

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
RODRIGO MORATELLI

**COMPARAÇÃO DE RESULTADOS OBTIDOS PELOS SOFTWARES EBERICK
E CYPECAD PARA DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL EM CONCRETO
ARMADO**

CASCADEL - PR

2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
RODRIGO MORATELLI

**COMPARAÇÃO DE RESULTADOS OBTIDOS PELOS SOFTWARES *EBERICK* E
CYPECAD PARA DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL EM CONCRETO
ARMADO**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Professor Orientador: Engenheiro Civil
Esp. Ricardo Paganin

CASCADEL - PR
2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

RODRIGO MORATELLI

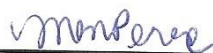
**COMPARAÇÃO DE RESULTADOS OBTIDOS PELOS SOFTWARES EBERICK E
CYPECAD PARA DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL EM CONCRETO
ARMADO**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professor (a) **ENGENHEIRO CIVIL ESP. RICARDO PAGANIN.**

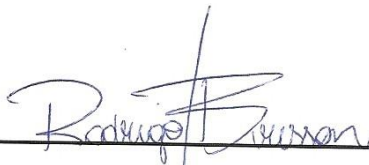
BANCA EXAMINADORA



Orientador Prof^a **Especialista Ricardo Paganin**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil



Professora **Mestre Maria Vânia Nogueira do Nascimento Peres**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil



Professor **Especialista Rodrigo Techio Bressan**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil

Cascavel, 23 de Novembro de 2017.

RESUMO

Nos dias atuais o uso de *softwares* para a elaboração de projetos estruturais é indispensável para muitas situações. Se utilizado corretamente o *software* de dimensionamento estrutural pode proporcionar ao usuário economia, rapidez e a possibilidade de analisar com mais facilidade a estrutura. Atualmente existem vários *softwares* que podem ser utilizados por profissionais de engenharia para realizar análises e cálculos estruturais, dentre eles pode-se citar o *Eberick* e *Cypecad*. Este trabalho teve como objetivo realizar uma comparação dos resultados obtidos pelos *softwares* *Eberick* e *Cypecad* para o dimensionamento estrutural de um edifício residencial, verificando assim as possíveis diferenças que podem ocorrer entre os quantitativos de aço, concreto e fôrmas. O trabalho foi desenvolvido através da realização do dimensionamento estrutural pelos dois *softwares*, respeitando as diferenças operacionais de cada *softwares*, porém com as mesmas considerações quanto aos carregamentos da estrutura. Através do dimensionamento e do levantamento dos quantitativos foram realizadas comparações gráficas entre o consumo de concreto, aço e fôrmas. Observou-se que o processo de dimensionamento utilizado por ambos os softwares é semelhante, divergindo em alguns pontos do dimensionamento de vigas e pilares e também nos arranjos de armadura. Observou-se também em relação ao quantitativo de materiais que os dois *softwares* apresentam resultados muito próximos, sendo o *Eberick* o *software* que apresenta o consumo mais elevado. De uma forma geral ele consome 3,47% a mais em concreto, 0,66% em aço e 16,84% nas formas.

Palavras-chave: Software, Dimensionamento, Resumo de materiais.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Concretagem do piso do Aeroporto em Boligna.....	14
Figura 02: Equações resistência à tração	16
Figura 03: Diagrama tensão-deformação para aços de armadura passiva.....	17
Figura 04: Disposição dos pilares em relação aos eixos	19
Figura 05: Estrutura submetida à carga vertical e ação do vento (v) e os correspondentes efeitos de segunda ordem	22
Figura 06: Planta baixa do edifício modelo.....	25
Figura 07: Lançamento completo da estrutura no <i>Eberick</i>	27
Figura 08: Janela de configuração para definição das cargas de parede	28
Figura 09: Representação das cargas de parede no <i>Eberick</i>	28
Figura 10: Representação do pavimento intermediário	29
Figura 11: Configuração das lajes dos patamares	30
Figura 12: Janela para configuração da escada	30
Figura 13: Pórtico 3D	31
Figura 14: Janela para configurações de materiais e durabilidade	32
Figura 15: Janela para configuração do dimensionamento guia de vigas	33
Figura 16: Escolha das bitolas para a armadura	34
Figura 17: Detalhamento da viga V10.....	35
Figura 18: Detalhamento do pilar P1 (térreo).....	35
Figura 19: Detalhamento da laje L9 e L10.	35
Figura 20: Resumo geral obtido	36
Figura 21: Configuração para início do projeto.....	37
Figura 22: Lançamento da estrutura no <i>Cypecad</i>	37
Figura 23: Configuração das cargas	38
Figura 24: Configuração do núcleo da escada.....	38
Figura 25: Configuração do tramo da escada	39
Figura 26: Pórtico 3D	40
Figura 27: Configurações dos dados gerais.....	41
Figura 28: Configurações de vento.....	41
Figura 29: Edição dos pilares	42
Figura 30: Relatórios fornecidos pelo <i>Cypecad</i>	43
Figura 31: Resumo de material total da obra.....	43

Figura 32: Consumo de concreto (m ³).....	44
Figura 33: Consumo de aço (Kg).	45
Figura 34: Consumo de forma (m ²).....	46

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	10
1.1 INTRODUÇÃO	10
1.2 OBJETIVOS	11
1.2.1 Objetivo geral	11
1.2.2 Objetivos específicos	11
1.3 JUSTIFICATIVA	11
1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	12
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	12
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	12
CAPÍTULO 2	13
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1.1 Concreto	13
2.1.1.1 Concreto armado.....	14
2.1.1.2 Massa específica	15
2.1.1.3 Resistência a compressão	15
2.1.1.4 Resistência a tração	15
2.1.2 Propriedades do aço.....	16
2.1.2.1 Categorias do aço.....	16
2.1.2.3 Massa específica	16
2.1.2.4 Módulo de elasticidade	16
2.1.2.5 Diagrama tensão-deformação, resistência ao escoamento e à tração	17
2.1.3 Tipos de lajes usuais em edifícios	17
2.1.4 Análise estrutural	18
2.1.5 Vigas.....	18
2.1.5.1 Altura e largura das vigas	18
2.1.6 Pilar.....	18
2.1.7 Estado limite último (ELU)	19
2.1.8 Estado limite de serviço (ELS).....	20
2.1.9 Métodos de cálculo.....	20
2.1.9.1 Método das tensões admissíveis	20
2.1.9.2 Métodos dos estados limites	21
2.1.10 Ações dos ventos	21

CAPÍTULO 3	23
3.1 METODOLOGIA	23
3.1.1 Tipo de estudo	24
3.1.2 Edifício modelo	24
3.1.3 Instrumentos e procedimentos para coleta de dados	26
3.1.4 Análise dos dados	26
CAPÍTULO 4	27
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
4.1.1 Dimensionamento do projeto no Eberick	27
4.1.1.1 Lançamento da estrutura.....	27
4.1.1.2 Lançamento das cargas lineares	28
4.1.1.3 Lançamento das escadas no Eberick	29
4.1.1.5 Configurações para análises da estrutura	31
4.1.1.5.1 Pórtico Espacial	32
4.1.1.5.2 Pavimentos Isolados	32
4.1.1.6 Materiais e durabilidade	32
4.1.1.7 Configurações para o dimensionamento	33
4.1.1.8 Escolha das armaduras	34
4.1.1.9 Detalhamento das armaduras.....	34
4.1.1.10 Resultados obtidos.....	36
4.1.2 Dimensionamento do projeto no Cypecad.....	36
4.1.2.1 Lançamento da estrutura.....	36
4.1.2.2 Lançamento das cargas lineares	37
4.1.2.3 Lançamento das escadas.....	38
4.1.2.4 Visualização do pórtico 3D no Cypecad	39
4.1.2.5 Configurações para análises da estrutura	40
4.1.2.6 Configurações dos dados gerais da obra.....	40
4.1.2.8 Resultados obtidos.....	42
4.1.3.1 Comparativo do uso de concreto entre os softwares	44
4.1.3.2 Comparativo do uso de aço entre os softwares	45
4.1.3.3 Comparativo do uso de formas entre os softwares	45
CAPÍTULO 5	47
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
CAPITULO 6	48

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	48
REFERÊNCIAS	49
APÊNDICE A	51
APÊNDICE B	52
APÊNDICE C	53

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Uma pesquisa realizada em 2013 pelo Sindicato da Indústria da Construção (Sinduscon - MG) informou que o campo da construção civil cresceu 74,25% em 20 anos. Para acompanhar tal crescimento é preciso inovar com novas tecnologias que surgem a todo o momento e auxiliam os profissionais da área que buscam mais rapidez, praticidade, economia e exatidão nos processos construtivos.

De acordo com Vasconcelos (2003), um exemplo de área que sofreu um grande avanço nos últimos anos foi a engenharia de estruturas. Com o surgimento do computador, processos de cálculos que normalmente levavam dias para serem concluídos, passaram a ser resolvidos em algumas horas. Mas o uso do computador não parou por aí, análises estruturais que só eram possíveis serem observadas com o auxílio de modelos físicos que simulavam a estrutura verdadeira, começaram a ser resolvidas por meio do computador com mais rapidez do que a própria confecção do modelo.

Segundo Kimura (2007), é errôneo ignorar benefícios proporcionados pela utilização da tecnologia oferecida pelos computadores, no projeto de edifícios é certamente um enorme erro não aproveitar esta tecnologia. O uso de programas de computadores ajuda a aprimorar a engenharia de estruturas, mas não substituí-la por processos automáticos. Porém, há casos em que alguns conceitos de engenharia são praticamente ignorados e o programa de computador acaba substituindo o papel do engenheiro, que por sua vez deixa de analisar os dados fornecidos pelo *software*.

Com base na disponibilidade de diferentes ferramentas computacionais de análise estrutural este trabalho teve como objetivo realizar a comparação entre o dimensionamento estrutural realizado por dois softwares: Eberick e o Cypecad. Com esta análise pretendeu-se encontrar as possíveis diferenças no dimensionamento estrutural, observando as diferenças nas combinações, modelos de cálculo, arranjo de armaduras e nos elementos estruturais.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Comparar os resultados obtidos pelos softwares Eberick e Cypecad para o dimensionamento estrutural em concreto armado.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar o dimensionamento estrutural com o software Eberick;
- Realizar o dimensionamento estrutural com o software Cypecad;
- Obter os resultados de resumo de aço e concreto de ambos os projetos.

1.3 JUSTIFICATIVA

Vasconcelos (2003), diz que o engenheiro deve procurar se adaptar às mudanças que os computadores e *softwares* lhe trouxeram ou não conseguira ter sucesso em sua profissão e certamente estará destinado a fechar as portas de seu negócio.

Conforme cita Kimura (2007), nos dias atuais é essencial que o engenheiro que procura atuar na área de engenharia de estruturas saiba como utilizar de forma responsável, ao menos um programa de dimensionamento de estruturas, sabendo distinguir seus benefícios e limitações. Ao observar este cenário, o autor destaca ainda a evidência do aumento da necessidade de os alunos das escolas de engenharia civil aprenderem a manusear adequadamente um programa destinado a elaboração de projetos estruturais.

Há uma grande quantidade de programas computacionais no mercado e é essencial saber fazer a melhor escolha que atenda melhor as necessidades do projetista. Transparência e confiabilidade são fundamentais nesta etapa. Os resultados intermediários adquiridos antes do dimensionamento final devem ser mostrados ao projetista para que ele possa analisá-los (KIMURA, 2007).

