273,85
CA50	20.0	2717,8	Kg	R\$ 4,13	R\$ 11.224,51
CA50	22.2	1078,9	Kg	R\$ 4,01	R\$ 4.326,39
CA50	25.0	1647,5	Kg	R\$ 4,01	R\$ 6.606,48
CA60	5.0	11310,1	Kg	R\$ 4,25	R\$ 48.067,93
<b>Total Aço</b>			R\$ 318.247,34		
<b>Concreto</b>					
Concreto	C-30	901,1	m³	R\$ 369,85	R\$ 333.271,84
<b>Total Concreto</b>			R\$ 333.271,84		
<b>Forma</b>					
Forma	-	9282,6	m²	R\$ 37,79	R\$ 350.789,45
<b>TOTAL</b>					R\$ 1.002.308,63

Fonte: Autoria propria,2018

**Figura 34 – Análise de Custo final da Estrutura**

Fonte: Autoria propria, 2018

A partir dos resultados apresentados nos quadros e no gráfico da figura 34, pode-se observar-se que, houve uma variação de aproximadamente R\$ 29740,00 reais (vinte e nove mil setecentos e quarenta reais), o que equivale a um aumento de 3,05 % no preço total da estrutura.

Observou-se ainda que o material que apresentou maior influência nesse aumento de preço foi o concreto, devido à alta variação do valor unitário entre as classes de concreto utilizado para cada estrutura de acordo com as recomendações mínimas normativas.

Diante da análise comparativa entre os valores finais das estruturas, pode-se considerar o aumento no custo final da estrutura muito pequeno ou praticamente irrelevante, considerando que a classe de agressividade nas quais se enquadram as estruturas, classe de agressividade ambiental I e III, se diferem em 2 graus.

## CONCLUSÃO

A avaliação e determinação da classe de agressividade ambiental a partir de análises relacionadas aos aspectos predominantes para o macro e microclima de uma determinada região a se edificar, é de grande importância quando se projeta uma estrutura afim de se atender a vida útil prevista em projeto, entretanto as adequações dos parâmetros de acordo com as recomendações normativas, interferem no comportamento e dimensionamento final da estrutura. Influências que foram avaliadas no presente trabalho.

Após o dimensionamento verificou-se a influência direta da variação entre as classes de agressividade ambiental, na instabilidade global da estrutura. Com ênfase nos coeficientes gama-Z, nos quais apresentaram variações significativas entre as estruturas dimensionadas para cada região. Onde observou-se que na estrutura dimensionada na classe de agressividade mais branda, devido ao menor consumo de aço nos elementos submetidos a flexão, resultou-se em uma estrutura de menor rigidez, aumentando o coeficiente gama-z, tornando-se necessário a consideração de efeitos de segunda ordem agindo na estrutura, situação que não se fez necessária quando dimensionado segundo os parâmetros recomendados para a classe de agressividade maior.

Observou-se que com o aumento do cobrimento da armadura para a classe de agressividade de maior risco de deterioração da estrutura, mesmo em conjunto com o aumento da classe do concreto, resultou-se em um aumento do consumo de aço para as vigas e lajes, devido aos esforços internos resistentes da seção, em contra partida para os pilares e fundação apresentaram superior para a edificação localizada na classe de agressividade mais leve, devido a consideração dos efeitos de segunda ordem agindo na estrutura.

Para o consumo de concreto, em ambos dimensionamentos apresentou resultados constantes para as vigas e lajes, levando em consideração que os parâmetros nos quais diferem as classes de agressividade não afetam na dimensão da geometria final do elemento. Apresentando uma pequena variação no volume de concreto consumido nos pilares e fundação devido as ações de segunda ordem.

A partir de análises comparativas realizadas no orçamento de materiais necessários para cada estrutura, observou-se um aumento de 3,05 % no custo total de materiais para a edificação dimensionada na cidade de Recife-PE, valor consideravelmente reduzido levando em consideração que a classes de agressividade ambiental das duas regiões dimensionadas se diferem em 2 graus de agressividade. O fator que apresentou maior incidência no aumento do preço entre as estruturas foi o concreto, que mesmo com a pequena variação no volume total

consumido, se fez considerável devido ao fato de apresentar grande diferença no preço unitário entre as classes de concreto utilizada para cada estrutura.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

\_\_\_\_\_. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações, Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento, Rio de Janeiro, 2004.

Norma Técnica para Elaboração de Orçamento de Obras de Construção Civil: Norma Técnica IE – Nº 01/2011. Instituto de Engenharia.

