UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ENGENHARIAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ISRAEL PEDRO AVELINO SILVA

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DOIS SOFTWARES COMERCIAIS NO DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL

ANGICOS
2020

ISRAEL PEDRO AVELINO SILVA

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DOIS SOFTWARES COMERCIAIS NO DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL

Monografia apresentada á Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Maria Cristina Cavalcante Belo.

ANGICOS

2020

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S586a Silva, Israel Pedro Avelino.
ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DOIS SOFTWARES COMERCIAIS NO DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL / Israel Pedro Avelino Silva. - 2020.
70 f. : il.

Orientadora: Maria Cristina Cavalcante Belo.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil, 2020.

1. Estruturas. 2. Ferramentas Computacionais. 3. Cypecad. 4. Eberick. I. Cavalcante Belo, Maria Cristina, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC´s) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ISRAEL PEDRO AVELINO SILVA

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DOIS SOFTWARES COMERCIAIS NO DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO DE UM EDIFICIO RESIDENCIAL

Trabalho Final de Graduação apresentado à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 10 / 12 / 2020 .

BANCA EXAMINADORA

Profª. Maria Cristina Cavalcante Belo (UFERSA)
Presidente

Profª. Drª. Marcilene Vieira Da Nobrega (UFERSA)
Examinador Interno

Profª. Janielly Kaline De Oliveira Ferreira. (UFERSA)
Examinador Interno

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me guiar e me dar a sabedoria necessária para a elaboração desse trabalho, e por ter me dado força em todos os momentos para percorrer a longa jornada que foi o curso.

Agradeço também aos meus pais, **Francisco Clesio Silva** e **Maria Alice Da Costa Avelino,** por terem sempre me apoiado e me ensinado os valores morais e formado a construção do meu caráter para ser um ser humano melhor. Por todos os sacríficos que fizeram para me manter sempre focado nos estudos e nunca me deixarem desamparado. Agradeço por tudo, pois sem eles eu não conseguiria chegar até aqui.

Agradeço a todos os meus familiares em nome dos meus irmãos **Clara Alicia Avelino Silva** e **Emanuel Felipe Avelino Silva**, que sempre torceram por mim e acreditaram que eu era capaz.

Agradeço a minha namorada **Rayslla Mayara Vianna Da Silva,** por sempre acreditar em mim e estar comigo em todos os meus momentos de angustia e principalmente, os momentos de alegrias como este.

Agradeço a minha orientadora **Maria Cristina Cavalcante Belo,** que acreditou que eu era capaz, e principalmente, confiou em mim para realizar este trabalho. Agradeço também por servir de exemplo não só como professor, mas também como pessoa.

Agradeço a todos os amigos que fiz dentro faculdade durante esse período, por nunca me deixarem desistir e me incentivarem cada vez mais.

“A persistência é o caminho do êxito.”

(Charles Chaplin)

RESUMO

A escolha pelo método de dimensionamento de estruturas em concreto armado é arbitrada livremente pelo projetista, de modo que a norma não impõe uma utilização de ferramentas computacionais para o cálculo de estruturas. Contudo, a utilização dos programas de cálculo e detalhamento estrutural geram ao responsável técnico uma maior produtividade, visto que, estes realizam todos os procedimentos de cálculo para o dimensionamento dos elementos, além de gerar automaticamente os detalhamentos e quantitativos dos materiais empregados na obra. Entretanto, os softwares não substituem o papel do engenheiro, uma vez que cabe ao profissional ter o conhecimento técnico e a sensibilidade para saber configurá-lo adequadamente e analisar os resultados gerados pelos programas. Sendo assim, os softwares são apenas ferramentas de auxílio que geram maior produtividade ao engenheiro. Muitas são as opções disponíveis no mercado de programas de cálculo e detalhamento estrutural, onde cada um, conta com suas particularidades e limitações. Sendo, assim, esta pesquisa teve como objetivo principal realizar um estudo comparativo do dimensionamento, para uma mesma concepção estrutural entre dois softwares comerciais bastante difundidos no mercado brasileiro, o Cypecad e Eberick. Isto posto, a partir da condição a qual o estudo comparativo foi desenvolvido, ambos os softwares apresentaram resultados similares. Contudo, isto só foi possível uma vez que somente o Cypecad atendeu os critérios normativos relacionados ao ELU e ELS, enquanto o Eberick só atendeu as condições relativas ao ELS.

.

Palavras-chave: Estruturas. Ferramentas Computacionais. Cypecad. Eberick.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Associação dos materiais que compõem o concreto 19
Figura 2 – Viga de concreto submetida a flexão 23
Figura 3 – Fluxo de carga na estrutura 25
Figura 4 – Representação computacional da estrutura real 26
Figura 5 – Modelo de grelha de laje e vigas 27
Figura 6 – Modelo do Pórtico Plano 28
Figura 7 – Modelo do Pórtico Plano 29
Figura 8 – Modelo de Análise Estrutural no Eberick 31
Figura 9 – Modelo de Estrutura no CypeCad 32
Figura 10 – Planta baixa do térreo e pavimento tipo 33
Figura 11 – Planta baixa do terraço e cobertura 34
Figura 12 – Disposição dos pilares em planta 40
Figura 13 – Janela de dados gerais do Cypecad 42
Figura 14 – Janela para inserir os pisos no Cypecad 43
Figura 15 – Janela para inserir os pisos no Cypecad 43
Figura 16 – Janela de novo pilar no Cypecad 44
Figura 17 – Janela de entrar vigas no Cypecad 45
Figura 18 – Janela de introduzir laje no Cypecad 45
Figura 19 – Janela de configuração do núcleo de escadas do Cypecad 46
Figura 20 – Pórtico 3D da estrutura do Cypecad 46
Figura 21 – Lançamento dos Pavimentos no Eberick 47
Figura 22 – Janela de lançamento dos pilares no Eberick 48
Figura 23 – Janela conversão para pilares de fundação no Eberick 49
Figura 24 – Janela de lançamento das vigas no Eberick 50
Figura 25 – Janela de lançamento das lajes no Eberick 51
Figura 26 – Janela de lançamento do patamar e escada no Eberick 51

Figura 27 – Pórtico 3D da estrutura no Eberick 52
Figura 28 – Pórtico unifilar dos deslocamentos 59
Figura 29 – Concepção estrutural da Laje da Caixa D’água 62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Valores dos esforços normais de cálculo por pilar em cada programa 57

Gráfico 2 – Deslocamento nas vigas do 1º pavimento 59

Gráfico 3 – Deslocamento nas lajes do 1º pavimento 60

Gráfico 4 – Deslocamento nas vigas da laje da caixa d'água 61

Gráfico 5 – Deslocamento nas lajes da laje da caixa d'água 63

Gráfico 6 – Consumo de concreto por elemento nos softwares Cypecad e Eberick 63

Gráfico 7 – Consumo de aço por elemento nos softwares Cypecad e Eberick 64

Gráfico 8 – Consumo de formas por elemento nos softwares Cypecad e Eberick 64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos básicos de Cimento Portland 20

Tabela 2 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto 22

Tabela 3 – Classe de Agressividade Ambiental 35

Figura 4 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto 36

Tabela 5 – Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nomina .. 36

Tabela 6 – Cargas Permanentes por pavimento..... 37

Tabela 7 – Cargas Acidentais por pavimento 38

Tabela 8 – Cargas adicionais na laje da caixa d'água 38

Tabela 9 – Pré-Dimensionamento dos elementos Estruturais 39

Tabela 10 – Características geométricas do núcleo de escadas 41

Tabela 11 – Erros de dimensionamento no Cypecad 53

Tabela 12 – Erros de dimensionamento no Eberick 55

Tabela 13 – Coeficiente Gama-Z..... 58

Tabela 14 – Índice de consumo de materiais..... 65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ELS	Estado de limite de serviço
ELU	Estado de limite de último
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
CP	Cimento Portland
DNPM	Departamento nacional de produção mineral
CAA	Classe de agressividade ambiental
FCK	Resistência característica à compressão do concreto

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 15

2. OBJETIVOS 17

2.1 Objetivos Geral 17

2.2 Objetivos Específicos 17

3. REFERENCIAL TEÓRICO 18

3.1 História do Concreto 18

3.2 Concreto 18

3.2.1 Cimento 19

3.2.2 Agregados 20

3.2.3 Água 21

3.2.4 Aço 22

3.2.5 Concreto armado 23

3.3 Elementos Estruturais 23

3.4 Sistema Estrutural 24

3.5 Ações 25

3.6 Modelos de Análise Estrutural 26

3.6.1 Grelha de lajes e vigas 26

3.6.2 Pórtico plano 27

3.6.3 Pórtico espacial 28

3.7 Programas Computacionais 29

3.7.1 Eberick 30

3.7.2 Cypecad 31

4. METODOLOGIA 33

4.1 Características da Edificação 33

4.2 Procedimentos de Análise Comparativa 34

4.3 Considerações de Projeto 35

4.3.1 Classe do Concreto 35

4.2.2 Carregamentos 37

4.2.3 Ações do Vento 38

4.2.4 Dimensões dos Elementos 39

4.2.5 Fundações 41

4.2.6 Modelagem Computacional 41

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 53

5.1 Relatório de Erros 53

5.2 Carga nas Fundações 56

5.3 Análise dos Deslocamentos 58

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 67

REFERÊNCIAS 68

1. INTRODUÇÃO

O concreto passou a ser comercializado no Brasil desde o século XX, a partir da distribuição por filias estrangeiras já estabelecidas no país e em meados de 1920, após a instalação de fábricas cimenteiras, iniciou-se o processo de difusão do concreto (SANTOS; OLIVEIRA, 2008).

O período de 1930 foi determinante para disseminação da tecnologia do concreto no Brasil e nos anos 1940 a técnica já estava bastante estabelecia, de modo que já havia normatização pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT e sua regulamentação profissional (SANTOS; OLIVEIRA, 2008).

Dentre todos as técnicas construtivas conhecidas, o sistema denominado concreto armado é a técnica mais difundida no Brasil, de modo que, a grande maioria das edificações construídas são executadas a partir desse sistema. Assim, é possível afirmar que a construção civil no Brasil está estruturada em cima do sistema construtivo do concreto armado (SANTOS; OLIVEIRA, 2008).

O cálculo estrutural consiste em dimensionar os elementos estruturais que sustentarão a edificação e transmitirão esses esforços ao solo (FREITAS et al, 2014). A norma regulamentadora de estruturas de concreto armado, a ABNT NBR 6118:2014 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), expõe que as estruturas de concreto armado devem atender aos requisitos de segurança quanto a ruptura, desempenho em serviço e durabilidade, mantendo plenas condições de utilização ao longo de sua vida útil.

Em edificações usuais de concreto armado os elementos estruturais que compõem uma estrutural global são: lajes, vigas, pilares e fundações. As dimensões de cada um dos elementos devem ser proporcionais aos esforços solicitantes exercidos sobre cada um deles, atendendo aos requisitos de segurança no que diz respeito ao Estado de limite de serviço – ELS e Estado de limite último – ELU.

Os primeiros dimensionamentos de estruturas de concreto armado eram realizados de forma manual, onde era consumindo uma grande quantidade de tempo que tornava mais exposto ao erro humano. Somente por volta dos anos 1960 à 1970 surgiram os primeiros softwares para auxiliar os engenheiros civis na elaboração de cálculos estruturais (FRANCO, 2012). O surgimento e a evolução dos programas de análise e dimensionamento de estruturas, possibilitou uma maior produtividade e dinamismo na elaboração de projetos, tornando a

análise do comportamento das estruturas quando solicitadas muito mais próximas da realidade (MORAES, 2014).

Assim, devido à crescente concorrência no mercado de trabalho, a construção civil tem se tornado cada vez mais exigente, buscando por projetos cada vez mais eficientes e eficazes. Dessa forma, os softwares foram desenvolvidos para auxiliar de forma automatizada a análise e dimensionamento estrutural (MOREIRA, 2018), garantindo um ganho em produtividade e dinamismo na elaboração de projetos e minimizando os erros a partir dos processos mecanizados (SILVA, 2018).

No mercado atual existe diversos softwares que realizam a modelagem, dimensionamento e detalhamento de estruturas de concreto armado, dentre eles estão o Eberick e o CypeCad, dois softwares bastante difundidos no Brasil.

De acordo com a AltoQi[1] (2020), o Eberick contempla dois modelos de análise estrutural, o modelo integrado e o modelo separado de grelhas e pórtico espacial. O modelo integrado, utiliza todas as barras de todos os pavimentos em um modelo espacial único, e realiza a análise do pórtico de maneira completa, afim de obter os esforços nas lajes, vigas e pilares da estrutura. No modelo separado de grelhas e pórticos, primeiro é realizado a análise nos panos de laje em um modelo bidimensional e as reações das lajes nas vigas são incorporados a um modelo separado de pórtico espacial.

O CypeCad utiliza o modelo de pórtico espacial por método matricial de rigidez, onde considera todos os elementos que definem a estrutura: pilares, vigas e lajes. O elevado nível de automação e precisão dos cálculos do programa, proporciona uma menor redundância nas atividades, fornecendo soluções para erros no pré-dimensionamento dos elementos estruturais.

Dessa forma, a presente pesquisa torna-se importante uma vez que poderá auxiliar profissionais e estudantes na escolha pelo software que mais se adequa às suas necessidades e irá lhe proporcionar maior produtividade na realização das suas tarefas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos Geral

Realizar o dimensionamento de uma estrutura de concreto armado utilizando dois softwares computacionais de cálculo estrutural, o Eberick 2021 - Demonstrativo e o Cypecad v2017.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar um estudo comparativa no quantitativo de aço, concreto e forma entre os resultados apresentados pelo Eberick e Cypecad para uma mesma solução estrutural;
- Avaliar se houve diferença nos resultados quanto aos esforços solicitantes e deslocamento da estrutura, através do dimensionamento pelos dois softwares;
- Avaliar o carregamento dos esforços axiais de cálculo que são transmitidas as fundações por cada pilar, através do dimensionamento pelos dois softwares;
- Verificar divergência na ocorrência de erros de dimensionamento entre os programas.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 História do Concreto

Na antiguidade a utilização da pedra e de tijolos pelas civilizações Gregas e Romanas tornaram estes os materiais mais importantes para construções humanas (MOREIRA, 2018). A utilização de pilastras muito próximas umas das outras tornou-se uma característica das edificações gregas, este fato se dá devido à baixa resistência da pedra a tração, impossibilitando a criação de vãos maiores. Botelho (2015) justifica que, em vigas há esforços de tração na parte inferior e compressão na parte superior, dessa forma a intensidade da solicitação é proporcional ao comprimento do vão, assim para vão pequenos a própria pedra conseguia absorver estes esforços.

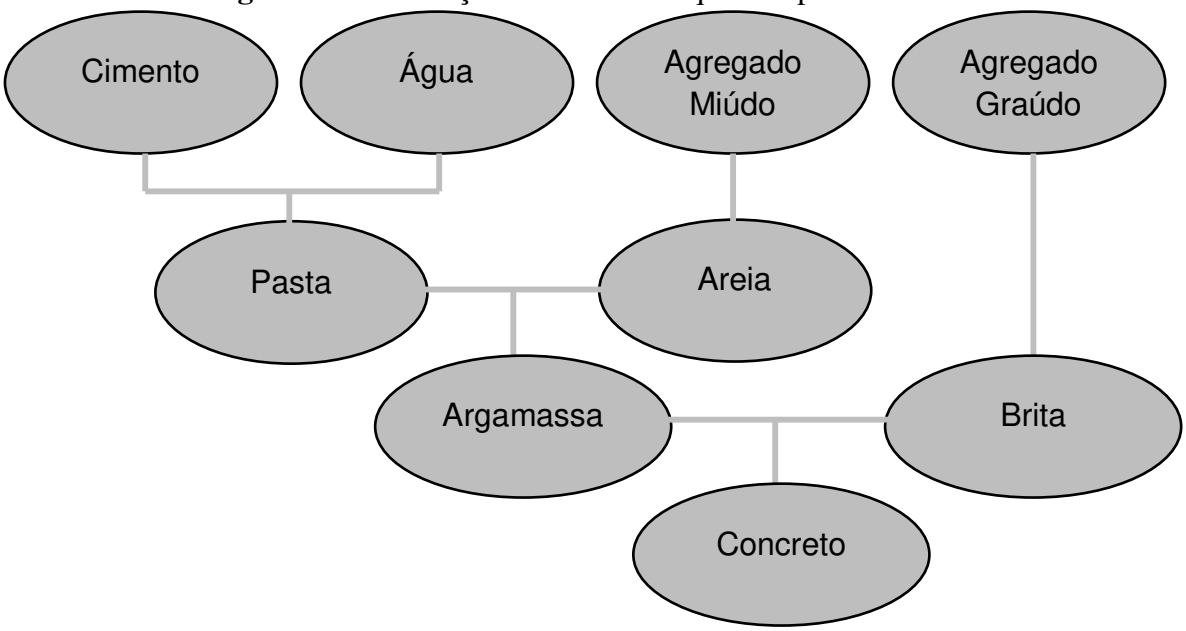
A fim de escapar de formas retas, os romanos criaram tijolos que possibilitaram a criação de edificações em arcos e para atender demandas em obras portuárias foi criado um composto de cimento constituído de pozolana natural (MOREIRA, 2018). Já no ano de 1756 quando era procurado um aglomerante que endurecesse mesmo na presença de água, John Smeaton constatou que a mistura de calcina de calcário e argila, tornava-se tão resistente quanto as pedras utilizadas nas construções (LIMA, 2011). Ainda segundo o autor, foi somente em 1824 que Joseph Aspdin patenteou o composto com o nome de Cimento Portland, em referência Portland Stone, um tipo de pedra bastante utilizado em construções em Portland, na Inglaterra.

Segundo Fusco (2008), foi durante a revolução industrial que foi criado o aço laminado, e após, o concreto armado. Assim, em 1849 foi construída a primeira peça em concreto armado no mundo, um barco criado por Lambot na Inglaterra.

3.2 Concreto

O concreto é uma mistura dosada em proporções de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água, podendo ainda conter adições ou aditivos químicos afim de alterar suas características. Após combinados, tem-se uma mistura que deve apresentar homogeneidade em todas as suas partes. De acordo com Carvalho (2016), a associação individual dos componentes do concreto da origem a diferentes materiais.

Figura 1 – Associação dos materiais que compõem o concreto



Fonte: Autoria Própria (2020)

O concreto em seu estado fresco deve apresentar propriedades como: Consistência, propriedade que confere ao concreto características plásticas, a trabalhabilidade, que por sua vez é a facilidade em que o concreto tem de ser manuseado com a menor perda de homogeneidade e a coesão, que se refere a capacidade do concreto em manter-se homogêneo (SILVA, 2017).

Em seu estado endurecido, as principais propriedades do concreto são: resistência a compressão, resistência a tração e módulo de elasticidade, sendo a resistência a compressão a propriedade mais importante, está pode ser determinada através do ensaio de compressão em corpos de prova (SILVA, 2017). Diversos são os fatores que podem influenciar a resistência a compressão do concreto em seu estado endurecido, dentre eles os principais são: Relação água/cimento, idade do concreto, relação agregado/cimento, condições de adensamento e cura (CARVALHO; FILHO, 2007).

3.2.1 Cimento

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2002), o cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes que sob a ação da água endurece, e após tornar-se sólido, mesmo submetido a ação da água não se decompõe

com o passar do tempo, pelo contrário, sua resistência aumenta ainda mais a medida que o tempo passa.