Levando em consideração a necessidade justificada do conhecimento profissional de softwares que auxiliem o engenheiro em um dimensionamento estrutural este trabalho tem

importância em observar se há possíveis diferenças no dimensionamento realizado com dois softwares diferentes, a fim de demonstrar as especificidades de cada software.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Quais são as possíveis diferenças que os programas *Eberick* e *Cypecad* apresentam no dimensionamento estrutural?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

O *Eberick*, por ser um programa mais conservador, apresenta um índice de consumo de materiais maior que o *Cypecad*, essa divergência entre os dois causa efeitos no orçamento do projeto.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi limitada a comparação entre os *softwares* *Eberick* e o *Cypecad*, que são *softwares* destinados ao dimensionamento estrutural em concreto armado *in loco* ou pré-moldado. Nesta pesquisa o projeto escolhido foi dimensionado para concreto armado *in loco*.

A estrutura dimensionada foi a de um edifício residencial de quatro pavimentos, ela está localizada na cidade de Cafelândia – PR, para realizar o dimensionamento foram utilizados os parâmetros apresentados por cada *software*.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste Capítulo são abordados os conceitos básicos que constituem um projeto estrutural como elementos estruturais, materiais utilizados e análises estruturais.

2.1.1 Concreto

Segundo o Ibracon (2009), o concreto é o material construtivo mais usado pelo homem, a Figura 1 mostra uma das várias utilizações do concreto no ramo da construção civil. Sendo ele composto por materiais aglomerantes e agregados de diferentes naturezas. O aglomerante é o cimento junto com a água, e o agregado pode ser considerado qualquer material granular, como, areia, pedregulhos, britas, resíduos de demolição e etc. Quando o agregado possui dimensões maiores que 4,75 mm ele é chamado de agregado graúdo, caso seja menor, denomina-se agregado miúdo. Outra importante adição ao concreto são os aditivos, que são adicionados ao concreto antes do momento da pega, sua função é alterar algumas propriedades do concreto, adequando-as as mais variadas necessidades construtivas.

Apesar de ser o material de maior uso na atualidade, o concreto possui resistência menor que a do aço comum, mas possui excelente resistência a água. A capacidade que o concreto tem de resistir à deterioração devido à ação da água, diferente do aço e da madeira, o torna perfeito para estruturas com a função de controlar, estocar e transportar água. Um fato conhecido é o caso dos romanos, que utilizaram o concreto para construir aquedutos e barragens para transportar e estocar água (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Mehta e Monteiro (1994) dizem que, a principal razão do concreto ser tão utilizado é por causa da facilidade que ele tem de ser manipulado, executando elementos estruturais nas mais variadas formas e tamanhos, além de ser um material barato em relação aos outros e disponível facilmente no canteiro de obras.

De acordo com Almeida (2002), para que um concreto apresente características como, resistência, durabilidade, economia e tenha um bom aspecto deve-se estudar a fundo as propriedades dos materiais que compõe o concreto, propriedades dos fatores que podem

altera-las, a dosagem correta e o cuidado com a execução da mesma, o concreto deve ser transportado e lançado nas formas corretamente, ser cuidadoso com cura evitando a evaporação prematura da água do elemento.

Figura 01: Concretagem do piso do Aeroporto em Boligna



Fonte: Ibracon (2009)

2.1.1.1 Concreto armado

Segundo Botelho (2006), o concreto armado foi utilizado pela primeira vez na Europa, com o objetivo de resolver um grave problema encontrado na época, que era a baixa capacidade do concreto de suportar esforços de tração. Atualmente ele é o material mais utilizado no mundo, utilizado para a construção de grandes obras da construção civil.

O concreto armado proporciona várias vantagens como material de construção, os materiais que o constituem tem baixo valor financeiro e são abundantes em grande parte do mundo. Além da economia o concreto apresenta boa modelagem permitindo a confecção de peças com várias formas e tamanhos. Também apresenta grande resistência ao fogo, estabilidade sob ações do mal tempo e apresenta facilidade e economia na construção de elementos repetitivos (BOTELHO, 2006).

2.1.1.2 Massa específica

Segundo o item 8.2.2 da NBR 6118 (2014) que trata do projeto de estruturas em concreto, existem concretos que depois de secos em estufa, apresentam massa específica (ρ_c) compreendida entre 2000 kg/m³ e 2800 kg/m³. Caso o valor da massa específica seja desconhecido deve-se utilizar 2400 kg/m³ para concreto comum e para concreto armado 2500 kg/m³. Quando o valor da massa específica do concreto comum for conhecido, deve-se considerar para concreto armado este valor acrescido de 100 kg/m³ a 150 kg/m³ equivalente a armadura.

2.1.1.3 Resistência a compressão

De acordo com o item 8.2.4 da NBR 6118 (2014) os corpos de provas cilíndricos para os ensaios de resistência a compressão devem ser moldados de acordo com a NBR 5738/2015 e o ensaio deve ser realizado conforme a NBR 5739/20017.

O mesmo item ainda enfatiza que quando a resistência a compressão não for indicada, a resistência equivale aquela com 28 dias de cura, assim como a melhora da resistência à compressão do concreto com o passar dos dias deve ser acompanhada com a execução dos devidos ensaios. Se os ensaios não forem realizados recomenda-se a utilização dos valores de resistência do item 12.3.3 da NBR 86118/2014.

2.1.1.4 Resistência a tração

De acordo com a NBR 6118 (2014), pode-se utilizar o valor médio ou característico da resistência à tração, desde que falem ensaios para determinar tais valores. A mesma norma indica que para determinar os valores médios pode-se utilizar as equações da Figura 2, sendo os valores expresso em Mega Pascal (MPa).

Figura 02: Equações resistência à tração

$$f_{ct,m} = 0,3 f_{ck}^{2/3}$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7 f_{ct,m}$$

$$f_{ctk,sup} = 1,3 f_{ct,m}$$

Fonte: NBR 6118 (2014)

2.1.2 Propriedades do aço

2.1.2.1 Categorias do aço

De acordo com a NBR 6118 (2014) deve-se utilizar o aço classificado e com as dimensões diametrais definidos pela NBR 7480/2007, sendo os valores característicos de resistência de escoamento de CA-25, CA-50 e CA-60.

2.1.2.3 Massa específica

Segundo a NBR 6118 (2014) para armaduras passivas que são aquelas que não são usadas para produzir forças de protensão, a massa específica pode ser fixada com um valor de 7850 kg/m³.

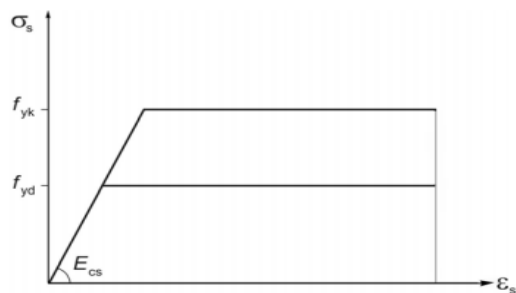
2.1.2.4 Módulo de elasticidade

Segundo a NBR 6118 (2014), quando não há ensaios para determinar o real valor do módulo de elasticidade ou o fabricante não o fornece, o valor pode ser admitido igual a 210 GPa.

2.1.2.5 Diagrama tensão-deformação, resistência ao escoamento e à tração

No diagrama tensão-deformação, os valores da resistência ao escoamento devem ser obtidos pelos ensaios de acordo com a NBR ISO 6892/2013. Para o cálculo no estado limite último e de serviço pode-se utilizar o diagrama simplificado mostrado na Figura 3.

Figura 03: Diagrama tensão-deformação para aços de armadura passiva



Fonte: NBR 6118 (2014)

2.1.3 Tipos de lajes usuais em edifícios

As lajes são elementos estruturais responsáveis por receber os esforços gerados pela utilização das edificações e transmiti-los para as vigas que conduzem aos pilares e a partir deles para a fundação. Este é um modelo estrutural básico de formação de pórticos das edificações (ARAUJO, 2010).

Segundo Carvalho e Figueiredo (2001), as lajes de uma edificação que também são superfícies, podem ser projetadas como elementos pré-moldados ou moldadas no local. Devido ao seu processo construtivo as lajes pré-moldadas são caracterizadas por apresentar vigotas em uma só direção, habitualmente na direção do menor vão, simplesmente apoiadas nas extremidades. Assim, as vigas onde esse tipo de laje se apoia recebem maior parte da carga, podendo caracterizá-la como armada em uma só direção. Tal característica é vista como uma desvantagem, pois quase toda a carga gerada por essa laje é transmitida para a viga onde as vigotas se apoiam. Já as lajes maciças podem distribuir suas reações nas vigas de contorno, isso gera um melhor aproveitamento das vigas, pois os esforços podem ter as mesmas grandezas.

Conforme Araujo (2010), para vencer grandes vãos com mais de 8 metros é usual utilizar lajes nervuradas, que recebem armaduras longitudinais para tração. Dessa forma é possível eliminar parte do concreto que fica posicionado na área tracionada, diminuindo o

peso próprio do elemento, caso seja laje maciça. Se adotada esta técnica, as nervuras ficariam aparentes a não ser que a face interior entre elas seja preenchida por algum material inerte de baixo peso específico, tornando-a uma superfície plana.

2.1.4 Análise estrutural

Segundo a NBR 6118/2014 a análise estrutural tem o propósito de estabelecer os efeitos gerados pelas ações em uma estrutura, com o objetivo de realizar verificações dos estados-limites últimos e de serviço. A análise estrutural permite demonstrar as distribuições dos esforços internos, tensões, deformações e deslocamentos, em uma fração ou em toda a estrutura.

A análise estrutural deve ser realizada com base em um modelo estrutural adequado ao intuito da análise. Em um projeto às vezes é necessário realizar mais de um modelo para conseguir fazer todas as verificações presentes na NBR 6118/2014 (BASTOS, 2015).

2.1.5 Vigas

De acordo com a NBR 6118 (2014) vigas são elementos estruturais lineares com a função de receber as cargas provenientes das lajes e transmiti-las para os pilares. Elemento linear é aquele que apresenta seu comprimento três vezes maior que a sua seção.

2.1.5.1 Altura e largura das vigas

De acordo com Bastos (2015), os engenheiros e arquitetos preferem que as vigas sejam projetadas de forma que suas dimensões fiquem embutidas nas paredes de vedação, para que não possam ser reparadas visualmente.

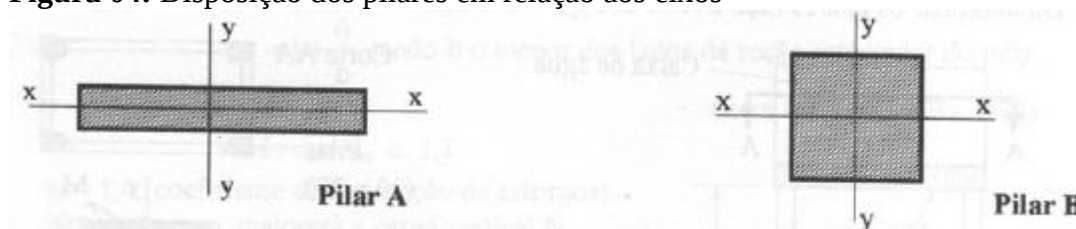
A altura das vigas é resultado de vários fatores, sendo os mais importantes, o tamanho do vão, o carregamento sobre a viga e a resistência do concreto. A altura deve ser capaz de oferecer boa resistência mecânica e baixa deformação (BASTOS, 2015).

