

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

MURILO AMÉRICO ALVES

**DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL: COMPARATIVO DO MÉTODO MANUAL
DE CÁLCULO COM O *SOFTWARE EBERICK* EM UMA RESIDÊNCIA**

CASCATEL - PR

2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

MURILO AMÉRICO ALVES

**DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL: COMPARATIVO DO MÉTODO MANUAL
DE CÁLCULO COM O SOFTWARE *EBERICK* EM UMA RESIDÊNCIA**

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

Professora Orientadora: Mestre Eng. Civil Maria Vânia Nogueira do Nascimento Peres

CASCADEL - PR

2017

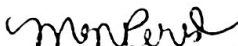
CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

MURILO AMÉRICO ALVES

**DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL: ESTUDO COMPARATIVO DO MÉTODO
MANUAL DE CÁLCULO COM O SOFTWARE *EBERICK* EM UMA RESIDÊNCIA**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação da Professora Mestre Engenheira Civil **MARIA VÂNIA NOGUEIRA DO NASCIMENTO PERES**.

BANCA EXAMINADORA



Orientadora Prof^a. Mestre Maria Vânia Nogueira do Nascimento Peres
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenharia Civil



Professora Mestre Andrea Resende de Souza
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenharia Civil



Professor Especialista Lincoln Salgado
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenharia Civil

Cascavel, 20 de novembro de 2017.

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora, pelo suporte, atenção, paciência e compartilhamento do saber durante a elaboração deste trabalho.

A minha família, pelo incentivo, apoio e oportunidade de trilhar este caminho acadêmico.

A todos que de forma direta ou indireta, fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

Através do projeto arquitetônico de uma residência unifamiliar de dois pavimentos, pretende-se aplicar o método manual de cálculo seguindo as recomendações normativas referentes a dimensionamento e detalhamento de estruturas e comparar com o dimensionamento utilizando o *software* “*Eberick*”, da empresa AltoQi. Notou-se com este trabalho, através da comparação dos resultados dos dimensionamentos realizados, que ambas as metodologias atendem as demandas de segurança previstas em norma, observou-se também que o *software* apresenta um quantitativo de 12,42% a mais em quilogramas de aço, porém, maior produtividade.

Palavras-chave: Software. Cálculo estrutural. NBR 6118. Quantitativos de Aço.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Resistência à compressão característica (f_{ck}) – Grupo I.....	15
Figura 02 – Resistência à compressão característica (f_{ck}) – Grupo II.....	15
Figura 03 – Valores de γ_c e γ_s	16
Figura 04 – Valores estimados de módulo de elasticidade em função da resistência característica à compressão do concreto (considerando o uso de granito como agregado gráúdo).....	18
Figura 05 – Diagrama tensão-deformação idealizado.....	19
Figura 06 – Diâmetros nominais dos fios e barras utilizados em estruturas de concreto armado.....	20
Figura 07 – Coeficiente de conformação superficial.....	20
Figura 08 – Classes de agressividade ambiental.....	22
Figura 09 – Relação entre a classe de agressividade do ambiente e os parâmetros mínimos para qualidade do concreto.....	23
Figura 10 – Correlação entre a classe de agressividade e o cobrimento nominal.....	24
Figura 11 – Valores do coeficiente de majoração para pilares.....	26
Figura 12 – Detalhamento da viga 16 – Cálculo manual.....	35
Figura 13 – Detalhamento da viga 7 – <i>Eberick</i>	35
Figura 14 – Detalhamento do pilar P6 – Cálculo manual.....	36
Figura 15 – Detalhamento do pilar P8 – <i>Eberick</i>	37
Figura 16 – Gráfico do quantitativo de aço entre os métodos de dimensionamento e os elementos estruturais.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Dados do projeto.....	32
Tabela 02 – Dados dos revestimentos.....	32
Tabela 03 – Quantitativo de aço das estruturas de concreto armado no cálculo manual e computacional.....	38

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01 – Resistência à compressão de cálculo.....	16
Equação 02 – Resistência à tração característica até C50.....	17
Equação 03 – Resistência à tração de cálculo.....	17
Equação 04 – Módulo de elasticidade para C20 a C50.....	18
Equação 05 – Módulo da deformação secante.....	18
Equação 06 – Coeficiente α_i	18
Equação 07 – Resistência característica do aço.....	21
Equação 08 – Resistência de cálculo do aço.....	21

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	11
1.1 INTRODUÇÃO.....	11
1.2 OBJETIVOS.....	12
1.2.1 Objetivo Geral.....	12
1.2.2 Objetivos Específicos.....	12
1.3 JUSTIFICATIVA.....	12
1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	13
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE.....	13
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	13
CAPÍTULO 2.....	14
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1.1 Concreto Armado.....	14
2.1.2 Características Mecânicas do Concreto.....	15
2.1.2.1 Resistência à compressão característica – f_{ck}	15
2.1.2.2 Resistência à compressão de cálculo – f_{cd}	16
2.1.2.3 Resistência à tração característica – f_{ctk}	16
2.1.2.4 Resistência à tração de cálculo – f_{ctd}	17
2.1.2.5 Módulo de elasticidade e deformação – E_{ci} - E_{cs}	17
2.1.2.6 Diagrama tensão- deformação – compressão.....	18
2.1.3 Características Mecânicas do Aço.....	19
2.1.3.1 Tipos de aço.....	19
2.1.3.2 Tipos de superfícies aderentes.....	20
2.1.3.3 Módulo de elasticidade.....	21
2.1.3.4 Resistência característica do aço – f_{yk}	21
2.1.3.5 Resistência de cálculo do aço – f_{yd}	21
2.1.4 Requisitos Gerais de Qualidade da Estrutura.....	22
2.1.4.1 Durabilidade.....	22
2.1.4.2 Agressividade do ambiente.....	22
2.1.4.3 Qualidade do concreto.....	23
2.1.4.4 Cobrimento da armadura passiva.....	23
2.1.5 Cargas nas Estruturas.....	24
2.1.5.1 Cargas permanentes - g_k	24

2.1.5.2 Cargas acidentais - q_k	25
2.1.6 Cálculo Estrutural.....	25
2.1.6.1 Laje.....	25
2.1.6.2 Viga.....	26
2.1.6.3 Pilar.....	26
2.1.6.4 Escada.....	27
2.1.6.5 Reservatório.....	27
2.1.7 Estados Limites.....	27
2.1.7.1 Estado limite último – ELU.....	27
2.1.7.2 Estado limite de serviço– ELS.....	27
2.1.9 <i>Software Eberick</i>	28
CAPÍTULO 3.....	29
3.1 METODOLOGIA.....	29
3.1.1 Sequência do Estudo.....	29
3.1.2 Projeto Arquitetônico.....	30
3.1.3 Pré-dimensionamento	30
3.1.4 Dados do Projeto.....	31
3.1.5 Cálculo Estrutural.....	33
3.1.6 Análise dos Dados.....	33
CAPÍTULO 4.....	34
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
4.1.1 Laje.....	34
4.1.2 Viga.....	34
4.1.3 Pilar.....	36
4.1.4 Escada.....	37
4.1.5 Reservatório Elevado.....	37
4.1.6 Quantitativo Geral da Edificação.....	38
CAPÍTULO 5.....	40
5.1 CONCLUSÃO.....	40
CAPÍTULO 6.....	41
6.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	41
REFERÊNCIAS.....	42
APÊNDICE A.....	43
APÊNDICE B.....	44

APÊNDICE C.....	45
APÊNDICE D.....	46
APÊNDICE E.....	47
APÊNDICE F.....	48
APÊNDICE G.....	49
APÊNDICE H.....	50
APÊNDICE I.....	51
ANEXO A.....	52
ANEXO B.....	53

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

As interações entre aço e concreto formam o material estrutural mais utilizado na Engenharia Civil, o concreto armado, atualmente é a solução construtiva mais empregada na construção civil brasileira. A combinação desses materiais se torna vantajosa devido ao fato de o concreto possuir baixa resistência aos esforços de tração e alta resistência aos esforços de compressão, enquanto o aço apresenta alta resistência à tração e baixa resistência à compressão.

O projeto estrutural em concreto armado se caracteriza como um dos projetos mais importantes de uma edificação, ele engloba segurança, conforto, estética e economia para a obra, o projeto deve atender as mínimas condições de segurança impostos pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

Segundo Albuquerque (1999), a evolução do processo construtivo começa pela qualidade dos projetos, e entre os projetos elaborados para a construção civil, destaca-se o estrutural. O projeto estrutural, individualmente, responde pela etapa de maior representatividade no custo total da construção, de 15% a 20% do custo total. Justifica-se então um estudo prévio para a escolha do sistema estrutural a ser adotado, pois se sabe que uma redução de 10% no custo da estrutura pode representar, no custo total, uma diminuição de 2%. Em termos práticos, 2% do custo total corresponde à execução de toda etapa de pintura ou a todos os serviços de movimento de terra, soleiras, rodapés, peitoris e coberta juntos.

Atualmente, é possível fazer uso de *softwares* para o desenvolvimento do cálculo estrutural de uma edificação, estes *softwares* devem atender as mesmas exigências que o cálculo manual, tendo como objetivo facilitar o trabalho do projetista com maior praticidade e velocidade de execução dos projetos.

De acordo Kimura (2007) é praticamente impossível imaginar o dimensionamento de estruturas com grande complexidade sendo desenvolvidos de forma totalmente manual na atualidade, pois existem várias etapas que feitas de forma manual podem levar um tempo suficientemente grande, de forma a comprometer o cronograma do projeto. Por outro lado, é importante salientar que a informatização não veio para substituir os conceitos do cálculo estrutural e sim para aperfeiçoá-los.

O interesse do estudo sobre o tema se deu durante as disciplinas de dimensionamento de estruturas de concreto cursadas na Universidade, com o objetivo de compreender os processos de realização dos cálculos estruturais de forma manual e com uso de *software*, propondo um modelo estrutural de análise com lajes, vigas e pilares, escada e reservatório elevado a fim de verificar sua utilidade em termos de segurança e economia.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Comparar os resultados obtidos no dimensionamento estrutural de uma residência em concreto armado atendendo aos requisitos da NBR 6118 (ABNT, 2014) utilizando o método de cálculo manual e o *software Eberick*.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar o dimensionamento estrutural de uma residência pelo método de cálculo manual;
- Realizar o dimensionamento estrutural de uma residência com o *software Eberick*;
- Comparar as diferenças em relação à quantidade de aço para ambos os métodos.

1.3 JUSTIFICATIVA

A utilização de *softwares* no dimensionamento de estruturas é amplamente difundida no Brasil e no mundo e isso se deve as grandes vantagens que eles fornecem. Em situações reais de projeto de estruturas, o uso de ferramentas computacionais exige responsabilidade e experiência por parte do engenheiro projetista.

Sabe-se que o projeto estrutural corresponde a etapa de maior representatividade do custo de uma obra, em até 20%, conforme especificado por Albuquerque (1999), portanto, é de suma importância que o projetista adote as soluções que atendam os padrões de segurança especificados pelas Normas Brasileiras Regulamentadoras, especificamente a NBR 6118 (ABNT, 2014) e gerem economia para o usuário. Desta forma, este trabalho justifica-se pela

pretensão de aplicar os conhecimentos adquiridos durante a graduação, de forma a verificar estes conhecimentos na prática e a validade da ferramenta de cálculo aplicada.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O cálculo estrutural por meio de *software* atende as exigências mínimas de segurança e traz economia para o projeto?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

A utilização do *software* para o dimensionamento estrutural de uma residência, além de atender as normas de segurança e garantir mais praticidade ao projetista, se mostra mais econômico quando comparado ao método manual de cálculo devido ao fato do método manual possuir diversos coeficientes de segurança para garantir a integridade da estrutura, o que faz com que o gasto com materiais seja maior.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa delimita-se a uma edificação de pequeno porte, projeto residencial unifamiliar de dois pavimentos, com estrutura convencional de concreto armado, a ser implantado no centro da cidade de Cascavel – Paraná.