No mercado existem diferentes tipos de cimento, contudo os componentes básicos que os constituem são: a Cal (CaO), a sílica (SiO2), a alumina (Al2O3) e o óxido de ferro (Fe2O3), que são aquecidos ao ponto de fusão, aglutinados e moídos a finura adequada (FUSCO, 2008). A partir disto, Lima (2011) estabelece que é a partir da queima desses minerais básicos que é formado o Clínquer.

A ABCP (2002) expõe que para a fabricação dos diversos tipos de cimentos encontrados no mercado, na fase de moagem é misturado ao clínquer algumas adições minerais, como gesso, as escórias de alto-forno, os materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos.

De acordo com Bertotti (2017), no Brasil o Cimento Portland é classificado segundo a adição mineral misturada ao clínquer na fase de moagem, assim, conforme o tipo de mineral introduzido, tem-se os diferentes tipos de cimentos Portland no mercado.

A ABCP (2020), relata que os tipos básicos de cimentos normalizados são para as classes de 25,32 e 40 MPa, contudo desde a década de 1990 que a classe de 25Mpa não é mais produzida, assim como o tipo CP 1 e geralmente só estão disponíveis através de encomenda.

A Tabela 1 mostra os tipos de cimento em relação ao tipo de adição mineral introduzida.

Tabela 1 – Tipos básicos de Cimento Portland

Tipo de Cimento	Adições	Sigla
Cimento Portland Comum	Escória, pozolana (até 5%)	CP I
	ou Fíler calcário (6-10%)	CP I-S
Cimento Portland Composto	Escória (6-34%)	CP II-E
	Pozolana (6-14%)	CP II-Z
	Fíler (11-25%)	CP II-F
Cimento Portland de Alto-Forno	Escória (35-75%)	CP III
Cimento Portland Pozolânico	Pozolana (15-50%)	CP IV
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	Fíler (até 10%)	CP V-ARI

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP (2020)

3.2.2 Agregados

Na construção civil, agregados são materiais granulares sem forma e volume definidos, podendo ser obtido de forma natural, como a areia natural ou pela moagem de rochas, como a

pedra britada e cascalho, além de resíduos reciclados, produtos industriais e outros (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, 2009).

Na fabricação do concreto são utilizados dois tipos de agregados, o agregado graúdo e o agregado miúdo, estes ocupam de 60% a 80% do volume de concreto, além de influenciar quanto a resistência, retração e densidade (SCOBAR, 2016).

Segundo a ABNT NBR 7211:2009, o agregado graúdo é definido como o agregado que passa pela peneira de malha 75mm e fica retido na peneira com malha de 4,75 mm. Sua extração é realizada em jazidas cuja a rocha bruta é cortada e moída até a granulometria estabelecida pela norma e sua dimensão é indicada por brita um, brita 2, sucessivamente, até a brita 5, onde quanto maior o número maior será seu tamanho (MOREIRA, 2018).

Ainda de acordo com a ABNT NBR 7211:2009, o agregado miúdo é aquele cujo seus grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μm. Botelho (2015) ressalta que a utilização do agregado miúdo vem para ocupar os espaços deixados pelo agregado graúdo.

A utilização de agregado miúdo, como a areia natural retirada de leitos de rios, influenciam diretamente na trabalhabilidade do concreto em seu estado fresco, e o agregado graúdo independente de sua origem, são introduzidos com o objetivo de reduzir custos sem modificar as características desejadas (SCOBAR, 2016)

3.2.3 Água

A água é o componente responsável pela hidratação do cimento, sua escassez além de gerar concretos secos, diminuem sua trabalhabilidade e também pode acarretar em um concreto que não atenda a resistência pretendida. Contudo, o seu excesso apesar de melhorar sua trabalhabilidade, é tão prejudicial quanto sua falta. Concretos com alto teor de água ocasionam em baixas resistências e alta porosidade, que consequentemente diminuem significativamente a vida útil da estrutura.

Assim, a dosagem adequada do concreto é necessária para que se obtenha um ótimo ponto de hidratação e resistência, como também uma trabalhabilidade satisfatória (MOREIRA, 2018). Dessa forma, Botelho (2015) afirma que a relação água/cimento é o fator fundamental na resistência do concreto.

A ABNT NBR 6118:2014 mostra os valores máximos da relação água/cimento (TABELA 02), a depender do grau de agressividade ambiental, para garantir a durabilidade da

estrutura durante sua vida útil. Onde, quanto maior o fator água cimento, menor será a resistência do concreto.

Tabela 2 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
NOTAS 1 O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655. 2 CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado. 3 CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

3.2.4 Aço

O aço é um material formado por uma liga ferro-carbono unido a diversos elementos como: silício, manganês, fósforo e cobre, além de outros, para melhorarem suas propriedades físicas e mecânicas (SILVA, 2017). Ainda segundo o autor, a expansão da utilização do aço na engenharia, se dá devido a algumas de suas propriedades, como: resistência à tração, ductilidade, flexão e torção, resistência a impacto, compressão, abrasão e desgaste.

Hibeller (2004) complementa que o aço é um material dúctil, ou seja, é capaz de resistir a grandes tensões antes da ruptura, e quando solicitado a uma sobrecarga excepcional apresenta grandes deformações antes de vir a romper.

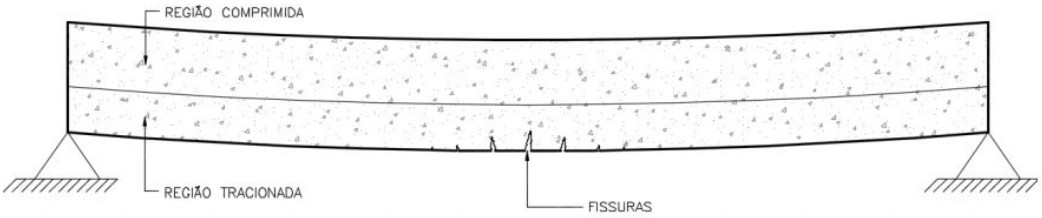
De acordo com a ABNT NBR 7480:2007, o aço utilizado como armaduras no sistema de concreto armado, é classificado segundo a sua resistência de escoamento e ao processo de fabricação. Sendo o Aço CA-50 e CA-25 encontrados na forma de barras e obtidos a partir da laminação a quente, e CA-60 para fios de aço obtidos através de laminação a frio ou fio-máquina por trefilação.

3.2.5 Concreto armado

Segundo Carvalho (2016), o concreto apesar de possuir ótima resistência a compressão, quando submetido a esforços de tração pouco resiste, assim não sendo indicado sozinho como solução estrutural. O autor ainda complementa que a estimativa da resistência do concreto a tração é na ordem de 10% da sua resistência a compressão.

Quando solicitado a flexão pura, podem ocorrer fissuras na parte inferior, que está submetida a esforços de tração, devido a pequena deformabilidade e baixa resistência do concreto a tração, assim, essas fissuras fazem com que a capacidade de resistência ao momento fletor seja pequena (CARVALHO, 2016). A Figura 2 exemplifica essa situação.

Figura 2 – Viga de concreto submetida a flexão



Fonte: Moreira (2018)

Dessa forma, para aumentar a resistência do elemento, é importante associar ao concreto um material que possua boa capacidade de resistência aos esforços de tração e apresente maiores deformações, para isto, é comumente empregando a utilização de barras de aço na região tracionada do elemento, no sentido longitudinal da peça (CARVALHO, 2016).

Isto posto, é a partir das forças de aderência entre a superfície do concreto e o aço, que estes trabalharão solidariamente fazendo com que o concreto armado se comporte como solução estrutural, conforme orienta (CARVALHO, 2016).

3.3 Elementos Estruturais

A ABTN NBR 6118:2014 estabelece que os elementos estruturais são classificados segundo as suas dimensões preponderantes, sendo divididos entre elementos lineares e elementos de superfície. O primeiro, são aqueles em que seu comprimento longitudinal supera a maior dimensão da seção transversal em pelo menos três vezes, o segundo são aqueles em a espessura é relativamente pequena em comparação com as outras duas dimensões.

De acordo com a ABTN NBR 6118:2014, cada elemento estrutural recebe a seguinte designação:

> **Vigas:** Elementos lineares em que a flexão é preponderante;
> **Pilares:** Elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes;
> **Tirante:** Elementos lineares de eixo reto em que as forças normais de tração são preponderantes;
> **Arcos:** Elementos lineares curvos em que as forças normais de compressão são preponderantes, agindo ou não simultaneamente com esforços solicitantes de flexão, cujas ações estão contidas em seu plano;
> **Placas:** Elementos de superfície plana, sujeitos principalmente a ações normais a seu plano. As placas de concreto são usualmente denominadas lajes. Placas com espessura maior que 1/3 do vão devem ser estudadas como placas espessas;
> **Chapas:** Elementos de superfície plana, sujeitos principalmente a ações contidas em seu plano. As chapas de concreto em que o vão for menor que três vezes a maior dimensão da seção transversal são usualmente denominadas vigas-parede;
> **Cascas**: Elementos de superfície não plana;
> **Pilares-parede:** Elementos de superfície plana ou casca cilíndrica, usualmente dispostos na vertical e submetidos preponderantemente à compressão. Podem ser compostos por uma ou mais superfícies. (ABNT NBR 6118, 2014)

3.4 Sistema Estrutural

A estrutura é a parte resistente da edificação, sendo esta a responsável por absorver os carregamentos e transmiti-las ao solo. As construções são compostas da disposição funcional de um conjunto de elementos estruturais que foram a superestrutura da edificação, onde estes podem ser classificados em: elementos lineares (Vigas e pilares) e elementos de superfície (Lajes).

Existem diversos modelos de sistemas estruturais consolidados no mercado, contudo a sua escolha está relacionado a fatores externos, como condições econômicas, técnicas, interferência na arquitetura, mão de obra especializada, disponibilidade de materiais e equipamentos.

As estruturas devem ser projetadas de modo a garantir a funcionalidade da edificação durante sua vida útil sob a incidência de ações verticais e horizontais, onde estas são responsáveis pelo surgimento de esforços solicitantes e deformações nos elementos estruturais.

Os carregamentos verticais dão início pelas lajes, onde estas são responsáveis por absorver os carregamentos permanentes, como paredes de alvenaria, revestimentos e peso próprio, e também carregamentos variáveis, que tem uma certa amplitude quanto a intensidade

da sua incidência, como carga de móveis, pessoas e veículos. Este último é definido baseado nos critérios de uso e ocupação da construção.

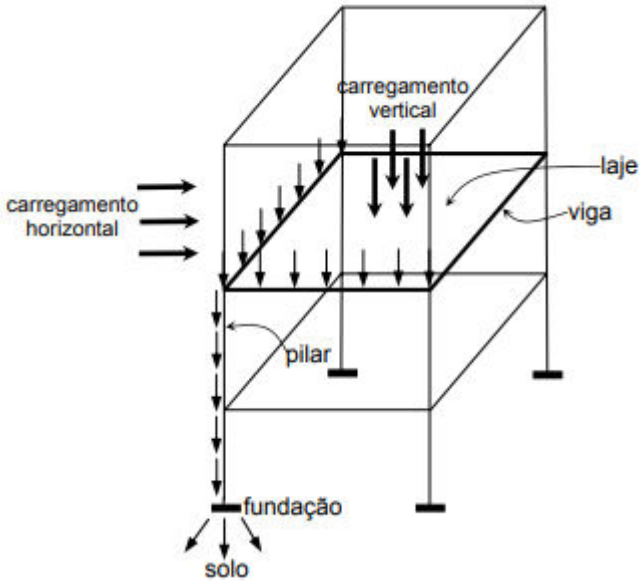
As vigas são os elementos responsáveis por absorver as reações das lajes, de paredes, de outras vigas e em alguns casos, de pilares. Estes elementos são encarregados de vencer vãos e transmitir seus esforços para seus apoios, comumente os pilares.

Os pilares são os elementos que recebem os carregamentos das vigas e conduzem para os pavimentos inferiores até as fundações que transmitem os esforços ao solo.

As ações horizontais percorrem os mesmos caminhos até serem transmitidas ao solo, contudo só são relevantes para construções de maior porte, com níveis superiores a 4 pavimentos, pois ao contrário os efeitos de segunda ordem têm pouca significância (SILVA, 2017).

A Figura 3 ilustra o comportamento do fluxo de cargas em uma estrutura convencional.

Figura 3 – Fluxo de carga na estrutura



Fonte: Silva (2010)

3.5 Ações Atuantes

Ações são como quaisquer influência ou conjunto de influências que provocam estados de tensão ou deformação nas estruturas (CARVALHO, 2016).

As ações podem ser classificadas em três grupos segundo a ABNT NBR 8681:2003, ações permanentes, ações variáveis e ações excepcionais.

As ações permanentes são aquelas que ocorrem com valores constantes ou de pequena variabilidade em torno da sua média, durante toda a vida útil da edificação, como peso próprio da estrutura, carga de parede e revestimento.

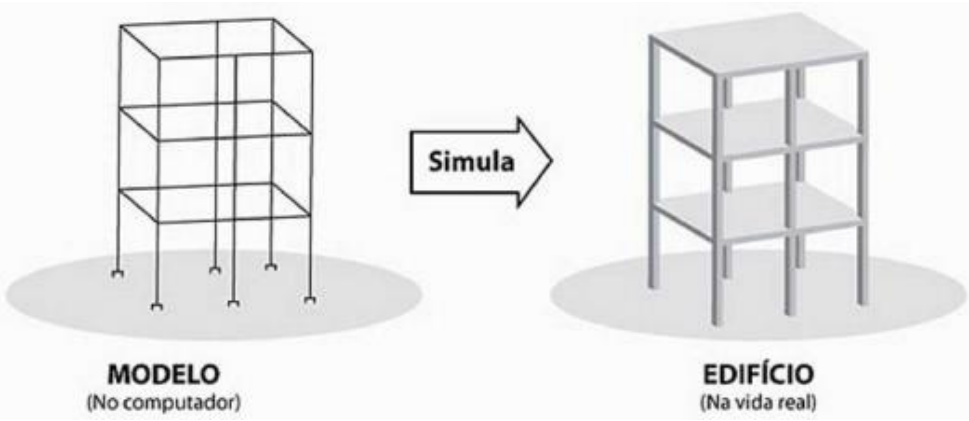
As ações variáveis, são as que apresentam significativas variação em torno da sua média, estão são ações que são definidas de acordo com o uso e ocupação como, fluxo de pessoas, mobiliário, veículos, tipo de edificação (residencial ou comercial) e outros (ABNT NBR 8681, 2003). Estes carregamentos são obtidos a partir da NBR 6120:2019.

As ações excepcionais são aquelas que ocorrem por um breve período de tempo e que possuem baixas probabilidades de ocorrências, mas em algumas construções devem ser consideradas no dimensionamento, como ações sísmicas (ABNT NBR 8681, 2003).

3.6 Modelos de Análise Estrutural

Existem vários modelos de análise estrutural para edificações em concreto armado, onde cada um apresenta características próprias que os diferem. Kimura (2007) cita que modelos estruturais são representações computacionais que tem como objetivo simular o comportamento real da edificação.

Figura 4 – Representação computacional da estrutura real



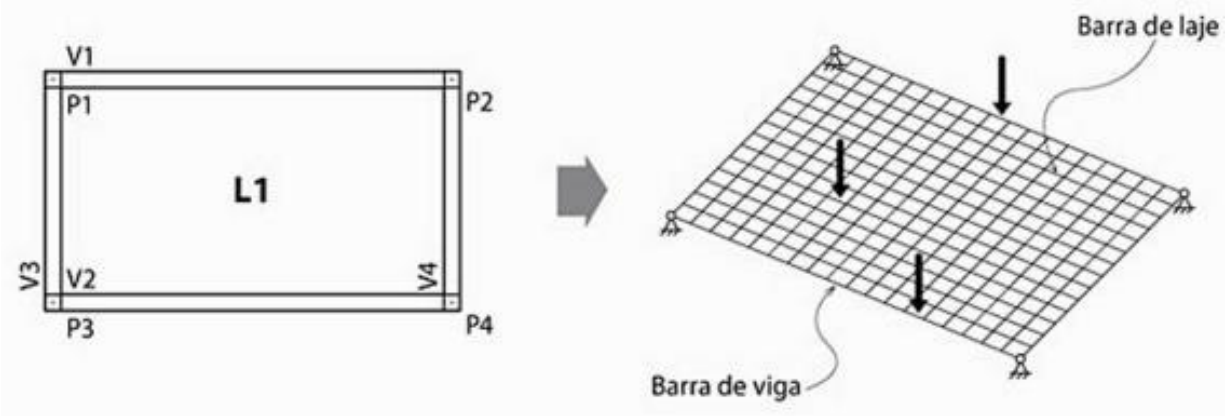
Fonte: Kimura (2007)

3.6.1 Grelha de lajes e vigas

Este é modelo é direcionado a análise estrutural de um pavimento, no qual o método é baseado na composição de elementos lineares ordenado no plano horizontal, que simulam as

vigas e as lajes, onde formam uma malha submetida a solicitações verticais e seus apoios (pilares) são representados como apoios simples (KIMURA, 2007). A figura 5 traz a representação do modelo.

Figura 5 – Modelo de grelha de laje e vigas



Fonte: Kimura (2007)

Cada pano de laje, é subdividido em diversos alinhamentos de barras, onde normalmente são dispostas no sentido principal e secundário da laje e em regiões de grande concentração de tensões é gerada uma malha mais densa para obter uma análise mais detalhada (KIMURA, 2007). Ainda segundo o autor, os dados das barras que simulam as vigas, dependem de suas características próprias (Seção transversal e material) e as barras que simulam as lajes dependem da subdivisão adotada.

Neste modelo, a distribuição dos esforços não é mais feita por área de influência, uma vez solicitada por carregamentos verticais, a distribuição das tensões nas lajes e vigas é feita de acordo com a rigidez de cada barra, partindo do ponto de menor para o ponto de maior rigidez (KIMURA, 2007).

O autor ainda complementa que, na intersecção entre as barras é atribuído um nó com três graus de liberdade, fazendo com que seja possível a obtenção dos esforços (momento fletor e torsos e esforço cortante) e deslocamentos em todos as vigas e lajes do pavimento, bem como o carregamento nos pilares por meio das reações nos apoios. Contudo, o método não considera a solicitação por carregamentos horizontais.