ALVA, G. M. S. **Concepção estrutural de edifícios em concreto armado**. Departamento de Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

ANDRADE, J.J.O. **Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: Iniciação por cloretos**. Tese de doutorado. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

BARBOSA, F. R.; CARVALHO, J.R.; COSTA e SILVA, A.J.; FRANCO, A.P.G.; MOTA, J.M.F. **Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado devido ao ataque de íons cloreto**. 54º Congresso Brasileiro do Concreto. Maceió, 2012.

BACARJI, E. **Análise de estruturas de edifícios: projeto de pilares**. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

BASTOS, P.S.S. **Flexão normal simples – vigas**. Notas de aula - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista UNESP - Campus de Bauru/SP. São Paulo, 2015.

BOTELHO, M. H. C.; MARCHETTI, O. **Concreto Armado Eu te amo**. 3. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda.

FORTES, B. E. S. V. **Condicionantes ao projeto de estruturas impostas pelas ações ambientais.** Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.

FORTES, L.R.; ANDRADE, J.C. **Corrosão na armadura do concreto armado: influência dos agentes cloretos e da carbonatação,** 2001.

GENTIL, V. **Corrosão.** 3.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

MACIOSKI, G.; MAZER, W.; SOTO, N. **Penetração de íons cloreto em estruturas de concreto armado.** 20 ° Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Florianópolis, 2014.

MATTOS, Aldo Dórea. **Como preparar orçamentos de obras.** São Paulo: Pini, 2006. 281 p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J.M. **Concreto:** estruturas, propriedades e materiais. São Paulo, IBRACON, 2008.

MELO, P. R. **Pré-dimensionamento de estruturas de madeira, de aço e de concreto para auxílio à concepção de projetos arquitetônicos.** Dissertação de Mestrado Engenharia Civil. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

PINHEIRO, Libânio M. **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios.** São Carlos: Universidade de São Paulo, 2007

REBELLO, Y. C. P. **A concepção estrutural e a arquitetura.** São Paulo: Ziguarte Editora, 2000.

SANTOS, A. V. B. **Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado devido a carbonatação.** MBA Projeto, execução e controle de estruturas e Fundações Instituto de Pós-Graduação – IPOG. Salvador, 2015

SILVA, E. P. **Avaliação do potencial de corrosão de concretos estruturais produzidos segundo as prescrições da Nbr 6118, submetido a ensaio de corrosão acelerado.** Monografia para a obtenção do grau de Engenheiro Civil, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2010.

SOUZA, V.C. M.; RIPPER, Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto.** 1. ed. São Paulo: Editora PINI Ltda, 1998.

TARTUCE, Ronaldo; GIOVANNETTI, Edio. **Princípios Básicos Sobre Concreto de Cimento Portland.** 1. Ed. São Paulo: Co-Edição: IBRACON/PINI Ltda., 1990.

## APÊNDICE

## Resumo de Materiais (Edifício Palmas - TO)

Pavimento	Elemento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m³)	Área de forma (m²)	Consumo de aço (kg/m³)	Peso treliças (kg)
Cobertura Casa de Maquinas	Vigas	78.3	0.9	12.3	88.2	
	Pilares	310.5	5.3	59.8	58.8	
	Lajes	171.8	2.1	17.6	81.5	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	560.7	8.3	89.7	67.7	0.0
Cobertura / Platibanda	Vigas	194.1	4.0	55.7	48.3	
	Pilares	260.3	3.9	51.3	67.4	
	Lajes	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	454.4	7.9	107.1	57.6	0.0
Pavimento tipo 15	Vigas	778.3	13.7	175.3	56.7	
	Pilares	925.9	12.9	155.0	71.9	
	Lajes	1524.4	22.3	217.1	68.5	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	3228.6	48.9	547.3	66.1	0.0
Pavimento tipo 14	Vigas	910.0	17.1	211.0	53.2	
	Pilares	930.8	12.9	155.0	72.3	
	Lajes	1456.6	21.1	211.3	68.9	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	3297.4	51.1	577.3	64.5	0.0
Pavimento tipo 13	Vigas	930.8	17.1	211.0	54.4	
	Pilares	916.2	12.9	155.0	71.1	
	Lajes	1456.6	21.1	211.3	68.9	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	

