SOCIEDADE EDUCACIONAL DE SANTA CATARINA
FACULDADE SOCIESC

THAYANA VIEIRA FERNANDES

COMPARATIVO DE CUSTO PARA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÃO SOCIAL COM ÁREA DE 90M² PELOS SEGUINTES MÉTODOS DE ESTRUTURA: ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO X ALVENARIA ESTRUTURAL

FLORIANÓPOLIS
2018

THAYANA VIEIRA FERNANDES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Sociesc, mantido pela Sociedade Educacional de Santa Catarina – SOCIESC, Florianópolis/SC, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil
Orientador: Prof. Guilherme Pereira de Andrade, Esp.

FLORIANÓPOLIS, SC
2018

THAYANA VIEIRA FERNANDES

COMPARATIVO DE CUSTO PARA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÃO SOCIAL COM ÁREA DE 90M² PELOS SEGUINTES MÉTODOS DE ESTRUTURA: ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO X ALVENARIA ESTRUTURAL

Este trabalho foi julgado e aprovado em sua forma final, sendo examinado pelos professores da Banca Examinadora.

Florianópolis, 19 de dezembro de 2018.

_____

Prof. Guilherme Pereira de Andrade, Esp.

_____

Profa. M.Sc. Jaqueline Carvalho Ferreira

_____

Janaina de Souza Prim, Esp.

Ao meu avô Antônio, in memoriam, a minha

Mãe e minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus, presente em todos os momentos, sempre iluminando meu caminho.

A minha mãe, pela confiança e apoio incondicional em toda minha trajetória, sem você nada disto seria possível.

A minha irmã, pelo apoio, cumplicidade e amor.

A minha família, por todos os momentos acolhedores, de amor e incentivo, sempre me dando forças em todas as etapas.

Ao meu amor Carlos, por seu apoio, amor, paciência e por sempre me fazer acreditar em mim. A sua família, que considero minha, pela ajuda e carinho.

Ao engenheiro Xavier, por todo conhecimento transmitido, amizade, compreensão e confiança, todo o seu apoio foi fundamental para este momento.

A todos os meus amigos da Xavier Engenharia, pelo aprendizado diário, amizade e cumplicidade.

A arquiteta Ana Paula Sabel, pela amizade, conhecimentos sobre arquitetura, apoio e amor.

Aos engenheiros Rover e Jessica, pela amizade, pelos ensinamentos referentes ao dimensionamento em concreto armado e pela confiança.

Ao professor Guilherme, pelo tempo aplicado durante todo o desenvolvimento do trabalho, pela paciência e compreensão.

A engenheira Janaina, pelos ensinamentos referentes a alvenaria estrutural, pela amizade e atenção.

Aos meus professores durante o curso, pelos conhecimentos transmitidos.

Aos membros da banca examinadora, pela disposição em atender o convite.

Por fim, a todos que me ajudaram de alguma forma a realização deste trabalho.

Quando uma criatura humana desperta para um grande sonho e sobre ele lança toda a força de sua alma, todo universo conspira a seu favor.
(Johann Goethe)

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 - Vistas lateral, frontal e perspectiva. 14
Figura 2 - Edificação executada. 15
Figura 3 - Planta baixa pavimento térreo e 1º pavimento. 15
Figura 4 - Modelo de Alvenaria Estrutural Armada 17
Figura 5 - Tipos de bloco de concreto e cerâmico 18
Figura 6 - Flexão em viga 23
Figura 7 - Armadura de pele e flexão em viga 23
Figura 8 - Mapa das isopletas no Brasil. 33
Figura 9 - Análise da estrutura no Eberick. 35
Figura 10 - Materiais e Durabilidade – Eberick. 36
Figura 11 - Configuração de ações. 37
Figura 12 - Dimensionamento Pilares. 38
Figura 13 - Lançamento dos pilares pavimento Térreo – Eberick. 39
Figura 14 - Dimensionamento viga. 40
Figura 15 - Dimensionamento laje 41
Figura 16 - Carga das lajes – Eberick 42
Figura 17 - Dimensionamento de sapata – Eberick. 44
Figura 18 - Software Eberick 2019 - Módulo Alvenaria. 45
Figura 19 - Tutorial - Versão para avaliação gratuita TQS Alvest. 46
Figura 20 - Entrada de dados da estrutura no TQS Alvest. 47
Figura 21 - Dados dos materiais - Estrutura em alvenaria estrutural. 48
Figura 22 - Dados de cobrimento - Estrutura em alvenaria estrutural. 49
Figura 23 - Dados de ações – Estrutura em alvenaria estrutural. 50
Figura 24 - Critérios de cálculo - Alvenaria estrutural. 51
Figura 25 - Modulação dos blocos - Pavimento Térreo. 52
Figura 26 - Modulação dos blocos - Pavimento Superior. 52
Figura 27 - Paredes Estruturais - Pavimento térreo. 53
Figura 28 - Dados da laje maciça - Alvenaria estrutural. 53
Figura 29 - Disposição da laje em projeto. 54
Figura 30 - Dados de vento 1 - Alvenaria estrutural. 55
Figura 31 - Definição do coeficiente de arrasto - Alvenaria estrutural. 56
Figura 32 - Dados de vento 2 - Alvenaria estrutural. 57
Figura 33 - Erro no processamento global da estrutura em alvenaria estrutural. 58

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Fator de Eficiência de Blocos de concreto e cerâmico.....19
Tabela 2 - Valores característicos da resistência ao cisalhamento em juntas horizontais de parede (f_{vk}).....22
Tabela 3 - Classe de Agressividade Ambiental (CAA). 26
Tabela 4 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto.....27
Tabela 5 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal.....28
Tabela 6 - Limites para deslocamentos da estrutura.....32
Tabela 7 - Dados das paredes no eixo X. 59
Tabela 8 - Dados das paredes no eixo Y. 59
Tabela 9 - Carga gravimétrica das paredes no eixo X. 60
Tabela 10 - Carga gravimétrica das paredes no eixo Y. 60
Tabela 11 - Vento: fator S2 e coeficiente de arrasto. 61
Tabela 12- Distribuição das reações das lajes. 61
Tabela 13 - Resumo da distribuição das reações das lajes nas paredes.....62
Tabela 14 - Dimensionamento da parede PAR01X.....62
Tabela 15 - Resumo do dimensionamento das paredes no eixo X. 63
Tabela 16 - Resumo do dimensionamento das paredes no eixo Y. 64
Tabela 17 - Resultado coeficiente Gama-z - Concreto Armado. 65
Tabela 18 - Resultado deslocamentos globais devido ao vento - Concreto Armado.65
Tabela 19 - Relação de material - Concreto Armado. 66
Tabela 20 - Dimensionamento final das paredes no eixo X. 67
Tabela 21 - Dimensionamento final das paredes no eixo Y. 67
Tabela 22 - Estabilidade global da estrutura - alvenaria estrutural.....68
Tabela 23 - Quantidade total de material – alvenaria estrutural.....68
Tabela 24 - Relação de concreto - Concreto armado.....68
Tabela 25 - Relação de concreto/graute - Alvenaria Estrutural.....69
Tabela 26 - Relação de aço - Concreto armado.....69
Tabela 27 - Relação de aço - Alvenaria estrutural. 69
Tabela 28 - Relação de tijolos - Concreto armado. 69
Tabela 29 - Relação de blocos - Alvenaria estrutural.....70
Tabela 30 - Relação de revestimento - Concreto armado.....70
Tabela 31 - Relação de revestimento - Alvenaria estrutural.....70
Tabela 32 - Relação Global dos materiais utilizados nas estruturas. 70