3.6.2 Pórtico plano

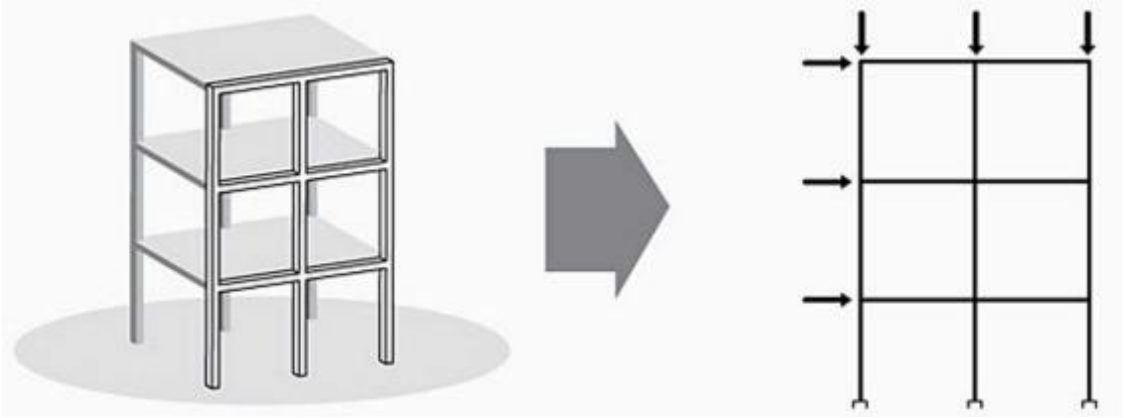
Este modelo trata-se de uma análise direcionada ao comportamento global da estrutura e não mais de um único pavimento, admitindo também a análise da influência de carregamentos

verticais e horizontais (KIMURA, 2007). Neste modelo, a estrutura é analisada apenas em uma parte por barras dispostas em um mesmo plano vertical de alinhamento da estrutura, fazendo a representação das vigas e pilares da edificação, entretanto, as lajes não fazem parte do modelo analisado (KIMURA, 2007).

Da mesma forma que no modelo anterior, em cada intersecção de barras é atribuído um nó com três graus de liberdade, possibilitando a obtenção de esforços (momento fletor, esforço normal e cortante) e deslocamento em cada pilar e viga (KIMURA, 2007).

A utilização desse modelo possibilita com sucesso a análise do efeito de ventos e da estabilidade global da estrutura.

Figura 6 – Modelo do Pórtico Plano



Fonte: Kimura (2007)

3.6.3 Pórtico espacial

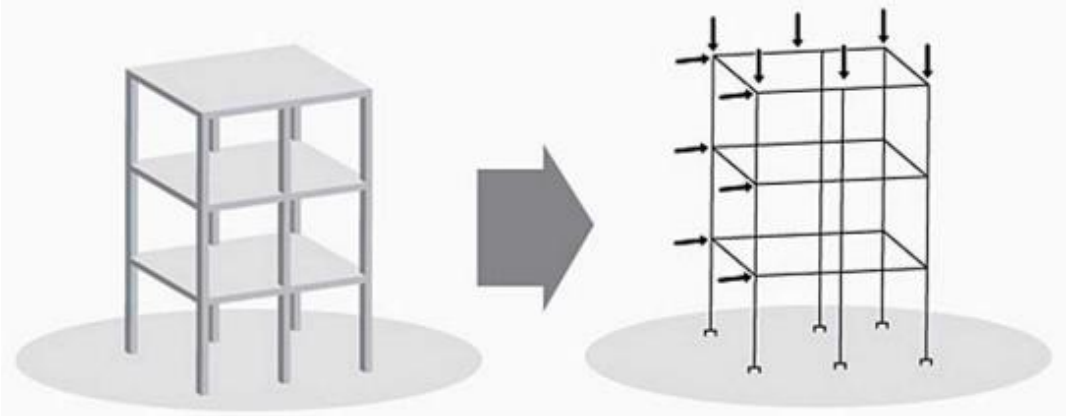
Este modelo consiste na representação tridimensional das barras que correspondem a todos os pilares e vigas do edifício, possibilitando uma completa e eficiente análise do comportamento global da estrutura (KIMURA, 2007).

Neste modelo as lajes não são usualmente presentes, pois estas são consideradas como elementos que possuem alta rigidez no plano horizontal, sendo capaz de compatibilizar de forma equivalente o comportamento em todos os pontos do mesmo pavimento (KIMURA, 2007). O autor ainda complementa que, esse tratamento atribuído as lajes é designado de diafragma rígido, e pode ser simulado facilmente no modelo de outras maneiras (enrijecendo as vigas lateralmente ou criando elementos especiais no modelo e outros).

O modelo admite a aplicação simultânea de cargas verticais e horizontais, podendo analisar o comportamento do edifício em todas as direções e cada nó possui seis graus de

liberdade, possibilitando a obtenção dos esforços (esforço normal, esforço cortante, momento fletor e torsos) e deslocamentos em todas as vigas e pilares do edifício (KIMURA, 2007).

Figura 7 – Modelo do Pórtico Plano



Fonte: Kimura (2007)

3.7 Programas Computacionais

Há algumas décadas os cálculos estruturais eram realizados totalmente de forma manual e a partir dos avanços tecnológicos que possibilitou as análises de estruturas cada vez mais detalhadas e novos métodos de análise do comportamento das estruturas surgiram, no qual só foi possível com o advento dos computadores. A partir desses métodos de análise estrutural, utilizando métodos finitos possibilitou processo de informatização desses cálculos, e com isso os *softwares* computacionais foram desenvolvidos.

A informatização das etapas de cálculos estruturais veio para auxiliar os profissionais da engenharia e não para substitui-los, uma vez que o *software* precisa ser alimentado com informações e somente os profissionais da engenharia tem o conhecimento adequado para fazer o uso correto da ferramenta.

Contudo, devido à alta complexidade e sofisticação das análises disponíveis pelos *softwares* alguns conceitos fundamentais da engenharia foram colocados de lado e muitas vezes sendo confundido o papel do engenheiro e do programa.

O engenheiro deve utilizar os softwares como auxilio para tornar suas atividades mais eficientes, tendo noção das limitações e benefício que cada *software* oferece, levando em conta sempre em primeiro lugar os conhecimentos de engenharia (KIMURA, 2007).

Apesar dos *softwares* proporcionarem ótimas produtividades, estes não substituem os engenheiros, pois os programas não executam a concepção estrutural, como também não analisam as melhores soluções, quanto à disposição dos elementos estruturais. Sendo assim,

estes só executam os cálculos e auxiliam na etapa de análise estrutural, tornando indispensável a influência do engenheiro para executar as questões interpretativas quanto a otimização daquela solução estrutural.

Com o avanço da tecnologia e a informatização dos processos na área estrutural, sugiram vários programas para auxiliar os profissionais de engenharia na realização de projetos. Sendo assim, é necessário conhecer as principais características dos principais programas de cálculo estrutural, para que possa ser escolhido a ferramenta que mais se adequa às suas necessidades. Isto posto, será discutido a respeitos de dois dos *softwares* bastantes difundidos na comunidade profissional de engenheiros estruturais no Brasil, sendo eles o Eberick e o CypeCad.

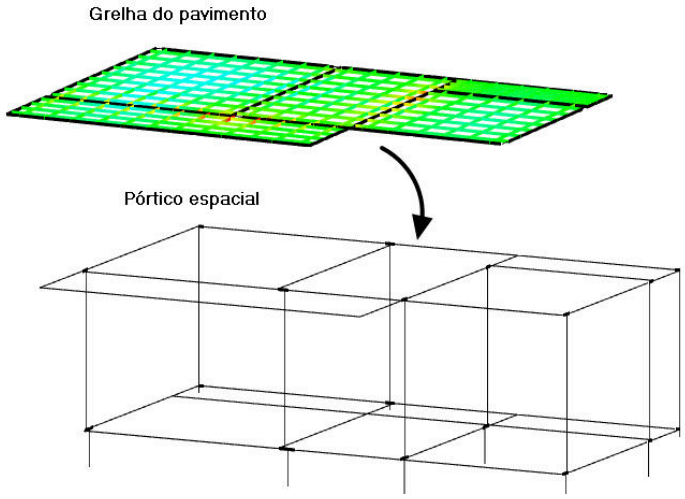
3.7.1 Eberick

O Eberick é um *software* computacional pago desenvolvido pela empresa brasileira AltoQi Tecnologia, desenvolvido para auxiliar na elaboração de projetos de estruturas de concreto armado, pré-moldado, alvenaria estrutural e estruturas mistas, realiza o dimensionamento das peças estruturais, e tem como resultado final o detalhamento das armaduras e planta de formas. Apesar do *software* ser pago, este conta com uma versão demonstrativa gratuita.

O programa está adequado as normas brasileiras e verifica os elementos segundo o seu Estado de Limite de Serviço – ELS e Estado de Limite Ultimo – ELU, além de realizar diversas outras análises normativas.

O programa possui uma base Cad própria com ferramentas para melhorar o manuseio no projeto. O procedimento de cálculo e análise dos esforços e deslocamentos no programa ocorre através da discretização da estrutura em um modelo de pórticos espacial composto por vigas e pilares e a análise dos panos de lajes é realizada a partir do modelo de grelhas (ALTOQI², 2020).

Figura 8 – Modelo de Análise Estrutural no Eberick



Fonte: AltoQi² (2020)

3.7.2 Cypecad

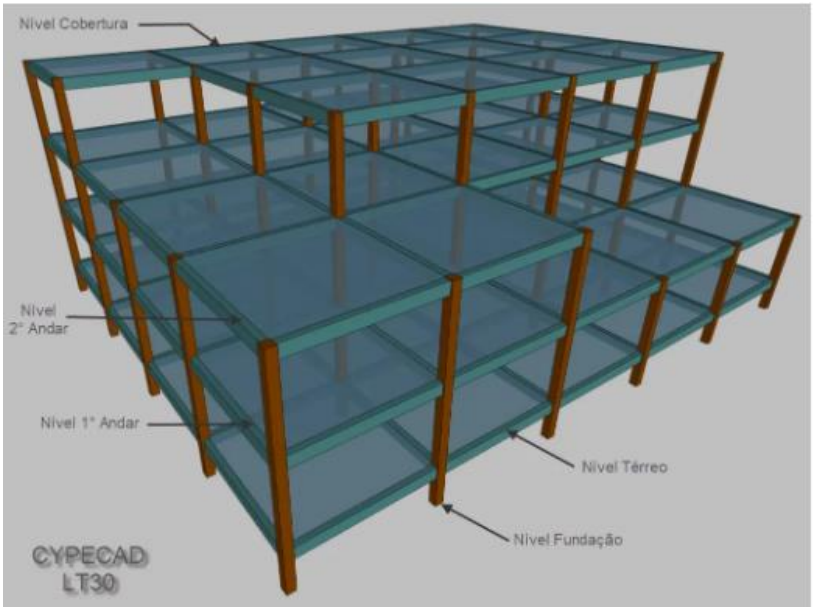
O Cypecad desenvolvido pela empresa espanhola Cype Ingenieros S.A e comercializado no brasil pela Multiplus Softwares Técnicos, é um programa destinado para projeto estrutural em concreto armado, pré-moldado, protendido e misto de concreto e aço que engloba as etapas de lançamento do projeto, análise e cálculo estrutural, dimensionamento e detalhamento final dos elementos (MULTIPLUS¹, 2020).

O *software* possui base Cad própria e conta com um recurso diferencial que reconhece e faz o lançamento automático da estrutura a partir de um arquivo DWG/DXF. O programa também reduz de forma considerável redundâncias relacionadas as considerações do peso próprio da estrutura, fazendo esse cálculo automaticamente.

Além disso, todos os recursos para detalhamento e dimensionamento estão de acordo com as normas brasileiras de concreto armado (NBR 6118:2014), fundações (NBR 6122:2010), carregamentos (NBR 6120:1980), barras (NBR 7480:2007), ventos (NBR 6123:1988), ações e combinações (NBR 8681:2003) (MULTIPLUS¹, 2020).

O cálculo da estrutura é realizado através do modelo do pórtico espacial, por método de rigidez matricial, fazendo a consideração de todos os elementos que definem a estrutura, como: pilares, paredes, muros, vigas e lajes (MULTIPLUS¹, 2020). Para o cálculo das lajes, é utilizado elementos especiais de laje, considerando diafragma rígido e a estrutura toda trabalhando em conjunto como pórtico espacial (MULTIPLUS², 2020)

Figura 9 – Modelo de Estrutura no CypeCad



Fonte: Multiplus³ (2020)

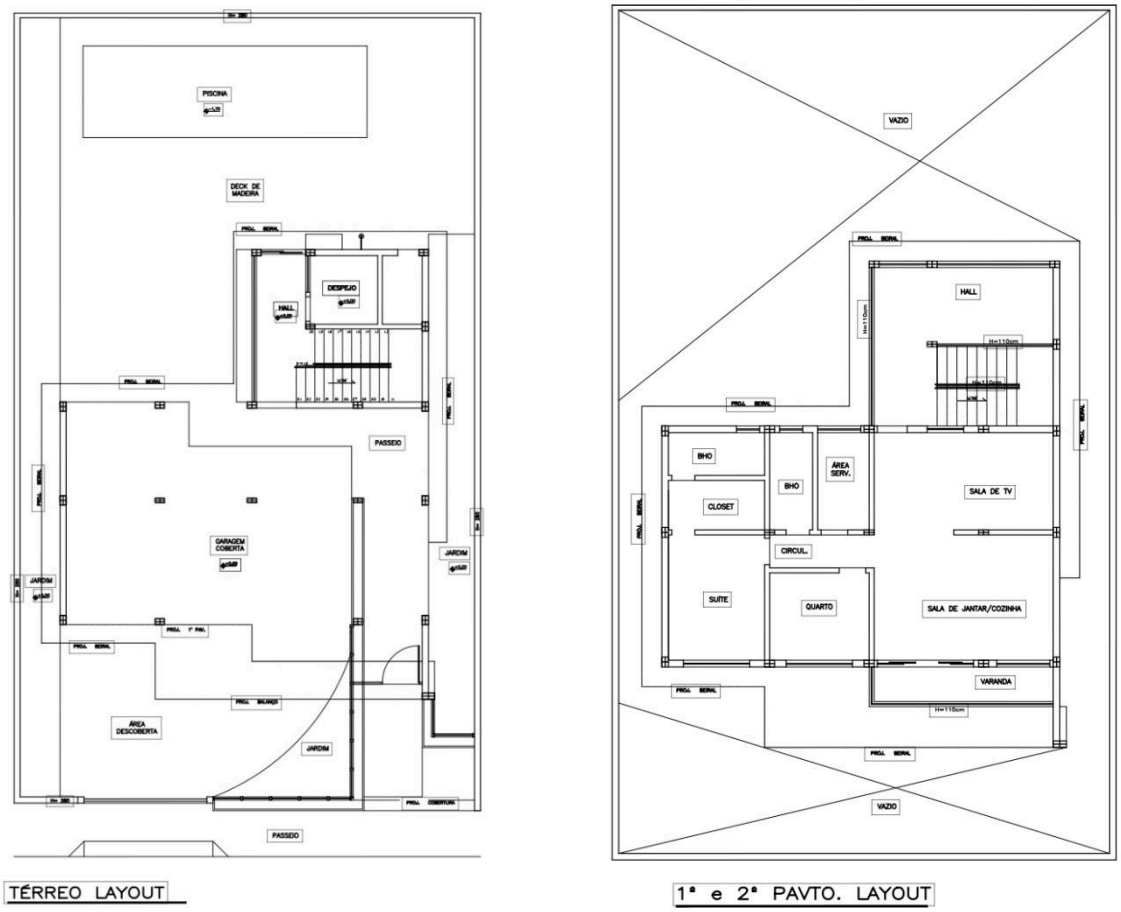
4. METODOLOGIA

4.1 Características da Edificação

A edificação utilizada neste estudo, é caracterizada como uma edificação residencial de 4 pavimentos, situada em ambiente urbano, composta por térreo, dois pavimentos tipo, terraço e cobertura. O projeto arquitetônico utilizado neste estudo foi cedido pela plataforma do curso Programa Estruturas do Início ao Fim – PEIF, desenvolvido e gerenciado pelo engenheiro civil Vinícius Cardoso.

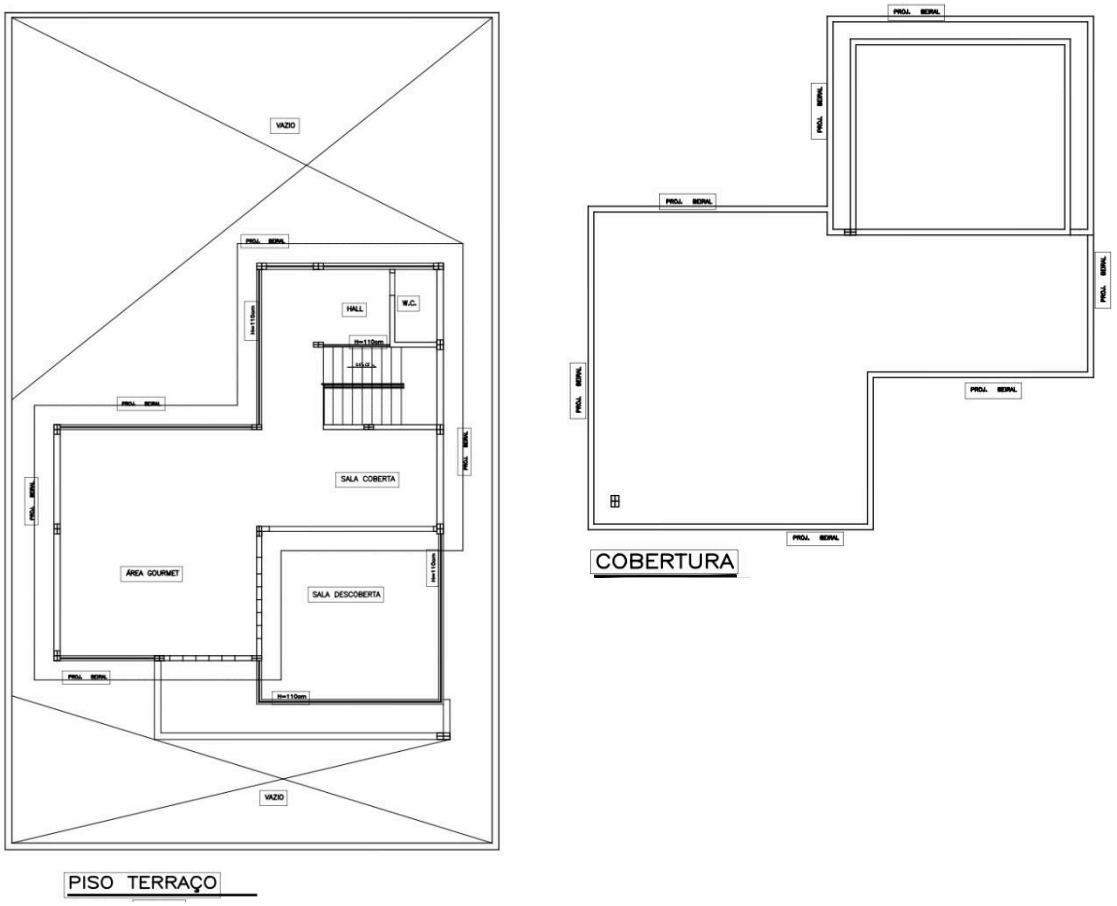
O pavimento tipo compreende uma área de 123,25 m² e é composto por sala de TV, sala de jantar/cozinha, dois quartos sendo um uma suíte, banheiro social, área de serviço e varanda. O terraço possui uma sala coberta, sala descoberta e área gourmet. As alvenarias da edificação são em tijolo cerâmico com espessura de 20 cm nas paredes externas e 15 cm nas paredes internas. As plantas dos pavimentos podem ser conferidas nas Figuras 10 e 11.

Figura 10 – Planta baixa do térreo e pavimento tipo



Fonte: Santos (2019)

Figura 11 – Planta baixa do terraço e cobertura



Fonte: Santos (2019)

4.2 Procedimentos de Análise Comparativa

O procedimento de cálculo neste estudo se deu da seguinte forma. Inicialmente a estrutura pré-dimensionada foi modelada e lançada no *software* Cypecad, onde foi realizada o lançamento de todos os elementos estruturais e realizado seu dimensionamento.