Os cálculos computacionais serão limitados pelo *software AltoQi Eberick*, e as ferramentas que auxiliarão no cálculo manual são *Microsoft Excel*, *Ftool* e *AutoCad*.

Os dois modelos propostos serão desenvolvidos com base na mesma planta arquitetônica, sendo considerado apenas dimensionamento de lajes, vigas e pilares, além de possuírem a mesma concepção estrutural e mesmos parâmetros de entrada, como classe de agressividade do ambiente, resistência à compressão característica, cobrimento nominal, e demais parâmetros que sejam necessários, conforme especificações normativas, para o dimensionamento dos elementos estruturais.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste Capítulo são abordados os conceitos de concreto armado, as características mecânicas do concreto e aço, os requisitos gerais da qualidade da estrutura, as cargas nas estruturas, projeto estrutural e o *software Eberick* utilizado neste trabalho.

2.1.1 Concreto armado

A NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto: Procedimento (ABNT, 2014), diz que o concreto armado é todo elemento em que seu comportamento estrutural dependa da relação entre o aço e o concreto, e que não seja aplicado nenhum alongamento inicial na armadura do elemento, o que caracteriza a protensão.

Para Araújo (2014), o concreto armado é um elemento composto, proveniente da combinação do concreto com barras de aço posicionadas em seu interior, essa associação é em virtude da baixa resistência a tração do concreto onde as barras de aço possuem a função de absorver estes esforços na estrutura, além de aumentarem a capacidade de carga de peças comprimidas. O desempenho deste conjunto se dá graças a aderência entre os materiais, o concreto protege a armadura da corrosão, enquanto o aço absorve os esforços de tração, impedindo a total fissuração e ruína da estrutura.

Concreto é a mistura de agregados naturais ou britados, com água e cimento, podendo ser adicionados aditivos químicos ou adições minerais, como por exemplo, retardadores ou aceleradores de pega, plastificantes, impermeabilizantes, fillers calcários, que melhoram o desempenho do concreto. A resistência deste elemento depende de seu traço, adensamento, os agregados e aditivos envolvidos (ARAÚJO, 2014).

A armadura utilizada no concreto armado é chamada de “armadura passiva”, estas são compostas de barras de aço, para a NBR 6118 (ABNT, 2014), armadura passiva é qualquer armadura que não seja previamente alongada, ou seja, não protendida.

2.1.2 Características Mecânicas do Concreto

2.1.2.1 Resistência à compressão característica – f_{ck}

A resistência à compressão é obtida em ensaios de corpos de prova cilíndricos, moldados segundo a NBR 5738 – Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (ABNT, 2015) e rompidos como estabelece a NBR 5739 – Concreto: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndrico (ABNT, 2007), ela refere-se à resistência à idade de 28 dias do concreto.

Para a NBR 6118 (ABNT, 2014) os concretos são classificados em dois grupos de acordo com a sua resistência à compressão característica (f_{ck}), os concretos são designados pela letra “C” seguido de seu valor de resistência aos 28 dias de idade, expressa em megapascal (MPa), conforme as Figuras 01 e 02.

Figura 01: Resistência à compressão característica (f_{ck}) – Grupo I.

Tabela 1 - Classes de resistência do grupo I	
Grupo I de resistência	Resistência característica à compressão (MPa)
C10	10
C15	15
C20	20
C25	25
C30	30
C35	35
C40	40
C45	45
C50	50

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

Figura 02: Resistência à compressão característica (f_{ck}) – Grupo II.

Tabela 2 - Classes de resistência do grupo II	
Grupo II de resistência	Resistência característica à compressão (MPa)
C55	55
C60	60
C70	70
C80	80

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

Segundo Araújo (2014), a resistência à compressão depende de diversos fatores, como, a composição do concreto (traço), as condições ambientais de cura quanto à umidade e temperatura, a velocidade de aplicação da carga, idade de concreto, estado de tensões, forma e dimensões dos corpos de prova.

2.1.2.2 Resistência à compressão de cálculo – f_{cd}

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), a resistência à compressão de cálculo (f_{cd}) é a resistência característica (f_{ck}) afetada pelo coeficiente γ_c e é obtida pela Equação 01.

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (01)$$

Onde:

f_{cd} – Resistência à compressão de cálculo (MPa)

f_{ck} – Resistência à compressão característica (MPa)

γ_c – Coeficiente de ponderação do concreto

O valor de γ_c , juntamente com γ_s pode ser obtido na Figura 03.

Figura 03: Valores de γ_c e γ_s .

Combinações	Concreto γ_c	Aço γ_s
Normais	1,4	1,15
Especiais ou de construção	1,2	1,15
Excepcionais	1,2	1,0

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

2.1.2.3 Resistência à tração característica – f_{ctk}

A resistência à tração do concreto pode ser determinada através do ensaio de tração axial, compressão diametral e ensaio de flexão, prescritos na NBR 7222 – Concreto e argamassa: Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2011) e NBR 12142 – Concreto: Determinação da resistência à tração na

flexão de corpos de prova prismáticos (ABNT, 2010). Usualmente, a resistência à tração refere-se à resistência à tração axial (f_{ct}) (ARAÚJO, 2014).

A NBR 6118 (ABNT, 2014) especifica que a resistência à tração axial pode ser considerada através do valor médio ou característico por meio da Equação 02.

- Para concretos de classe até C50:

$$f_{ctk} = 0,3 * f_{ck}^{\frac{2}{3}} \quad (02)$$

Onde:

f_{ctk} – Resistência à tração característica (MPa)

f_{ck} – Resistência à compressão característica (MPa)

2.1.2.4 Resistência à tração de cálculo - f_{ctd}

A resistência à tração de cálculo segue os mesmos princípios da resistência à compressão de cálculo, calculado, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), pela Equação 03.

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} \quad (03)$$

Onde:

f_{ctd} – Resistência à tração de cálculo (MPa)

f_{ctk} – Resistência à tração característica (MPa)

γ_c – Coeficiente de ponderação do concreto

2.1.2.5 Módulo de elasticidade e deformação - E_{ci} - E_{cs}

A NBR 6118 (ABNT, 2014) recomenda a obtenção do módulo de elasticidade através de ensaio estabelecido pela NBR 8522 – Concreto: Determinação do módulo de estático de elasticidade à compressão (ABNT, 2008) que considera o módulo de deformação tangencial inicial obtido aos 28 dias de idade.

É possível estimar o valor do módulo de elasticidade inicial e o módulo de deformação secante através das Equações 04, 05 e 06.

- Para C20 a C50:

$$E_{ci} = \alpha E * 5600 * \sqrt{f_{ck}} \quad (04)$$

Onde:

E_{ci} – Módulo de elasticidade (MPa)

f_{ck} – Resistência à tração característica (MPa)

αE – Basalto e diabásio (1,2)

$$E_{cs} = \alpha_i * E_{ci} \quad (05)$$

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 * \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0 \quad (06)$$

Onde:

E_{cs} - Módulo de deformação secante (MPa)

Na Figura 04 são apresentados valores estimados arredondados usuais de projetos estruturais.

Figura 04: Valores estimados de módulo de elasticidade em função da resistência característica à compressão do concreto (considerando o uso de granito como agregado graúdo).

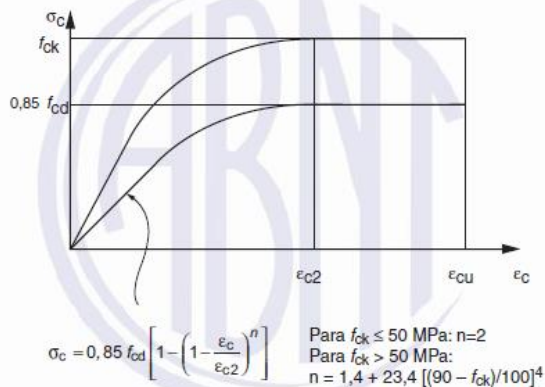
Classe de resistência	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C60	C70	C80	C90
E_{ci} (GPa)	25	28	31	33	35	38	40	42	43	45	47
E_{cs} (GPa)	21	24	27	29	32	34	37	40	42	45	47
α_i	0,85	0,86	0,88	0,89	0,90	0,91	0,93	0,95	0,98	1,00	1,00

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

2.1.2.6 Diagrama tensão-deformação – compressão.

A NBR 6118 (ABNT, 2014), visando estabelecer um critério ao dimensionamento, busca-se, para as diferentes resistências a compressão com que se trabalha na prática, um diagrama ideal, matematicamente definido, o diagrama parábola retângulo, apresentado na Figura 05.

Figura 05: Diagrama tensão-deformação idealizado.



Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

São definidos os seguintes valores para ϵ_{c2} (deformação específica de encurtamento do concreto no início do patamar plástico) e ϵ_{cu} (deformação específica de encurtamento do concreto na ruptura):

- Para concretos de classes até C50, são os valores:

$$\epsilon_{c2} = 2,0 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{cu} = 3,5 \text{ ‰}$$

2.1.3 Características Mecânicas do Aço

2.1.3.1 Tipos de aço

A NBR 7480 – Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado: Especificação (ABNT, 2008), recomenda para as estruturas de concreto armado a utilização de aços nas categorias CA-25, CA-50 e CA-60, esta nomenclatura é dada em função do valor característico da tensão de escoamento que será abordado posteriormente.

- Barras (CA-50 e CA-25): Diâmetros maiores que 5,0 mm, obtidas através de laminação quente, não exigindo deformação a frio posteriormente, com patamar de escoamento definido no diagrama tensão-deformação;
- Fios (CA-60): Diâmetros inferiores a 10,0 mm, obtidos através de deformação a frio, sem patamar de escoamento definido no diagrama tensão-deformação.

A Figura 06 apresenta os diâmetros nominais, dados em milímetros (mm) dos fios e barras

Figura 06: Diâmetros nominais dos fios e barras utilizados em estruturas de concreto armado.

Diâmetro nominal (mm)	
Fios	Barras
2,4	-
3,4	-
3,8	-
4,2	-
4,6	-
5,0	5,0
5,5	-
6,0	-
-	6,3
6,4	-
7,0	-
8,0	8,0
9,5	-
10,0	10,0
-	12,5
-	16,0
-	20,0
-	22,0
-	25,0
-	32,0
-	40,0

Fonte: NBR 7480 (ABNT, 1996).

2.1.3.2 Tipos de superfícies aderentes

A NBR 6118 (ABNT, 2014) especifica que os fios e barras podem ser lisos ou providos de saliências ou mossas, essas saliências são responsáveis por melhorar a aderência entre o concreto e o aço, para cada categoria de aço a norma estabelece um coeficiente de conformação superficial “ η_1 ”, apresentado na Figura 07.

Figura 07: Coeficiente de conformação superficial.

Tipo de superfície	η_1
Lisa	1,0
Entalhada	1,4
Nervurada	2,25

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

2.1.3.3 Módulo de elasticidade

Admite-se o valor do módulo de elasticidade do aço como 210 GPa, na ausência de ensaios ou valores fornecidos pelo fabricante do material (NBR 6118, ABNT, 2014).