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA 11
1.2 PROBLEMA 12
1.3 OBJETIVO GERAL 12
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 12
1.5 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO 12
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA 13
1.7 PROJETO ARQUITETÔNICO 13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 16
2.1 ESTABILIDADE GLOBAL DA ESTRUTURA 16
2.2 ALVENARIA ESTRUTURAL 16
2.2.1 COMPONENTES DA ALVENARIA ESTRUTURAL 17
2.2.1.1 BLOCO 17
2.2.1.2 ARGAMASSA 19
2.2.1.3 GRAUTE 20
2.2.1.4 ARMADURAS 20
2.2.2 CRITÉRIOS DE PROJETO 20
2.2.2.1 AÇÕES 20
2.2.2.2 COMBINAÇÃO DE AÇÕES 21
2.2.2.3 FLEXO COMPRESSÃO SIMPLES 21
2.2.2.4 CISALHAMENTO 22
2.3 CONCRETO ARMADO 22
2.3.1 ELEMENTOS ESTRUTURAIS 24
2.3.1.1 VIGAS 24
2.3.1.2 PILARES 24
2.3.1.3 LAJES 24
2.3.1.4 FUNDAÇÃO 25
2.3.2 CRITÉRIOS DE PROJETO 25
2.3.2.1 DURABILIDADE 25
2.3.2.2 AGRESSIVIDADE DO AMBIENTE 25
2.3.2.3 QUALIDADE DO CONCRETO E RECOBRIMENTO 26
2.3.2.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO 28
2.3.2.5 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO 29
2.3.2.6 MÓDULO DE ELASTICIDADE 29
2.3.2.7 RESISTÊNCIA DE CÁLCULO DO AÇO 29

2.3.2.8 ESTADO LIMITE ÚLTIMO (ELU) 30
2.3.2.9 ESTADO LIMITE DE SERVIÇO (ELS) 30
2.3.2.10 AÇÕES 30
2.3.2.10.1 AÇÕES PERMANENTES 30
2.3.2.10.2 AÇÕES VARIÁVEIS 31
2.3.2.10.3 AÇÕES EXCEPCIONAIS 31
2.3.2.11 COMBINAÇÃO DE AÇÕES 31
2.3.2.12 DESLOCAMENTO LIMITE 31
2.3.2.13 VENTO 32
2.3.2.14 LEVANTAMENTO DE QUANTITATIVOS E SUA IMPORTÂNCIA PARA O PROJETO ESTRUTURAL 33
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 34
3.1 DIMENSIONAMENTO 34
3.1.1 SOFTWARE EBERICK V10 34
3.1.2 LANÇAMENTO DA ESTRUTURA 35
3.1.2.1 Dimensionamento dos pilares 37
3.1.2.2 Dimensionamento das vigas 39
3.1.2.3 Dimensionamento das lajes 41
3.1.2.4 Dimensionamento das sapatas 42
3.1.3 SOFTWARE QiAlvenaria 44
3.1.4 SOFTWARE TQS ALVEST 21.0 45
3.1.4.1 LANÇAMENTO DA ESTRUTURA 45
3.1.5 DIMENSIONAMENTO ALVENARIA ESTRUTURAL – PLANILHA 58
3.1.5.1 ENTRADA DE DADOS 59
4 RESULTADOS OBTIDOS 64
4.1 Dimensionamento em CONCRETO ARMADO 64
4.2 Dimensionamento em ALVENARIA ESTRUTURAL 66
4.3 ANÁLISE RELAÇÃO DE MATERIAIS 68
5 CONCLUSÃO 71
5.1 TRABALHOS FUTUROS 72
6 REFERÊNCIAS 74

1 INTRODUÇÃO

Para uma parte da nossa população, morar de forma digna ainda não é uma opção. A política habitacional de nosso país falha ao homogeneizar a composição de rendas, a localidade dos conjuntos, afastados da cidade impedindo o desenvolvimento da população alocada. (Burguière et al., 2016)

O capital investido não é o suficiente para suprir qualidade de moradia e localização.

No Brasil temos como principais sistemas construtivos na construção civil a Alvenaria Convencional, composta por pilares, vigas e lajes executadas em concreto armado, que tem como função compor uma estrutura de sustentação para a edificação, para a vedação dessa estrutura assim como a separação dos ambientes utiliza-se blocos cerâmicos ou de concreto.

O outro sistema utilizado é a Alvenaria Estrutural, diferente da Alvenaria Convencional sua vedação une-se a estrutura da edificação, desta forma não é necessário o emprego de vigas e pilares para compor a estrutura.

Para a pesquisa em questão foi utilizado a arquitetura projetada pelo arquiteto Alejandro Aravena a fim de dimensionamento estrutural através dos softwares especializados.

Este estudo tem como objetivo analisar qual dos sistemas estruturais detém menor custo e melhor estabilidade estrutural.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

Dentre os tipos de estruturas disponíveis no mercado da construção civil, o concreto armado e a alvenaria estrutural são os sistemas de maior destaque.

De acordo com Tauil e Nese (2010) alvenaria é um elemento vertical coeso, formada pela soma de peças coladas com uma argamassa apropriada. Esta estrutura fornece segurança a edificação, pois veda espaços, resisti a cargas e impactos, promove manutenção do conforto térmico, além de proteção a fatores climáticos. Na alvenaria estrutural, este conjunto coeso se torna portante e compõe a estrutura da edificação.

Segundo Botelho (2016), concreto armado é a união do aço e do concreto trabalhando solidários, mas com funções diferentes na estrutura. Diferente da

alvenaria estrutural, na estrutura de concreto armado a alvenaria tem apenas função de vedação, enquanto vigas, lajes e pilares fornecem a sustentação da estrutura.