2.1.6 Pilar

Segundo Carvalho e Pinheiro (2013), pilar é um elemento estrutural que na maioria dos casos é executado na vertical, e tem a função de receber cargas de compressão derivadas geralmente das vigas e conduzi-las até as fundações. Usualmente os pilares possuem formas prismáticas ou cilíndricas, sendo o comprimento bem maior que as outras dimensões, assim estes são tratados como elementos lineares e na maioria das vezes, isolados.

Botelho e Marchetti (2002), dizem que, para dimensionar um pilar é preciso definir sua seção de concreto, armadura longitudinal e armadura transversal. A forma como os pilares são modulados interfere drasticamente na sua resistência e na possibilidade de flambar. Formatos de pilares em planta que geram momentos de inércia reduzidos aumentaram a possibilidade de flambarem no eixo em que a inércia for menor, ou seja, dado os dois pilares (Figura 4) cuja taxa de armadura e de concreto são iguais, o pilar A resistirá a mais esforços que o pilar B.

Figura 04: Disposição dos pilares em relação aos eixos



Fonte: Botelho e Marchetti (2002)

O pilar A apresenta condição em relação ao eixo “yy”, mas em relação ao eixo “xx” apresenta péssima condição. Já o pilar B apresenta uma condição média para os dois eixos (“yy” e “xx”), o que faz com que ele resista mais aos esforços em relação ao pilar A (BOTELHO e MARCHETTI, 2002).

Devido à instabilidade gerada pelo efeito de flambagem, surgem os esforços de flexão que são considerados efeitos de segunda ordem. Esses efeitos são aqueles que se somam aos alcançados em uma análise de primeira ordem, onde é feita uma análise considerando que a estrutura não esteja em equilíbrio como nas de primeira ordem, mas sim com uma configuração deformada. Tais deformações podem ser desconsideradas quando não representarem um aumento de 10% nas reações e nas solicitações mais significativas da estrutura (CARVALHO e PINHEIRO, 2013).

2.1.7 Estado limite último (ELU)

O estado limite último (ELU) é aquele que é caracterizado pelo colapso ou interrupção do uso total ou parcial da estrutura. Tal estado é indesejado por todos os engenheiros, assim, vários coeficientes de segurança são adotados ao longo da realização do projeto estrutural para impedir que esta situação ocorra. Felizmente é bastante incomum nos depararmos com uma estrutura que atingiu o estado de limite último (KIMURA, 2007).

2.1.8 Estado limite de serviço (ELS)

Segundo Carvalho e Figueiredo (2001), o estado limite serviço é referente à durabilidade das estruturas, à aparência, ao conforto do usuário e boa utilização da mesma. São condições que retratam o cotidiano de uma estrutura, ou seja, seu comportamento perante a utilização.

2.1.9 Métodos de cálculo

Segundo Carvalho e Figueiredo (2001), os métodos de cálculo para uma estrutura de concreto armado são classificados em dois grupos, métodos clássicos e métodos de cálculo da ruptura (estados-limites).

2.1.9.1 Método das tensões admissíveis

Nestes métodos, são determinadas as cargas e tensões máximas de utilização, supondo uma estrutura com comportamento elástico, então estas tensões são restringidas a uma fração da resistência dos materiais que serão utilizados para executar a estrutura (CARVALHO e FIGUEIREDO, 2001).

Ataíde e Corrêa (2006) descrevem este método como sendo aquele que se certifica a respeito da resistência do elemento que é dividida por um coeficiente de segurança interno, não seja ultrapassada pelas tensões máximas provocadas pelo carregamento. O uso deste coeficiente foi questionado, pois em algumas situações a tensão admissível se aproximava muito da tensão de ruptura.

2.1.9.2 Métodos dos estados limites

Carvalho e Figueiredo (2001) destacam que, nestes métodos as solicitações das cargas majoradas devem ser menores do que as solicitações últimas, o que garante a segurança da estrutura.

Segundo Ataíde e Corrêa (2006), o método dos estados limites possibilita um processo mais coerente para o dimensionamento, já que envolve todos os modos de ruína ou cenários onde a estrutura perderia a eficiência ao qual foi projetada, e a determinação do nível de segurança para cada estado limite. Também proporciona uma melhor compreensão dos requisitos que uma estrutura deve atender, e qual comportamento a estrutura deve possuir para atender os estados limites.

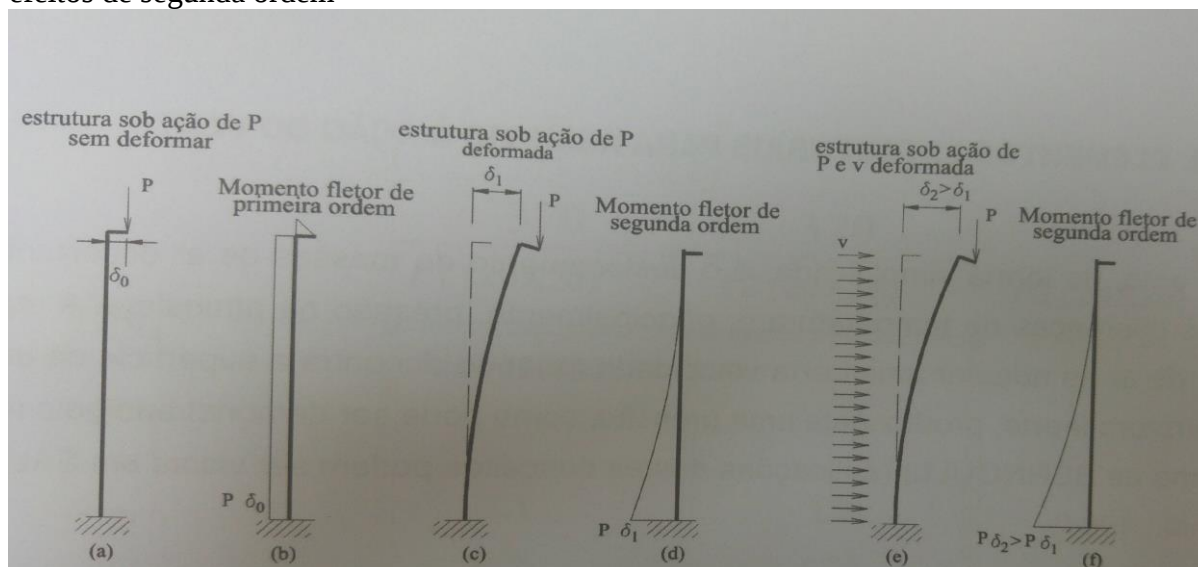
2.1.10 Ações dos ventos

Segundo Carvalho e Pinheiro (2013), as estruturas, até mesmo as mais simples, estarão sempre sujeitas a ações gravitacionais, e também além destas, ações laterais como as dos ventos. Mesmo que pequenas em edificações de maiores dimensões estes efeitos se tornam importantes podendo gerar situações de instabilidade para o edifício. Ainda que em algumas situações as estruturas tenham rigidez o bastante para desprezar os efeitos de segunda ordem, é preciso avaliar se as ações geradas pelos ventos são expressivas e necessitam ser consideradas nos cálculos.

A Figura 5 mostra o que acontece com uma estrutura, no caso uma haste reta, engastada na base, com o com topo livre e sujeita a uma carga “P” excêntrica. Se a deformação da haste não for analisada, o diagrama de momento fletor apresenta o mesmo valor para todos os trechos (Figura 5. b). Quando a deformação da estrutura é analisada (Figura 5. c) aparecem os momentos fletores de segunda ordem, que podem ser observados na Figura 5. d.

Quando a haste é submetida a forças laterais como a do vento, representada por um carregamento com intensidade “v” (Figura 5. e), tem como resultado os momentos fletores de segunda ordem como vistos na Figura 5. d (CARVALHO e PINHEIRO, 2013).

Figura 05: Estrutura submetida à carga vertical e ação do vento (v) e os correspondentes efeitos de segunda ordem



Fonte: Carvalho e Pinheiro (2013)

2.1.11 Características técnicas do *Cypecad*

De acordo com a empresa MULTIPLUS SOFTWARES TÉCNICOS (2010), o *Cypecad* é um *software* de simples utilização e grande produtividade. Uma de suas grandes características são seus recursos gráficos, que permite ao usuário trabalhar em seu ambiente CAD próprio, sem depender de outros programas para esta função. Ele ainda permite a interação com outros programas podendo exportar seus arquivos no formato DWG e DXF.

No *Cypecad* o cálculo da estrutura é realizado através de um pórtico espacial, considerando todos os elementos que formam a estrutura. Em cada nó o *software* permite uma folga de 6 graus, o que permite um certo deslocamento da estrutura.

2.1.12 Características técnicas do *Eberick*

Segundo a empresa AltoQi (2000), para realizar os processos de cálculo o *software* discretiza a estrutura através de um pórtico espacial formados por vigas e pilares. Nesta fase do processo os pilares e vigas são vistos como barras do pórtico, a partir daí são obtidos os esforços solicitantes para o dimensionamento dos elementos. Os painéis de laje são calculados de forma independente por meio de grelhas.

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Tipo de estudo

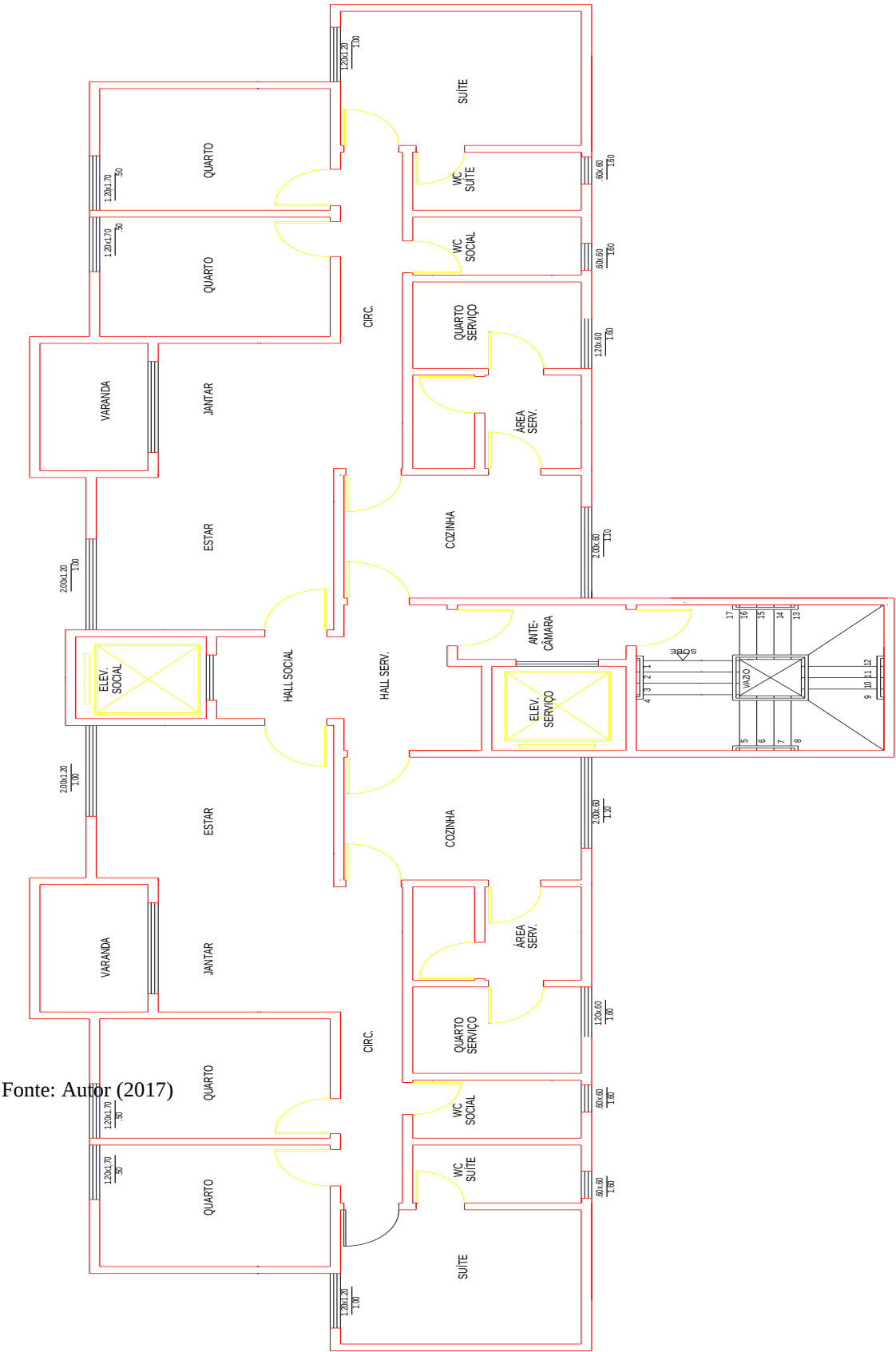
Trata-se de uma comparação do dimensionamento estrutural realizado pelos *softwares Eberick* e *Cypecad* de um edifício residencial. Os programas apresentam diferentes considerações sobre os elementos que compõem um dimensionamento, o que pode gerar resultados distintos.