Após o dimensionamento da estrutura foi analisado os erros nos elementos apresentados pelo programa e corrigido da forma que fosse gerado o mínimo de impacto no dimensionamento original do software. Assim, foi executado este procedimento para todos os elementos que apresentaram algum erro de dimensionamento.

Concluída todas as verificações, foi realizado lançamento da estrutura original no *software* Eberick e analisado a diferença entre os erros de dimensionamento apresentados nos elementos entre os programas. Após, foi realizado a análise comparativa no dimensionamento, quantitativos da obra e carregamento nas fundações.

4.3 Considerações de Projeto

Para a realização do projeto é necessário adotar critérios estabelecido nas normas, onde estas buscam garantir que a estrutura tenha um bom desempenho funcional quanto a sua segurança e que possa apresentar ótimo estado de serviço durante toda sua vida útil. Para garantir a padronização no dimensionamento em ambos os *softwares,* é necessário que estes sejam configurados seguindo os mesmos critérios de dimensionamento. Dessa forma, foram adotadas as seguintes considerações.

4.3.1 Classe do Concreto

A classe do concreto a ser empregado na estrutura, é definida segundo a ABNT NBR 6118:2014 quanto ao local onde construção estará inserida, de modo que, a interação entre a agressividade do meio com a estrutura, definirá a resistência mínima que este concreto deve apresentar. Para a escolha da classe do concreto, foi utilizado como parâmetro os critérios de acordo com a classe de agressividade ambiental - CAA.

Assim, considerando que a edificação estará presente em meio urbano, de acordo com a tabela 6.1 da ABNT NBR 6118:2014, é considerada classe de agressividade ambiental II, com agressividade moderada e pequeno risco de deterioração da estrutura, conforme pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 – Classe de Agressividade Ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana[1), 2)]	Pequeno
III	Forte	Marinha[1)]	Grande
		Industrial[1), 2)]	
IV	Muito forte	Industrial [1), 3)]	Elevado
		Respingos de maré	

[1)] Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível 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).

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

[3)] Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

A partir da definição da CAA, é definido os critérios da classe do concreto e o cobrimento para vigas, pilares, lajes e fundações. Dessa forma, foi definida a resistência característica à compressão do concreto (fck) para todos os elementos estruturais como sendo C25 e o cobrimento para os elementos da superestrutura de 3,0 cm para vigas e pilares e para lajes de 2,0 cm. Para os elementos em contato com o solo, fica definido um cobrimento mínimo de 4,5 cm, dessa forma, para uma melhor otimização do processo construtivo, fica definido um cobrimento de 5,0 cm. As Tabelas 4 e 5 indicam as condições para a escolha desses parâmetros segundo a norma.

Tabela 4 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
NOTAS 1 O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655. 2 CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado. 3 CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

Tabela 5 – Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nomina

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV[3)]
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje[2)]	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido[1)]	Todos	30	35	45	55
[1)] Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão. [2)] 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 tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm. [3)] Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.					

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

4.2.2 Carregamentos Atuantes

Os carregamentos nas estruturas são divididos em dois tipos, os permanentes, como o peso próprio da estrutura, revestimentos de pisos e cargas de paredes, e os carregamentos acidentais ou sobrecargas, que variam em função do tipo de utilização da estrutura em questão.

Todos os carregamentos foram utilizados seguindo as recomendações da ABNT NBR 6120:2019, onde para cada pavimento foi verificada seu valor de sobrecarga e calculado o valor das cargas permanentes, sendo para este último dispensado o valor do peso próprio da estrutura, visto que os softwares já realizam esta consideração automaticamente. Sendo assim, os carregamentos adotados em cada pavimento podem ser conferidos na Tabela 6.

O cálculo do carregamento das paredes foi realizado tanto para as paredes de 20 cm de espessura como para as de 15 cm. Este carregamento também variou em função da altura do pé direito da edificação. No entanto se considerou a altura entre o piso acabado e a viga do pavimento superior. O procedimento de cálculo destes carregamentos pode ser conferido através da Equação 01.

$$Cp = \gamma p * e * h \quad (1)$$

Onde,

Cp: Carregamento das paredes (kN)

γp: Peso específico da parede (kN/m³)

e: Espessura da parede (m)

h: Altura da parede (m)

Tabela 6 – Cargas Permanentes por pavimento

Pavimento	**Carga Permanente**		
	Alvenaria de 15 cm	**Alvenaria de 20 cm**	**Revestimento do Piso**
Térreo	6,533 kN/m	8,710 kN/m	1,22 kN/m²
1º Pavimento	5,850 kN/m	7,800 kN/m	1,22 kN/m²
2º Pavimento	5,850 kN/m	7,800 kN/m	1,22 kN/m²
Piso do Terraço	0,257 kN/m	7,800 kN/m	1,22 kN/m²
Laje da Caixa d'água	1,365 kN/m	-	0,99 kN/m²
Cobertura da Caixa d'água	-	-	-

Fonte: Autoria Própria (2020)

As cargas acidentais são provenientes do tipo uso e ocupação de cada pavimento de uma edificação, assim, as cargas foram definidas de acordo com o uso de cada pavimento, onde estes apresentam variações entre si devido a ocupação de cada espaço. As cargas podem ser conferidas na Tabela 7.

Tabela 7 – Cargas Acidentais por pavimento

Pavimento	**Cargas Acidentais**				
	Residencial[1]	**Área de Serviço**	**Terraço**	**Cobertura**	**Escada**
Térreo	-	-	-	-	2,50 kN/m²
1º Pavimento	1,50 kN/m²	2,00 kN/m²	-	0,50 kN/m²	2,50 kN/m²
2º Pavimento	1,50 kN/m²	2,00 kN/m²	-	0,50 kN/m²	2,50 kN/m²
Piso do Terraço	-	-	2,00 kN/m²	-	2,50 kN/m²
Laje da Caixa d'água	-	-	-	0,50 kN/m²	-
Cobertura da Caixa d'água	-	-	-	-	-

[1]Carregamento para edificações residenciais para os seguintes ambientes: sala, dormitórios, copa, cozinha e sanitários

Fonte: Autoria Própria (2020)

Além destas, ainda é necessário a inserção de cargas não contempladas na norma, como cargas adicionais devido ao acréscimo de peso concentrado na superfície de uma laje. Dessa forma, as cargas devido ao peso da caixa d'água sobre a laje foram inseridas de acordo com a Tabela 8. Para este projeto, foi considerada duas caixas de 1500 litros cada.

Tabela 8 – Cargas adicionais na laje da caixa d'água

	Carga adicional da Caixa D'água		
Laje da Caixa d'água	L6/L3	L7/L4	L9/L6
	2,75 kN/m²	4,23 kN/m²	1,64 kN/m²

*Lajes correspondentes ao projeto no Eberick/Cypecad

Fonte: Autoria Própria (2020)

4.2.3 Ações do Vento

As cargas devido ao vento foram consideradas seguindo os critérios estabelecidos na ABNT NBR 6123:1988, na qual é contemplada na biblioteca de ambos os *softwares*. As definições dos fatores são estabelecidas em função das dimensões da edificação e da localização e relevo onde está estará inserida.

O fator topográfico (S_1) é um parâmetro que leva em consideração as variações no relevo do terreno. Para este estudo foi considerado um terreno plano ou fracamente acidentado, dessa forma o fator topográfico foi definido como $S_1 = 1$.

O fator estatístico (S_3) baseia-se em conceitos estatísticos, e leva em consideração o grau de segurança requerido, como também o período de vida útil da edificação. Dessa forma, para o tipo de edificação caracterizada neste trabalho, o fator estatístico fica definido como $S_3 = 1$, que compreende edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação.

A rugosidade do terreno fica definida como Categoria IV, Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada (ABNT NBR 6123:1988). Para a classe da edificação, foi definida a classe A, para edificações em que sua maior dimensão, horizontal ou vertical seja inferior a 20 m. O coeficiente de arrasto é calculado em cada software automaticamente em função das larguras de faixa em cada pavimento. Segundo as curvas do mapa eólico do brasil, Figura 1 da NBR 6123:1988, foi definida a velocidade básica do vento como sendo de 30m/s e vento de baixa turbulência.

4.2.4 Dimensões dos Elementos

Os elementos foram pré-dimensionados de modo a ficarem embutidos nas alvenarias, desse modo os pilares e vigas tiveram sua menor dimensão baseada na dimensão da espessura das alvenarias. Para pilares e vigas localizados em alvenarias externas, foi atribuído um valor de 20 cm e para os localizados em alvenarias internas foi empregado um valor de 15 cm. As demais considerações dos elementos podem ser conferidas na Tabela 9.

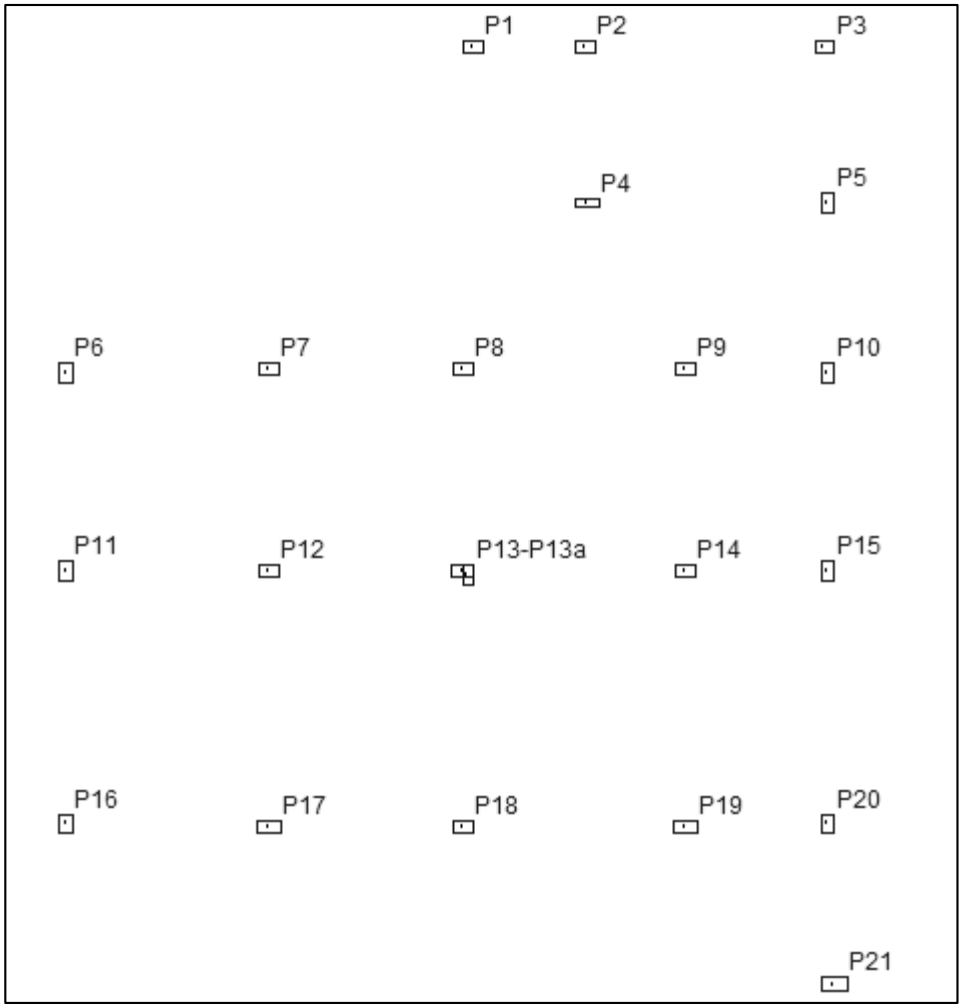
Tabela 9 – Pré-Dimensionamento dos elementos Estruturais

Pavimento	**Pilares Externos**	**Pilares Internos**	**Vigas Externas**	**Vigas Externas**	**Lajes**
Térreo	20x30	15x30	15x30	20x30	10,00 cm
1º Pavimento	20x30	15x30	15x40	20x40	10,00 cm
2º Pavimento	20x30	15x30	15x40	20x40	10,00 cm
Piso do Terraço	20x30	15x30	15x40	20x40	10,00 cm
Laje da Caixa d'água	20x30	15x30	15x35	20x35	10,00 cm
Cobertura da Caixa d'água	20x30	15x30	15x20	20x35	10,00 cm

Fonte: Autoria Própria (2020)

Os pilares P7, P8 e P9 reduzem sua menor dimensão de 20 para 15cm no nível do piso do terraço, pois a espessura da alvenaria reduz neste pavimento e para que os elementos continuem embutidos nelas, também é necessária sua adaptação Da mesma forma, o pilar P13 muda de direção no mesmo pavimento devido a imposições arquitetônicas. A Figura 12 mostra a concepção da locação dos pilares.

Figura 12 – Disposição dos pilares em planta no nível do pavimento térreo



Fonte: Autoria Própria (2020)

A escolha do tipo de escada foi baseada nas limitações dos softwares, o Eberick permite a inserção de dois tipos de escadas, de fundo plano e do tipo plissada, contudo o Cypecad só realiza o dimensionamento de escada de fundo plano. Sendo assim para que se possa garantir uma conformidade no lançamento da estrutura em ambos os softwares, foi empregado o modelo que é contemplado nos dois programas, a escada do tipo fundo plano. Seguindo o modelo arquitetônico, foi empregada a escada em formato U. A Tabela 10 mostra as características geométricas da escada empregada no projeto.

Tabela 10 – Características geométricas do núcleo de escadas

Tipo	**Fundo Plano**
Largura (a)	1,20 m
Piso (h)	0,30 m
Espelho (t)	0,175 m
Espessura	0,15 m

Fonte: Autoria Própria (2020)

4.2.5 Fundações

Para o dimensionamento das fundações, neste projeto foi escolhido a fundação classificada como direta, do tipo sapata e a tensão admissível do solo foi considerada como sendo de 0,2MPa. Vale salientar que, as fundações não necessitam de um pré-dimensionamento, visto que ambos os softwares realizam o dimensionamento sem a necessidade de uma configuração previa das dimensões.

4.2.6 Modelagem Computacional

Após a definição dos critérios de projeto é iniciado o processo de modelagem da estrutura em cada programa para realizar o dimensionamento e cálculo estrutural.

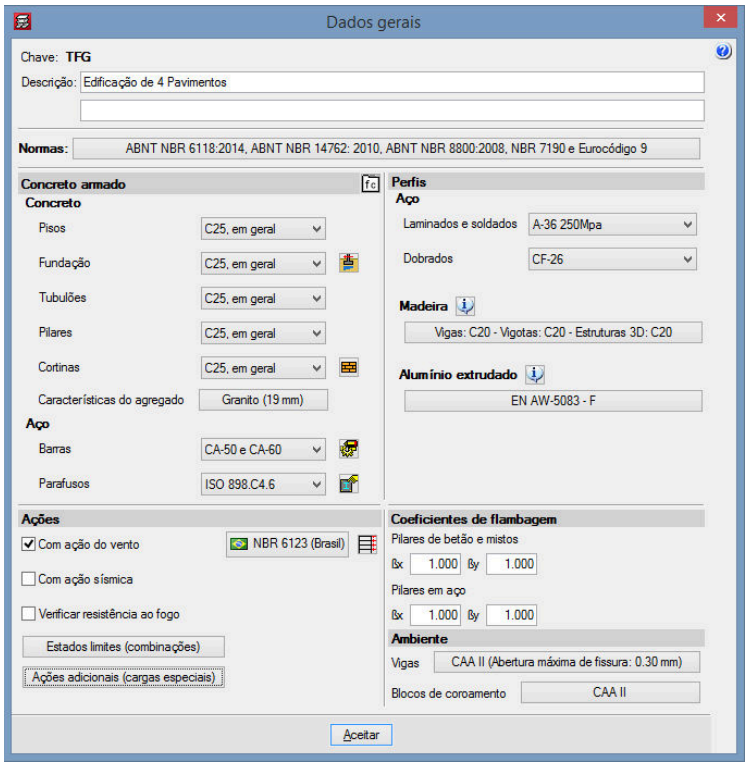
O lançamento da estrutura é feito de forma relativamente simples, utilizando o próprio ambiente Cad presente no programa e com o auxílio das plantas baixa para realizar a locação dos elementos.

4.2.6.1 Cypecad

O primeiro passo no Cypecad é a definição da forma de introdução da estrutura, onde é possível a escolha da opção obra vazia, onde será realizado todo o dimensionamento de forma manual, introdução automática, onde o software gera o lançamento de parte da estrutura baseada nos layers do arquivo DWG/DXF e a importação de arquivos em formato IFC. Para este caso, foi utilizada a opção “Obra vazia”.

Na etapa seguinte abre uma janela de “Dados gerais”, onde é possível realizar todas a configurações das adoções de projeto, como a escolha da classe do concreto para os elementos estruturais, CAA, normas utilizadas, configurações dos diâmetros utilizados e tipo de aço, tensão admissível do solo e ações de vento e sismo, sendo as considerações de sismo não considerada no projeto.

Figura 13 – Janela de dados gerais do Cypecad



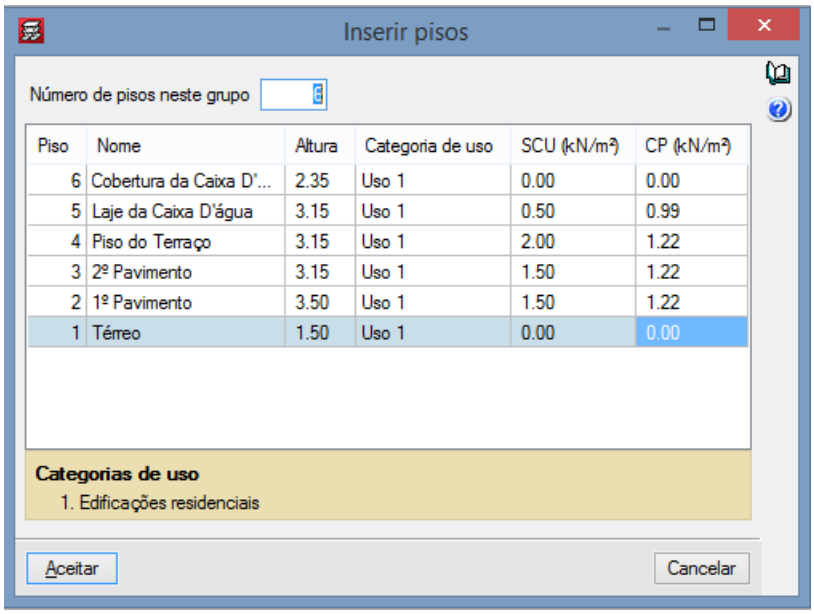
Fonte: Autoria Própria (2020)

Em seguida abre a janela principal do programa e inicia a etapa de inserção dos níveis dos pavimentos a partir da ferramenta “Novos Pisos”, localizada na barra de ferramentas. Nesta janela, além de definir os níveis são também definidos os carregamentos acidentais e os carregamentos permanentes quanto ao revestimento dos pisos.

Ainda nesta janela é definida a quantidade de níveis da edificação, dado nome e definida a altura para cada um destes e definido seus carregamentos. Na coluna “SCU” é inserido os valores da carga acidental ou também denominada de sobrecarga de utilização e na coluna CP é inserida as cargas permanentes dos pisos. Todas as cargas devem ser inseridas na unidade de kN/m². Estas configurações são apresentadas na Figura 14.