Com o objetivo de diminuir o custo dentro do projeto e garantir as dimensões dos cômodos previstos pela Cartilha Minha Casa Minha Vida, foi dimensionado a estrutura de uma casa projetada pelo arquiteto Alejandro Aravena, vencedora do concurso Pritzker 2016, a partir dos sistemas estruturais citados acima.

1.2 PROBLEMA

Qual método construtivo tem o melhor custo benefício para construções habitacionais unifamiliares?

1.3 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é dimensionar um projeto estrutural em Concreto Armado e Alvenaria Estrutural para uma habitação social com 90m² a fim de verificar qual sistema estrutural apresentará o menor custo e melhor estabilidade estrutural.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral do trabalho foram estipulados alguns objetivos específicos:

- Dimensionamento da estrutura em concreto armado;
- Dimensionamento da estrutura em alvenaria estrutural;
- Realizar o levantamento de quantitativo de concreto, aço e bloco de concreto, de cada sistema estrutural;
- Compreender o funcionamento dos sistemas estruturais e verificar qual dos sistemas detém menor custo e melhor estabilidade estrutural.

1.5 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Primeiramente será realizada a revisão bibliográfica para alcançar uma melhor compreensão sobre o tema. Para atingir os objetivos propostos, o trabalho será organizado em 4 etapas:

Na primeira etapa do trabalho, a partir do projeto arquitetônico padrão, será dimensionada a estrutura em concreto armado e posteriormente será analisada a estabilidade global da estrutura.

Na segunda etapa, com o mesmo projeto arquitetônico padrão, será dimensionada a estrutura em alvenaria estrutural, para posteriormente analisar a estabilidade global da estrutura.

Para a terceira etapa com os dados obtidos a partir dos projetos desenvolvidos será realizado um levantamento de material de cada projeto estrutural.

Por fim na quarta etapa será realizada uma análise comparativa na estabilidade global das estruturas assim como nos materiais utilizados, para verificar qual dos sistemas detém menor custo e melhor estabilidade estrutural.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa trata de um estudo sobre qual método construtivo possui o melhor custo benefício para construções unifamiliares, dentre os tipos de estrutura com maior destaque no Brasil que são o concreto armado e alvenaria estrutural.

Para tais resultados será utilizado softwares que auxiliem a análise da estabilidade de cada tipo de estrutura.

A análise comparativa de cada estrutura será realizada através dos resultados de estabilidade estrutural e o levantamento de material utilizado em cada sistema.

1.7 PROJETO ARQUITETÔNICO

Para este projeto de TCC será utilizado como modelo o projeto de habitação social do arquiteto Alejandro Aravena, vencedor do prêmio Pritzker 2016.

O projeto arquitetônico Villa Verde foi implantado no Chile, tendo em vista o problema de escassez de moradia que se vivencia hoje e o qual permanecerá futuro. A única forma de resolver esta situação e não acrescentar ao governo esta responsabilidade seria tornar as pessoas parte da solução e não mais parte do problema.

Contudo os recursos disponíveis para a construção das moradias não era o suficiente, era preciso reduzir o tamanho da moradia, comprometendo desta forma

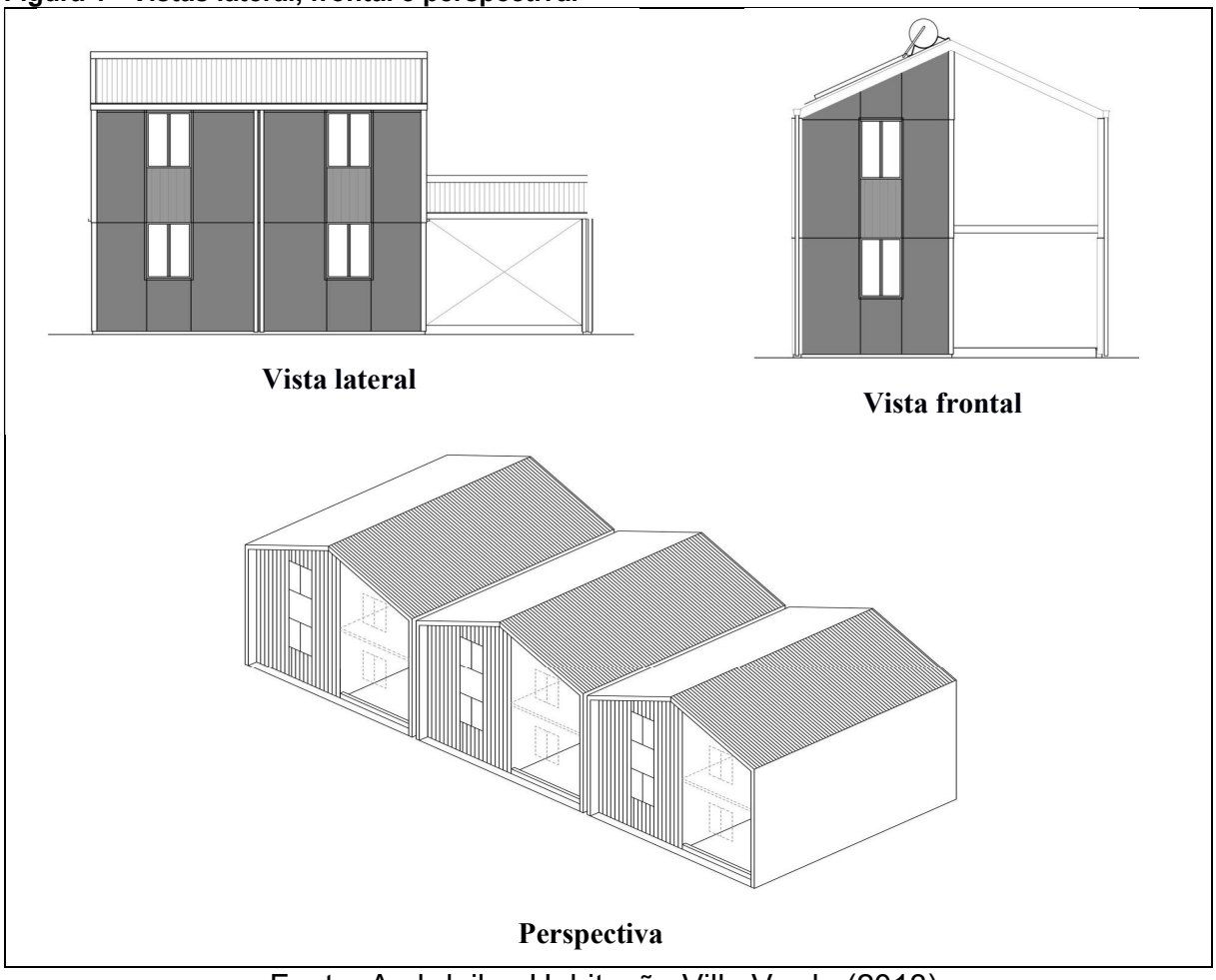
qualidade de vida dos seus habitantes e deslocá-la para as periferias, reduzindo as oportunidades econômicas.