Pavimento	Elemento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m³)	Área de forma (m²)	Consumo de aço (kg/m³)	Peso treliças (kg)
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	3303.6	51.1	577.3	64.6	0.0
Pavimento tipo 12	Vigas	984.2	17.1	211.0	57.5	
	Pilares	912.1	12.9	155.0	70.8	
	Lajes	1456.3	21.1	211.3	68.9	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	3352.6	51.1	577.3	65.6	0.0
Pavimento tipo 11	Vigas	1039.8	17.1	211.0	60.7	
	Pilares	922.8	12.9	155.0	71.6	
	Lajes	1456.4	21.1	211.3	68.9	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	3419.0	51.1	577.3	66.9	0.0
Pavimento tipo 10	Vigas	1104.8	17.1	211.0	64.5	
	Pilares	945.3	12.9	155.0	73.4	
	Lajes	1456.4	21.1	211.3	68.9	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	3506.5	51.1	577.3	68.6	0.0
Pavimento tipo 9	Vigas	1161.0	17.1	211.0	67.8	
	Pilares	1003.1	12.9	155.0	77.9	
	Lajes	1456.4	21.1	211.3	68.9	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	3620.5	51.1	577.3	70.8	0.0
Pavimento tipo 8	Vigas	1244.4	17.1	211.0	72.7	
	Pilares	1074.4	12.9	155.0	83.4	
	Lajes	1456.7	21.1	211.3	68.9	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	3775.5	51.1	577.3	73.8	0.0
Pavimento tipo 7	Vigas	1341.7	17.1	211.0	78.4	
	Pilares	1212.2	12.9	155.0	94.1	
	Lajes	1456.3	21.1	211.3	68.9	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	



Pavimento	Elemento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m³)	Área de forma (m²)	Consumo de aço (kg/m³)	Peso treliças (kg)
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	4010.2	51.1	577.3	78.4	0.0
Pavimento tipo 6	Vigas	1416.1	17.1	211.0	82.7	
	Pilares	1396.8	12.9	155.0	108.4	
	Lajes	1456.5	21.1	211.3	68.9	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	4269.4	51.1	577.3	83.5	0.0
Pavimento tipo 5	Vigas	1508.0	17.1	211.0	88.1	
	Pilares	1672.4	12.9	155.0	129.8	
	Lajes	1456.6	21.1	211.3	68.9	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	4637.0	51.1	577.3	90.7	0.0
Pavimento tipo 4	Vigas	1563.2	17.1	211.0	91.3	
	Pilares	1996.8	12.9	155.0	155.0	
	Lajes	1456.4	21.1	211.3	68.9	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	5016.3	51.1	577.3	98.1	0.0
Pavimento tipo 3	Vigas	1620.0	17.1	211.0	94.6	
	Pilares	2476.8	12.9	155.0	192.3	
	Lajes	1456.7	21.1	211.3	68.9	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	5553.6	51.1	577.3	108.6	0.0
Pavimento tipo 2	Vigas	1667.5	17.1	211.0	97.4	
	Pilares	3109.6	12.9	155.0	241.4	
	Lajes	1456.3	21.1	211.3	68.9	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	6233.4	51.1	577.3	121.9	0.0
Pavimento Tipo 1	Vigas	1575.6	17.1	211.0	92.0	
	Pilares	4341.2	14.1	169.1	308.9	
	Lajes	1410.2	21.6	211.3	65.4	

Pavimento	Elemento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m³)	Área de forma (m²)	Consumo de aço (kg/m³)	Peso treliças (kg)
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	7327.0	52.7	591.3	138.9	0.0
Pavimento Terreo	Vigas	1022.2	17.1	211.0	59.7	
	Pilares	2296.4	4.7	54.1	493.5	
	Lajes	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	5872.4	92.6	167.4	63.4	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	9190.9	114.3	432.5	80.4	0.0

Aço	Diâmetro	Peso + 10 % (kg)							
		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Reservatórios	Muros	Total
CA50	6.3	899.1	1080.2	5776.3		186.9			7942.5
CA50	8.0	3068.0	756.2	6594.5		428.4			10847.0
CA50	10.0	6504.1	10818.5	4577.5					21900.1
CA50	12.5	3685.6	7197.8	1394.5		665.9			12943.8
CA50	16.0	1622.7	1802.4						3425.0
CA50	20.0	1153.9	618.5			3453.6			5226.0
CA50	22.2	711.7							711.7
CA50	25.0		147.8						147.8
CA60	5.0	2495.2	4282.3	3697.9		1137.6			11612.9

		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Reservatórios	Muro	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	17645.0	22421.3	18342.8		4734.8			63143.9
	CA60	2495.2	4282.3	3697.9		1137.6			11612.9
	Total	20140.2	26703.5	22040.7		5872.4			74756.8
Volume concreto (m³)	C-20	275.5	208.2	320.6					804.3
	C-30					92.6			92.6
	Total	275.5	208.2	320.6		92.6			896.8
Área de forma (m²)		3407.8	2504.2	3192.8		167.4			9272.2
Consumo de aço (kgf/m³)		73.1	128.3	68.7		63.4			83.4