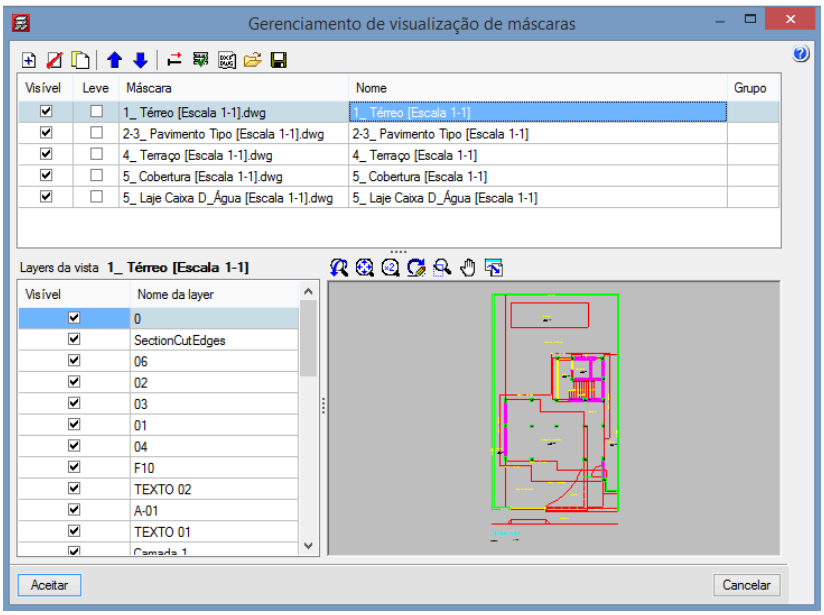
Após é feito a inserção das máscaras em formato DWG/DXF para auxiliar no lançamento da estrutura e garantir o alinhamento e prumada dos elementos. Para realizar esta etapa é necessário acessar a ferramenta “Editar mascaras”, onde nesta é feita a importação dos arquivos contendo as plantas do projeto. Para garantir uma correta importação das máscaras, é necessário que as plantas estejam em escala 1:1 e em unidade de metros. A Figura 15 ilustra a janela contendo estas configurações.

Figura 14 – Janela para inserir os pisos no Cypecad



Fonte: Autoria Própria (2020)

Figura 15 – Janela para inserir os pisos no Cypecad



Fonte: Autoria Própria (2020)

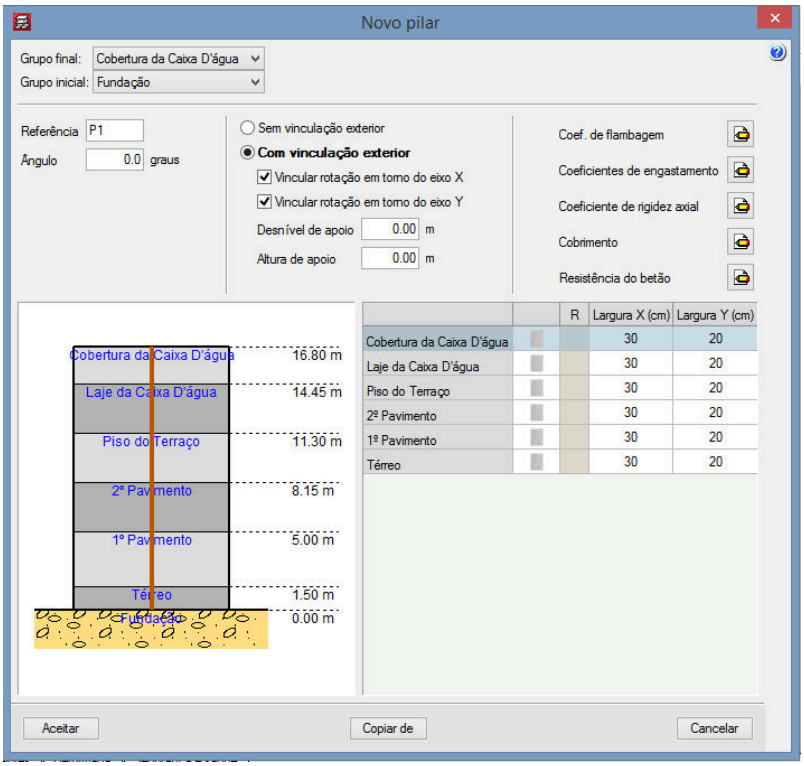
Após este processo é iniciado a etapa de lançamento da estrutura começando pelos pilares. Para iniciar o lançamento é necessário estar na aba “Entrada de pilares” localizada no canto inferior esquerdo, com isso é habilitada a vista dos layers dos pavimentos e utilizada a ferramenta “Novo pilar”.

Nesta ferramenta é possível realizar a configuração da continuidade dos pilares, nível onde este inicia e morre, das dimensões dos pilares, tipo de vinculação, coeficientes de

flambagem, engastamento, rigidez axial e resistência do concreto. Isto posto, é iniciado o processo de lançamento dos pilares em suas respectivas locações já pré-definidas nas plantas baixa. A Figura 16 exemplifica a janela de inserção dos pilares.

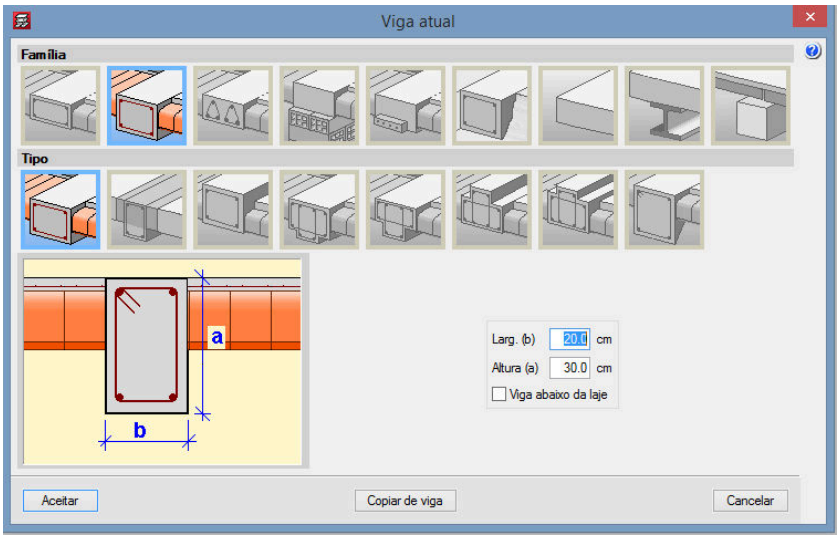
Concluída a etapa de lançamento dos pilares, é alternado da aba “Entrada de pilares” para “Entrada pavimento”, onde é nesta que é realizado o lançamento das vigas e das lajes. Na ferramenta “Entrar viga” é oferecido diversas opções de famílias e tipo de viga que se deseja inserir, como também as dimensões do elemento. Para este projeto foi utilizada a família de “vigas altas” e o tipo “Viga alta retangular”. Na Figura 17 é possível visualizar a forma de utilização da ferramenta.

Figura 16 – Janela de novo pilar no Cypecad



Fonte: Autoria Própria (2020)

Figura 17 – Janela de entrar vigas no Cypecad

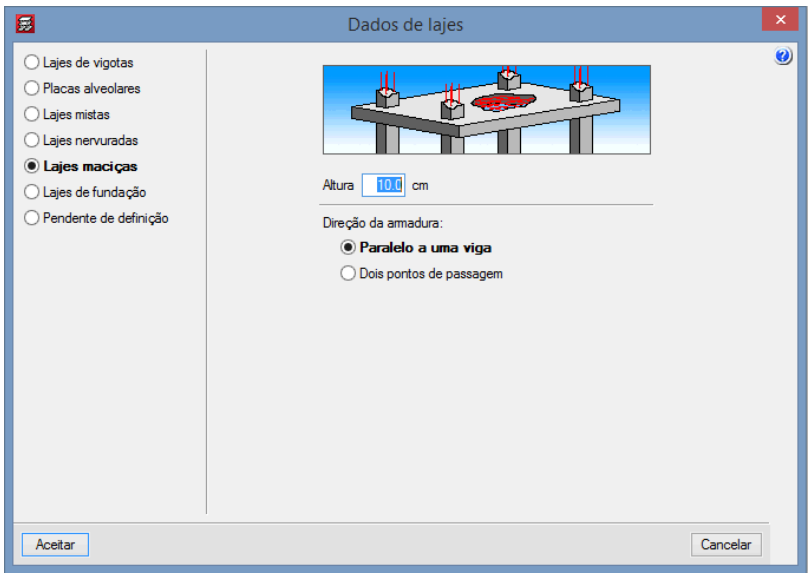


Fonte: Autoria Própria (2020)

Após o dos pilares e vigas, é possível fazer o lançamento das lajes em cada pavimento. Ainda na aba de "Entrada pavimento" é utilizada a ferramenta "introduzir laje", nesta, é possível realizar o lançamento de diversos tipos de laje e para o projeto atual foi utilizado a laje do tipo maciça. A Figura 18 mostra a janela da ferramenta "introduzir laje".

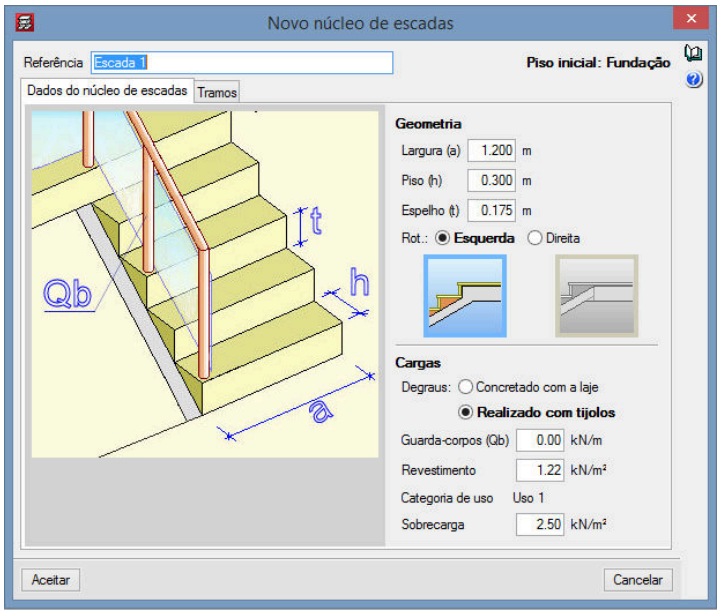
Concluído o lançamento de todos os pavimentos, foi realizado o lançamento das escadas. Na barra de ferramentas foi acessado a ferramenta "Escadas" e inserido as informações a respeito da sua geometria (Altura do espelho, tamanho do piso, e largura dos degraus), bem como os carregamentos atuantes, carga permanente e acidental. A Figura 19 mostra a janela de configurações no núcleo de escadas.

Figura 18 – Janela de introduzir laje no Cypecad



Fonte: Autoria Própria (2020)

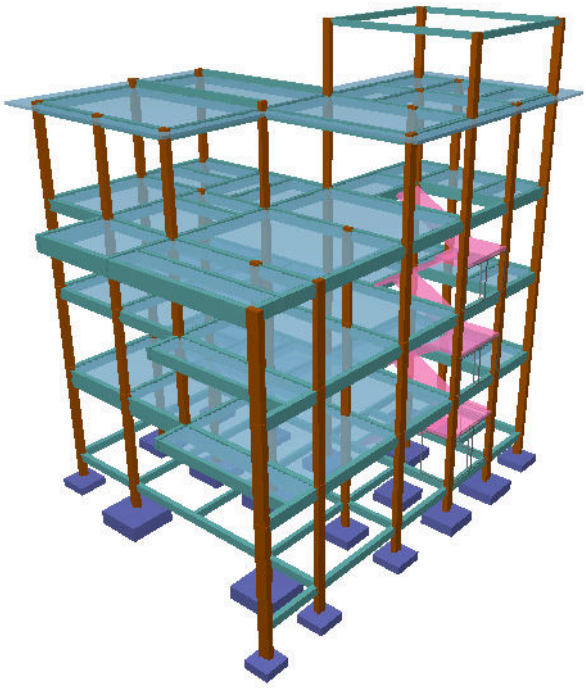
Figura 19 – Janela de configuração do núcleo de escadas do Cypecad



Fonte: Autoria Própria (2020)

Por fim, após o lançamento de toda a estrutura é possível visualizar a modelagem através do pórtico 3D e realizar o dimensionamento da estrutura.

Figura 20 – Pórtico 3D da estrutura do Cypecad



Fonte: Autoria Própria (2020)

4.2.6.2 Eberick

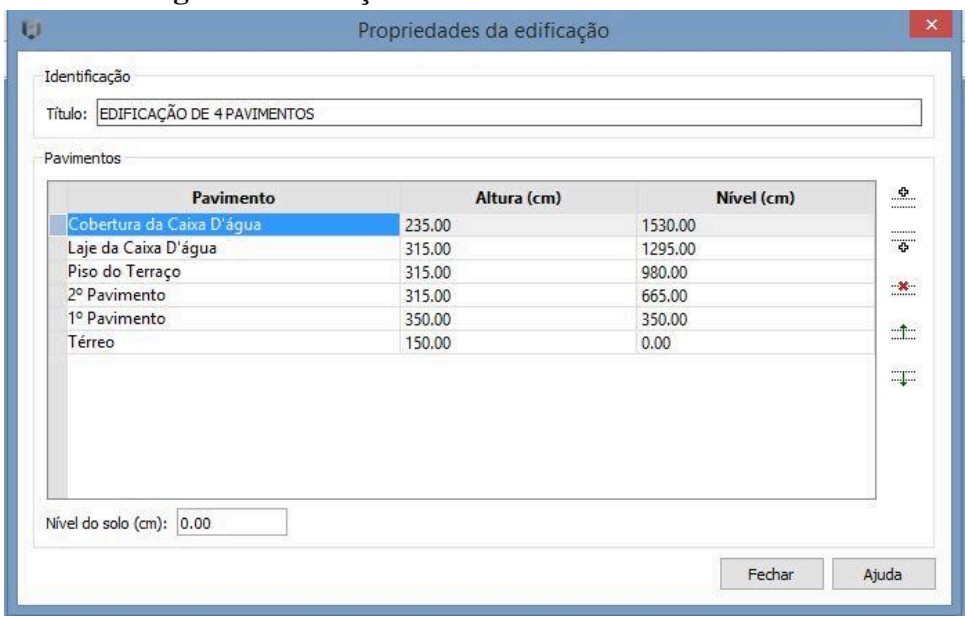
O lançamento da estrutura é bastante similar ao realizado no Cypecad, como o Eberick também possui uma base Cad própria o lançamento dos elementos é facilmente executado tomando como base uma mascará da arquitetura da edificação, sendo possível sua importação para o programa desde que sua extensão seja em DWG ou DXF.

Ao iniciar o Eberick é aberto uma janela flutuante com opções para abrir projetos recentes, carregar o projeto de alguma pasta ou iniciar um novo projeto. Assim, foi utilizada a opção de iniciar um novo projeto.

Após selecionar a opção de novo projeto uma nova janela é aberta contendo passos em duas etapas, na primeira é requisitado o preenchimento de nome, título e critérios de projeto. Feito isto, na segunda parte são informados os nomes e os níveis dos pavimentos do projeto, a Figura 21 mostra a disposição da nomenclatura e altura dos pavimentos. Após a inserção da altura dos pavimentos, o próprio software já calcula a altura de cada nível dos pavimentos.

Vale atentar-se que diferente do Cypecad que utiliza medidas em escala de metro, o Eberick associa suas medidas em centímetros.

Figura 21 – Lançamento dos Pavimentos no Eberick



Fonte: Autoria Própria (2020)

Concluída está etapa, o software redireciona para sua interface principal. Nesta janela temos um menu contendo todos os pavimentos do projeto, onde é neste que é escolhido o pavimento na qual se deseja trabalhar. Cada pavimento tem3 opções Croqui, Forma e Desenho.

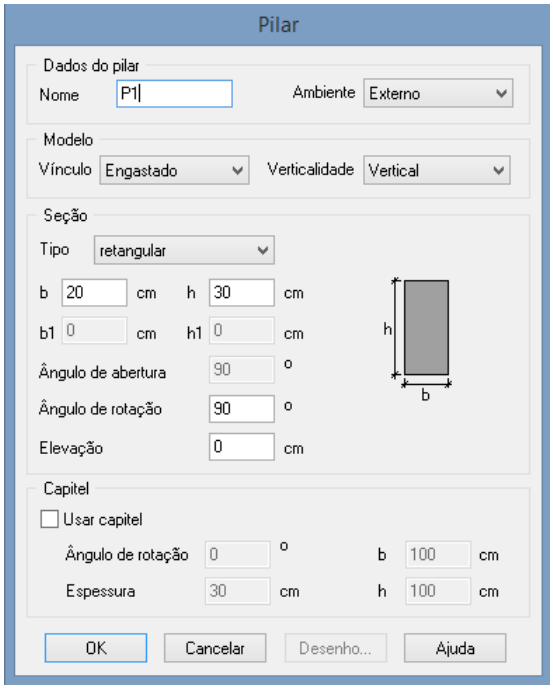
O croqui é a janela na qual é realizado o lançamento dos elementos estruturais. A janela desenho é utilizada para importar as máscaras das plantas baixas para o programa, de modo que, diferente do Cypecad cada máscara deve ser importada manualmente em cada um dos pavimentos.

Na aba arquivo, localizada no canto superior esquerdo é selecionado a opção “Importar” e em seguida “Importar DWG/DXF” após isso é selecionado o arquivo e o programa realiza sua importação. Vale salientar que o Eberick trabalha na unidade de centímetros e escada de 1:50, dessa forma caso as máscaras estejam em metros e escala de 1:1 o programa abre um menu flutuante para realizar a conversão para suas unidades padrão.

Concluída a importação das plantas, é alterado da janela de desenho para croqui, onde foi realizado o lançamento dos pilares, onde na aba “Lançamentos” foi utilizada a ferramenta Pilar. Ao acionar a ferramenta o programa abre um menu onde é possível determinar o ambiente onde este estará locado (interno ou externo), o tipo de vinculação (Engastado, rotulado, apenas MB e apenas MH), a verticalidade (vertical, inclinado ou automático), o tipo de seção e as dimensões do elemento. A Figura 22 mostra os critérios adotados no lançamento de todos os pilares da edificação.

Quanto ao ambiente, a ferramenta está relacionada a uma redução no cobrimento dos elementos internos do pavimento. Afim de padronizar a estrutura entre os programas, foi considerado o mesmo cobrimento nominal para ambos os casos.