Para resolver esta problemática foi executado um projeto arquitetônico com 40m², garantindo que o governo conseguisse financiar, mas com expansão para 90m². Tornando possíveis, as residências inicialmente de habitação social ter expansão para classe média.

Desta forma têm-se projetos densos, que viabiliza pagar por terrenos melhor localizados, crescimento harmônico, de modo que a expansão tenha a característica de cada família e não ofusque a arquitetura original (Elemental et al, 2018).

A figura 1 mostra as vistas lateral, frontal e perspectiva do projeto.

Figura 1 - Vistas lateral, frontal e perspectiva.



Fonte: Archdaily - Habitação Villa Verde (2013).

Nas figuras 2 e 3 é possível analisar a edificação executada, através da vista do condomínio e detalhe da unidade.

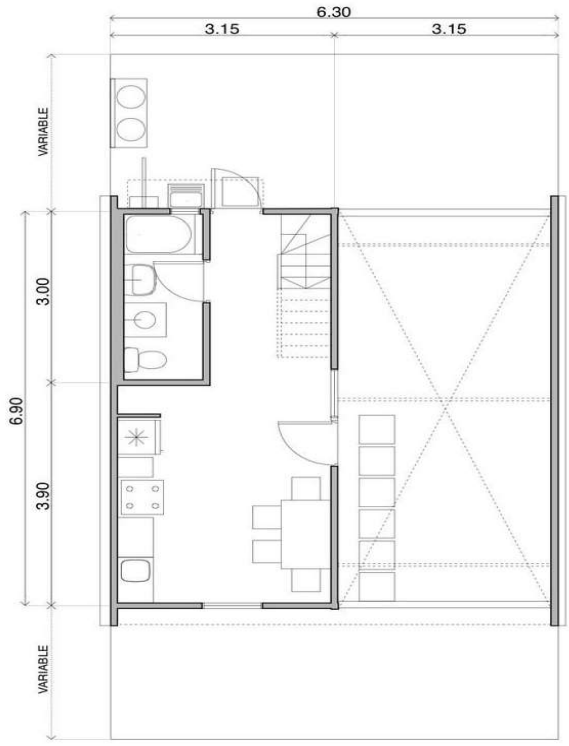
Figura 2 - Edificação executada.

Vista do Condomínio

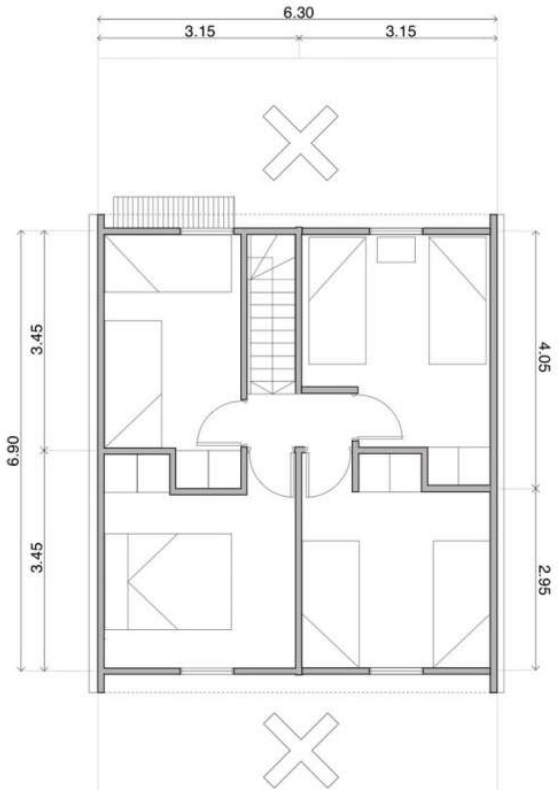
Detalhe da Unidade

Fonte: Archdaily - Habitação Villa Verde (2013).

Figura 3 - Planta baixa pavimento térreo e 1º pavimento.



Térreo – Tipo 01



1º Pavimento – Tipo 01

Fonte: Archdaily - Habitação Villa Verde (2013).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ESTABILIDADE GLOBAL DA ESTRUTURA

O dimensionamento da estrutura precisa garantir a sua estabilidade global, ou seja, é preciso que ocorra o travamento da estrutura aos esforços horizontais e resistência aos esforços verticais.

Através do coeficiente Gama-Z é verificado indiretamente a condição de que os efeitos de 2ª ordem não ultrapassem em mais de 10% aqueles calculados pela análise estática linear de 1ª ordem. Quando isto ocorre a estrutura pode ser avaliada como um todo e considerá-la como uma estrutura de nós fixos garantindo sua estabilidade global. (AltoQi, 2018).

2.2 ALVENARIA ESTRUTURAL

A união da estrutura da edificação e a sua alvenaria resultam na Alvenaria Estrutural, que usa blocos de concreto ou cerâmicos para este fim. (Pereira, 2018).

Neste tipo de sistema construtivo não usamos viga e pilares, pois a parede portante distribui as cargas uniformemente na fundação. (Tauil e Nese, 2010).