2.1.3.4 Resistência característica do aço – f_{yk}

É possível encontrar o valor de f_{yk} , através da Equação 07, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014):

$$f_{yk} = f_{ym} - 1,65 * s \quad (07)$$

Onde:

f_{yk} – resistência à tração característica de escoamento do aço (MPa)

f_{ym} – resistência à tração média de escoamento do aço (MPa)

s – desvio padrão

2.1.3.5 Resistência de cálculo do aço – f_{yd}

Para o cálculo do f_{yd} a NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece a Equação 08.

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (08)$$

Onde:

f_{yd} – resistência à tração de cálculo de escoamento do aço (MPa)

f_{yk} – resistência à tração característica de escoamento do aço (MPa)

γ_s – coeficiente de ponderação do aço

2.1.4 Requisitos Gerais de Qualidade da Estrutura

2.1.4.1 Durabilidade

A NBR 6118 (ABNT, 2014) define que as estruturas de concreto devem ser projetadas e executadas de modo que, perante as variáveis ambientais previstas e sob a utilização projetada, a estrutura garanta sua segurança, estabilidade, conforto e aptidão, durante sua vida útil, que é definida pelo período no qual a estrutura mantém suas características sem intervenções significativas, desde que sejam atendidos os requisitos de uso e manutenção previstos e prescritos pelo projetista.

2.1.4.2 Agressividade do ambiente

A agressividade do ambiente refere-se às ações físicas e químicas atuantes em uma estrutura de concreto, independentemente das demais ações e variações previstas no dimensionamento das estruturas (NBR 6118, 2014).

A norma também classifica a agressividade do ambiente através de classes, simplificadamente, quanto as condições de exposição da estrutura, apresentado na Figura 08.

Figura 08: Classes 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 Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a Industrial ^{a, b}	Grande
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c} Respingos de maré	Elevado

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

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

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

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

2.1.4.3 Qualidade do concreto

A durabilidade de uma estrutura de concreto está diretamente ligada às características do concreto utilizado. Em função desta necessidade, a NBR 6118 (ABNT, 2014), estabelece valores mínimos para a relação água/cimento e a classe de concreto utilizada de acordo com a classe de agressividade que a estrutura estará exposta, apresentado na Figura 09.

Figura 09: Relação entre a classe de agressividade do ambiente e os parâmetros mínimos para qualidade do concreto.

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

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

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

2.1.4.4 Cobrimento da armadura passiva

A fim de garantir o cobrimento correto da armadura passiva, a NBR 6118 (ABNT, 2014), estabelece os seguintes parâmetros:

- O cobrimento mínimo deve ser respeitado ao longo de todo o elemento considerado;
- Considera-se o cobrimento nominal para garantir o cobrimento mínimo, que é o cobrimento mínimo com um acréscimo da tolerância de execução, nas obras correntes a norma estabelece um acréscimo de 10 mm, para obras com alto controle de qualidade é possível utilizar o valor do acréscimo de 5 mm;
- É possível determinar o cobrimento nominal, considerando um acréscimo de 10 mm, conforme Figura 10:

Figura 10: Correlação entre a classe de agressividade e o cobrimento nominal.

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

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

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

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

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

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

2.1.5 Cargas nas Estruturas

Para determinação das cargas estruturais utilizadas no projeto de estruturas de edificações, a NBR 6120 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações (ABNT, 1980) fixa valores que devem ser considerados qualquer seja sua classe e destino, salvo casos previstos em normas especiais. Estas cargas são divididas em cargas permanentes e cargas acidentais.

2.1.5.1 Cargas permanentes – g_k

Segundo a NBR 6120 (ABNT, 1980), este tipo de carga é composto pelo peso próprio da estrutura (P_p), elementos construtivos fixos e instalações permanentes. A fim de facilitar os cálculos das cargas, a norma fixa valores conforme especificados no Anexo A.

2.1.5.2 Cargas acidentais – qk

A NBR 6120 (ABNT, 1980) define cargas acidentais como as cargas providas da utilização da edificação (pessoas, móveis, materiais diversos, veículos, etc...). Para o cálculo, a norma estabelece os valores apresentados no Anexo B.

2.1.6 Cálculo Estrutural

O cálculo estrutural manual presente neste trabalho será baseado na metodologia aplicada por Araújo (2104), apresentada em suas obras “Curso de Concreto Armado” volume 1, 2, 3 e 4, e “Projeto Estrutural de Edifícios de Concreto Armado”, seguindo também os critérios estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2014).

Segundo Sussekind (1984) as estruturas devem ser concebidas de modo a poderem resistir às ações horizontais e verticais a que possam estar submetidas ao longo de sua existência e que, além disso, independentemente do número de pavimentos e das dimensões em planta, seus sistemas de contraventamento devem ser estudados e adequadamente calculados.

2.1.6.1 Laje

Lajes são estruturas planas, comumente horizontais, com duas dimensões (base e largura) de maior valor que a terceira (espessura), estas possuem a função de receber os carregamentos do pavimento, como: pessoas, mobília, impactos, etc., e transferir os mesmos para as demais estruturas. (PINHEIRO, 2007).

A NBR 6118 (ABNT, 2014) define os seguintes limites de espessura mínima para lajes maciças em concreto armado:

- 7 cm para lajes de cobertura não em balanço;
- 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- 10 cm para lajes em balanço;
- 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN.

2.1.6.2 Viga

A NBR 6118 (ABNT, 2014) define as vigas como elementos lineares em que a flexão é predominante, a mesma define que a largura mínima das vigas deve ser de 12 cm.

2.1.6.3 Pilar

Os pilares, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), são elementos lineares de eixo reto, normalmente posicionados na vertical, em que as forças de compressão são predominantes, estes devem possuir área mínima de 360 cm², com dimensões mínimas de 19 cm, quando uma das dimensões for inferior a 19 cm, deve-se majorar as cargas de acordo com a Figura 11.

Figura 11: Valores do coeficiente de majoração para pilares.

b cm	≥ 19	18	17	16	15	14
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25

onde
 $\gamma_n = 1,95 - 0,05 b$;
 b é a menor dimensão da seção transversal, expressa em centímetros (cm).

NOTA O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo quando de seu dimensionamento.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

2.1.6.4 Escada

Segundo a NBR 9050 (ABNT, 2015), uma escada pode ser considerada a partir de uma sequência de três ou mais degraus, as dimensões destes degraus (pisos e espelhos) devem ser uniformes por toda a escada. Para um correto dimensionamento deste elemento, os seguintes parâmetros devem ser atendidos:

- $0,63 \text{ m} \leq p + 2e \leq 0,65 \text{ m}$;
- pisos (p): $0,28 \text{ m} \leq p \leq 0,32 \text{ m}$;
- espelhos (e): $0,16 \text{ m} \leq e \leq 0,18 \text{ m}$.

2.1.6.5 Reservatório

Reservatório é todo recipiente que contém um determinado líquido, normalmente água, potável ou não, que podem ser enterrados, apoiados ao solo ou elevados. (GUERRIN e LAVAUUR, 2003).

De acordo com Fusco (1995), as dificuldades encontradas no dimensionamento de reservatórios elevados e reservatórios enterrados são semelhantes, porém, os detalhes dos reservatórios elevados estão submetidos a condicionantes mais exigentes.

2.1.7 Estados Limite

Araújo (2014) afirma que além dos aspectos estéticos e econômicos, uma estrutura de concreto armado deve atender requisitos de qualidade, como segurança, bom desempenho em serviço e durabilidade. Quando algum destes itens não é atendido considera-se que a edificação alcançou um estado limite.

2.1.7.1 Estado Limite Último- ELU

A NBR 6118 (ABNT, 2014) define o ELU como o estado limite do uso da estrutura, ou seja, estado relacionado ao colapso ou qualquer forma de ruína que cause a paralisação do uso da estrutura. O dimensionamento estrutural é realizado respeitando este estado limite, a favor da segurança.

2.1.7.2 Estado Limite de Serviço - ELS

O estado limite de serviço ou de utilização é o estado onde o aproveitamento da estrutura faz-se avariado por apontar deformações excessivas ou um nível de fissuração excessivo comprometendo a durabilidade da estrutura (ARAÚJO, 2014).

2.1.8 *Software Eberick*

Segundo a *AltoQi*, empresa desenvolvedora do *software Eberick*, este é utilizado na realização de projetos estruturais em concreto armado moldado in loco e concreto pré-moldado que abrange as etapas de lançamento estrutural, análise da estrutura, dimensionamento e detalhamento final dos elementos, que segue as exigências da NBR 6118 (ABNT, 2014).

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

Neste capítulo serão abordados os métodos de estudos que foram empregados neste trabalho para obter os resultados esperados.

3.1.1 Sequência do Estudo

Este trabalho teve como objetivo projetar uma residência de 02 pavimentos em concreto armado atendendo os requisitos da NBR 6118 (ABNT, 2014) utilizando o método de cálculo manual e o *software Eberick*, este projeto tem sua implantação prevista no Centro da cidade de Cascavel - Paraná.

Para chegar a este objetivo foi necessário passar por um estudo de projeto, onde, através do projeto arquitetônico foi definida uma concepção inicial da estrutura por um pré-dimensionamento, que compreende em localizar os elementos estruturais (lajes, vigas, pilares, escada e reservatório), visando o máximo conforto, economia e compatibilização com este projeto arquitetônico.

Com o pré-dimensionamento estrutural realizado definiu-se dados de projeto a serem utilizados, como, cobertura, resistência do concreto, resistência do aço, materiais utilizados na edificação (revestimento, vedação...), classe de agressividade do meio, entre outros.

Em seguida realizou-se o cálculo estrutural manual e o cálculo estrutural computacional com o *software Eberick*, ambos terão seus resultados expressos por meio de tabelas e plantas de detalhamento.

A fim de obter o resultado proposto pelo estudo, comparou-se as quantidades de aço obtidas no dimensionamento das estruturas da edificação por ambos os métodos, manual e computacional.

3.1.2 Projeto Arquitetônico

O projeto arquitetônico utilizado neste trabalho é uma residência unifamiliar de dois pavimentos, térreo e superior, em concreto armado com alvenaria de vedação e cobertura de platibanda com laje impermeabilizada.

O pavimento térreo é composto de um abrigo (garagem), sala de jantar/estar, lavatório, despensa, cozinha e área de serviço, totalizando 80,475 m².

O pavimento superior é composto de 02 quartos, suíte, closet, 02 banheiros e hall de distribuição, totalizando 80,475 m².

A conexão entre pavimentos é realizada através de uma escada convencional.

As plantas arquitetônicas são apresentadas no Apêndice A.

3.1.3 Pré-dimensionamento

Uma das etapas mais importantes de um projeto estrutural está compreendida no seu pré-dimensionamento, é neste momento que o projetista define as dimensões primárias dos elementos estruturais, podendo ser realizadas futuras alterações conforme a execução dos cálculos. Neste trabalho as dimensões estabelecidas no pré-dimensionamento serão utilizadas para o cálculo estrutural manual e computacional a fim de uma comparação dos resultados mais precisa.

Neste projeto para melhor padronização, economia e otimização procurou-se realizar o maior número de elementos com a mesma dimensão.

Para os pilares optou-se pela dimensão 14x30 centímetros, esta definição se deu para melhor compatibilizar o projeto arquitetônico com o projeto estrutural, tendo em vista que a espessura das paredes do projeto arquitetônico possuem 15 centímetros, ou seja, ao utilizar um pilar com dimensão de 14x30 centímetros é possível manter a estética projetada prevista. Optou-se também por manter o alinhamento vertical dos pilares em toda edificação, totalizando 14 pilares.