Figura 22 – Janela de lançamento dos pilares no Eberick

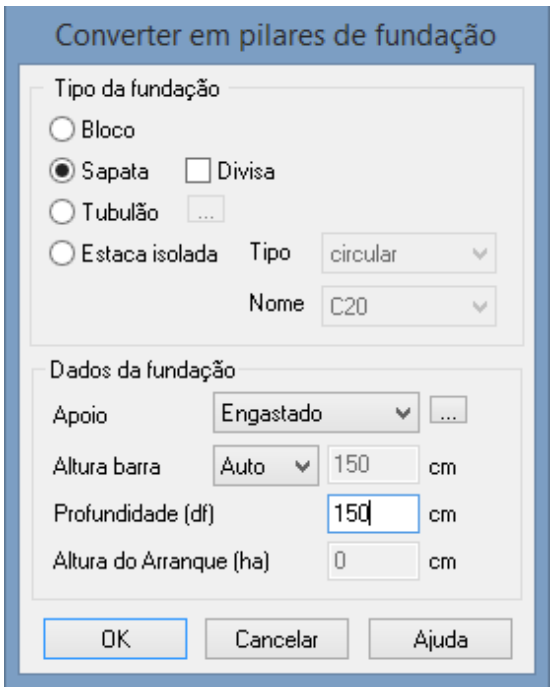


Fonte: Autoria Própria (2020)

Realizado o lançamento dos pilares, é utilizada a ferramenta “Converter em pilares de fundação”. A ferramenta é utilizada para informar ao software quais pilares nascem na fundação e quais nascem apoiados em outros elementos. Foi selecionado todos os pilares que nascem nos elementos de fundação com a exceção do P18, pois este irá nascer apenas no primeiro pavimento.

Na janela de conversão para pilares de fundação é definido qual o tipo de fundação adotada, a vinculação do pilar com este elemento e a profundidade de assentamento. A Figura 23 exemplifica o método utilizado neste projeto.

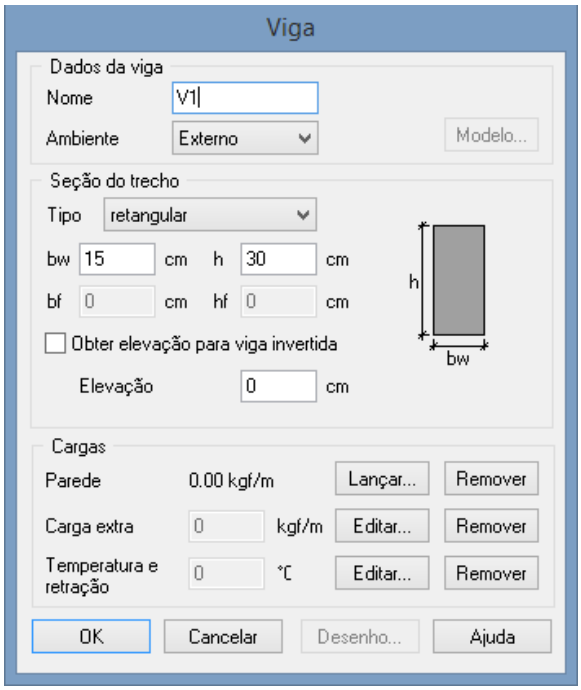
Figura 23 – Janela conversão para pilares de fundação no Eberick



Fonte: Autoria Própria (2020)

Realizo este procedimento, é iniciado o lançamento das vigas. Estes elementos são lançados a partir da ferramenta “Vigas” localizada na aba de “Lançamentos”. Da mesma maneira que os pilares, na janela é definida o tipo de seção da viga, o ambiente a seção transversal e também é possível já inserir os carregamentos de parede, cargas extra e temperatura.

Figura 24 – Janela de lançamento das vigas no Eberick



Fonte: Autoria Própria (2020)

Concluída estas duas etapas é realizado do lançamento das lajes nos níveis superiores ao térreo. Assim como as vigas e pilares, o lançamento das lajes segue a mesma forma de aplicação. Na aba "Lançamentos" é utilizada a ferramenta "Lajes", nesta ferramenta é possível escolher vários tipos de lajes, a escolha do grupo dos carregamentos a serem empregados na superfície da laje, espessura e elevação.

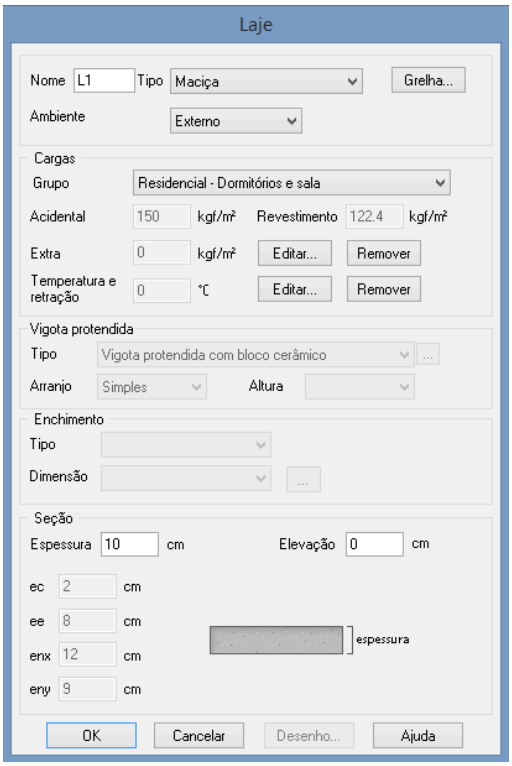
Para as lajes do 1º e 2º pavimento, e piso do terraço foi utilizado o grupo "Residencial – Dormitórios e Sala" e para a cobertura, foi utilizado o grupo "Terraço – Inacessível a Pessoas". É conveniente citar que o software Eberick conta com uma biblioteca bastante ampla de cargas já pré-configuradas que podem ser utilizadas nos projetos. A Figura 25 ilustra o processo de configuração do lançamento das lajes.

Realizado o lançamento das lajes de todos os pavimentos, o último passo é o lançamento dos lances de escada. No menu "Lançamentos" é localizada a caixa de ferramentas "Escadas", primeiramente foi realizado o lançamento dos patamares intermediários entre os pavimentos a partir da ferramenta "Patamar". Neste é inserido o grupo de cargas, se há cargas extras ou ações de temperatura e espessura do elemento.

Feito isso para todos os níveis intermediários, é realizado o lançamento dos lances de escada. Nesta janela é configurada as mesmas considerações do patamar, com o acréscimo onde

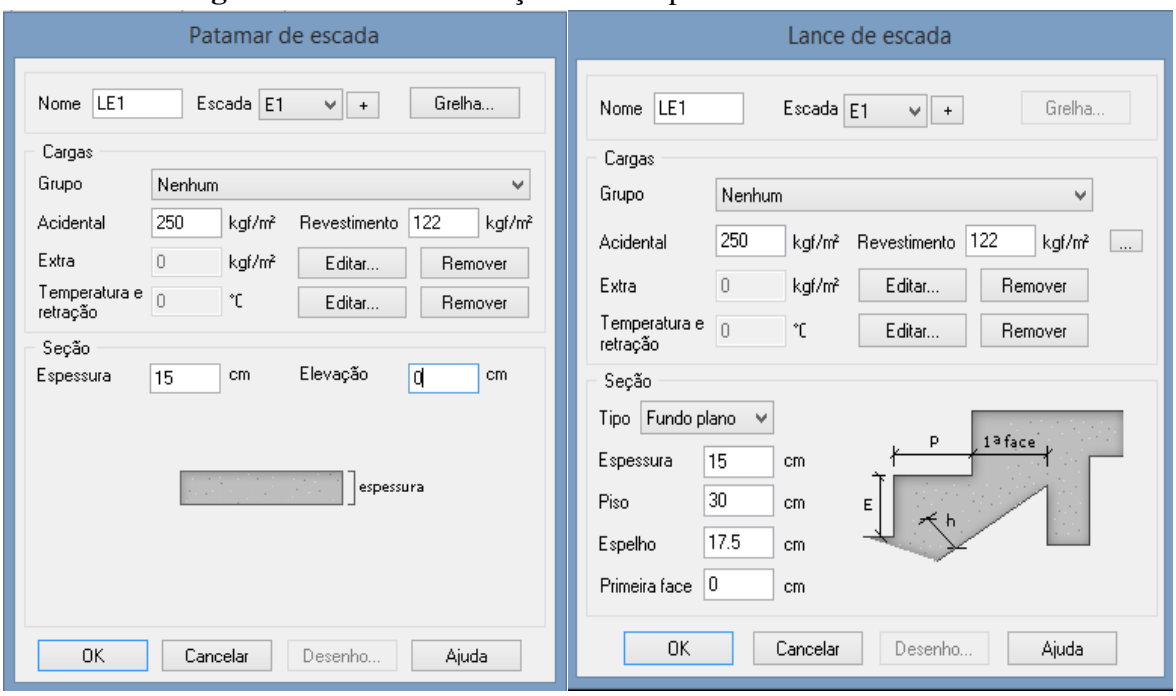
é possível escolher o tipo de escada a ser utilizada. Assim, A Figura 25 e 26 ilustra o processo de configuração do lançamento das lajes e patamares e lances de escada, respectivamente.

Figura 25 – Janela de lançamento das lajes no Eberick



Fonte: Autoria Própria (2020)

Figura 26 – Janela de lançamento do patamar e escada no Eberick



Fonte: Autoria Própria (2020)

Terminado o lançamento de todos os elementos é possível visualizar a estrutura em 3D e realizar o dimensionamento dos elementos. A Figura 27 mostra o pórtico espacial em 3D da estrutura lançada.

Figura 27 – Pórtico 3D da estrutura no Eberick

Fonte: Autoria Própria (2020)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em De posse dos resultados fornecidos por cada programa, neste tópico será realizado uma análise comparativa entre os valores apresentados pelas duas ferramentas computacionais. Será discutida os resultados pertinentes aos erros de dimensionamento entre os programas, deslocamento das vigas e lajes, como também a carga nas fundações e quantitativo dos materiais.

A escolha pelos pavimentos a serem analisados se deu em virtude da complexidade entre eles, visto que alguns apresentavam elementos cruciais para a concepção estrutural e arquitetônica. Dessa forma, foram analisados as vigas e lajes do 1º pavimento e da laje da caixa d'água, uma vez que o primeiro apresenta uma viga de transição e no ultimo foi necessária uma modificação na concepção estrutural para possibilitar o lançamento de alguns elementos.

5.1 Relatório de Erros

Após realizado o cálculo da obra, o Cypecad gera um relatório de erros de dimensionamento dos elementos que não passaram em alguma verificação. Assim, para soluciona-los foi necessário realizar modificações na seção inicial dos elementos. Na Tabela 11, consta apenas os erros graves de dimensionamento.

Tabela 11 – Erros de dimensionamento no Cypecad

Erros de Dimensionamento no Cypecad			
Elemento	**Pavimento**	**Erro**	**Solução**
Viga V-07	1º Pavimento	Flecha Elevada	Aumento da altura da viga: de 40 para 65 cm
Viga V-09	Piso do Terraço	Flecha Elevada	Aumento da altura da viga: de 40 para 55 cm
Viga V-11	Piso do Terraço	Flecha Elevada	Aumento da altura da viga: de 40 para 55 cm
Viga V-03	Laje da Caixa D'água	Flecha Elevada	Aumento da altura da viga: de 35 para 50 cm
Viga V-04	Laje da Caixa D'água	Flecha Elevada	Aumento da altura da viga: de 35 para 55 cm
Pilar P04	Térreo/1º Pavimento	Armadura Máxima	Aumento da largura do pilar: de 30 para 35 cm
Pilar P12	Térreo	Armadura Máxima	Aumento da espessura do pilar: de 15 para 17 cm
Pilar P13	Térreo/2ºPavimento	Armadura Máxima	Aumento da seção do pilar: de 15x30 para 17x35 cm
Pilar P14	Térreo	Armadura Máxima	Aumento da espessura do pilar: de 15 para 17 cm

Fonte: Autoria Própria (2020)

A viga V-07 apresentou um erro grave de flecha excessiva, pois está é dimensionada como viga de transição e utilizada de apoio para um pilar impossibilitado de nascer na fundação.

Como esta viga fica sujeita a um alto carregamento pontual proveniente do pilar P18, era esperado que também apresentasse um alto valor de deslocamento, assim, sendo necessário realizar um acréscimo na sua altura para aumentar a rigidez do elemento afim de que este consiga suportar os esforços nele solicitado.

Para as vigas V-09 e V-11, no piso do terraço, estas apresentam um grande comprimento de vão livre, além da viga V-11 suportar em balanço o carregamento da viga V-09. Dessa forma, como estes elementos apresentavam grande vão, também foi necessário aumentar sua rigidez para eliminar os deslocamentos excessivos.

O mesmo procedimento foi utilizado para as vigas V-03 e V-04 na laje da caixa d'água. Uma vez que estes apresentavam limitações arquitetônicas quanto à altura da viga e grande vão livre, esta foi acometida de um alto valor de flecha em seu ponto mais desfavorável. Desse modo, foi optado por realizar um aumento na altura da viga para corrigir este deslocamento, contudo, como está estava limitada por imposições arquitetônicas, foi utilizada uma viga semi-invertida para a correção do erro.

Os pilares que apresentaram erros foram pilares localizados nas regiões centrais da edificação. Os pilares P12, P13 e P14 ficam submetidos a altos carregamentos por serem pilares centrais, assim a taxa de armadura utilizada em seu dimensionamento foi superior à permitida por norma para a seção pré-dimensionada. Dessa forma, como os efeitos de 2ª ordem ocorrem em relação a menor dimensão do elemento, foi preferido realizar um aumento exatamente neste sentido. Como o P13 está locado praticamente no centro da estrutura, este é submetido carregamentos ainda mais elevados, dessa maneira, também sendo necessário aumentar sua maior dimensão.

Apesar do pilar P04 não estar na área central do edifício, este fica locado em um ponto central a região onde estão dispostas as caixas d'água, assim, também apresentando altas taxas de armadura para sua seção pré-configurada. Neste elemento também foi aumentada sua seção em torno da sua menor dimensão.

Como citado anteriormente, após a correção de todos os erros estruturais apresentados pelo Cypecad, foi realizado o lançamento da estrutura pré-dimensionada, como também da estrutura solucionada no mesmo programa e comparada as informações de erros apresentadas pelo Eberick e se as soluções utilizadas no primeiro foram suficientes no segundo software. A Tabela 12 traz os erros de dimensionamento do software Eberick.

Tabela 12 – Erros de dimensionamento no Eberick

Erros de Dimensionamento no Eberick			
Elemento	**Pavimento**	**Erro**	**Solução**
Viga V-10	Térreo	Armadura transversal	Aumento da altura da viga: de 30 para 40 cm
Viga V-07	1º Pavimento	Flecha Elevada	Aumento da altura da viga: de 40 para 65 cm
Viga V-12	2º Pavimento	Armadura transversal	Aumento da altura da viga: de 40 para 55 cm
Viga V-09	Piso do Terraço	Flecha Elevada	Aumento da altura da viga: de 40 para 55 cm
Viga V-11	Piso do Terraço	Flecha Elevada	Aumento da altura da viga: de 40 para 55 cm
Viga V-01	Laje da Caixa D'água	Elevação não permitida	Aumento da altura da viga: de 10 para 20 cm
Viga V-03	Laje da Caixa D'água	Elevação não permitida	Aumento da altura da viga: de 10 para 20 cm
Viga V-04	Laje da Caixa D'água	Elevação não permitida	Aumento da altura da viga: de 10 para 20 cm
Viga V-05	Laje da Caixa D'água	Elevação não permitida	Aumento da altura da viga: de 10 para 20 cm
Viga V-05	Laje da Caixa D'água	Flecha Elevada	Não Solucionado
Viga V-07	Laje da Caixa D'água	Elevação não permitida	Aumento da altura da viga: de 10 para 20 cm
Viga V-07	Laje da Caixa D'água	Flecha Elevada	Não Solucionado
Viga V-10	Laje da Caixa D'água	Elevação não permitida	Aumento da altura da viga: de 10 para 20 cm
Viga V-09	Laje da Caixa D'água	Elevação não permitida	Aumento da altura da viga: de 10 para 20 cm
Pilar P04	Térreo/1º Pavimento	Armadura longitudinal	Aumento da espessura do pilar: de 15 para 17 cm
Pilar P12	Térreo/1º Pavimento	Armadura longitudinal	Aumento da espessura do pilar: de 15 para 17 cm
Pilar P13	Térreo/2ºPavimento	Armadura longitudinal	Aumento da seção do pilar: de 15x30 para 17x35 cm

Fonte: Autoria Própria (2020)

Todas as vigas que apresentaram erro no Cypecad também vieram a apresentar no Eberick, contudo, neste, outros elementos também vieram a apresentar algum aviso com relação ao seu dimensionamento.

A viga V-07, utilizada como viga de transição no 1º pavimento também apresentou grande deslocamento, contudo apesar de realizar um incremento na sua altura para aumentar

sua rigidez, neste software, está ainda continuou a apresentar avisos com relação a sua flecha máxima.

A viga V-12, que no Cypecad não apresentou nenhuma falha, neste apresentou um erro relacionado a armadura transversal. Este erro pode estar relacionado a mudança no sentido do pilar P13 no nível do piso do terraço, uma vez que parte da seção do pilar fica apoiada sobre esta viga. Dessa forma, as considerações quanto a transmissão dos esforços neste ponto foi divergente entre os programas.

As vigas que apresentaram erro de elevação no nível da laje da caixa d'água, foram ocasionadas devido a forma de inserção do beiral em cada *software*. Uma vez o Cypecad conta com uma ferramenta para lançar este elemento, no Eberick é necessário realizar o prolongamento de algumas vigas para que se consiga inserir os panos de laje que constituirão o beiral.

Para que estes prolongamentos de viga ficassem embutidos na laje do beiral, foram lançados com uma altura igual a espessura da laje neste ponto e assim o software não conseguiu realizar seu dimensionamento devido à baixa altura do elemento.

Ainda com relação a estes elementos, em detrimento do método de lançamento, os prolongamentos de viga que ficaram em balanço também apresentaram altos deslocamentos e assim emitindo avisos de erros de flecha nestes pontos.

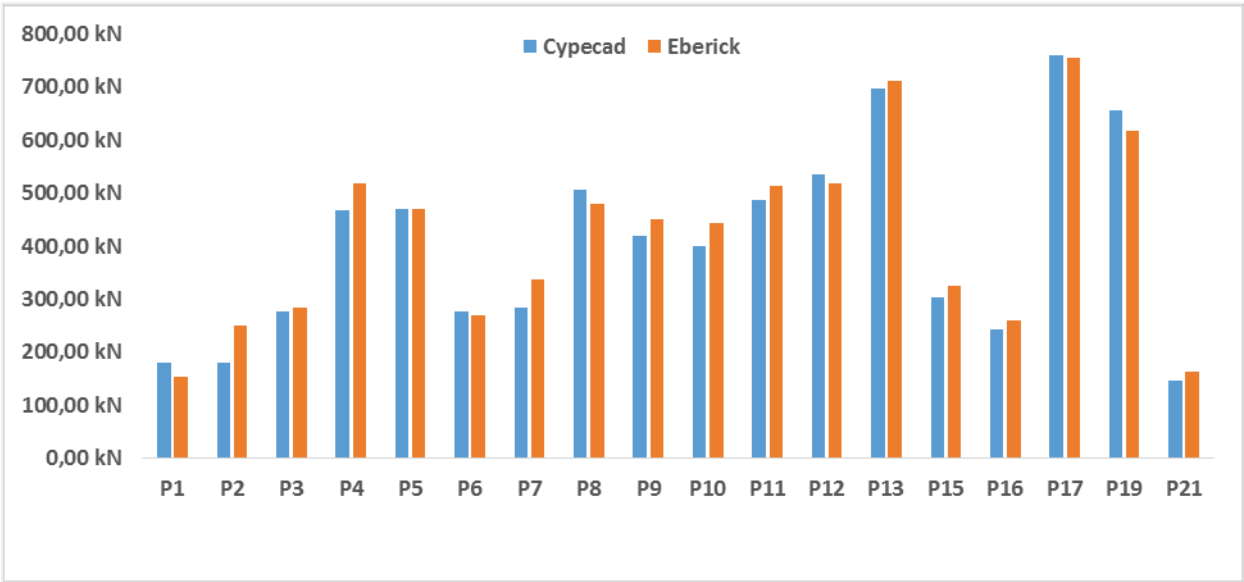
Os pilares que apresentaram erros foram iguais entre os softwares, com exceção do P14 que no Eberick foi dimensionado sem nenhuma falha, e também a forma de solução foi idêntica para ambos os programas.