A pesquisa realizada foi pelo método qualitativo e também um estudo de caso, em que serão levantados os dados por meio do dimensionamento do edifício modelo utilizando os dois *softwares* citados acima.

3.1.2 Edifício modelo

O edifício residencial utilizado como modelo deste projeto será constituído por quatro pavimentos, hipoteticamente todos os pavimentos serão iguais ao pavimento tipo. O pavimento tipo é caracterizado por dois apartamentos iguais, cada um deles tem um tamanho de 95,86 m² composto por sala, cozinha, banheiro social, suíte, área de serviço, sacada e dois quartos. O pavimento tipo ainda conta com um hall onde fica localizado o elevador social, elevador de serviço e escada. O edifício supostamente será implantado na cidade de Cafêlandia – PR. A Figura 6 mostra a planta baixa do edifício utilizado para o dimensionamento, para melhor representação encontra-se no Apêndice A.

Figura 06: Planta baixa do edifício modelo



3.1.3 Instrumentos e procedimentos para coleta de dados

A coleta de dados foi realizada pelo dimensionamento estrutural do edifício modelo, utilizando os *softwares Eberick e Cypecad*. O *Eberick* é um software para projetos estruturais em concreto armado moldado *in loco* e pré-moldado, onde ele engloba análise da estrutura, dimensionamento e detalhamento dos elementos de acordo com a NBR 6118/2014. O *Cypecad* é um *software* para projetos estruturais de origem espanhola com as mesmas finalidades do *Eberick*. Para realizar a coleta dos dados, foi modelada uma estrutura de um edifício que será idêntica aos dois *softwares*.

3.1.4 Análise dos dados

A partir do dimensionamento da estrutura do edifício modelo os resultados como resumo de materiais, cargas geradas pela estrutura, cargas geradas pelos ventos, arranjo e detalhamento das armaduras foram analisados e comparados buscando divergências nos resultados e análises. Para comparar os resultados foram utilizados gráficos desenvolvidos pelo *software Excel*.

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

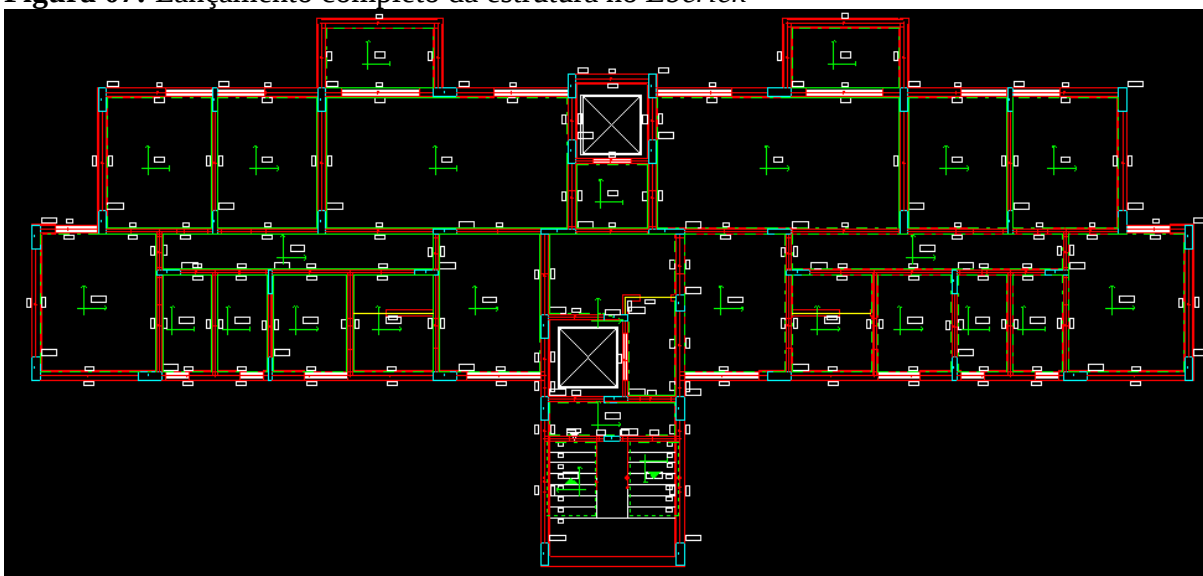
4.1.1 Dimensionamento do projeto no *Eberick*

4.1.1.1 Lançamento da estrutura

O *Eberick* é um programa de ambiente *Windows*, onde se pode lançar a estrutura de duas maneiras diferentes, por meio de coordenadas ou inserindo a planta digitalizada do projeto para seu ambiente CAD.

Para o desenvolvimento deste projeto a planta foi importada para seu ambiente CAD e em seguida foram feitas algumas modificações necessárias como, por exemplo, a conversão da escala para 1:50, para que pudesse ser feito o lançamento correto das estruturas. No Apêndice B é possível observar o lançamento das estruturas. Na Figura 7 pode-se observar o lançamento completo da estrutura.

Figura 07: Lançamento completo da estrutura no *Eberick*



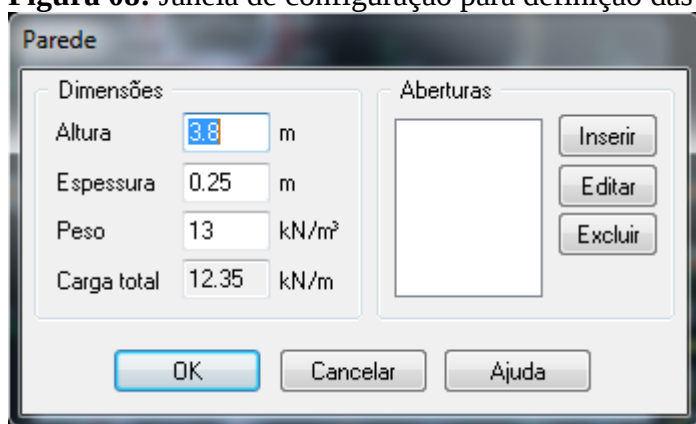
Fonte: Autor (2017)

4.1.1.2 Lançamento das cargas lineares

No *Eberick* é possível lançar as cargas lineares sobre as vigas, barras (são elementos utilizados para modelar lajes com bordas livres, e não possuem função estrutural) e direto sobre as lajes.

As cargas das paredes são lançadas definindo suas dimensões. A Figura 8 mostra os dados necessários para que o *Eberick* defina o valor das cargas de parede. O *Eberick* ainda apresenta a opção ao usuário de descontar aberturas na alvenaria, podendo assim otimizar ainda mais seus projetos.

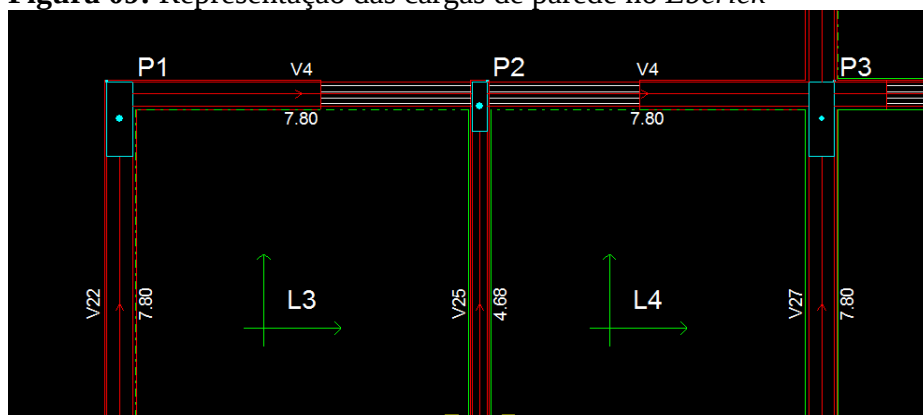
Figura 08: Janela de configuração para definição das cargas de parede



Fonte: Autor (2017)

Na Figura 9 é possível observar como o *Eberick* representa suas cargas verticais de parede em sua interface CAD. Além das cargas lineares de parede este *software* permite ao usuário definir cargas pontuais e cargas apoiadas diretamente sobre as lajes.

Figura 09: Representação das cargas de parede no *Eberick*

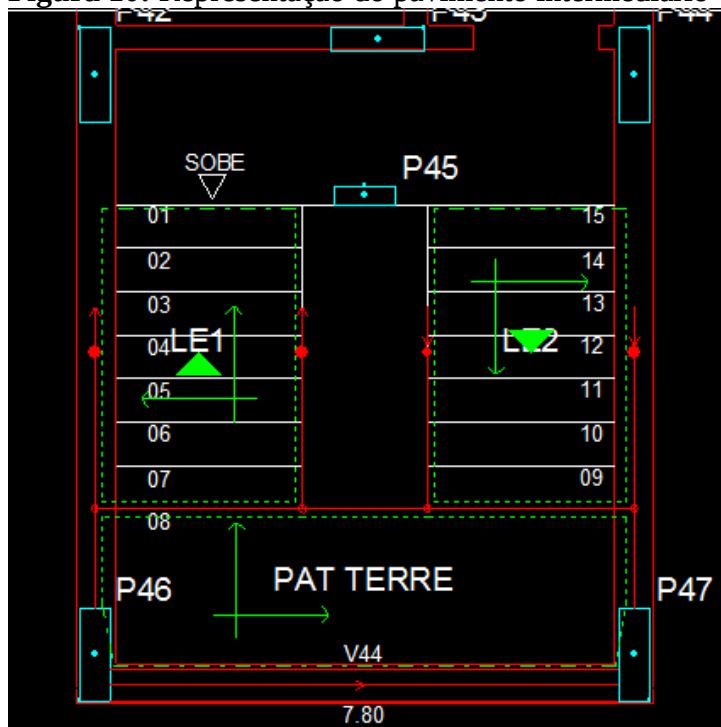


Fonte: Autor (2017)

4.1.1.3 Lançamento das escadas no *Eberick*

Para facilitar o lançamento de patamares o *Eberick* apresenta a opção de criar pavimentos intermediários, assim não é necessário criar pavimentos adicionais exclusivamente para os patamares. A Figura 10 mostra a representação do pavimento intermediário no ambiente CAD do *Eberick*, nela é possível observar as lajes das escadas e do patamar.