### Resumo de Materiais (Edifício Recife-PE)

Pavimento	Elemento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m³)	Área de forma (m²)	Consumo de aço (kg/m³)	Peso treliças (kg)
Cobertura Casa de Maquinas	Vigas	72.5	0.9	12.3	81.6	
	Pilares	303.8	5.3	59.8	57.5	
	Lajes	192.3	2.1	17.6	91.3	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	568.5	8.3	89.7	68.7	0.0
Cobertura / Platibanda	Vigas	183.6	4.0	55.7	45.6	
	Pilares	241.6	3.9	51.3	62.6	
	Lajes	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	425.1	7.9	107.1	53.9	0.0
Pavimento tipo 15	Vigas	742.6	13.7	175.3	54.1	
	Pilares	889.3	12.9	155.0	69.0	
	Lajes	1854.9	22.3	217.1	83.3	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	3486.7	48.9	547.3	71.3	0.0
Pavimento tipo 14	Vigas	906.9	17.1	211.0	53.0	
	Pilares	877.8	12.9	155.0	68.1	
	Lajes	1775.4	21.1	211.3	84.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	3560.1	51.1	577.3	69.6	0.0
Pavimento tipo 13	Vigas	948.3	17.1	211.0	55.4	
	Pilares	873.8	12.9	155.0	67.8	
	Lajes	1775.8	21.1	211.3	84.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	3597.9	51.1	577.3	70.4	0.0
Pavimento tipo 12	Vigas	974.1	17.1	211.0	56.9	

Pavimento	Elemento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m³)	Área de forma (m²)	Consumo de aço (kg/m³)	Peso treliças (kg)
	Pilares	875.7	12.9	155.0	68.0	
	Lajes	1775.5	21.1	211.3	84.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	3625.3	51.1	577.3	70.9	0.0
Pavimento tipo 11	Vigas	1059.3	17.1	211.0	61.9	
	Pilares	895.8	12.9	155.0	69.5	
	Lajes	1775.4	21.1	211.3	84.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	3730.5	51.1	577.3	73.0	0.0
Pavimento tipo 10	Vigas	1127.3	17.1	211.0	65.8	
	Pilares	913.0	12.9	155.0	70.9	
	Lajes	1775.6	21.1	211.3	84.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	3815.9	51.1	577.3	74.6	0.0
Pavimento tipo 9	Vigas	1210.8	17.1	211.0	70.7	
	Pilares	931.2	12.9	155.0	72.3	
	Lajes	1775.4	21.1	211.3	84.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	3917.5	51.1	577.3	76.6	0.0
Pavimento tipo 8	Vigas	1296.0	17.1	211.0	75.7	
	Pilares	954.4	12.9	155.0	74.1	
	Lajes	1775.9	21.1	211.3	84.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	4026.3	51.1	577.3	78.7	0.0
Pavimento tipo 7	Vigas	1386.0	17.1	211.0	80.9	
	Pilares	1009.9	12.9	155.0	78.4	
	Lajes	1775.5	21.1	211.3	84.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	4171.4	51.1	577.3	81.6	0.0
Pavimento tipo 6	Vigas	1473.7	17.1	211.0	86.1	

Pavimento	Elemento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m³)	Área de forma (m²)	Consumo de aço (kg/m³)	Peso treliças (kg)
	Pilares	1107.1	12.9	155.0	86.0	
	Lajes	1775.5	21.1	211.3	84.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	4356.4	51.1	577.3	85.2	0.0
Pavimento tipo 5	Vigas	1513.6	17.1	211.0	88.4	
	Pilares	1192.8	12.9	155.0	92.6	
	Lajes	1775.9	21.1	211.3	84.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	4482.3	51.1	577.3	87.7	0.0
Pavimento tipo 4	Vigas	1620.8	17.1	211.0	94.7	
	Pilares	1301.9	12.9	155.0	101.1	
	Lajes	1775.4	21.1	211.3	84.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	4698.1	51.1	577.3	91.9	0.0
Pavimento tipo 3	Vigas	1684.9	17.1	211.0	98.4	
	Pilares	1422.0	12.9	155.0	110.4	
	Lajes	1775.9	21.1	211.3	84.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	4882.7	51.1	577.3	95.5	0.0
Pavimento tipo 2	Vigas	1681.1	17.1	211.0	98.2	
	Pilares	1830.3	12.9	155.0	142.1	
	Lajes	1775.5	21.1	211.3	84.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	5286.9	51.1	577.3	103.4	0.0
Pavimento Tipo 1	Vigas	1593.3	17.1	211.0	93.1	
	Pilares	2484.5	14.1	169.1	176.8	
	Lajes	1699.2	21.6	211.3	78.8	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	5776.9	52.7	591.3	109.5	0.0
Pavimento Terreo	Vigas	1072.3	17.1	211.0	62.6	