Isto posto, como o objetivo não era solucionar os erros neste *software* e sim aferir se para a mesma solução estrutural este também apresentaria igual desempenho, foi solucionado somente os erros na qual impossibilitava do programa gerar o dimensionamento do elemento.

5.2 Carga nas Fundações

Um dos primeiros critérios a se analisar é a respeito das cargas que os pilares transmitem as fundações. Este parâmetro estará diretamente relacionado ao caminho dos esforços na estrutura, uma vez que estes buscam os elementos de maior rigidez para chegarem até o solo. O Gráfico 1 mostra os valores dos esforços normais de cálculo fornecidos pelos softwares em cada pilar da estrutura.

Gráfico 1 – Valores dos esforços normais de cálculo por pilar em cada programa



Fonte: Autoria Própria (2020)

Inicialmente é válido acrescentar que o pilar P18 não consta do Gráfico 1, visto que este nasce em cima de uma viga de transição no 1º pavimento. Assim, como o pilar não nasce na fundação, seu carregamento é resistido pelos pilares P17 e P19.

Analisando os carregamentos fornecidos por cada software é notório que ambos apresentaram valores extremamente próximos e a diferença entre eles é totalmente satisfatória, visto que essa dessemelhança é resultante das análises e considerações particulares de cada programa.

A maior diferença entre os carregamentos verticais ocorreu com o pilar P2, uma diferença de 28% superior no Eberick em relação ao mesmo pilar no Cypecad. Para os pilares mais solicitados P13, P17 e P19 as diferenças foram minimamente expressivas, estando na ordem de 2, 1 e 6%, respectivamente, com superioridade do Eberick para o primeiro e do Cypecad para os dois últimos. Contudo, a soma total das cargas em cada programa, não excedeu uma diferença de 3% com 7851,60 kN no Cypecad e 8054,10 kN no Eberick.

Assim, a diferença entre os valores dos carregamentos é perfeitamente aceitável, visto que, apesar da estrutura ter sido lançada igualmente nos dois softwares, cada um apresentou erros de dimensionamento individuais e para corrigi-los, muitas vezes foram necessários realizar o aumento da seção dos elementos, como relatado anteriormente. Dessa maneira, as alterações realizas geram um acréscimo na parcela do carregamento relacionado ao peso próprio e consequentemente acréscimos de esforços.

5.3 Análise dos Deslocamentos

Um dos primeiros parâmetros a serem analisados quanto ao deslocamento de uma estrutura é a sua estabilidade global, mensurada a partir do coeficiente Gama-Z. De acordo com NBR 6118:2014, este parâmetro é válido somente para estruturas com no mínimo 4 pavimentos e irá classificar quanto a deslocabilidade dos nós da estrutura e em qual situação ela se enquadra.

Caso apresente valor maior que 1,10, a estrutura se enquadrará como de "nós móveis", caso seja inferior ela se enquadrará como de "nós fixos". Ainda segundo a norma, caso a estrutura seja classificada com de nós fixos, está dispensará a consideração dos efeitos globais de 2ª ordem, pois estes apresentarão magnitudes inferiores a 10% dos efeitos de 1ª ordem.

Dessa forma, como a estrutura em estudo é composta por 4 pavimentos, é necessário que se analise a estabilidade global desta por meio do coeficiente Gama-Z. Isto posto, a Tabela 13 mostra os valores deste coeficiente nas direções X e Y para cada software.

Tabela 13 – Coeficiente Gama-Z

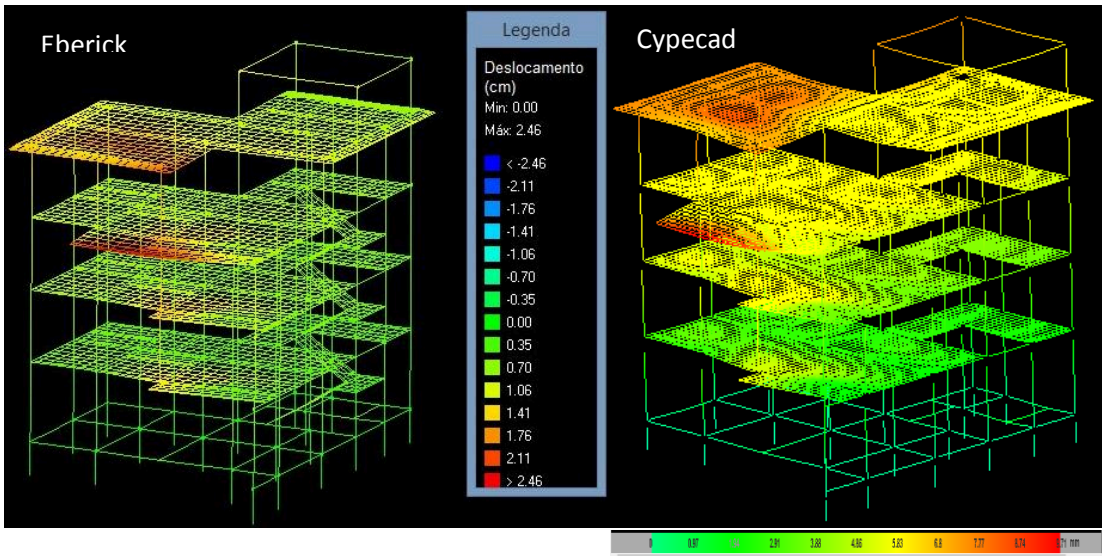
	Estabilidade Global	
	Cypecad	Eberick
X	1,038	1,050
Y	1,055	1,080

Fonte: Autoria Própria (2020)

Cada software a partir das suas análises chegou a valores divergentes entre si do coeficiente Gama-Z. Contudo, como em ambos os programas os valores do coeficiente foram inferiores a 1,10, a estrutura se enquadrará como de nós fixos. Apesar de ambas estarem dentro do limite permitido, o software Eberick retornou valores ligeiramente superiores aos encontrados pelo Cypecad, indicando uma estrutura também ligeiramente mais deslocável.

Para uma análise visual do deslocamento da estrutura, ambos os programas contam com uma ferramenta que mostra a deformada da estrutura quando submetida aos carregamentos. Este recurso é interessante para se analisar onde ou qual elemento especificadamente está sofrendo maiores deformações. A Figura 28 mostra o diagrama unifilar dos deslocamentos da estrutura no Cypecad e Eberick.

Figura 28 – Pórtico unifilar dos deslocamentos

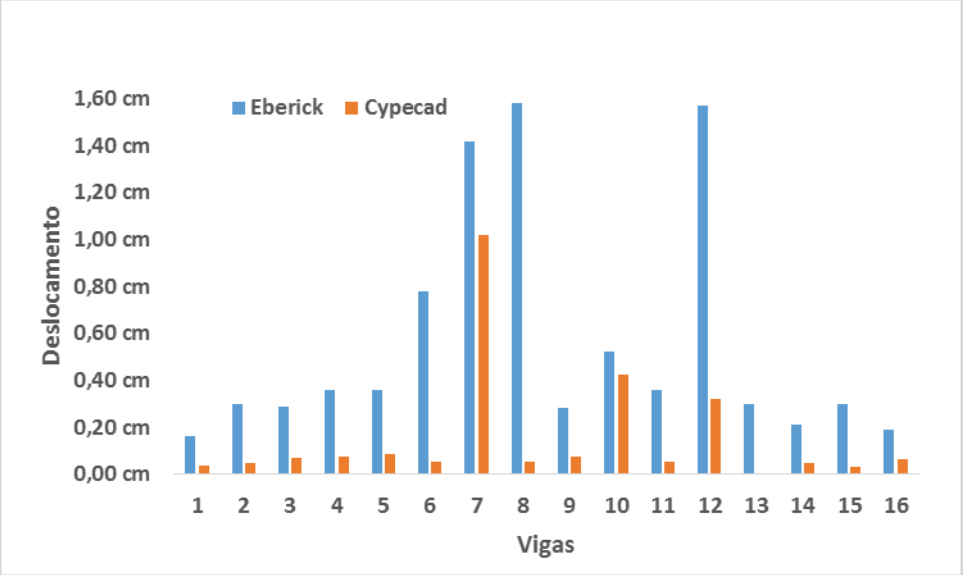


Fonte: Autoria Própria (2020)

As informações apresentadas visualmente no pórtico unifilar dos deslocamentos não remete ao deslocamento real da estrutura. Este serve apenas como parâmetro para identificar de forma visual onde estas deformações acontecem. Para quantificar é utilizada uma escala gráfica colorida que relaciona o deslocamento em função da cor que este é representado no pórtico.

Para analisar as deformações reais em cada elemento da estrutura, cada um dos *softwares* confere de forma especifica esta informação. O Gráfico 2 mostra uma comparação entre os deslocamentos das vigas no 1º Pavimento.

Gráfico 2 – Deslocamento nas vigas do 1º pavimento



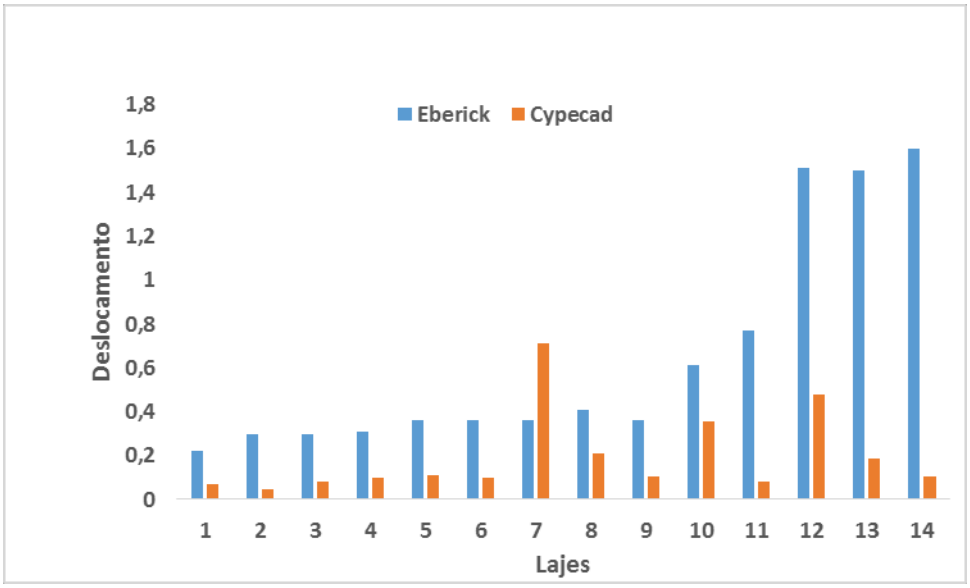
Fonte: Autoria Própria (2020)

Diferentemente dos valores das cargas dos pilares, para a deformação nos elementos das vigas cada software apresentou valores consideravelmente divergentes. Onde, os valores mais próximos, em termos percentuais, encontrados foram para a viga V-07 (com 1,42 cm no Eberick e 1,018 cm no Cypecad) e o mais discrepante para a viga V-08 (1,58 cm no Eberick e 0,055 cm no Cypecad). Comparando os valores do Gráfico 2 com o pórtico unifilar dos deslocamentos, ambos apresentam semelhanças entre os dados de cada programa, pois os picos de deformações que são notados no Gráfico 2 são evidenciados na Figura 28.

Como discutido na análise dos erros, apesar da viga V-08 no Eberick apresentar um alto valor de deslocamento, o elemento não relatou nenhum erro de dimensionamento ou relacionado a flechas máximas, assim como também não apresentou no Cypecad. Todavia, a Viga V-07 que apresentou valores próximos nos dois programas, para o Eberick está continuou apresentando erro de flecha excessiva, fato que não foi constatado no Cypecad.

Para as lajes do pavimento, os deslocamentos nesses elementos seguiram os mesmos indícios das vigas, onde as maiores flechas eram próximas a seus apoios. Este fato evidencia que o deslocamento que ocorria sobre elas não era resultante da incidência dos carregamentos e sim dos apoios na qual estas estavam vinculadas. O Gráfico 3 traz a comparação no deslocamento em cada pano de laje de acordo com cada software.

Gráfico 3 – Deslocamento nas lajes do 1º pavimento

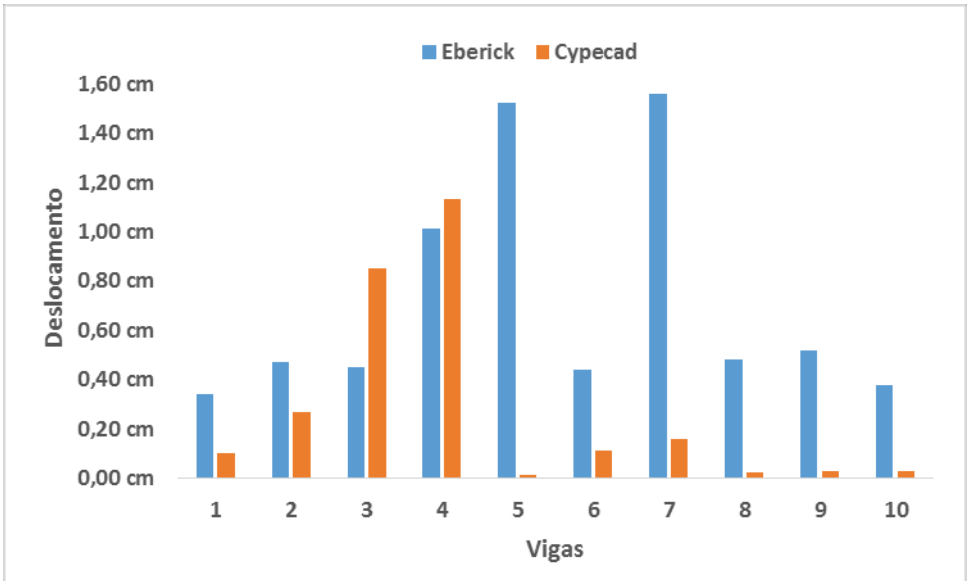


Fonte: Autoria Própria (2020)

Assim como nas vigas, os resultados das flechas nas lajes foram consideravelmente distintos. Uma vez que estes acompanham os deslocamentos provocados pelos seus apoios, a tendência de divergência era esperada. Deste modo, assim como o apresentado no Gráfico 2, o Eberick apresentou na maioria dos casos um deslocamento significativamente superior ao Cypecad.

No pavimento da laje da caixa d'água, as vigas e lajes acompanharam a mesma tendência do 1º pavimento, com valores superiores no Eberick em relação ao Cypecad. Contudo, alguns deslocamentos nas vigas e lajes deste nível podem ser ocasionados pela deformação no 1º pavimento, uma vez que a estrutura de concreto armado se comporta de forma monolítica, os impactos ocasionados nos primeiros pavimentos geram consequências nos demais. O Gráfico 4 traz os deslocamentos nas vigas do pavimento laje da caixa d'água.

Gráfico 4 – Deslocamento nas vigas da laje da caixa d'água



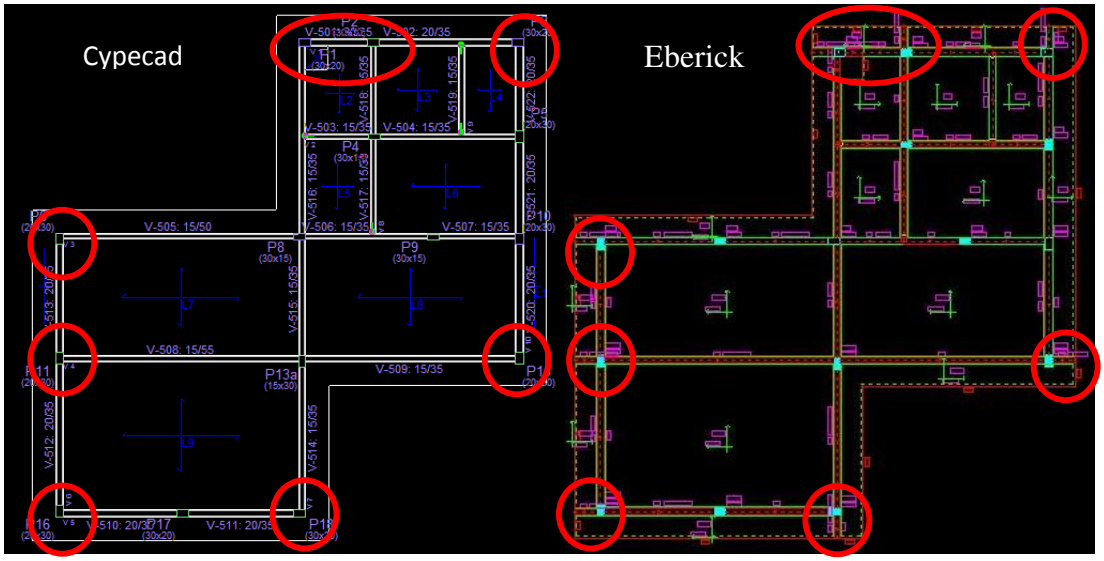
Fonte: Autoria Própria (2020)

As maiores diferenças neste pavimento ficam das vigas V-05 a V-10, com maior divergência entre os programas para as vigas V-05 e V-07. Os altos valores de flechas encontrados nesses elementos podem ser explicados pela mudança na forma de lançamento do beiral da estrutura. O Cypecad possui dentro da ferramenta de vigas, uma família de vigas denominada de "Nervura não estrutural" e tipo "Borda livre", assim é possível realizar o lançamento dos panos de laje do beiral sem a necessidade de prolongar as vigas de borda.

Diferentemente do outro, o Eberick não conta com esse recurso em suas ferramentas, assim para realizar o lançamento do beiral da estrutura, foi necessário efetuar o prolongamento de algumas vigas para produzir o balanço necessário.

Assim, a alteração no modelo de lançamento do beiral ocasionou maiores deslocamentos nestes elementos, uma vez que no Cypecad não houve a necessidade desta alteração as vigas foram todas consideradas bi-engastadas, já no Eberick estas que foram prolongadas, na região do balanço foi considerado engastada e livre e assim promovendo uma maior flecha. A Figura 29 mostra a diferença no lançamento estrutural deste pavimento.

Figura 29 – Concepção estrutural da Laje da Caixa D'água



Fonte: Autoria Própria (2020)

As vigas V-05 e V-07 apresentaram maiores deslocamentos próximos ao pilar P18, onde este nasce em cima de uma viga de transição. Como comentando anteriormente, no 1º pavimento a viga V-07 além apresentar um deslocamento superior a mesma viga no Cypecad, está também exibiu um erro de flecha.