Figura 10: Representação do pavimento intermediário



Fonte: Autor (2017)

Para criar pavimentos intermediários o usuário deve acessar a janela projeto e selecionar o pavimento, e então definir a altura em que o patamar ficará posicionado. No projeto em questão foram confeccionados patamares com 1,40 metros de altura, em virtude de que o pé direito dos pavimentos possui 2,80 metros de altura.

Para lançar a laje do patamar é preciso primeiro definir seu contorno utilizando vigas ou barras, logo após este passo é definido a espessura do patamar e as cargas provenientes e então o patamar pode ser posicionado corretamente. A espessura adotada para o pré-dimensionamento da laje do patamar foi de 10 centímetros e a carga foi calculada de acordo a NBR 6120/1980. A Figura 11 mostra a janela de configuração para as lajes do patamar.

Figura 11: Configuração das lajes dos patamares

Fonte: Autor (2017)

Os lances das escadas são os elementos nas diagonais que ligam o croqui do pavimento principal ao croqui do pavimento intermediário. Este elemento aparece nos dois croquis ao mesmo tempo, para adicioná-lo é preciso indicar um ponto de apoio no pavimento superior e limitar as linhas laterais do lance. Por fim o programa automaticamente mostrará o pavimento inferior devendo o usuário indicar o outro ponto de apoio, formando o lance da escada.

As cargas foram determinadas de acordo com a NBR 6120/1980 onde é explanado que, para escadas de acesso ao público o valor mínimo para a carga acidental é de 3 KN/m², os pesos específicos dos revestimentos também foram adotados de acordo com a norma vigente. Na janela exibida na Figura 12 o software permite ao usuário configurar a distribuição dos degraus, cargas e espessura da laje.

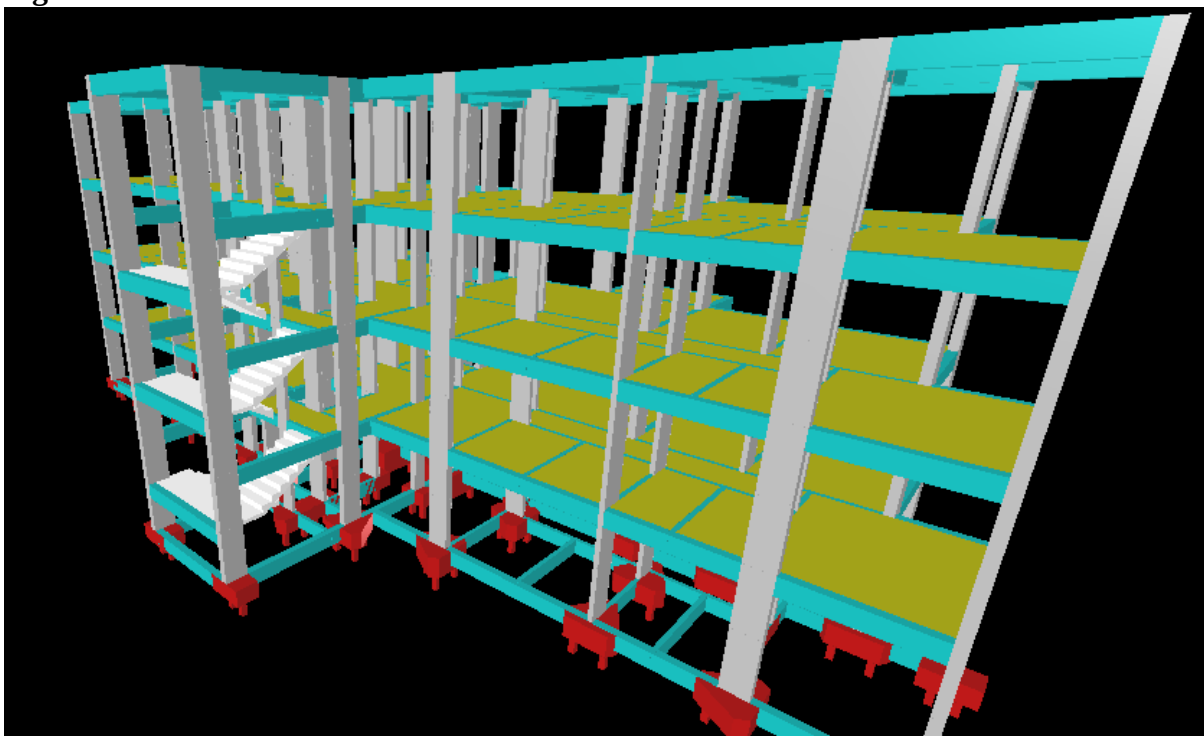
Figura 12: Janela para configuração da escada

Fonte: Autor (2017)

4.1.1.4 Visualização do pórtico 3D no *Eberick*

O *Eberick* possui uma poderosa ferramenta gráfica que permite ao usuário visualizar toda a estrutura em três dimensões. Dentro desta ferramenta é possível criar cortes que auxiliam ainda mais na visualização da estrutura. Na Figura 13 é possível observar o modelo 3D realizado pelo *software*.

Figura 13: Pórtico 3D



Fonte: Autor (2017)

4.1.1.5 Configurações para análises da estrutura

As configurações para o tipo de análise definiram os parâmetros para os modelos de cálculo dos esforços e dos deslocamentos sofridos pela estrutura. O *Eberick* permite ao usuário ter a possibilidade de dois modelos diferentes, pelo método do Pórtico Espacial (método utilizado neste projeto) e Pavimentos Isolados.

4.1.1.5.1 Pórtico Espacial

Modelo mais completo para o cálculo, considerando efeitos horizontais e realizando verificações de estabilidade global. É considerada as ações dos ventos e determina efeitos de 2ª ordem levando em conta imperfeições geométricas e ações presentes na NBR 6118/2014.

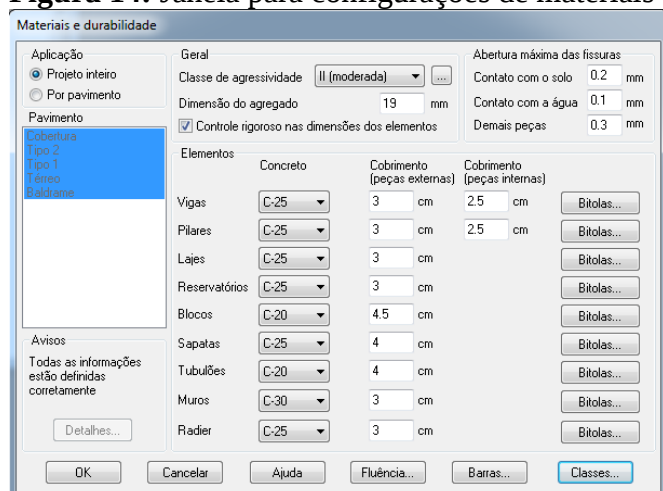
4.1.1.5.2 Pavimentos Isolados

Este é um modelo mais simples para os cálculos, onde os pavimentos são calculados de forma independente não considerando vários elementos que são considerados no Pórtico Espacial. Em grandes estruturas esse modelo é mais rápido, no entanto é menos preciso.

4.1.1.6 Materiais e durabilidade

Na janela de configurações de materiais e durabilidade o *Eberick* permite ao usuário configurar a resistência do concreto, diâmetro do agregado, classe de agressividade, cobrimento das peças e tipos de aço que serão utilizados pelos elementos estruturais. É possível determinar diferentes resistências de concreto para cada elemento estrutural, assim como seus cobrimentos. Ele ainda permite definir configurações diferentes por pavimento ou simplesmente adotar a mesma configuração para o projeto inteiro. A Figura 14 demonstra como é feita a configuração desta etapa.

Figura 14: Janela para configurações de materiais e durabilidade



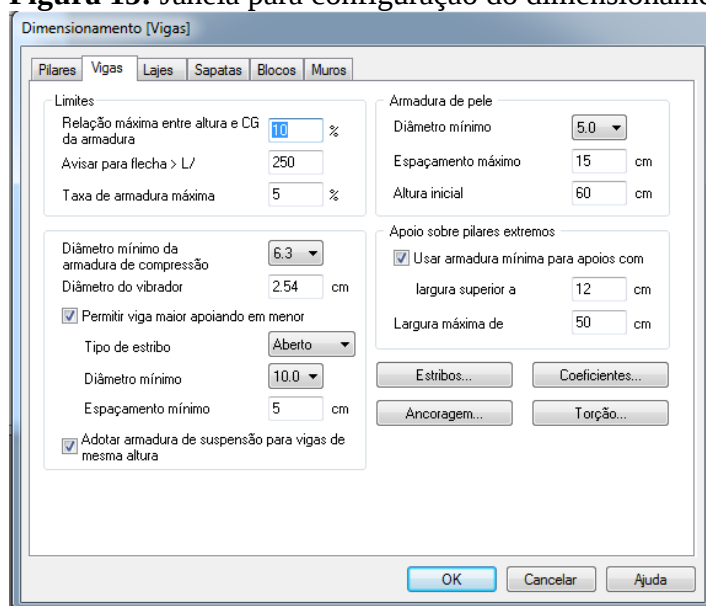
Fonte: Autor (2017)

Para este projeto foi utilizado concreto C-25 com classe de agressividade II para o dimensionamento de suas peças e para fins de projeto foi utilizado aço CA-50 e CA-60 e os cobrimentos adotados estão especificados na Figura 14.

4.1.1.7 Configurações para o dimensionamento

Nesta etapa o software *Eberick* possibilita ao usuário configurar itens como espaçamentos máximos e mínimos, diâmetro mínimo para a armadura de compressão, taxa de armadura máxima, relação máxima entre altura e centro de gravidade da armadura e avisar para flechas, todos esses itens refletem no dimensionamento dos elementos. A Figura 15 mostra a janela de dimensionamento que permite ao usuário aplicar a configuração que lhe for de melhor agrado.

Figura 15: Janela para configuração do dimensionamento guia de vigas



Fonte: Autor (2017)

O dimensionamento dos elementos deve garantir os requisitos mínimos de qualidade para o projeto, os requisitos são segurança, durabilidade e desempenho. Para o dimensionamento deste projeto foram realizadas verificações para o estado limite último e estado limite de serviço. Na Figura 15 estão descritas as configurações para o dimensionamento das vigas.

4.1.1.8 Escolha das armaduras

Para o dimensionamento das armaduras o *Eberick* utiliza os diâmetros configuradas pelo usuário na etapa de configuração de materiais e durabilidade. O programa leva em conta algumas condições para o dimensionamento como área de aço, mão de obra e diâmetro das barras. No final do dimensionamento fica a critério do usuário escolher os diâmetros através da aba dimensionamento, como mostra a Figura 16.