Pavimento	Elemento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m³)	Área de forma (m²)	Consumo de aço (kg/m³)	Peso treliças (kg)
	Pilares	1603.1	4.9	57.1	325.9	
	Lajes	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	5902.9	96.6	174.7	61.1	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	8578.3	118.6	442.8	72.3	0.0

Aço	Diâmetro	Peso + 10 % (kg)							
		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Reservatórios	Muros	Total
CA50	6.3	858.7	276.1	3275.9		272.9			4683.6
CA50	8.0	2418.7	315.8	8514.6		312.4			11561.5
CA50	10.0	5026.5	9856.4	8368.8					23251.7
CA50	12.5	4956.9	4072.5	3601.5		164.5			12795.4
CA50	16.0	2107.7	653.7			1179.0			3940.4
CA50	20.0	1319.2	185.6			1213.0			2717.8
CA50	22.2	1078.9							1078.9
CA50	25.0					1647.5			1647.5
CA60	5.0	2780.4	4347.6	3068.4		1113.6			11310.1

		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Reservatórios	Muro	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	17766.5	15360.1	23760.7		4789.3			61676.7
	CA60	2780.4	4347.6	3068.4		1113.6			11310.1
	Total	20547.0	19707.7	26829.2		5902.9			72986.8
Volume concreto (m³)	C-30	275.5	208.4	320.6		96.6			901.1
Área de forma (m²)		3407.8	2507.3	3192.8		174.7			9282.6
Consumo de aço (kgf/m³)		74.6	94.5	83.7		61.1			81.0

⬇ Salvar / exportar relatório (showStudyInCS3.php?cfa=396676aa44c3ce650ce20bf903bd759ea4256109&download=1)

Referências ABNT (http://referencia.clevert.com.br/?sr=cs-s) Visualizar ▼

tcc 2 entrega definitiva Formatado 09.05 .pdf (09/05/2018):

Documentos candidatos

principo.org/memoria... [1,66%]

consulta.licitacoes.... [0,62%]

cegef.ufg.br/up/124/... [0,27%]

trabalhosgratuitos.c... [0,22%]

trabalhosgratuitos.c... [0,18%]

femargs.com.br/uploa... [0,15%]

passeidireto.com/arq... [0,03%]

Arquivo de entrada: tcc 2 entrega definitiva Formatado 09.05 .pdf (8264 termos)

Arquivo encontrado		Total de termos	Termos comuns	Similaridade (%)
principo.org/memoria... (http://principo.org/memorial-projeto-estrutural.html)	Visualizar	2443	175	1,66
consulta.licitacoes.... (http://www.consulta.licitacoes.ufu.br/licitacao2011/adm/Licitacoes/anexo631-00611-9.pdf)	Visualizar	131	52	0,62
cegef.ufg.br/up/124/... (https://cegef.ufg.br/up/124/o/UFG_-_CANTINA_REITORIA_-_QUANTITATIVO.pdf)	Visualizar	67	23	0,27
trabalhosgratuitos.c... (https://www.trabalhosgratuitos.com/Sociais-Aplicadas/Geografia/Trabalho-apresentado-como-requisito-parcial-à-aprovação-1189910.html)	Visualizar	837	20	0,22
trabalhosgratuitos.c... (https://www.trabalhosgratuitos.com/Sociais-Aplicadas/Pedagogia/Pré-projeto-de-pesquisa-apresentado-como-requisito-parcial-1071836.html)	Visualizar	751	17	0,18
femargs.com.br/uploa... (http://www.femargs.com.br/uploads/artigos/criterios-para-a-apresentacao-do-artigo-cientifico/criterios-para-a-apresentacao-do-artigo-cientifico.doc)	Visualizar	326	13	0,15
passeidireto.com/arq... (https://www.passeidireto.com/arquivo/37556250/planilha-orcamento-de-obra-tcc-2017/9)	Visualizar	680	3	0,03
linguee.com.br/portu... (https://www.linguee.com.br/portugues-ingles/traducao/como-requisito-parcial-para-a-obtenção-do-título.html)	-	-	-	-
presidentekennedy.we... (http://presidentekennedy.web1321.kinghost.net/arquivos/transparencia/_20180305125159_arq_AnexoXXIV.pdf)	-	-	-	-