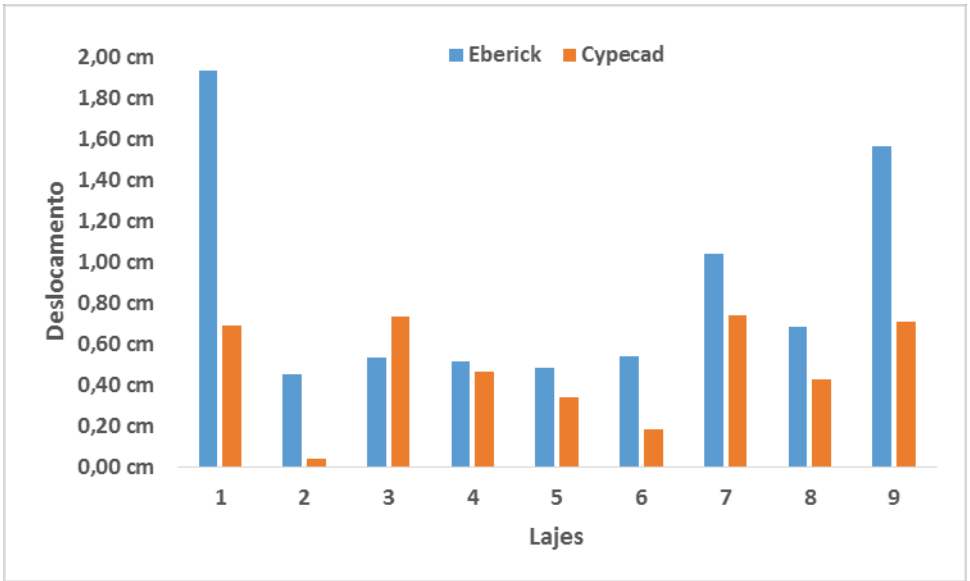
Sendo assim, como o pilar que nasce nela também serve de apoio para as vigas V-05 e V-07 no pavimento da laje da caixa d'água, o deslocamento na viga no 1º pavimento influenciou diretamente nas flechas das vigas em questão no penúltimo nível.

Este fato também pode ser observado no pórtico unifilar dos deslocamentos, onde a região próxima ao pilar P18 apresenta uma coloração alaranjada, caracterizando alta deformação, de acordo com a escala nela presente.

Isto posto, as lajes neste pavimento também seguem os mesmos indícios, que apesar de apresentarem valores mais próximos entre os programas, parte da laje L1 que fica próxima ao

pilar P18 apresenta um deslocamento extremamente divergente a mesma laje no Cypecad. O Gráfico 5 mostra os deslocamentos obtidos no Cypecad e Eberick para as lajes do pavimento da laje da caixa d'água.

Gráfico 5 – Deslocamento nas lajes da laje da caixa d'água

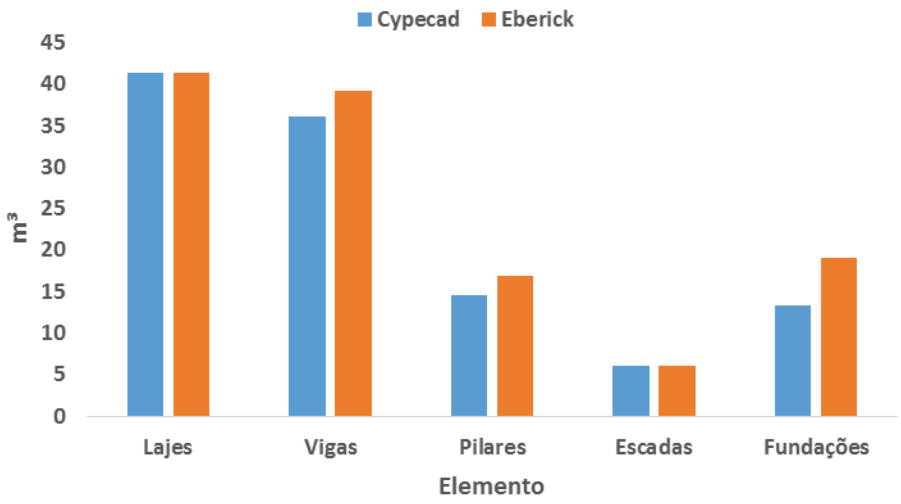


Fonte: Autoria Própria (2020)

5.4 Quantitativos da Obra

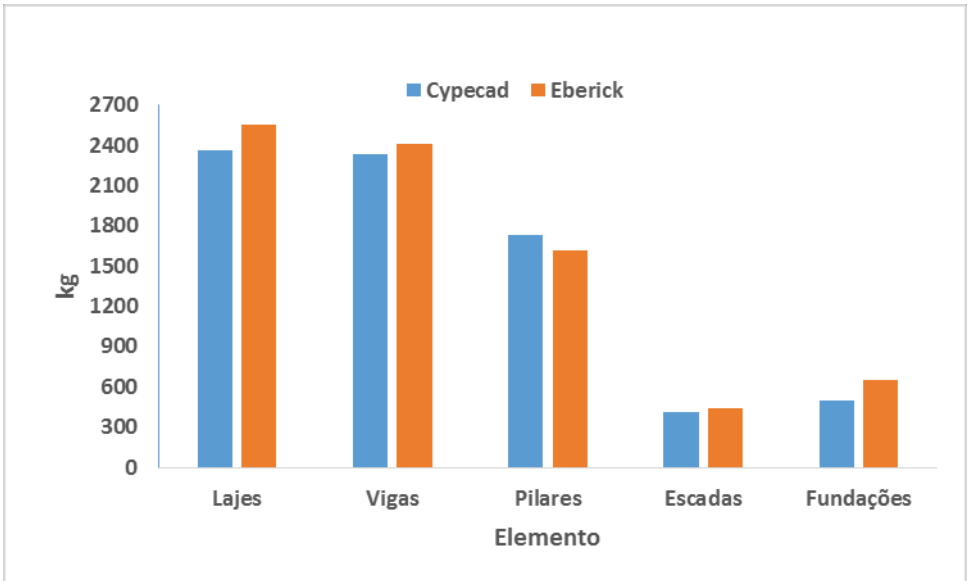
Os consumos de materiais por elemento em cada software podem ser vistos nos Gráficos 6, 7 e 8. Ondes estes apresentam os quantitativos relacionados ao consumo de concreto, aço e formas, respectivamente.

Gráfico 6 – Consumo de concreto por elemento nos softwares Cypecad e Eberick



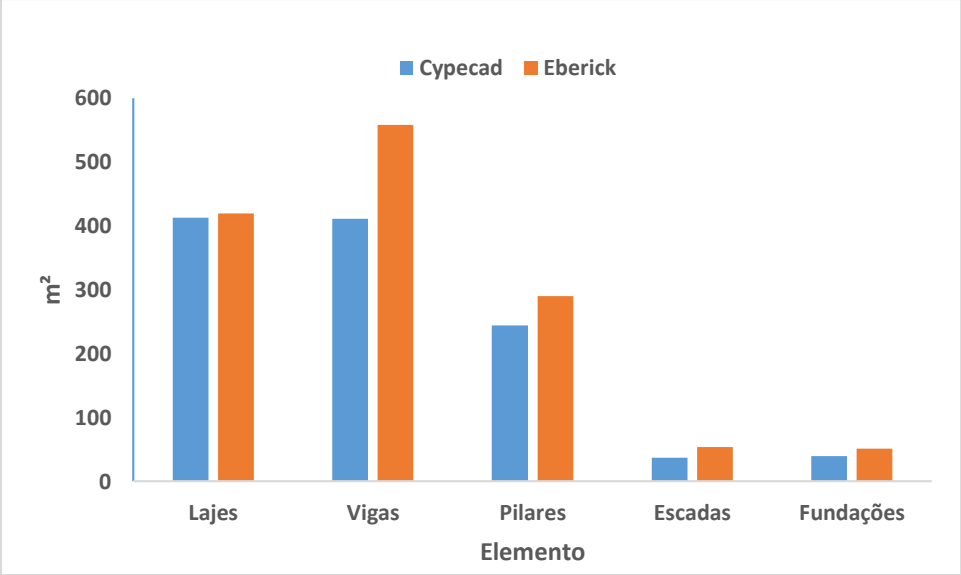
Fonte: Autoria Própria (2020)

Gráfico 7 – Consumo de aço por elemento nos softwares Cypecad e Eberick



Fonte: Autoria Própria (2020)

Gráfico 8 – Consumo de formas por elemento nos softwares Cypecad e Eberick



Fonte: Autoria Própria (2020)

Como pode ser notado analisando os gráficos acima, ambos os programas apresentaram valores bastante semelhantes no quantitativo dos materiais da obra, onde foi verificado um leve acréscimo para o Eberick. Este comportamento já era esperado, uma vez que o software apresentou maiores valores em todas as análises realizadas.

As maiores diferenças foram em relação ao consumo de formas para as escadas, onde apesar de apresentar baixo consumo foi alcançada uma diferença de 31% de maioria para o

Eberick em relação ao Cypecad. De modo geral, o Eberick apresentou valores 17% superiores ao consumo de formas estimados pelo Cypecad.

Para o consumo de concreto os resultados também foram análogos e assim como nas formas a mesma tendência foi evidenciada, onde o Eberick, apresentou no geral quantidades quase 10% superiores ao Cypecad. Ficando as fundações com a maior diferença, um consumo quase 30% superior do Eberick em ralação ao Cypecad.

Assim como no concreto, as fundações também apresentaram maior consumo de aço com uma taxa de 24% a mais para o Eberick e em relação a todos os elementos, este apresentou um percentual de somente 4% superior ao Cypecad. A Tabela 14 mostra o consumo de concreto e aço por elemento, além do índice de consumo de aço por metro cúbico de concreto.

Tabela 14 – Índice de consumo de materiais

	Concreto		Barras		Índice de Consumo	
Elemento	Cypecad	Eberick	Cypecad	Eberick	Cypecad	Eberick
Lajes	41,28 m³	41,40 m³	2363,00 kg	2556,80 kg	57,24 kg/m³	61,76 kg/m³
Vigas	36,00 m³	39,20 m³	2337,00 kg	2410,50 kg	64,92 kg/m³	61,49 kg/m³
Pilares	14,51 m³	16,90 m³	1726,00 kg	1611,80 kg	118,95 kg/m³	95,37 kg/m³
Escadas	6,13 m³	6,00 m³	412,00 kg	439,80 kg	67,21 kg/m³	73,30 kg/m³
Fundações	13,38 m³	19,10 m³	494,92 kg	654,90 kg	36,99 kg/m³	34,29 kg/m³
Total	111,30 m³	122,60 m³	7332,92 kg	7673,80 kg	65,88 kg/m³	62,59 kg/m³

Fonte: Autoria Própria (2020)

O consumo de aço em relação ao concreto foi similar entres ambos os softwares, onde a diferença entre eles não ultrapassou 10%, com exceção do índice dos pilares, onde neste foi obtido uma discrepância de 26% superior no Cypecad em relação ao Eberick. Apesar da diferença, o Eberick apresentou um consumo de concreto nos pilares 14% superior ao Cypecad, já para o consumo de aço foi invertido, 7% superior para o Cypecad.

Logo, é notório que na maioria das análises o Eberick apresentou valores mais conservadores quando comparado ao Cypecad, entretanto, para o consumo de materiais o Cypecad realizou um dimensionamento mais conservador, gerando resultados 5% superiores aos do Eberick, em relação ao índice de consumo de aço ao concreto.

Todavia, é válido salientar que todas as verificações de dimensionamento no ELU e ELS foram cumpridas no Cypecad, fato que não foi obtido no Eberick, uma vez que neste só foi dimensionado no ELU e mesmo após ser empregada as soluções utilizadas no Cypecad, este continuou apresentando erros no ELS. Sendo assim, caso fosse buscado solucionar os erros de

flecha no Eberick, a tendência é que seguisse as mesmas proporções das outras análises e atingisse valores nos quantitativos superiores aos encontrados no Cypecad.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise dos resultados obtidos nesta pesquisa, o Cypecad mostrou-se bastante intuitivo quanto a utilização do programa e com resultados de dimensionamento satisfatórios. O Eberick apresenta uma interface gráfica mais didática e com uma central de ajuda que auxilia os usuários iniciantes na manipulação corretas das suas ferramentas. Este, conta com uma plataforma Cad completa e também com ferramentas de uso bem intuitivo, de modo que usuários inexperientes consigam utiliza-los de forma satisfatória.

Porém, a partir da condição na qual o trabalho foi realizado, para a mesma concepção estrutural o Eberick mostrou-se conservador. Uma vez que, após o lançamento no Cypecad dos elementos pré-dimensionados, após o processamento da estrutura foram corrigidos todos os erros apresentados pelo programa e ao lançar no Eberick, está configuração não foi suficiente para solucionar os erros.

Dessa forma, apesar dos programas terem apresentados um relatório dos quantitativos dos materiais bastante similares, é importante expor que a estrutura dimensionada no Cypecad estava totalmente de acordo com as imposições da norma quanto ao ELU e ELS. Este fato é significativo visto que, caso fosse alterada a concepção estrutural do lançamento no Eberick para solucionar os erros relacionados ao ELS, provavelmente este teria apresentados valores do quantitativo de materiais significativamente superiores aos do Cypecad.

Sendo assim, para a condição na qual o software foi atribuído, este não mostrou resultados satisfatórios quando comparados ao Cypecad, posto que seus resultados só foram análogos em virtude do não cumprimento de alguns critérios normativos. Contudo, isto não significa que o programa seja obsoleto ou impreciso, cada software conta com uma série de variações nos métodos de análises, configuração e procedimentos de cálculo no dimensionamento estrutural, assim este resultado foi particular a condição da comparação na qual este trabalho foi fundamentado, assim ficando a critério do projetista compreender as particularidades de cada programa e saber adequá-las as suas necessidades.

REFERÊNCIAS

ABCP, Associação Brasileira De Cimento Portland. **GUIA BÁSICO DE UTILIZAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND**. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p.

ABCP, Associação Brasileira De Cimento Portland. **QUAIS SÃO OS TIPOS BÁSICOS DE CIMENTO PORTLAND?**. [*S. l.*], 22 out. 2020. Disponível em: https://abcp.org.br/perguntas-frequentes/?politica=sim. Acesso em: 19 out. 2020.

ALTOQI¹. **Como optar entre o modelo de análise integrado ou de grelha com pórtico espacial**. [*S. l.*], 2020. Disponível em: https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/360001391833-Como-optar-entre-o-modelo-de-an%C3%A1lise-integrado-ou-de-grelha-com-p%C3%B3rtico-espacial. Acesso em: 19 out. 2020.

ALTOQI². **Uma nova forma de visualizar projetos**. [*S. l.*], 2020. Disponível em: https://altoqi.com.br/eberick-todos-recursos/. Acesso em: 19 out. 2020.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7480: **Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681: **Ações e segurança nas estruturas**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120 - **Cargas para o cálculo de estrutura de edificações**. Rio de Janeiro, 2019.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123 - **Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.

BERTOTTI, G. **LEVANTAMENTO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS OBSERVADAS EM REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS**. 2017. 87 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria - UFSMRS, Santa Maria, 2017.

BOTELHO, M. H. C. **Concreto armado, eu te amo**. 4. ed. São Paulo: PINI, 2015. v. 2.
CARVALHO, R. C. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014**. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2016.

CARVALHO, R.C.; FIGUEIREDO FILHO, J.R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR6118:2003**. 3.ed. São Carlos, EdUFSCar, 2007.
DEPARTAMENTO DE PRODUÇÃO MINERAL. **Agregados para a Construção Civil**. DNPM, 2009.

FRANCO, Professor Mario. **Da régua de cálculo ao BIM, o que mudou na engenharia?**. [*S. l.*], 2012. Disponível em: https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/da-regua-de-calculo-ao-bim-o-que-mudou-na-engenharia/. Acesso em: 18 out. 2020.

FREITAS, A. H. C. et al. Cálculos estruturais em concreto armado: comparativo entro o cálculo manual e com auxílio de software. **Revista Pensar Engenharia**, v. 2, n. 2, 2014.
FUSCO, P. B. **Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados**. 1. ed. São Paulo: PINI, 2008.

HIBELLER, R. C. **Resistência dos materiais**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.
KIMURA, A. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculo de edifícios com o uso de sistemas computacionais**. São Paulo: Pini, 2007.

LIMA, André Barbosa de. **O PROCESSO PRODUTIVO DO CIMENTO PORTLAND**. Orientador: Arthur Pinto Chaves. 2011. 38 p. Monografia (Especialização em Engenharia de Recursos Minerais) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

MORAES, JOSÉ CARLOS PEREIRA DE. **ESTUDO COMPARATIVO DAS CONFIGURAÇÕES E RESULTADOS ENTRE OS PROGRAMAS CYPECAD E EBERICK PARA DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO**: Quais as fundamentais ações que dependem diretamente do profissional para que este tenha o melhor resultado em termos de economia e viabilidade técnica. 2014. 74 p. Monografia (Pós Graduação em Engenharia Estrutural) - Centro Universitário Augusto Motta, Rio de Janeiro, 2014

MOREIRA, HUGO FERREIRA. **ANÁLISE COMPARATIVA DO DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO COM A UTILIZAÇÃO DE SOFTWARES**. Orientador: Tiago de Morais Faria Novais. 2018. 79 p. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA, FORMIGA, 2018.

MULTIPLUS¹. **CYPECAD - Software para cálculo estrutural e projeto estrutural**. 2020. Disponível em: https://multiplus.com/software/cypecad/index.html?gclid=Cj0KCQjwuL_8BRCXARIsAGiC51BZKLGSCMZ3dAyJK83v622qBvXrUUU5UUxO8Ibb4cWet1Zc55NNQQMaAhGDEALw_wcB. Acesso em: 19 out. 2020.

MULTIPLUS². **CYPECAD - Pilares de concreto**. 2020. Disponível em: https://multiplus.com/software/cypecad/modulos-e-recursos/pilares-de-concreto.html. Acesso em: 19 out. 2020.

MULTIPLUS². **CYPECAD - Lajes maciças e cogumelos**. 2020. Disponível em: https://multiplus.com/software/cypecad/modulos-e-recursos/lajes-macicas-e-cogumelo.html. Acesso em: 19 out. 2020.

SANTOS, Roberto Eustaáquio dos; OLIVEIRA, Bernardo Jefferson de. A ARMAÇÃO DO CONCRETO NO BRASIL: HISTÓRIA DA DIFUSÃO DA TECNOLOGIA DO CONCRETO ARMADO. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, Belo Horizonte, v. 15, ed. 16, p. 49-59, 2008.

SANTOS, Vinícius Cardoso. **Dimensionamento e análise estrutural passo a passo**. Programa Estrutura do Início ao Fim. Online, 2019. *E-book* (165 p.).

SCOBAR, Renan Luna. **Concreto leve estrutural: substituição do agregado graúdo convencional por argila expandida**. 45p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2016.

SILVA, BEATRIZ NÚBIA SOUZA. **ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO: CÁLCULO MANUAL X SOFTWARE DE DIMENSIONAMENTO**. Orientador: Rodolfo Santos da Conceição. 2017. 72 p. Monografia (BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL) - INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE CAMPUS ARACAJU, ARACAJU, 2017.

SILVA, Mauro César de Brito. **O concreto armado como material estrutural**. UNITAU, 2010. 64p.

SILVA, VINYCIUS RUFINO DOS SANTOS. **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DOIS SOFTWARES DE DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO DE UMA OBRA DE PEQUENO PORTE**. Orientador: Leonardo Medeiros Costa. 2018. 37 p. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, ARARUNA, 2018.