Figura 16: Escolha das bitolas para a armadura

	Nome	Largura (cm)	Larg. superior (cm)	Dif. eixo (cm)	Md (kN.m)	As neg superior
1	P23	20.00	20.00	0.00	-16.08	2 ø 12.5
2	P24	50.00	50.00	0.00	-21.31	5 ø 6.3
3						3 ø 8.0
4						2 ø 10.0
5						2 ø 12.5
6						2 ø 16.0
7						2 ø 20.0
8						2 ø 25.0
9						
10						
11						

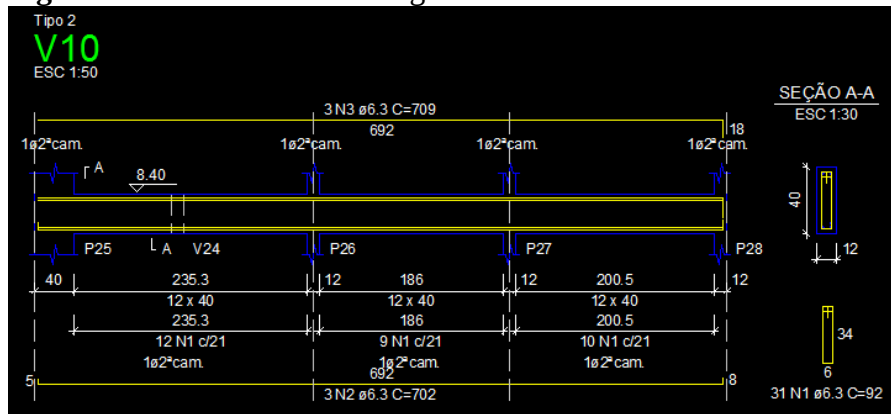
Fonte: Autor, 2017.

4.1.1.9 Detalhamento das armaduras

Ao fim do projeto é necessário detalhar as peças que irão ser executadas. O *Eberick* detalha automaticamente todos os elementos, mas fornece ao usuário recursos para modificar o detalhamento se for necessário.

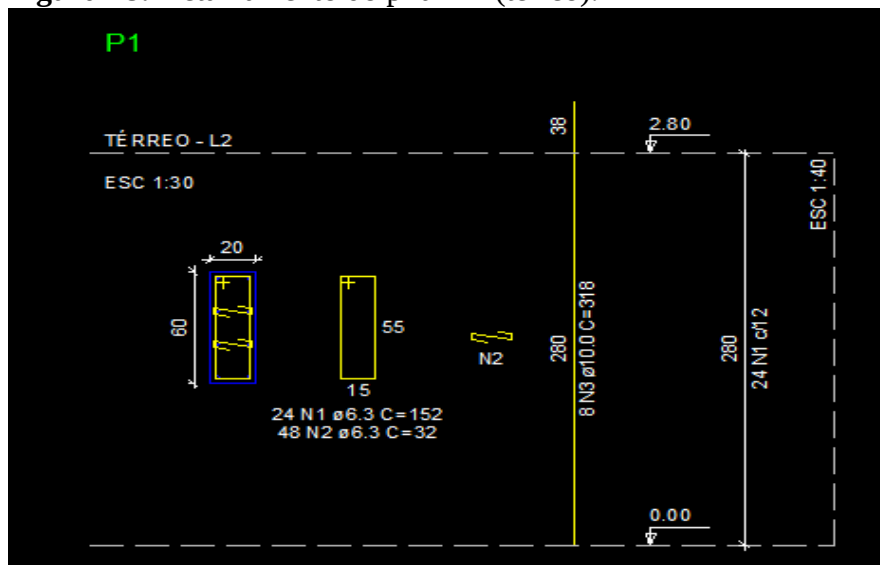
As vigas externas do projeto possuem dimensão de 20x40 centímetros e as internas possuem 12x40 centímetros. A maioria dos pilares externos possui uma dimensão 20x60 centímetros e os internos 12x40 centímetros. Todas as lajes possuem uma espessura de 10 centímetros. Na Figura 17, 18 e 19 é possível observar um detalhamento de cada elemento do projeto.

Figura 17: Detalhamento da viga V10.



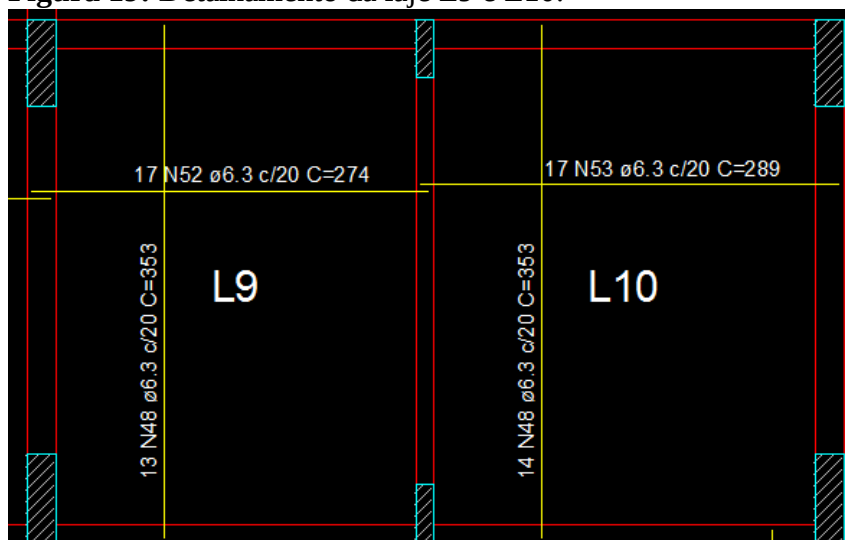
Fonte: Autor (2017)

Figura 18: Detalhamento do pilar P1 (térreo).



Fonte: Autor (2017)

Figura 19: Detalhamento da laje L9 e L10.



Fonte: Autor (2017)

4.1.1.10 Resultados obtidos

Após ser realizado o dimensionamento da estrutura o *Eberick* fornece ao usuário diversos relatórios como o de esforços, cargas nas fundações, combinações, cálculos, resultados, seções subarmadas e resumo de materiais.

O resumo de materiais pode ser obtido de várias maneiras, selecionando um elemento e acessando seu resumo de materiais ou obtê-lo de uma forma mais geral, acessando o menu estrutura e selecionando a opção resumo de materiais. Este resumo fornece dados como o total de aço utilizado, o volume total de concreto e a área de forma utilizada para a confecção dos elementos. A Figura 20 mostra o resumo de materiais geral de toda a estrutura.

Figura 20: Resumo geral obtido

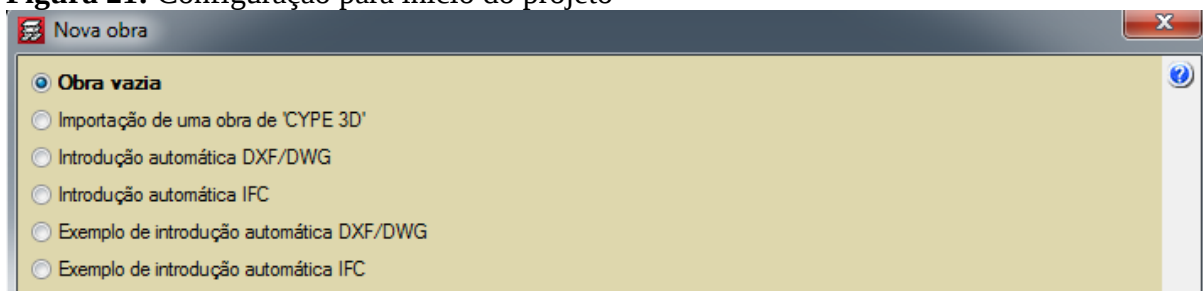
		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Reservatórios	Muro	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	3985.7	5944.0	4008.6	198.6			14136.9
	CA60			113.7				113.7
	Total	3985.7	5944.0	4122.3	198.6			14250.6
Volume concreto (m ³)	C-25	68.8	55.2	77.2	4.4			205.6
Área de forma (m ²)		1009.7	840.2	772.0	49.7			2671.7
Consumo de aço (kgf/m ³)		57.9	107.8	53.4	45.1			69.3

Fonte: Autor (2017)

4.1.2 Dimensionamento do projeto no *Cypecad*

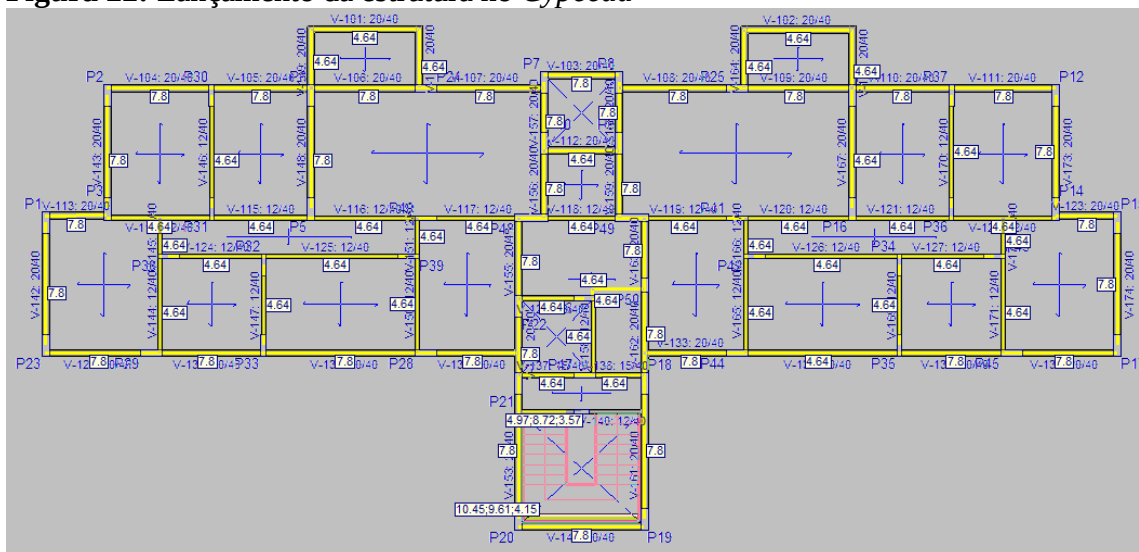
4.1.2.1 Lançamento da estrutura

O *Cypecad* é outro programa de ambiente *Windows*, onde é possível lançar a estrutura de várias maneiras diferentes, os dois métodos mais comuns é iniciando uma obra vazia e lançando a estrutura por meio de coordenadas o outro é introduzir a planta digitalizada do projeto para seu ambiente CAD e usa-la como máscara para a locação de vigas e pilares. A Figura 21 mostra a janela que apresenta as opções para iniciar o projeto.

Figura 21: Configuração para início do projeto

Fonte: Autor (2017)

Para o desenvolvimento deste projeto foi iniciada uma obra vazia e por meio das coordenadas foram lançadas as vigas e os pilares. Na Figura 22 é possível observar o lançamento da estrutura. No Apêndice C é possível observar este lançamento com mais clareza.

Figura 22: Lançamento da estrutura no *Cypecad*

Fonte: Autor (2017)

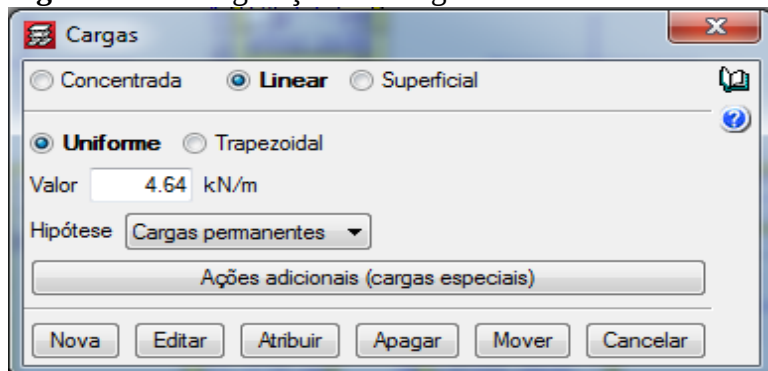
4.1.2.2 Lançamento das cargas lineares

O *Cypecad* permite lançar as cargas lineares, pontuais ou superficiais diretamente sobre as vigas, lajes e pilares.