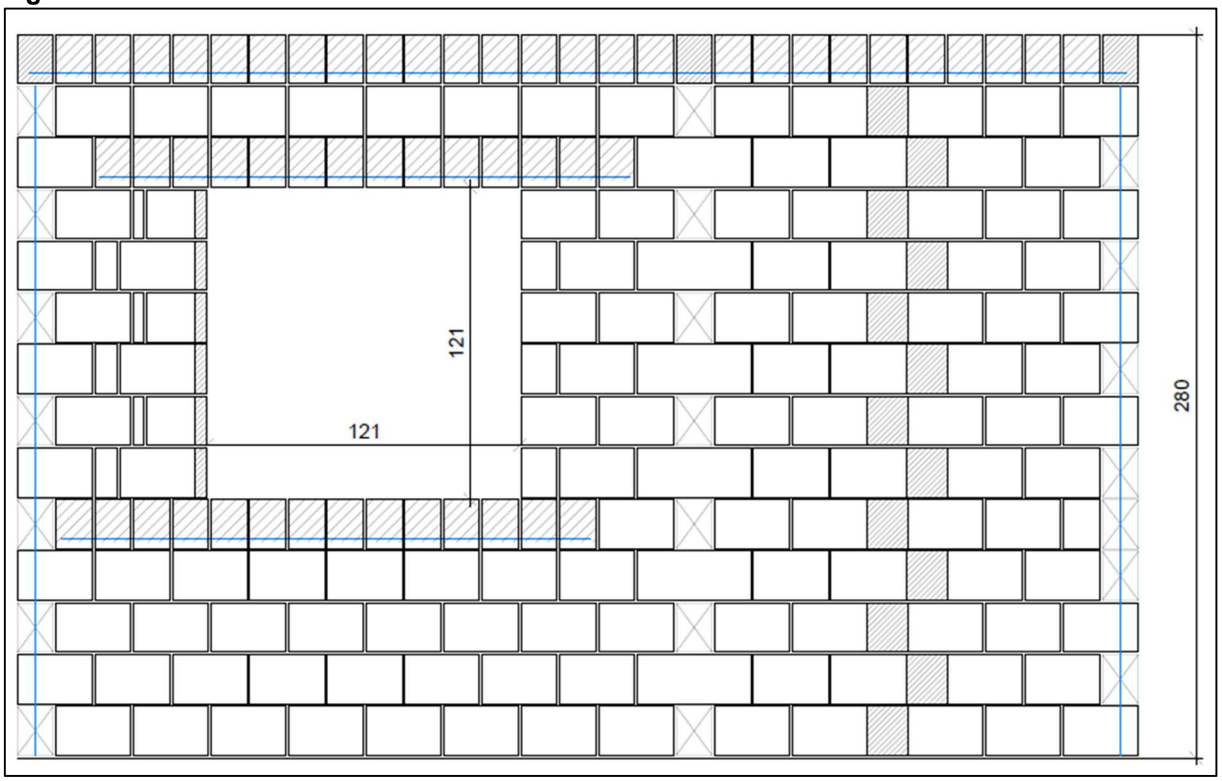
A alvenaria estrutural além de dispor da função de vedação, tem a responsabilidade de garantir a distribuição dos esforços da estrutura e assegurar a sua segurança. (Soares, 2016).

As paredes que são parte da estrutura servem como apoio as lajes e demais elementos da edificação. (Parsekian et al, 2012).

Para suprir os esforços solicitantes em alguns pontos da alvenaria, temos o uso de armações e grautes. (Tauil e Nese, 2010).

Na Figura 4 é exemplificado um modelo de alvenaria estrutural armada.

Figura 4 - Modelo de Alvenaria Estrutural Armada



Fonte: Tauil e Nese (2010, p23).

Como exemplificado na figura 4 nas regiões onde há solicitação de esforços foi acrescentado uma barra de aço (com as definições do projeto estrutural) e graute.

2.2.1 COMPONENTES DA ALVENARIA ESTRUTURAL

Para a execução de edifícios de alvenaria estrutural, os componentes mais importantes são os blocos ou tijolos, a argamassa, o graute e as armaduras. (Camacho, 2006).

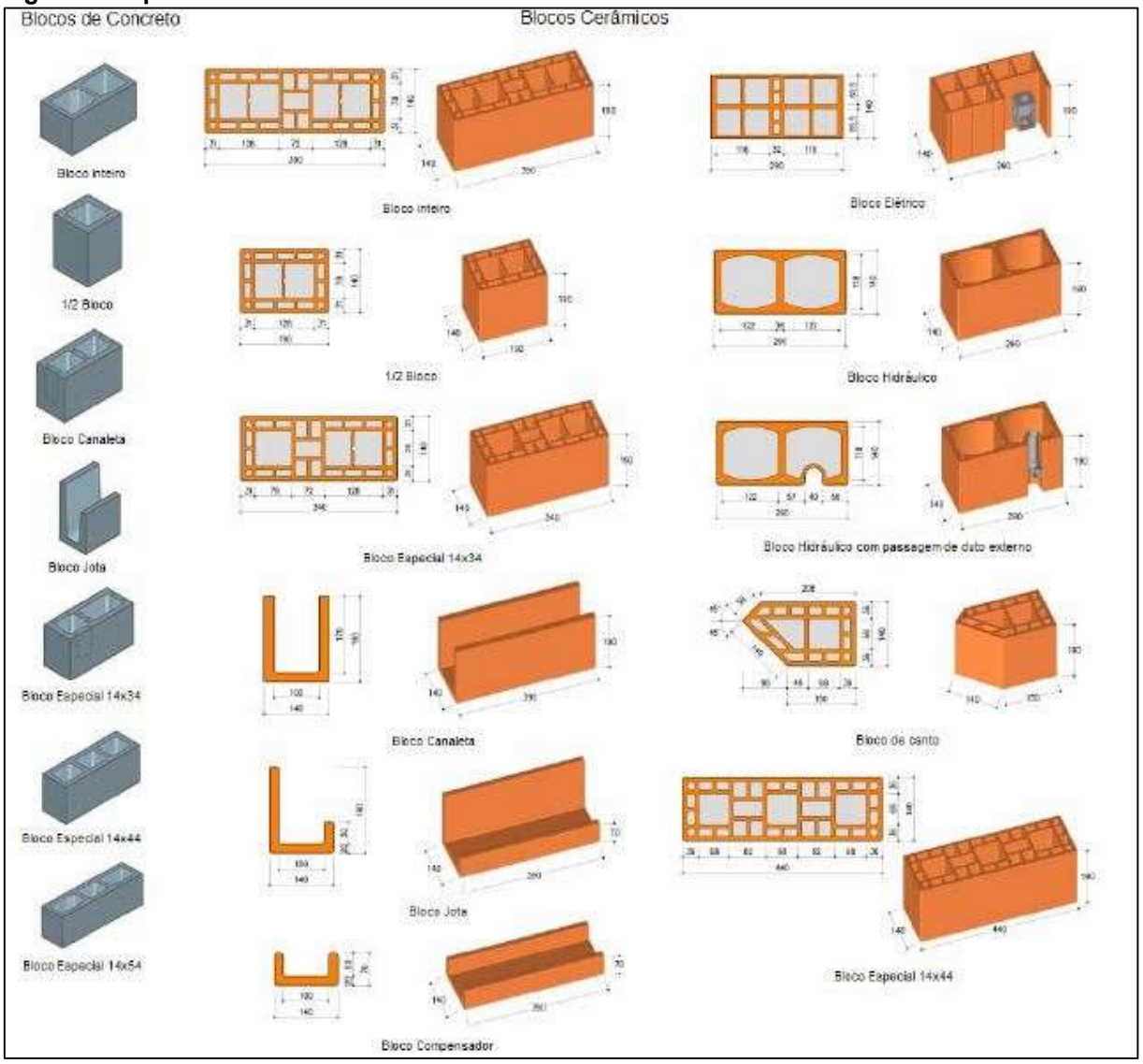
2.2.1.1 BLOCO

De acordo com Camacho (2006), os blocos ou tijolos são os componentes com maior importância dentro deste sistema construtivo.