As alturas das vigas foram calculadas em função de 10% do vão entre as mesmas, sua outra dimensão (base ou largura) foi padronizada em 14 centímetros para que, assim como os pilares, este elemento não interferisse no projeto arquitetônico, totalizando 19 vigas. No pavimento térreo as vigas são todas vigas baldrame, estas foram padronizadas com a

dimensão de 14x50 centímetros, totalizando 10 vigas baldrame, as vigas da platibanda possuem dimensões uniformes de 14x30 centímetros, totalizando 4 vigas.

As lajes tiverem suas espessuras adotadas em 10 centímetros, valor este, que respeita o mínimo estabelecido por norma e padroniza as lajes, facilitando uma possível execução, totalizando 10 lajes.

A escada desta edificação é considerada como uma escada convencional com um patamar de descanso intermediário, os degraus desta escada possuem as dimensões de 30 centímetros para seu piso e 17,33 centímetros para seu espelho, atendendo os requisitos de norma, com uma largura de 127,5 centímetros.

O reservatório elevado do presente projeto possui o volume aproximado de 5,2 m³, feito em concreto armado, com uma tampa de 10 centímetros de espessura, fundo com 15 centímetros de espessura e paredes com 14 centímetros de espessura. Este reservatório se apoia diretamente sobre quatro pilares.

3.1.4 Dados do Projeto

Os dados do projeto são importantes, pois estes definem coeficientes, limites e definições que devem ser utilizadas para o dimensionamento dos elementos em concreto armado.

A partir da localização da implantação do projeto, este em Cascavel – Paraná, foi possível obter os dados iniciais, como a classe de agressividade, que dão origem a outras definições projetuais, como apresentado na Tabela 01.

Os revestimentos e acabamentos utilizados, obtidos a partir do projeto arquitetônico, são apresentados na Tabela 02.

Tabela 01: Dados do projeto.

Dados do Projeto	
Classe de agressividade	II
Relação água/cimento	0,5
Concreto	C25
Aço	CA-50
Cobrimento nominal (mm)	25
Resistência característica do concreto (kN/cm ²)	2,5
Resistência característica do aço (kN/cm ²)	50
Resistência de cálculo do concreto (kN/cm ²)	1,79
Resistência de cálculo do aço (kN/cm ²)	43,48
Diâmetro máximo do agregado (mm)	19
Módulo de elasticidade do concreto (GPa)	28
Módulo de elasticidade do aço (GPa)	210
Vinculação viga-viga	Rotulado
Vinculação viga-pilar	Engastado
Vinculação pilar-fundação	Engastado
Vinculação pilar-pilar	Engastado
Vinculação laje-laje	Engastado
Vinculação lance da escada-viga	Engastado
Vinculação tampa reservatório-reservatório	Apoiado
Vinculação fundo reservatório-reservatório	Engastado
Vinculação parede reservatório-parde reservatório	Engastado

Fonte: AUTOR (2017).

Tabela 02: Dados dos revestimentos.

Dados dos Revestimentos			
	Espessura (m)	Peso Específico (kN/m ³)	Carga (kN/m ²)
Revestimento do teto em gesso	0,01	12,5	0,0125
Revestimento do piso em granito	0,01	28	0,28
Revestimento do piso em madeira (pinho)	0,01	5	0,05
Alvenaria em bloco cerâmico (tijolo furado) (14x19x29) cm	0,14	13	-
Contrapiso	0,015	21	0,315
Reboco	0,01	20	0,2
Peso próprio	0,1	25	2,5
Manta asfáltica impermeabilizante	-	-	1,5

Fonte: AUTOR (2017).

3.1.5 Cálculo Estrutural

O trabalho compreende o cálculo e dimensionamento estrutural manual dos pilares, vigas, lajes, escada e reservatório elevado em concreto armado, seguindo os critérios prescritos na NBR 6118 (ABNT, 2014) especificados na Revisão Bibliográfica deste trabalho, juntamente com a metodologia adotada por Araújo (2014), autor das obras “Curso de Concreto Armado” volume 1, 2, 3 e 4. O cálculo e dimensionamento manual fez uso também dos *softwares AutoCad* e *Ftool*, além do *Microsoft Office Excel*, para auxiliar no desenvolvimento.

O cálculo e dimensionamento estrutural computacional foi realizado com o emprego do *software* da empresa AltoQi *Eberick*, sendo utilizada a versão 8 do programa.

Ambas as metodologias de cálculo utilizaram a mesma concepção estrutural inicial a fim de criar uma comparação mais próxima da realidade, porém, é possível que durante os cálculos algum elemento ou dimensão seja alterado, em virtude da metodologia de dimensionamento dos elementos.

O cálculo estrutural desta pesquisa não compreende o dimensionamento das fundações e não considera as ações de vento na estrutura.

As plantas de fôrmas do dimensionamento manual e computacional são apresentadas nos Apêndices A e E, respectivamente.

3.1.6 Análise dos Dados

Ao final de ambos os dimensionamentos estruturais, realizou-se o comparativo da quantidade de aço entre as metodologias, definindo assim, o projeto mais econômico perante as diferentes possibilidades de dimensionamento de uma mesma estrutura seguindo os parâmetros estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2014).

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos no estudo de caso, comparando a quantidade de aço, em quilogramas, entre o dimensionamento estrutural manual e o dimensionamento computacional no *Eberick*, separando os elementos estruturais para comparativos isolados e um comparativo geral de ambos os dimensionamentos.

4.1.1 Laje

As lajes maciças dimensionadas no cálculo manual obtiveram um peso de aço em quilogramas de 746,4. O cálculo computacional resultou em 976,6 kg de aço, portanto, o dimensionamento computacional apresentou 30,84% a mais de quilogramas de aço em relação ao manual.

Esta diferença se deve principalmente a metodologia de dimensionamento que ambos os cálculos utilizam, o *software* faz uso de uma metodologia conservadora, apresentando um maior número de ligações entre os elementos.

É necessário salientar que para que o cálculo computacional se tornasse possível fez-se a necessidade de aumentar a espessura das lajes L2 e L5 do pavimento superior e cobertura, de 10 cm para 12 cm, para atender o dimensionamento das armaduras negativas entre estas lajes.

Os detalhamentos manuais das lajes são apresentados no Apêndice B, e os detalhamentos computacionais estão presentes nos Apêndices H e I.

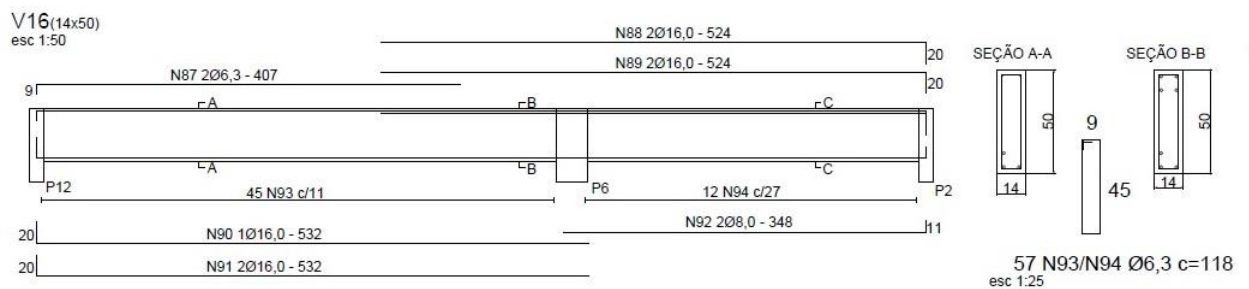
4.1.2 Viga

As vigas de concreto armado nesta pesquisa obtiveram os resultados mais similares entre os elementos da edificação, o cálculo manual resultou em 816,2 kg de aço, enquanto o *Eberick* obteve 807,6 kg de aço, ou seja, o dimensionamento manual apresentou apenas 1,05% a mais de quilogramas de aço em relação ao *software*. Para o cálculo computacional foi

necessário alterar a dimensão da viga intermediária da escada V10 de 14x50 para 19x50, pois, o programa acusou um problema em relação a área de aço e área da seção.

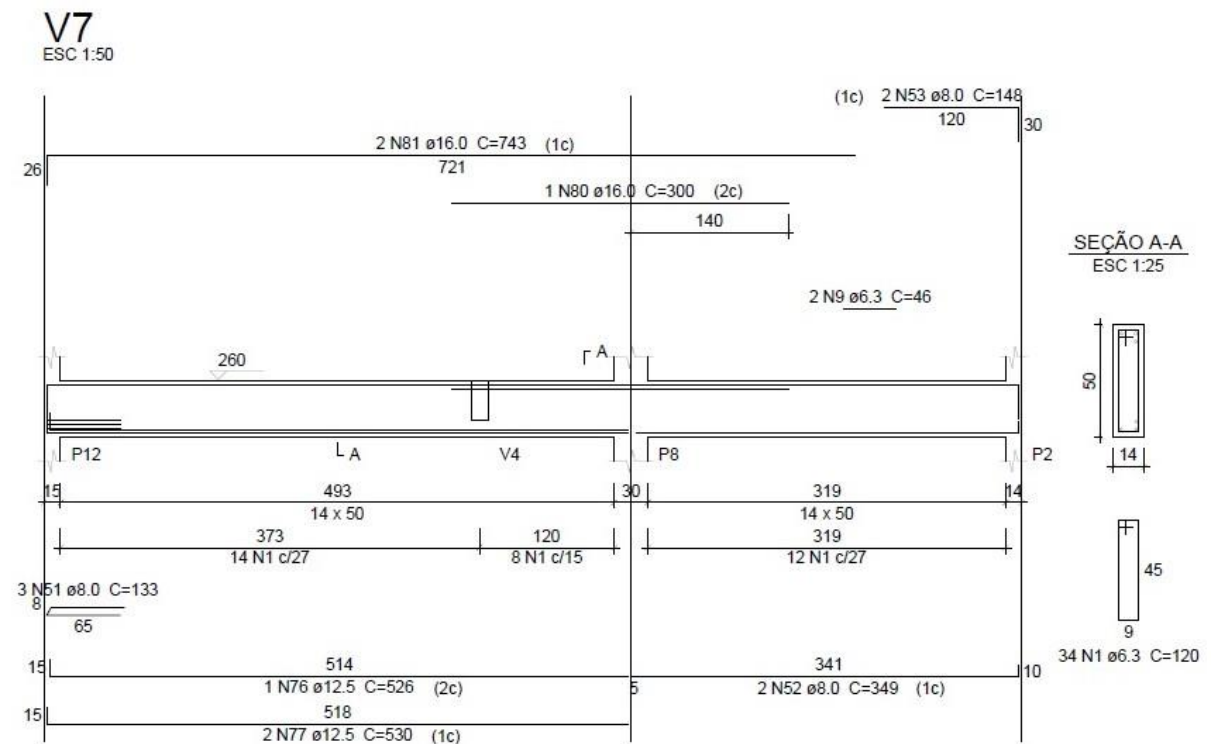
As Figuras 12 e 13 exemplificam o dimensionamento da viga 16 do cálculo manual e a viga 7 do cálculo computacional, estas são as mesmas vigas da edificação, apenas com numerações diferentes. Os demais detalhamentos das vigas, manuais e computacionais, estão apresentados nos Apêndices D e F, respectivamente.