Para lançar as cargas de parede é preciso antes pré-definir sua intensidade, para então definir as vigas ou lajes que as receberam. O *Cypecad* igual ao *Eberick*, também permite a criação de aberturas para a otimização dos projetos. Além disso, ele ainda dá a opção ao

usuário de classificar a carga como permanente, peso próprio, sobrecarga e cargas especiais de vento. A Figura 23 demonstra como é feita a configuração da carga.

Figura 23: Configuração das cargas

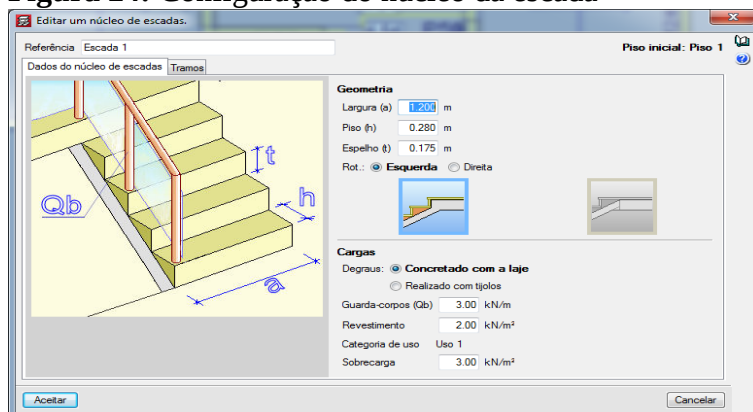


Fonte: Autor (2017)

4.1.2.3 Lançamento das escadas

Para lançar as escadas primeiramente é preciso configurar o seu núcleo fornecendo dados como largura, piso e espelho. Também é necessário informar as cargas atuantes na escada como revestimento, utilização e sobrecargas. A Figura 24 mostra como é feita a configuração.

Figura 24: Configuração do núcleo da escada

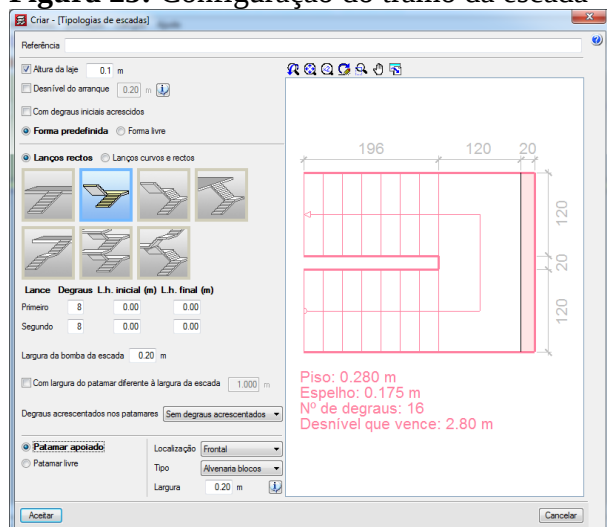


Fonte: Autor (2017)

Após configurar o núcleo é necessário dimensionar o tramo da escada, o *Cypecad* fornece vários formatos para o usuário, para este projeto foi escolhido a escada tipo leque que é a mesma usada anteriormente no projeto confeccionado no *Eberick*. É necessário também configurar os dados do patamar informando sua largura, espessura e como ele vai ser apoiado,

no caso deste projeto será por vigas. O *Cypecad* então fornece um croqui de como a escada ficará representada em planta. A Figura 25 mostra como é a janela para configuração do tramo.

Figura 25: Configuração do tramo da escada



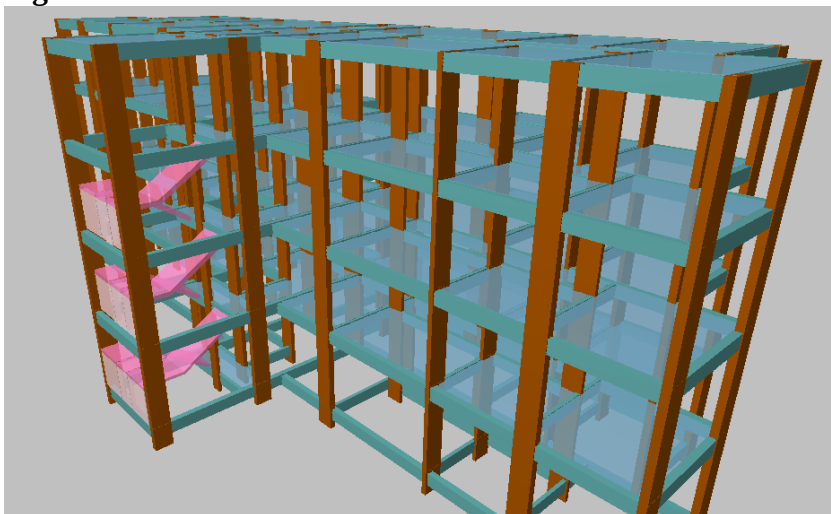
Fonte: Autor (2017)

Para dimensionar a escada foram adotados os mesmo dados utilizados no dimensionamento do *Eberick*.

4.1.2.4 Visualização do pórtico 3D no *Cypecad*

O *Cypecad* possui uma ferramenta gráfica parecida com a do *Eberick* que também permite ao usuário visualizar toda a estrutura em três dimensões. Dentro desta ferramenta é possível criar cortes que auxiliam ainda mais na visualização da estrutura. Na Figura 26 é possível observar o pórtico 3D do projeto em questão.

Figura 26: Pórtico 3D



Fonte: Autor (2017)

4.1.2.5 Configurações para análises da estrutura

No *Cypecad* a análise da estrutura é realizada através de um pórtico espacial, utilizando métodos matriciais considerando todos os elementos da estrutura. O *Cypecad* passa por cinco etapas até o dimensionamento das armaduras, que é a última delas.

Na primeira etapa o *software* gera as estruturas geométricas dos elementos, formando uma matriz de rigidez da estrutura, em caso de erros o programa para o processo e informa ao usuário para solucioná-los. A segunda etapa é a solução do sistema. Na terceira etapa é definido os deslocamentos de todas as hipóteses de cálculo, em caso de deslocamentos excessivos o programa informa ao usuário como proceder. Na quarta etapa o *Cypecad* gera as envoltórias de todas as combinações de cálculo para todos os elementos da estrutura. A quinta etapa é a última fase do processo e resume-se ao dimensionamento das armaduras com base nas envoltórias obtidas.

4.1.2.6 Configurações dos dados gerais da obra

Antes do início do projeto o *Cypecad* apresenta ao usuário a opção “dados gerais”, nela é possível configurar qual norma ele irá se basear para as verificações, a resistência de concreto em cada elemento estrutural, característica do agregado, tipo de aço a ser utilizado, a

opção para configurar as ações do vento, entre outras configurações que também são importantes para o projeto.

Para este projeto as configurações utilizadas foram as mesmas utilizadas para o projeto realizado no *Eberick*, na Figura 27 e 28 é possível observar as opções de configurações dos dados gerais e ações de vento.

Figura 27: Configurações dos dados gerais

Fonte: Autor (2017)

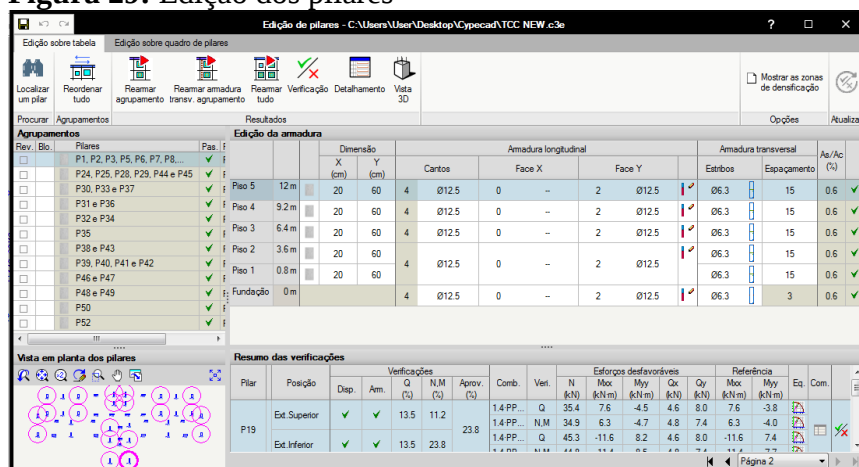
Figura 28: Configurações de vento

Fonte: Autor (2017)

4.1.2.7 Escolha das armaduras

Após processar a estrutura o usuário pode acessar a janela de resultados onde pode editar o dimensionamento realizado pelo *software*. Para editar os resultados obtidos, basta o usuário acessar a janela “edição de vigas” ou “edição de pilares” e modificar os arranjos de armadura e seções dos pilares e vigas. Na Figura 29 é possível observar a janela de “edição de pilares”.

Figura 29: Edição dos pilares

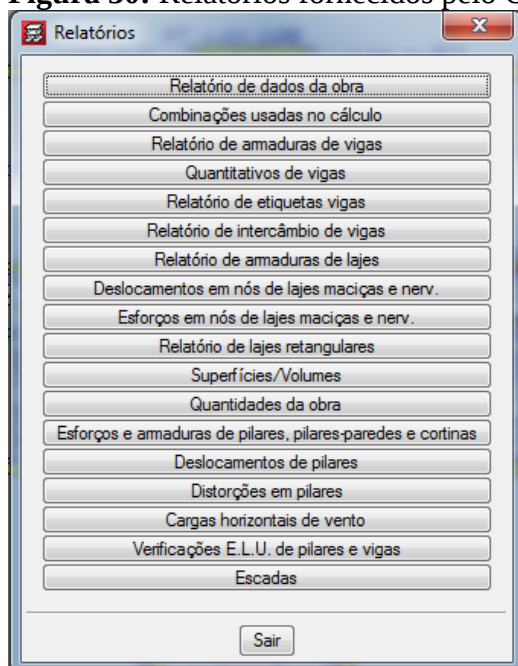


Fonte: Autor (2017)

Nesta janela é possível verificar os resultados obtidos pelo *Cypecad* e alterá-los de acordo com a preferência do usuário. Além de observar os resultados é possível modificar as seções, alterar o diâmetro das bitolas e verificar possíveis erros de dimensionamento.

4.1.2.8 Resultados obtidos

Após ser realizado o dimensionamento da estrutura, o *Cypecad* fornece ao usuário diversos relatórios como relatório de dados da obra, combinações usadas no cálculo, relatórios de armaduras das vigas, quantitativos de vigas, entre outros. A Figura 30 mostra todos os relatórios que o *Cypecad* fornece ao usuário.

Figura 30: Relatórios fornecidos pelo *Cypecad*

Fonte: Autor (2017)

O resumo de materiais pode ser obtido acessando o item quantidades da obra. O resumo de materiais fornecido pelo *Cypecad* informa ao usuário a quantidade de material utilizada em cada pavimento e um resumo total de material utilizado. Na Figura 31 é possível observar o resumo de materiais total da obra.

Figura 31: Resumo de material total da obra.