Existem 3 tipos mais usuais, cerâmico, de concreto e sílico-calcáreos, que podem ser maciços ou vazados, como mostra na figura 5.

Este material tem como propriedade a modulação das fiadas, trabalhabilidade, vedação da estrutura, estabilidade dimensional e a resistência à compressão da edificação.

Figura 5 - Tipos de bloco de concreto e cerâmico



Fonte: Camacho (2006, p10).

Os blocos cerâmicos, tem como matéria prima a argila, isto garante que a unidade tenha maior conforto térmico e acústico, permitindo que a unidade não sofra retração. (Soares, 2016).

A sua resistência mínima é de 3Mpa, no entanto a mais comum é de 6Mpa. (Ufgrs - Bloco Cerâmico et al, 2018).

Os blocos de concreto têm como matéria prima o cimento, areia, pó de pedra, pedrisco e água. Existem uma série de normas da ABNT que regulamentam sua qualidade e execução. Elas são:

NBR6136/2008 - Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria – Requisitos;

NBR 8215/1983 - Prisma de Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria Estrutural Preparo e ensaio à Compressão;

NBR 12118/2011 – Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria – Métodos de ensaio;

NBR 15961-2/2011 - Alvenaria estrutural — Blocos de concreto — Parte 2: Execução e controle de obras;

NBR 7184:92 – Determinação da resistência à compressão;

NBR 8798:85 – Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto.

A resistência do bloco pode variar de são 4,5Mpa até 16Mpa. (Ufgrs - Bloco de Concreto et al, 2018).

Na tabela 1 temos o fator de eficiência correspondente a cada tipo de bloco.

Tabela 1 – Fator de Eficiência de Blocos de concreto e cerâmico

unidades	fator de eficiência
tijolo cerâmico	18 a 30%
tijolo de concreto	60 a 90%
bloco de concreto	50 a 100%
bloco cerâmico	15 a 40%

Fonte: Camacho (2006, p15).

2.2.1.2 ARGAMASSA

De acordo com Camacho (2006), a argamassa é uma mistura dos seguintes materiais: água, cal, cimento e agregado miúdo. Podendo haver aditivos a fim de melhorar algumas propriedades.

Este componente é empregado na junção dos blocos com o intuito de evitar a concentração de tensões.

Têm como principais funções: compensar as variações dimensionais dos blocos, garantir a vedação, unir os blocos e propiciar aderência com as armaduras.

Suas propriedades são: garantir trabalhabilidade, retenção a água para não perder água para a unidade e conveniente resistência à compressão para resistir aos esforços logo após o assentamento.

2.2.1.3 GRAUTE

Araújo (2009), afirma que o graute é um microconcreto com grande fluidez, capaz de aumentar a capacidade resistente da estrutura ao solidarizar a armadura a alvenaria, feita a partir do preenchimento dos espaços vazios dos blocos.

2.2.1.4 ARMADURAS

Na Alvenaria Estrutural a armadura utilizada é a mesma que é empregada no Concreto armado, podemos utilizá-la como armadura construtiva ou de cálculo.

Tem como função exercer necessidades construtivas como quando empregada nas vergas ou absorver esforços de tração e/ou compressão, quando empregada nas paredes com uso do graute.

A armadura nas vergas funciona como em vigas: ela serve para que a verga seja considerada uma peça única que resista a flexão e cortante, como uma viga biapoiada.

2.2.2 CRITÉRIOS DE PROJETO

Critérios que serão levados em consideração para dimensionar a estrutura com base nas normas 10837/89 e 15961-1:2011.

2.2.2.1 AÇÕES

De acordo com a NBR 8681:2003, as principais cargas que devem ser consideradas nas paredes é o peso próprio da alvenaria e as reações das lajes.

Parâmetros utilizados no cálculo de acordo com a Tabela -1 da NBR 6120:1980 e item 8.3.1.1 da NBR 15961-1:2011:

- Alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto $\gamma = 14kN/m^3$;
- Alvenaria não estrutural de blocos vazados de concreto $\gamma = 13kN/m^3$;
- Argamassa de cimento, cal e areia $\gamma = 19kN/m^3$;
- Graute $\gamma = 24kN/m^3$.

2.2.2.2 COMBINAÇÃO DE AÇÕES

Combinações últimas (permanentes e variáveis) da estrutura, a partir da seguinte fórmula de acordo com o item 8.9 da norma 15961-1/11:

$$Fd = \gamma g\ Fg,k + \gamma q\ (Fq1,k + \Sigma \Psi 0j \times Fqj,k)$$

Onde:

Fd: Ação de cálculo para combinação última;

γg: Fator de ponderação das ações permanentes (Tabela 7 da norma 15961-1/11);

Fg,k: Valores característicos de ações permanentes;

γq: Fator de ponderação das ações variáveis (Tabela 7 da norma 15961-1/11);

Fq1,k: Valores característicos da ação variável considerável como principal;

Ψ0j.Fqj,k: Valores característicos reduzidos das demais variáveis (Tabela 6 da norma 15961-1/11).

2.2.2.3 FLEXO COMPRESSÃO SIMPLES

A resistência mais significativa da alvenaria estrutural é a compressão. Para a verificação da flexo-compressão utilizamos a seguinte equação de acordo com o item 11.5.1 da norma 15961-1/11:

$$Nd/AR + Md / K \times W < Fd$$

Onde:

Nd: Força normal de cálculo;

A: Área da seção transversal;

R: Coeficiente redutor devido à esbeltez;

Md: Momento fletor de cálculo;

W: Mínimo módulo de resistência de flexão da seção resistente;

K=1,5 é o fator que ajusta a resistência à compressão na flexão;

fd: é a resistência à compressão de cálculo da alvenaria.

As tensões do carregamento permanente e acidental são consideradas na flexão simples.