Figura 12: Detalhamento da viga 16 – Cálculo manual.



Fonte: AUTOR (2017).

Figura 13: Detalhamento da viga 7 – Eberick.



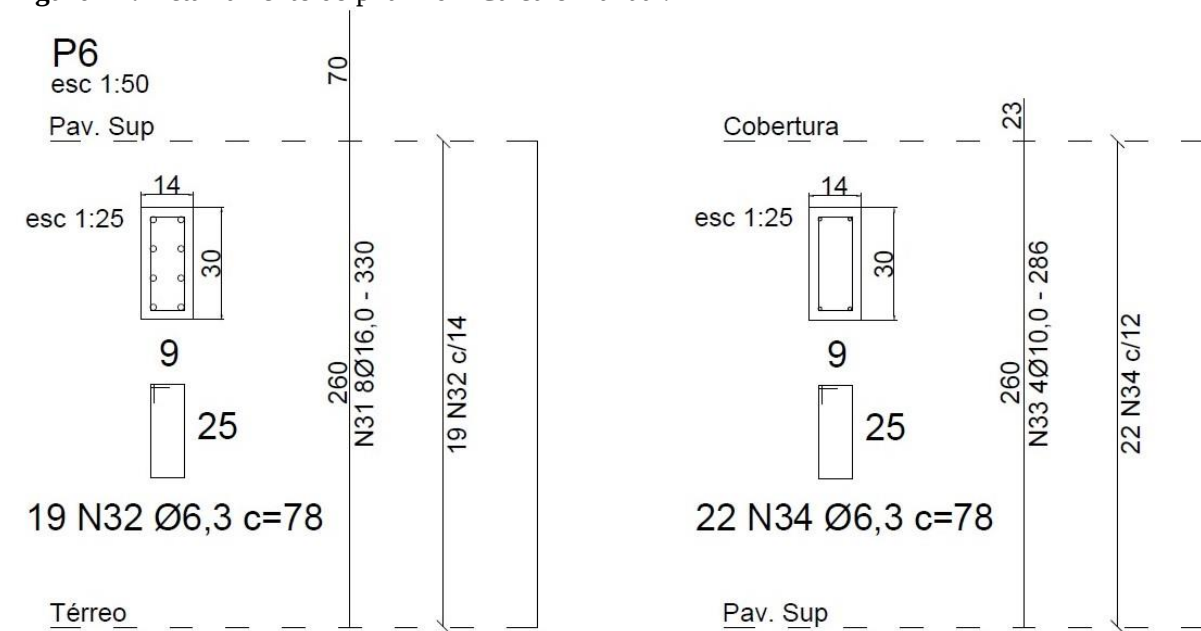
Fonte: AUTOR (2017).

4.1.3 Pilar

Os pilares de concreto armado obtiveram resultados semelhantes entre os dimensionamentos, o cálculo manual apresentou um quantitativo de aço de 573,9 kg e o *software* 608,1 kg, 5,62% a mais que o dimensionamento manual. Para a execução do dimensionamento computacional foi necessário alterar a seção do pilar P12 de 14x30 para 15x30, com o intuito de atender a área de aço da seção.

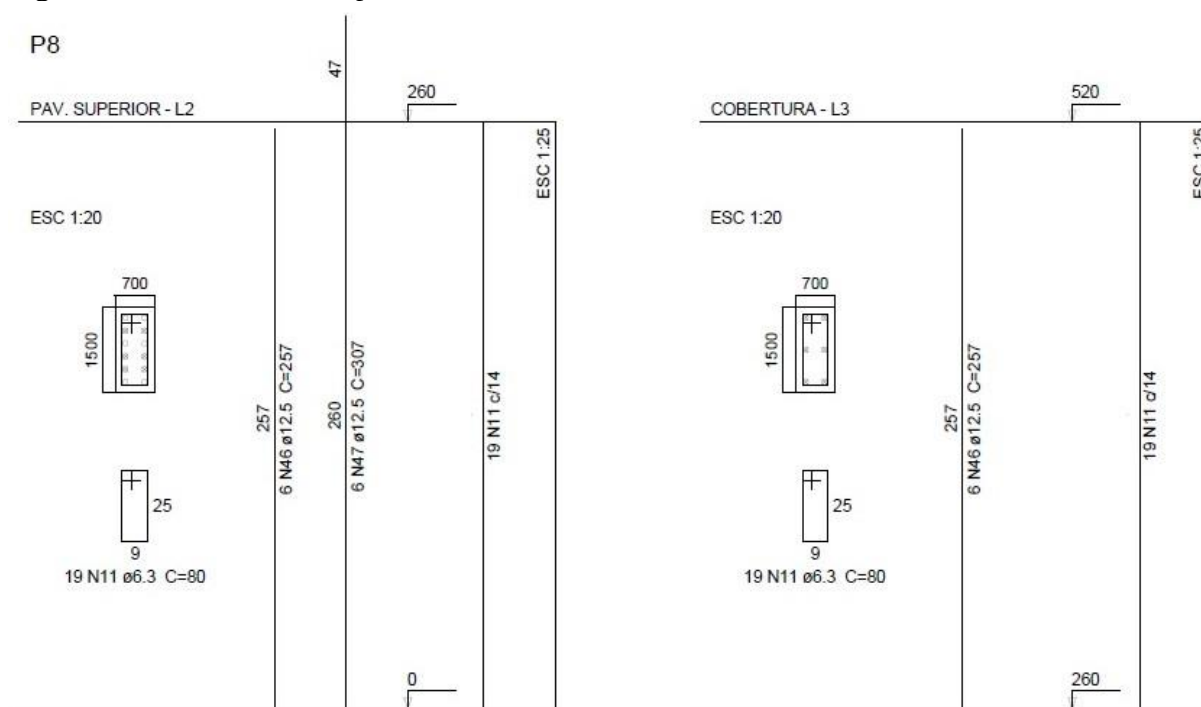
O detalhamento do pilar P6 do cálculo manual e P8 do cálculo computacional (mesmo pilar, apenas numerações diferentes) é apresentado nas Figuras 14 e 15 a fim de exemplificar o detalhamento destes elementos. Os demais detalhamentos dos pilares, manuais e computacionais, estão apresentados nos Apêndices D e F, respectivamente.

Figura 14: Detalhamento do pilar P6 – Cálculo manual.



Fonte: AUTOR (2017).

Figura 15: Detalhamento do pilar P8 – Eberick.



Fonte: AUTOR (2017).

4.1.4 Escada

O dimensionamento da escada em concreto armado presente nesta edificação, responsável pela conexão entre o pavimento térreo e o pavimento superior, apresenta a quantia de 70,9 e 58,3 quilogramas de aço no cálculo manual e computacional, respectivamente, portanto, observa-se que o cálculo manual possui 21,6% a mais de quilogramas de aço em relação ao *software*.

Os detalhamentos da escada, no método manual e computacional, são apresentados nos Apêndices C e G.

4.1.5 Reservatório Elevado

O reservatório elevado desta edificação, de 5,2 m³, em concreto armado, resultou em um quantitativo de aço pelo o método manual de cálculo de 181,3 kg de aço e 276,1 kg para o método computacional, resultando em 34,3% a mais de quilogramas de aço em relação ao dimensionamento manual, este alto valor se deve a alta complexidade de detalhamentos que o *software* realiza para os reservatórios de concreto armado.

Os detalhes da escada, no método manual e computacional, são apresentados nos Apêndices C e G.

4.1.6 Quantitativo Geral da Edificação

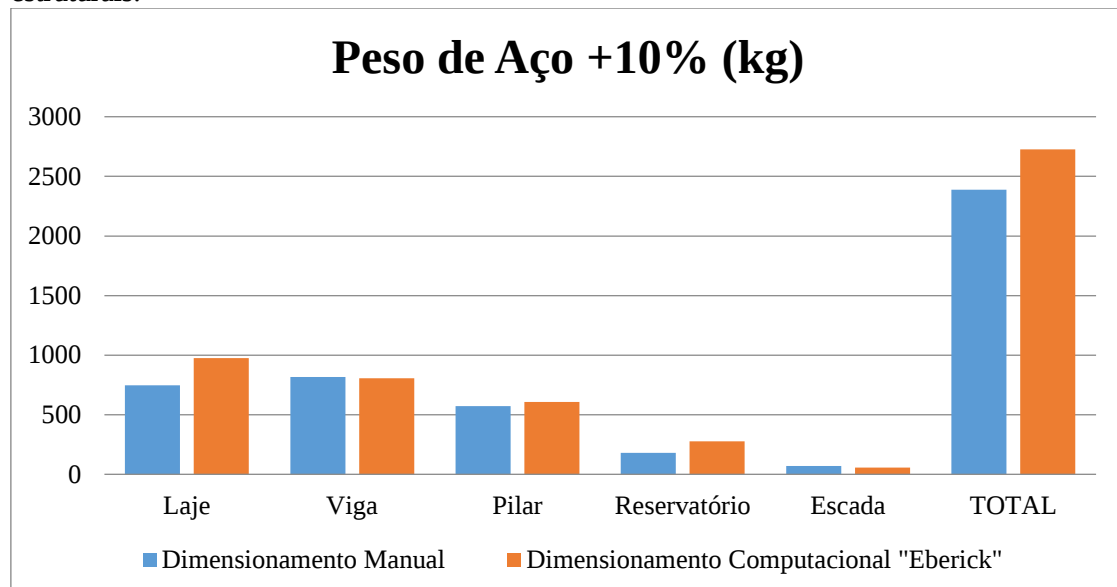
Ao finalizar o cálculo estrutural da edificação pelo método manual de cálculo e pelo método computacional de cálculo utilizando o *software Eberick* foi possível avaliar o quantitativo de aço total empregado no dimensionamento das estruturas de concreto armado presentes na edificação, este quantitativo é apresentado na Tabela 03 e ilustrado no gráfico presente na Figura 16.

Tabela 03: Quantitativo de aço das estruturas de concreto armado no cálculo manual e computacional.

Comparativo do Peso Total de Aço + 10% (kg)		
Elemento Estrutural	Dimensionamento Manual	Dimensionamento Computacional "Eberick"
Laje	746,4	976,6
Viga	816,2	807,9
Pilar	573,9	608,1
Reservatório	181,3	276,7
Escada	70,9	58,3
TOTAL	2388,7	2727,6

Fonte: AUTOR (2017).

Figura 16: Gráfico do quantitativo de aço entre os métodos de dimensionamentos e os elementos estruturais.



Fonte: AUTOR (2017).

Analisando estes resultados é possível concluir que o método computacional apresentou um quantitativo de aço 12,42% maior que o dimensionamento manual, levando em consideração o volume da residência em pesquisa pode-se obter a relação entre o volume da edificação pelo peso de aço total empregado no dimensionamento, resultando em 4,35 kg/m³ de aço para método manual e 4,97 kg/m³ para o método computacional.

Com estes resultados nota-se uma pequena discrepância entre o valor dos métodos, tornando a metodologia do cálculo manual mais econômica em relação à metodologia computacional, para fins de exemplificar esta diferença de valores, será simulado que todas as barras de ambos os dimensionamentos possuam o diâmetro de 10 milímetros e será utilizado a tabela “Evolução do valor médio do Aço CA-50 de 10 mm (em R\$/kg)” provido pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção para o Estado do Paraná.

Este valor em agosto de 2017 foi de 2,53 R\$/kg, aplicando para ambos os dimensionamentos obtive-se os valores de R\$6.043,41 para o dimensionamento manual e R\$6.900,83, portanto, uma diferença de R\$857,42 entre as metodologias.