Total obra - Superfície total: 928.17 m²

Elemento	Formas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
LAJES	767.02	76.71	3911
Vigas: fundo	136.20	66.74	2974
Forma lateral	552.51		
Pilares (Sup. Formas)	732.62	50.16	6850
Escadas	33.36	4.84	421
Total	2221.71	198.45	14156
Índices (por m ²)	2.394	0.214	15.25

Fonte: Autor (2017)

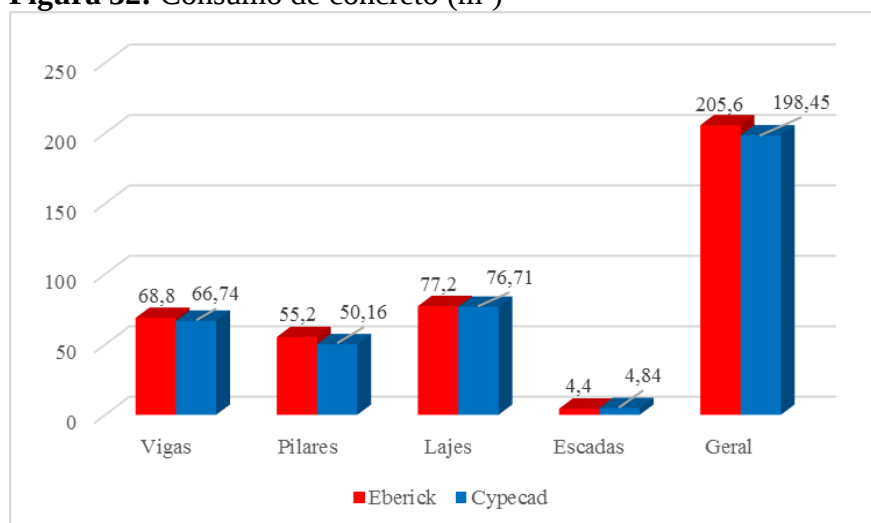
4.1.3 Comparação dos resultados obtidos

O resumo de materiais dos dois *softwares* fornece informações detalhadas quanto ao consumo de materiais para a execução de cada elemento da estrutura. Os gráficos que serão apresentados demonstram um comparativo entre os *softwares* quanto ao consumo de materiais para a execução dos elementos que constituem a estrutura de todos os pavimentos do edifício.

4.1.3.1 Comparativo do uso de concreto entre os *softwares*

Inicialmente levantou-se os valores de consumo de concreto para os diferentes elementos estruturais da edificação, e por fim relacionou-se o consumo total de concreto, tendo os valores apresentados na Figura 32.

Figura 32: Consumo de concreto (m³)



Fonte: Autor, 2017.

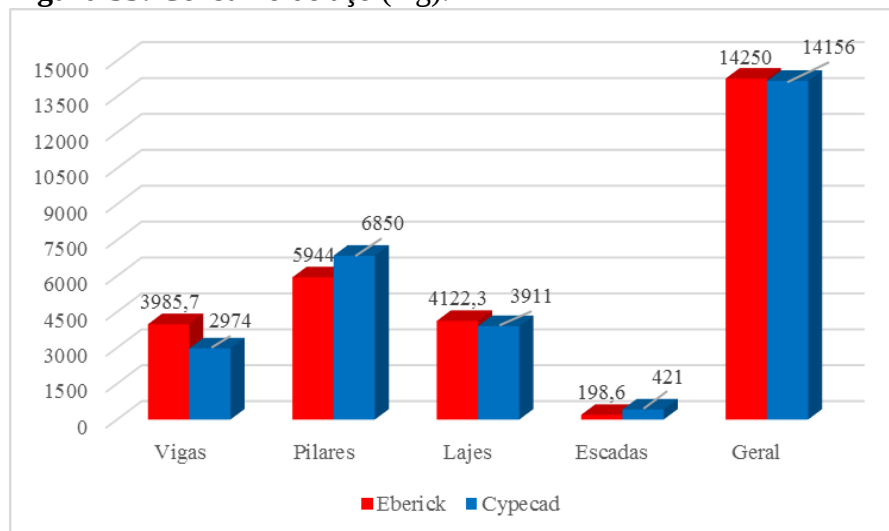
Observa-se que em praticamente todos os elementos estruturais, com exceção das escadas o *Eberick* teve maiores valores de consumo de concreto do que o *Cypecad*. De maneira geral o consumo de concreto do *Eberick* foi 3,47% maior que o consumo levantado pelo dimensionado realizado no *Cypecad*.

Essa diferença pode ser explicada pelo fato de que durante a realização do dimensionamento no *Eberick* o usuário teve que realizar alterações nas geometrias dos elementos, de modo que as novas dimensões (maiores) satisfizessem os critérios utilizados pelo *software*.

4.1.3.2 Comparativo do uso de aço entre os *softwares*

Após a análise realizada sobre o consumo de concreto também levantou-se valores sobre o consumo de aço para todos os elementos da estrutura relacionando os dados obtidos. A Figura 33 apresenta as comparações realizadas em relação ao consumo de aço.

Figura 33: Consumo de aço (Kg).



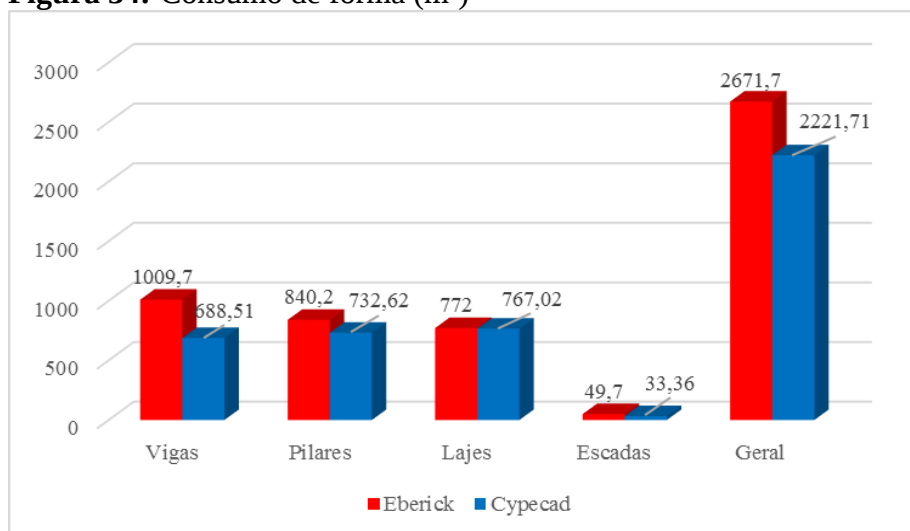
Fonte: Autor, 2017.

É possível observar que no dimensionamento das vigas o *Eberick* apresentou um consumo de aço 25,38% maior, em compensação no dimensionamento dos pilares o *Cypecad* obteve um consumo 13,22% maior. Essa diferença é dada devido as diferentes considerações que os *softwares* fazem no dimensionamento dos seus elementos. Outro fator que influencia na aquisição destes dados são os diferentes critérios que cada *software* tem para obter os arranjos das armaduras.

Porém de modo geral os dimensionamentos tiveram no total valores muito próximos, sendo o consumo de aço do *Eberick* apenas 0,66% superior ao consumo de aço do *Cypecad*.

4.1.3.3 Comparativo do uso de formas entre os *softwares*

Por último foram levantados os dados de consumo de formas para todos os elementos estruturais do edifício relacionando os dados obtidos. A Figura 34 apresenta os dados para as comparações.

Figura 34: Consumo de forma (m²)

Fonte: Autor, 2017.

Em virtude do aumento das seções de alguns elementos para o dimensionamento, o Eberick apresentou um consumo de formas 31,81% maior para vigas e 12,80% maior para pilares, para lajes os resultados foram semelhantes sendo que o Eberick teve um resultado 0,65% maior. No geral o Eberick apresentou um consumo 16,84% maior que o Cypecad.

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os *softwares* para cálculo de estrutura podem oferecer grande auxílio para seus usuários aumentando sua produtividade nos projetos de estruturas e auxiliando nas considerações de outros fatores que podem ser significativos para a realização do projeto. Durante o desenvolvimento deste trabalho foi possível notar que o uso de *softwares* de cálculo estrutural exigem do usuário grande conhecimento técnico e normativo, que somados a experiência aumentam as chances do usuário de obter sucesso na realização do seus projetos.

Os dois *softwares* apresentam critérios e considerações diferentes, que já podem ser notadas desde a fase de lançamento das estruturas, escolha dos modelos de cálculo, considerações de combinações até a fase de dimensionamento dos elementos e detalhamento das armaduras.

Os resumos de materiais obtidos pelos dois *softwares* apresentaram valores próximos. O *software Eberick* apresentou 3,5% a mais de consumo de concreto devido a modificações na geometria de alguns elementos. O consumo de aço apresenta uma certa discrepância nos resultados dos elementos, mas apresenta um resultado geral praticamente igual, desta maneira pode-se concluir que os *softwares* apresentam diferentes critérios para dimensionar os elementos, mas que o resultado final é muito próximo. O *Eberick* apresentou 16,8% de consumo de formas a mais que o *Cypecad*, resultado já esperado devido a modificações feitas nas geometrias dos elementos.

Também é possível observar que os *softwares* não substituem o papel do engenheiro, ainda é necessário que ele tome as melhores decisões para o andamento do projeto. A responsabilidade de um projeto estrutural sempre será do engenheiro, logo é preciso que ele tenha a capacidade técnica suficiente para manipular os *softwares*.

CAPITULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para a continuação de complementação desta pesquisa, sugere-se a realização dos seguintes trabalhos:

- Comparar o dimensionamento com outros softwares nacionais;
- Comparar o dimensionamento com outros softwares internacionais;
- Comparar as verificações de deslocamentos de ambos os softwares.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. C. **Concreto**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2002.
Disponível em < <http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Concreto.pdf> > Acesso em: 31 de maio de 2017.
- ALTOQI INFORMÁTICA. AltoQi Eberick – Manual do Usuário. Florianópolis, SC, 2000.
- ARAÚJO, J. M. **Curso de Concreto Armado**. 3ª ed. Rio Grande: EDITORA DUNAS, Dunas, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2014.
- _____. **NBR 6120: Carga para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980.
- ATAÍDE e CORRÊA, **Estudo Comparativo Entre o Método das Tensões Admissíveis e o Método dos Estados Limites**. Disponível em:
http://set.eesc.br/cadernos/nova-versao/pdf/cee34_105.pdf/ > Acesso em: 30 de maio. 2017.
- BASTOS, P. S. S. **Vigas de concreto armado**. Disponível em <
<http://wwwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto2/Vigas.pdf> urso de Engenharia Civil) > – Acesso em: 02 de julho de 2017.
- BOTELHO, M.; MARCHETTI, O, **Concreto Armado Eu Te Amo**. 3ª ed. São Paulo: EDITORA BÜCHER LTDA, 2002.
- BOTELHO, **Concreto Armado Eu Te Amo, para Arquitetos**. 3ª ed. São Paulo: EDITORA BÜCHER LTDA, 2006.
- CARVALHO, R. C. e FIGUEIREDO, J. R. F. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. 3ª ed. 1ª reimpressão. São Carlo: EDITORA EDUFSCAR, 2001.
- CARVALHO, R.; PINHEIRO, L, **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. 2ª ed. 1ª tiragem. São Paulo: Editora PINI, 2013.
- IBRACON, **Concreto: Material Mais Consumido do Mundo**. Disponível em <
http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf > Acesso em: 30 de julho de 2017.
- KIMURA, A. **Informática Aplicada em Estruturas de Concreto Armado**. 1ª ed. 1ª impressão. São Paulo: EDITORA PINI, 2007.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M., **Concreto: Estrutura, Propriedades, Materiais**, 1ª ed. São Paulo: Editora PINI, 1994.

MULTIPLUS SOFTWARES TÉCNICOS. CYPECAD – Manual do Usuário. São Paulo, 2010.

VASCONCELOS, A. C., **O Engenheiro de estruturas se beneficia com o computador?**, TQSNews nQ 18, São Paulo, 2003.

APÊNDICE A

APÊNDICE B

APÊNDICE C