De acordo com a seguinte combinação:

$$(\gamma fq \cdot \Psi 0 \cdot \sigma q + \gamma fg \cdot \sigma g / R) + (\gamma fq \cdot \sigma \text{ vento} / 1{,}5) < fk / \gamma m)$$

Para a flexão considera-se as tensões causadas pelo momento devido às ações horizontais. De acordo com a seguinte combinação:

$$(\gamma fq \cdot \sigma 0 \cdot \sigma q + \gamma fg \cdot \sigma g / R) + (\gamma fq \cdot \Psi 0 . \sigma \text{vento} / 1{,}5) < fk / \gamma m).$$

2.2.2.4 CISALHAMENTO

Segundo a NBR 15961-1:2011, a verificação do cisalhamento é importante, pois a ação do vento é equivalente à sua altura. As resistências características em juntas horizontais de paredes são os valores apresentados na Tabela 2 da NBR 15961-1/11:

Tabela 2 – Valores característicos da resistência ao cisalhamento em juntas horizontais de parede (f_{vk})

Resistência média de compressão da argamassa MPa		
1,5 a 3,4	3,5 a 7,0	Acima de 7,0
$0{,}10 + 0{,}5\,\sigma \leq 1{,}0$	$0{,}15 + 0{,}5\,\sigma \leq 1{,}4$	$0{,}35 + 0{,}5\,\sigma \leq 1{,}7$

Fonte: NBR 15961 (2011).

2.3 CONCRETO ARMADO

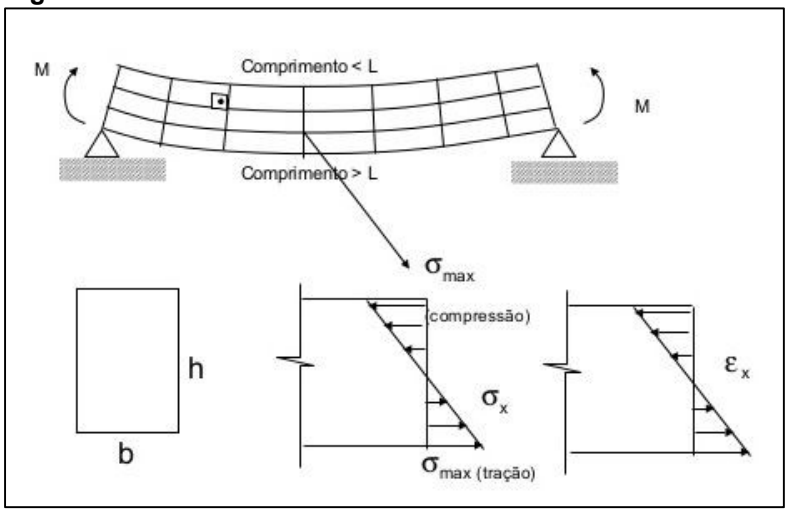
Carvalho e Filho (2017) afirmam que o concreto é um conjunto dos seguintes materiais: água, cimento e agregados graúdo.

O concreto sozinho não é um elemento resistente, pois tem eficiente resistência à compressão, mas a tração resiste cerca de 1/10 da resistência à compressão.

A região não resistente a tração, submetida a flexão pura, ocasiona microfissuras causada por essa deformabilidade. Ocasionando a baixa resistividade

ao momento fletor da viga. Como ilustrado na Figura 6, a flexão em uma viga em concreto armado.

Figura 6 - Flexão em viga



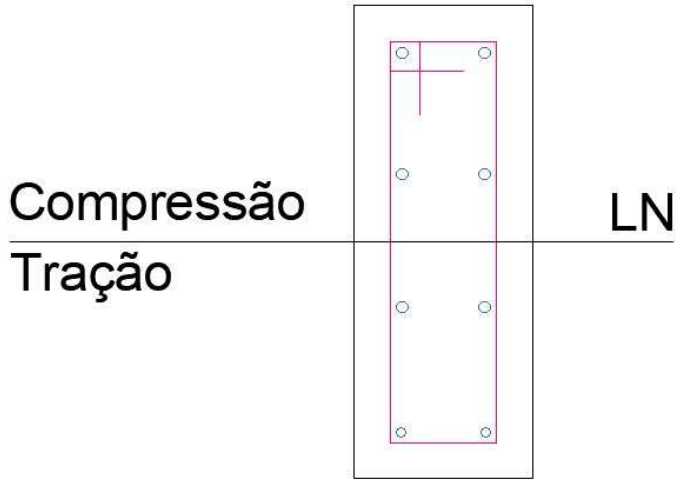
Fonte: (Slide Share - Tensões em vigas, 2014).

Para garantir a resistência da viga é preciso colocar um material que possua resistência a tração exercida na estrutura e seja mais deformável. O material ideal é o aço, que colocado longitudinalmente na região tracionada resiste a esses esforços.

O concreto aderido à superfície do aço trabalha solidariamente se comportando como elemento estrutural.

A figura 7 ilustra as armaduras de pele e flexão em uma viga.

Figura 7 - Armadura de pele e flexão em viga



Fonte: Autor (2018).

2.3.1 ELEMENTOS ESTRUTURAIS

No caso de estruturas moldadas no local, deverá existir uma fôrma para moldar as peças em suas devidas posições e escoras para garantir suporte estrutural. Não pode haver uma separação entre os elementos, como por exemplo viga e pilar.

A estrutura quando moldada no local possui um comportamento monolítico, ou seja, funciona como um único elemento. (Carvalho e Filho, 2012).

2.3.1.1 VIGAS

É uma estrutura linear em que os principais esforços atuantes são momento fletor e força cortante. Tem como função servir de apoio às lajes e paredes, transmitindo as cargas aos pilares. A viga detém como carga o seu peso próprio, as reações de apoio das lajes adjacentes, cargas de outras vigas, pilares de transição e peso das paredes.

2.3.1.2 PILARES

De acordo com Bastos (2017), os pilares são elementos usualmente na vertical, de superfície plana ou cilíndrica, submetidos a compressão.

Os esforços externos atuantes nesta estrutura são forças normais, forças cortantes e momentos fletores.

Os pilares têm como função receber as cargas dos andares superiores a ele, além de somar as reações das vigas de cada pavimento e descarregar na fundação esses esforços. (Scadelai e Pinheiro, 2003).

2.3.1.3 LAJES

Trata-se de um elemento plano bidimensional, apoiado em seu entorno em vigas, submetida à flexão nas duas direções ortogonais. (Alva, 2007).

A principal função da laje é receber os carregamentos do pavimento e transferi-lo a viga. (Pinheiro, Muzardo e Santos, 2010).

2.3.1.4 FUNDAÇÃO

São elementos que têm por finalidade transmitir as cargas de uma edificação para as camadas resistentes do solo sem provocar ruptura do terreno de fundação.

2.3.2 CRITÉRIOS DE PROJETO

Critérios que serão levados em consideração para dimensionar a estrutura com base na NBR 6118:2014.

2.3.2.1 DURABILIDADE

De acordo com a NBR 6118:14 todo projeto de estrutura de concreto deve atender às condições ambientais do momento em que foi calculado assim como suas especificações para conservação de sua segurança, estabilidade e aptidão pelo seu período de vida útil.