A diferença de valores entre os projetos estruturais se deve principalmente as diferentes metodologias de dimensionamento para os diferentes elementos estruturais utilizadas em ambos os métodos, as diferentes análises de dados para a execução do projeto e as diferentes ponderações com relação à segurança estrutural.

O método computacional, apesar de menos econômico que o manual, provou-se capaz de atender as exigências mínimas de segurança, além de trazer maior produtividade ao projetista por conta da rapidez na execução dos dimensionamentos, possibilita a simulação de diferentes soluções aos problemas que são encontrados em um projeto estrutural e traz maior segurança ao projetista ao exibir alertas, avisos sobre possíveis erros do dimensionamento e como os solucionar.

CAPÍTULO 5

5.1 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo realizar o dimensionamento estrutural de uma edificação residencial unifamiliar de dois pavimentos, em concreto armado, aplicando o método de cálculo estrutural manual e o método computacional utilizando o *software Eberick* da empresa *AltoQi* e comparar a quantidade de aço, em quilogramas, empregado em ambos os dimensionamentos, a fim de estabelecer qual dos métodos é mais econômico e provar a utilidade do método computacional, que deveria atender as exigências mínimas de segurança estrutural.

Após passar por um processo de pré-dimensionamento das estruturas, execução do cálculo estrutural manual e execução do cálculo estrutural computacional, chegou-se à conclusão de que o método manual provou ser mais econômico em relação ao método computacional, apresentando um quantitativo de aço 12,42% menor que o *software*.

No decorrer da execução deste trabalho notou-se também, o dinamismo que o *software* proporciona ao dimensionamento, propondo soluções a alguns empecilhos que ocorrem ao decorrer do projeto, possibilitando simulações com estas soluções, gerando rapidamente resumo de materiais, visualização 3D e possibilitando maior produtividade, tendo consumido aproximadamente 1/5 do tempo que o método manual utilizou para o dimensionamento estrutural.

A solução estrutural computacional não se mostrou a mais econômica, porém, atendeu as exigências de segurança vigentes em norma e proporcionou um dimensionamento mais eficaz levando em consideração o tempo gasto para sua realização e o grau de detalhamento obtido no projeto, este, superior que o obtido na metodologia manual.

Vale salientar que o *software* não substitui o papel do engenheiro, ainda é necessário que este profissional analise, tome decisões e modele o projeto de acordo com as necessidades vigentes.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

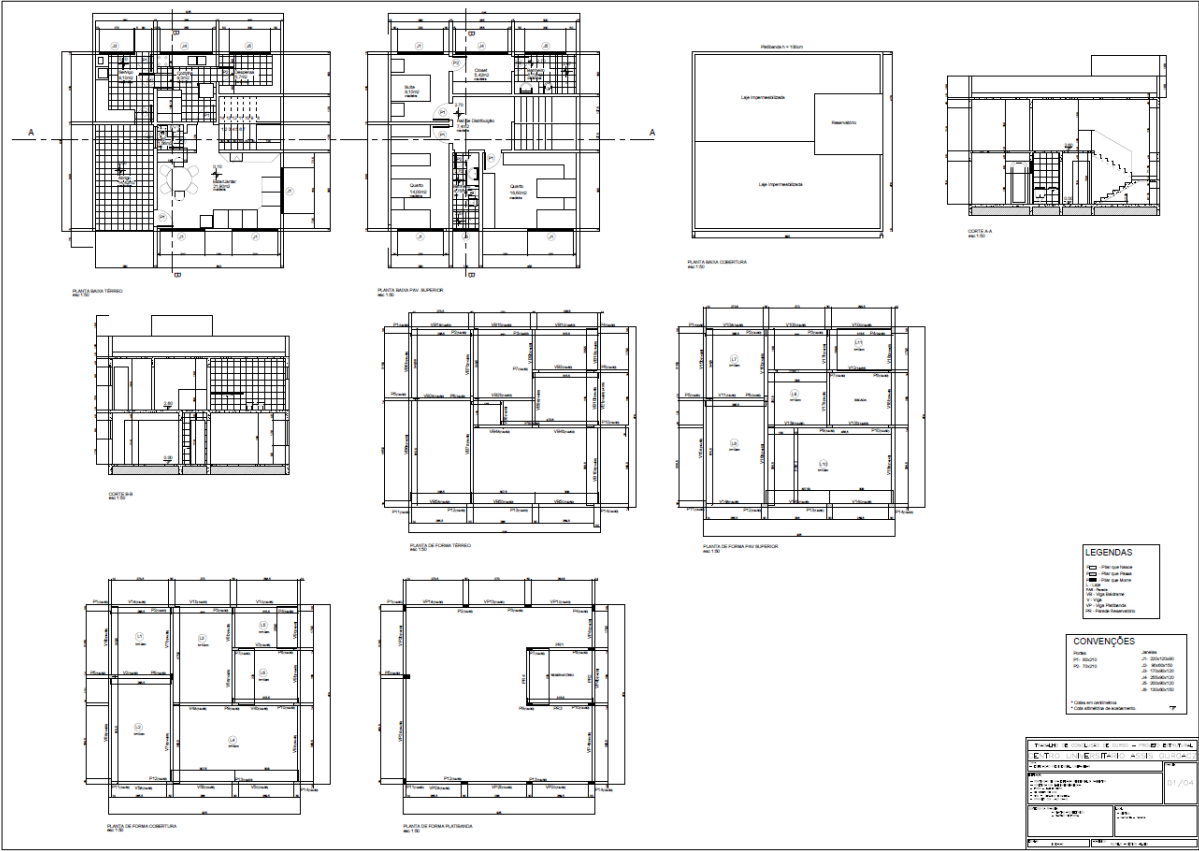
Como possíveis trabalhos futuros, pode-se apontar:

- Realização das mesmas verificações, com edificações de maiores números de pavimentos;
- Realização das mesmas verificações, adicionando os esforços de vento sobre a edificação;
- Realização das mesmas verificações, com outros *softwares* de cálculo estrutural.

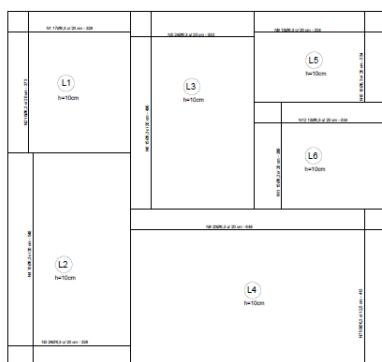
REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A.T. **Análise de alternativas para edifícios em concreto armado**. 1998. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1999.
- Alto Qi. **Eberick**. Disponível em <<http://www.altoqi.com.br/software/projeto-estrutural/eberick-v10>> Acesso em: 08 abr. 2017.
- ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**. 4. ed. Rio Grande: Dunas, 2014. v. 1.
- _____. **Curso de concreto armado**. 4. ed. Rio Grande: Dunas, 2014. v. 2.
- _____. **Curso de concreto armado**. 4. ed. Rio Grande: Dunas, 2014. v. 3.
- _____. **Curso de concreto armado**. 4. ed. Rio Grande: Dunas, 2014. v. 4.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**. Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, RJ: ABNT 1980.
- _____. **NBR 6188**. Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos. Rio de Janeiro, RJ: ABNT 2014.
- _____. **NBR 7480**. Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado. Rio de Janeiro, RJ: ABNT 1996.
- _____. **NBR 9050**. Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, RJ: ABNT 2015.
- BRASIL. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Consumo, Produção, e Valores de Materiais de Construção**. Disponível em <<http://www.cbicdados.com.br/menu/materiais-de-construcao/aco-10mm-e-produtos-de-aco-longo>> Acesso em: 04 out. 2017.
- FISCO, P. B. **Técnicas de armar as estruturas de concreto**. PINI. São Paulo, 1995.
- GUERRIN, A; LAVAUR, R. C. **Tratado de concreto armado: reservatórios, caixas d'água, piscinas**. Editora Hemus, 436 p. São Paulo, 2004.
- PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do concreto e projetos de edifícios**. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Engenharia de Estruturas. Universidade de São Carlos. São Carlos, 2007.
- SUSSEKIND, J. C. **Curso de concreto**. Editora Globo, 280 p. v 2. Rio de Janeiro, 1984.
- KIMURA, Alio. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculos de edifícios com uso de sistemas computacionais**. Editora PINI, 632 p. São Paulo, 2007.

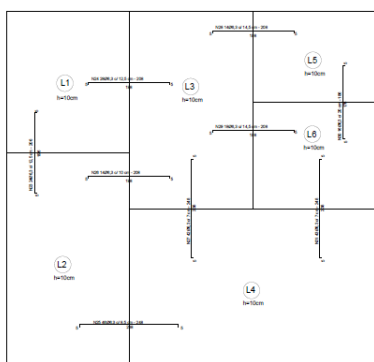
APÊNDICE A – Prancha 01 – Cálculo manual.



APÊNDICE B – Prancha 02 – Cálculo manual.



DETALHAMENTO ARMADURAS POSITIVAS COBERTURA



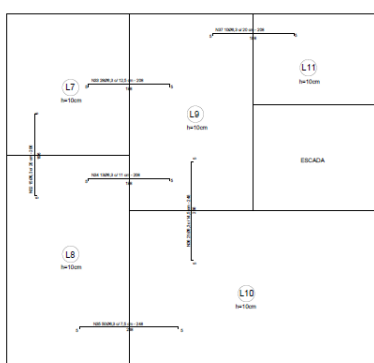
DETALHAMENTO ARMADURAS NEGATIVAS COBERTURA

Chemical composition				
Age	Approximate date	Sample	Concentration wt.-%	Concentration wt.-%
C-52	6.2	MS	0.05	17
		MS	0.05	16
		MS	0.05	20
		MS	0.15	15
		MS	0.20	14
		MS	0.25	13
		MS	0.30	12
		MS	0.35	11
		MS	0.40	10
		MS	0.45	9
		MS	0.50	8
		MS	0.55	7
		MS	0.60	6
		MS	0.65	5
		MS	0.70	4
		MS	0.75	3
		MS	0.80	2
		MS	0.85	1
		MS	0.90	0

Quadro Resumo Lajes				
Apó	Diâmetro (mm)	Comprimento Total (cm)	Peso (kg/m)	Peso total (kg)
100-000	100	10000-000	0,0000	0000,00000



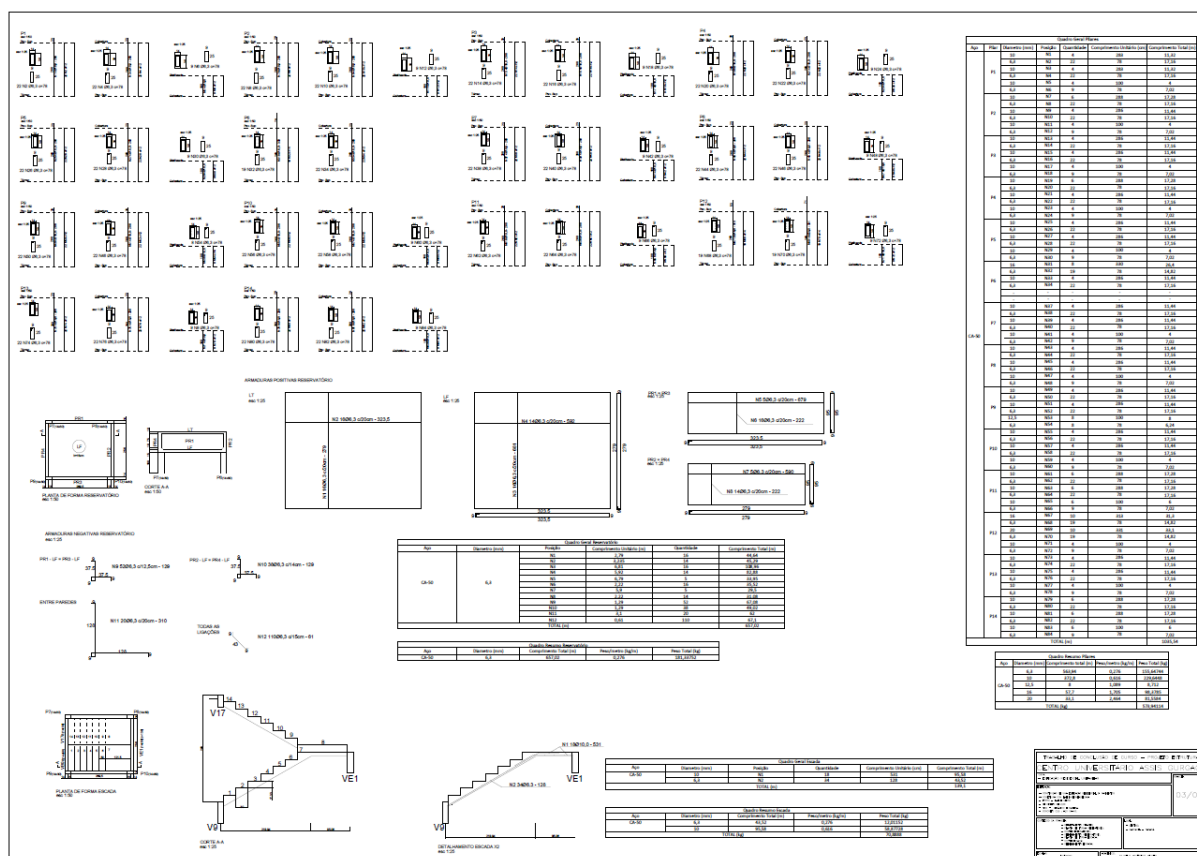
DETALHAMENTO ARMADURAS POSITIVAS PAV. SUPERIOR
esc. 1:25



DETALHAMENTO ARMADURAS NEGATIVAS PAV. SUPERIOR
pav. 1-25



APÊNDICE C – Prancha 03 – Cálculo manual.



APÊNDICE D – Prancha 04 – Cálculo manual.

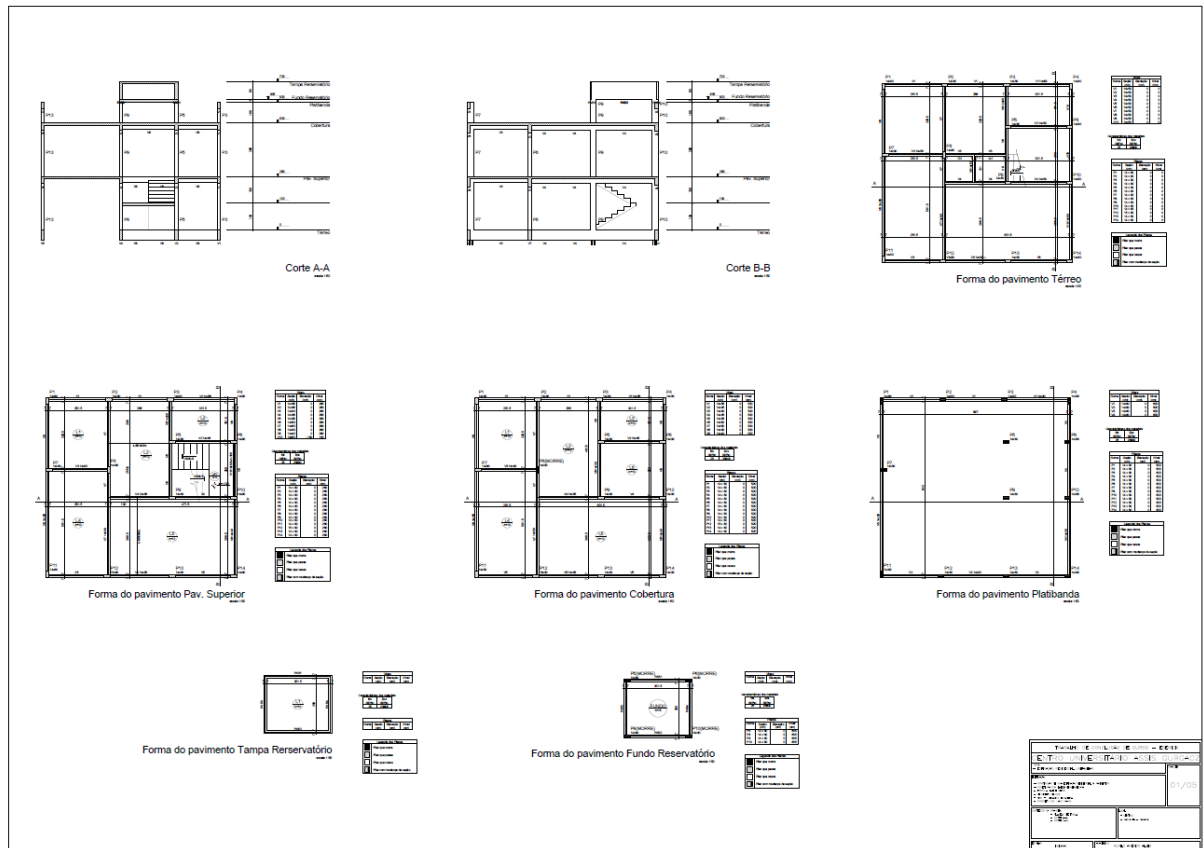
The image displays a manual calculation sheet for bridge design, organized into two main sections: diagrams and a calculation table.

Diagrams: The left side of the sheet contains 16 diagrams of bridge cross-sections, arranged in two columns of eight. Each diagram shows a bridge with multiple spans and piers, with various dimensions and labels indicating structural components and calculation points. The diagrams are labeled with numbers 1 through 16.

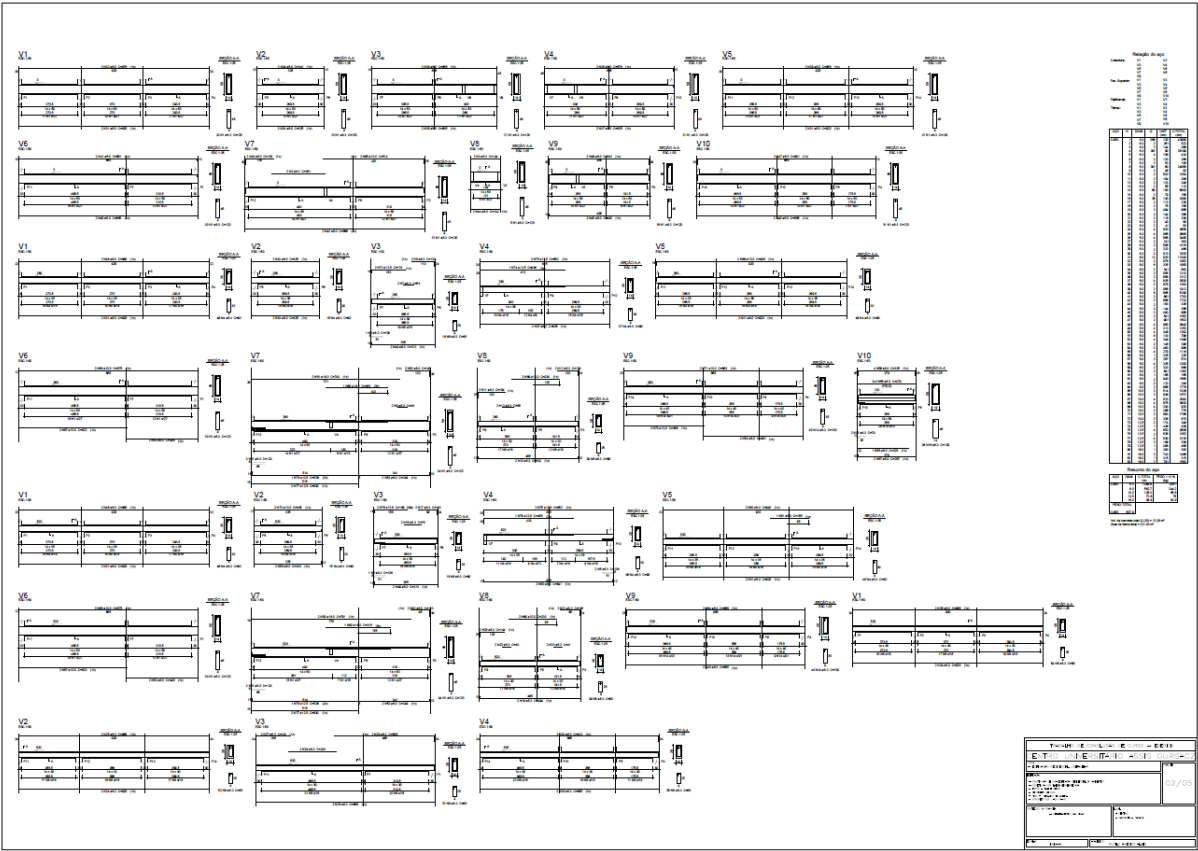
Calculation Table: The right side of the sheet features a large table with multiple columns and rows, designed for manual calculations. The table is organized into several sections, including a header section with labels like "Cálculo Manual" and "Dados do Projeto", and a main body of rows for calculations. The table is divided into sections for different types of calculations, such as "Cálculo de Momentos", "Cálculo de Reações", and "Cálculo de Deslocamentos".

Form Details: The table has a header section with labels like "Cálculo Manual" and "Dados do Projeto". Below this, there are several rows of data entry fields, including "Número da Prancha", "Data", "Autor", "Revisor", and "Aprovado". The main body of the table consists of many rows, each with columns for different types of calculations, such as "Cálculo de Momentos", "Cálculo de Reações", and "Cálculo de Deslocamentos".

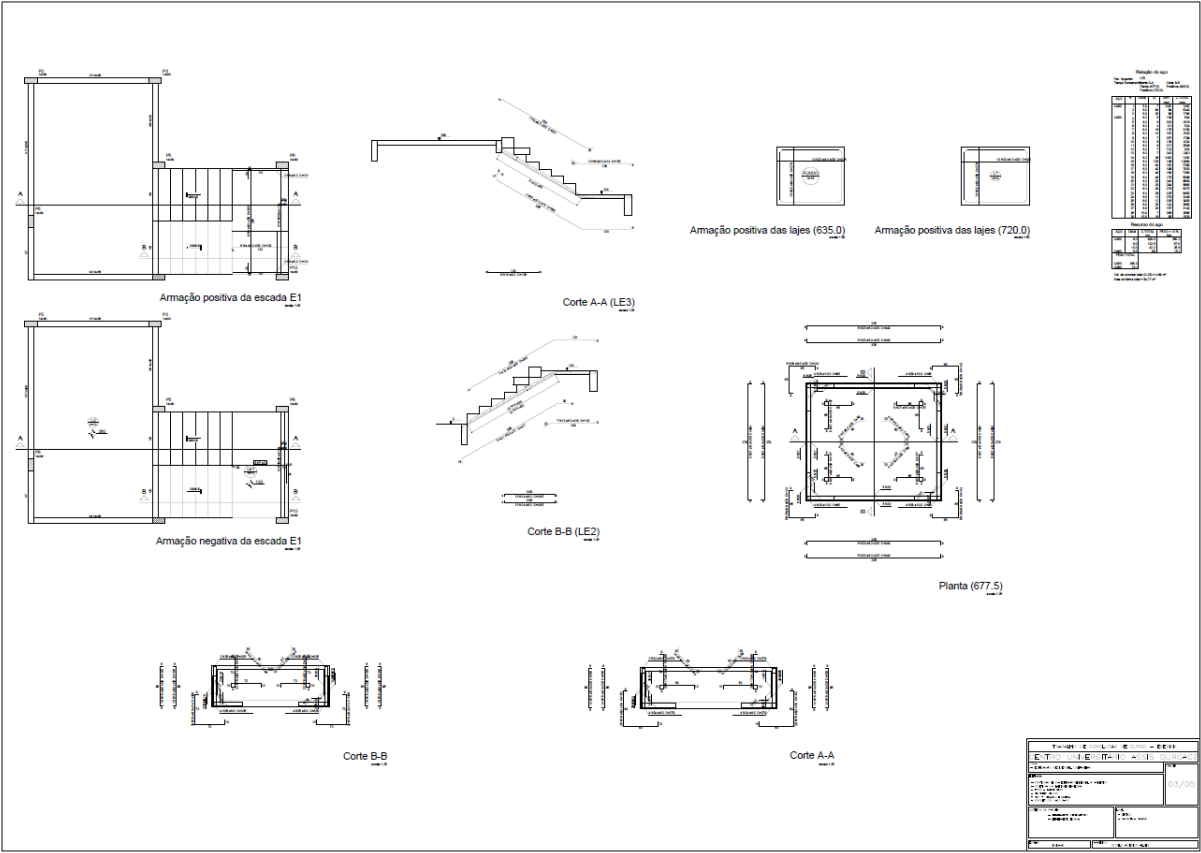
APÊNDICE E – Prancha 01 – Eberick.



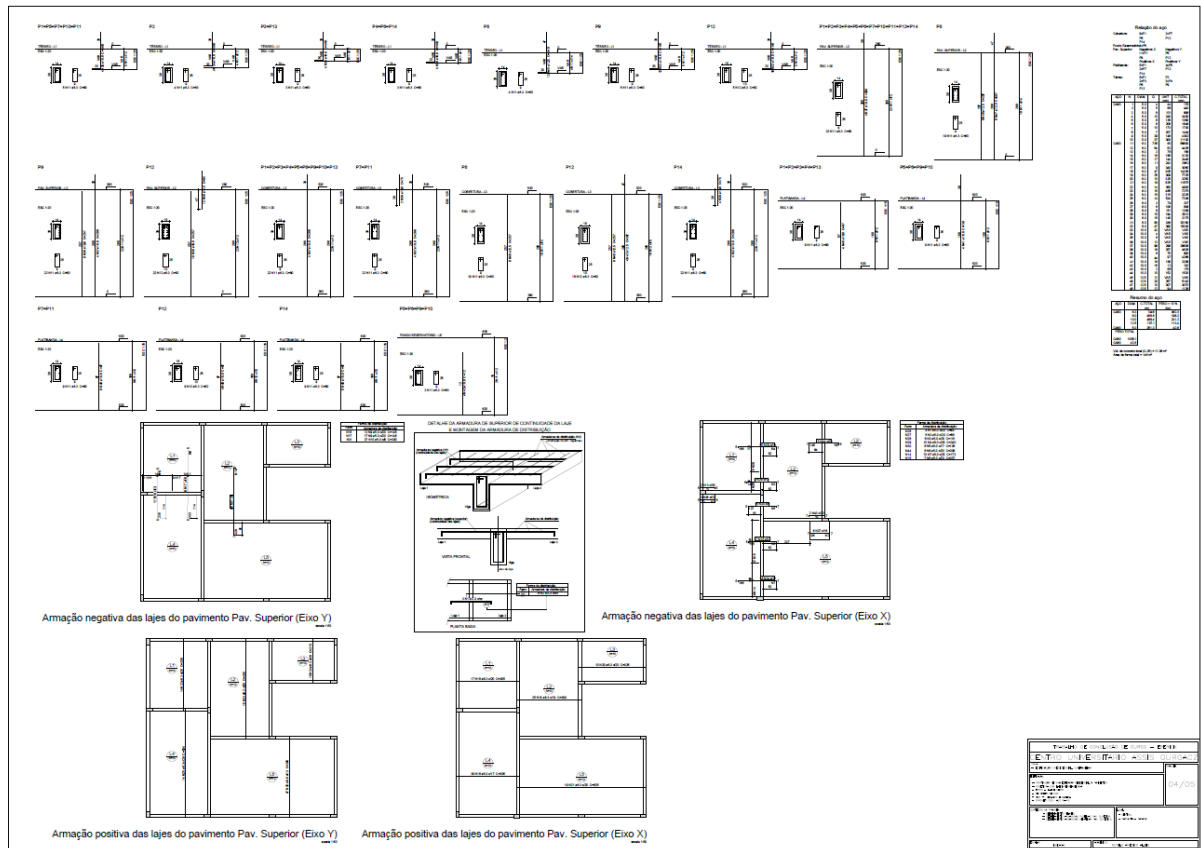
APÊNDICE F – Prancha 02 – Eberick.



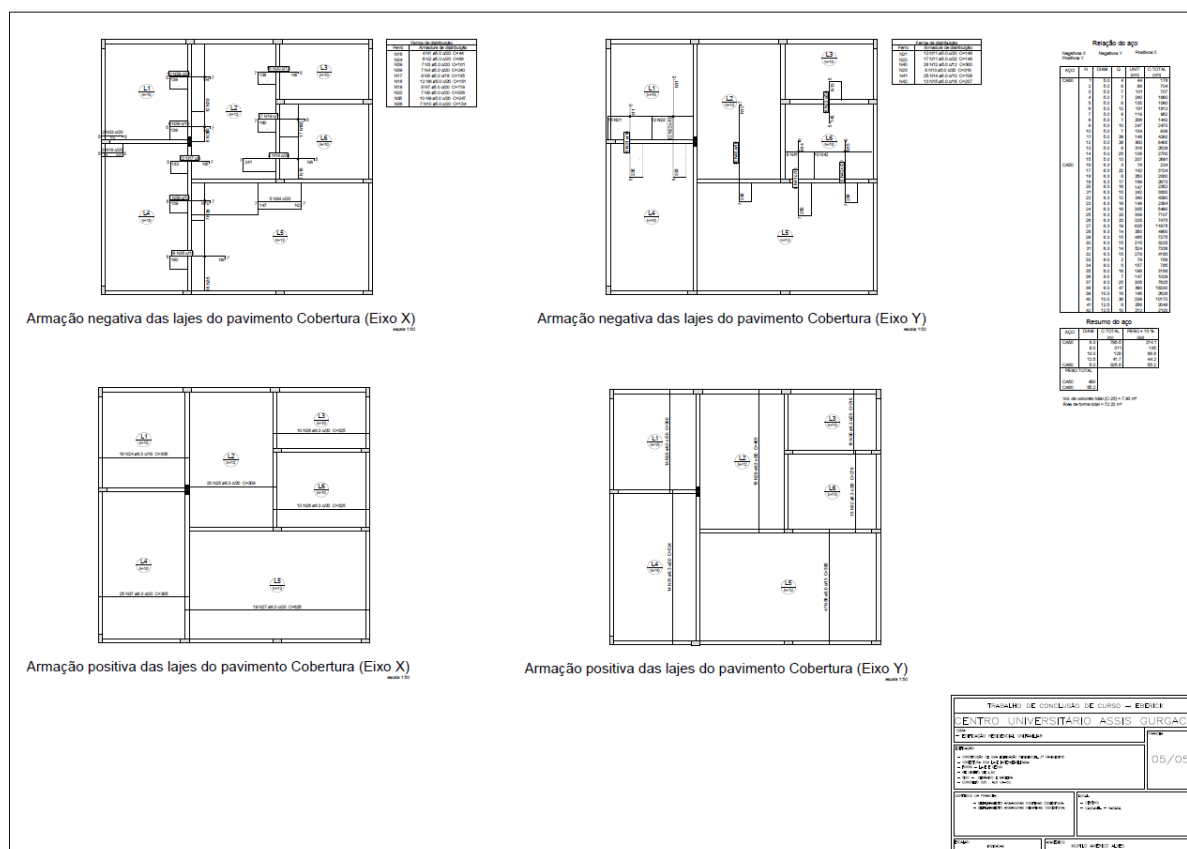
APÊNDICE G – Prancha 03 – Eberick.



APÊNDICE H – Prancha 04 – Eberick.



APÊNDICE I – Prancha 05 – *Eberick*.



ANEXO A – Peso específico dos materiais de construção (*gk*).

	Materiais	Peso específico aparente (kN/m³)
1 Rochas	Arenito	26
	Basalto	30
	Gneiss	30
	Granito	28
	Mármore e calcáreo	28
2 Blocos artificiais	Blocos de argamassa	22
	Cimento amianto	20
	Lajotas cerâmicas	18
	Tijolos furados	13
	Tijolos maciços	18
	Tijolos sílico-calcáreos	20
3 Revestimentos e concretos	Argamassa de cal, cimento e areia	19
	Argamassa de cimento e areia	21
	Argamassa de gesso	12,5
	Concreto simples	24
	Concreto armado	25
4 Madeiras	Pinho, cedro	5
	Louro, imbuia, pau óleo	6,5
	Guajuvirá, guatambu, grápia	8
	Angico, cabriuva, ipê róseo	10
5 Metais	Aço	78,5
	Alumínio e ligas	28
	Bronze	85
	Chumbo	114
	Cobre	89
	Ferro fundido	72,5
	Estanho	74
	Latão	85
	Zinco	72
6 Materiais diversos	Alcatrão	12
	Asfalto	13
	Borracha	17
	Papel	15
	Plástico em folhas	21
	Vidro plano	26

Fonte: NBR 6120 (ABNT, 1980)

ANEXO B – Cargas acidentais (q_k).

		Unid.: kN/m ²
Local		Carga
1 Arquibancadas		4
2 Balcões	Mesma carga da peça com a qual se comunicam e as previstas em 2.2.1.5	-
3 Bancos	Escritórios e banheiros Salas de diretoria e de gerência	2 1,5
4 Bibliotecas	Sala de leitura Sala para depósito de livros Sala com estantes de livros a ser determinada em cada caso ou 2,5 kN/m ² por metro de altura observado, porém o valor mínimo de	2,5 4 6
5 Casas de máquinas	(incluindo o peso das máquinas) a ser determinada em cada caso, porém com o valor mínimo de	7,5
6 Cinemas	Platéia com assentos fixos Estúdio e platéia com assentos móveis Banheiro	3 4 2
7 Clubes	Sala de refeições e de assembleia com assentos fixos Sala de assembleia com assentos móveis Salão de danças e salão de esportes Sala de bilhar e banheiro	3 4 5 2
8 Corredores	Com acesso ao público Sem acesso ao público	3 2
9 Cozinhas não residenciais	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo de	3
10 Depósitos	A ser determinada em cada caso e na falta de valores experimentais conforme o indicado em 2.2.1.3	-
11 Edifícios residenciais	Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro Despensa, área de serviço e lavanderia	1,5 2

Fonte: NBR 6120 (ABNT, 1980).