2.3.2.2 AGRESSIVIDADE DO AMBIENTE

Independente das ações previstas dentro do projeto estrutural como, ações mecânicas e retração, as ações do meio ambiente, física ou química, que atuam sobre a estrutura devem ser consideradas para garantir segurança a estrutura. Esta classe de agressividade é definida conforme tabela 6.1 da NBR 6118:2014.

Tabela 3 – Classe de Agressividade Ambiental (CAA).

Tabela 6.1 – Classes de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	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 6118:2014

2.3.2.3 QUALIDADE DO CONCRETO E RECOBRIMENTO

As características do concreto e o cobrimento da sua armadura são de extrema importância para a durabilidade de sua estrutura.

O item 7.4 da NBR 6118:2014 trata da Qualidade do concreto de cobrimento e os parâmetros mínimos a serem atendidos para ter-se o desempenho da durabilidade ideal a estrutura.

A Tabela 7.1 da NBR 6118:2014 apresenta requisitos mínimos que devem ser adotados na relação de água/cimento levando em consideração a Classe de concreto adotada.

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

Tabela 7.1 – Correspondência entre a classe de agressividade e a 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 6118:2014

A tabela 7.2 da NBR 6118:2014 trata do cobrimento mínimo do elemento estrutural correspondente a Classe de agressividade definida.

Tabela 5 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal.

Tabela 7.2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm

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 6118:2014

2.3.2.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

É a característica mais importante do concreto, pode ser determinada por meio de ensaios, mas em sua ausência podemos adotar conforme NBR 6118:2014 no item 12.3.3:

$$fcd = fck / \gamma c$$

Onde:

fcd: Resistência à compressão do cálculo de concreto;

fck: Resistência à compressão característica do concreto, aos 28 dias;

γc: Coeficiente de ponderação, tabela 12.1.

2.3.2.5 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

A NBR 6118:2014 afirma que tanto a resistência à tração indireta (fct,sp), quanto a resistência à tração na flexão (fct,f), são obtidas através das seguintes normas, ABNT NBR 7222 e a ABNT NBR 12142.

No entanto a resistência à tração indireta fct pode ser considerada 0,9 fct,sp ou 0,7 fct,f. Caso os ensaios para cálculo de fct,sp e fct,f não sejam obtidos, é possível avaliar a resistência à tração média ou características com as seguintes equações:

$fctk\ ,inf$ = 0,7. $fctm$

$fctk\ ,sup$ = 1,3. $fctm$

Valores expressos em MPa.

Classes de concreto até C50:

$fctm$ = 0,3. fck^2/3.

2.3.2.6 MÓDULO DE ELASTICIDADE

Para obter o módulo de elasticidade deve-se fazer o ensaio descrito na NBR 8522. No caso de não ter resultados precisos a respeito do concreto, podemos utilizar a seguinte equação:

$Eci = \alpha E$. 5600 $\sqrt{fck}$

Expresso em MPa.

Para a determinação de esforços solicitantes e verificação de estados limites de serviço, o módulo de elasticidade secante deve ser obtido através da seguinte fórmula:

$Ecs = \alpha i\ .\ Eci$

2.3.2.7 RESISTÊNCIA DE CÁLCULO DO AÇO

Para cálculo de resistência no Estado Limite Último, é obtido pela expressão:

$fyd = fyk\ /\ \gamma s$

Onde:

fyd: Resistência de cálculo do aço;

fyk: Resistência característica do aço.

γs: Coeficiente de ponderação, apresentado na tabela 12.1 da NBR 6118:2014.

Considerar 500Mpa para aço C50.

Para aços da categoria CA-50, essa resistência é de 500MPa.

2.3.2.8 ESTADO LIMITE ÚLTIMO (ELU)

É o estado que delimita a máxima capacidade resistente da estrutura, antes de atingir a ruína.

A NBR 6118:2014 em seu item 10.3 determina itens a serem verificados para assegurar a estrutura.

2.3.2.9 ESTADO LIMITE DE SERVIÇO (ELS)

É o estado que verifica abertura de fissuras, limite de vibração e deslocamentos da estrutura, ou seja, itens relacionados ao conforto do usuário e durabilidade da estrutura de acordo com o seu uso, no item 11.7.2 da NBR 6118:2014 é verificado os coeficientes de ponderação das ações no ELS.

2.3.2.10 AÇÕES

Ações com valores constantes que ocorrem em toda vida útil da estrutura, divididas em diretas e indiretas, descritas no item 11.1 da NBR 6118:2014.

2.3.2.10.1 AÇÕES PERMANENTES

As ações permanentes diretas são, peso próprio, empuxos permanentes e peso dos elementos construtivos fixos de acordo com o item 11.3.2 da NBR 6118:2014.

Segundo item 11.3.3 da NBR 6118:2014 as ações permanentes indiretas são, imperfeições geométricas, deslocamentos de apoios, retração entre outros.

2.3.2.10.2 AÇÕES VARIÁVEIS

Ações causadas por cargas acidentais, podendo ser indireta e direta. As ações variáveis indiretas são causadas pelas variações de temperatura. As ações variáveis diretas são causadas por cargas previstas a edificação, como a ação do vento e da água conforme item 11.4 da NBR 6118:2014.

2.3.2.10.3 AÇÕES EXCEPCIONAIS

De acordo com a NBR 6118:2014 os projetos estão suscetíveis a situações com carregamentos excepcionais, cujo efeitos não conseguem ser controlados, para cada caso deve-se considerar um valor definido por normas específicas a isso.

2.3.2.11 COMBINAÇÃO DE AÇÕES

Estas combinações devem buscar os efeitos mais desfavoráveis a estrutura com relação direta as verificações de segurança ao estado limite de serviço e estado último de serviço. O item 11.8 da NBR 6118:2014 decorre destas combinações últimas e de serviço.

2.3.2.12 DESLOCAMENTO LIMITE

O item 13.3 da NBR 6118:2014 define as flechas limites para uma estrutura, são valores práticos utilizados para a verificação em serviço do estado-limite de deformações excessivas da mesma.

A tabela 13.3 apresenta estes valores-limites de deslocamento.

Tabela 6 – Limites para deslocamentos da estrutura.

Tabela 13.3 – Limites para deslocamentos

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$\ell/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$\ell/350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$\ell/250$ [a]
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	$\ell/350$+ contraflecha [b]
			Ocorrido após a construção do piso	$\ell/600$
	Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$\ell/500$ [c] e 10 mm e $\theta = 0{,}0017$ rad [d]
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	$\ell/250$ [c] e 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação frequente ($\psi_1 = 0{,}30$)	$H/1\,700$ e $H_i/850$ [e] entre pavimentos [f]
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$\ell/400$ [g] e 15 mm

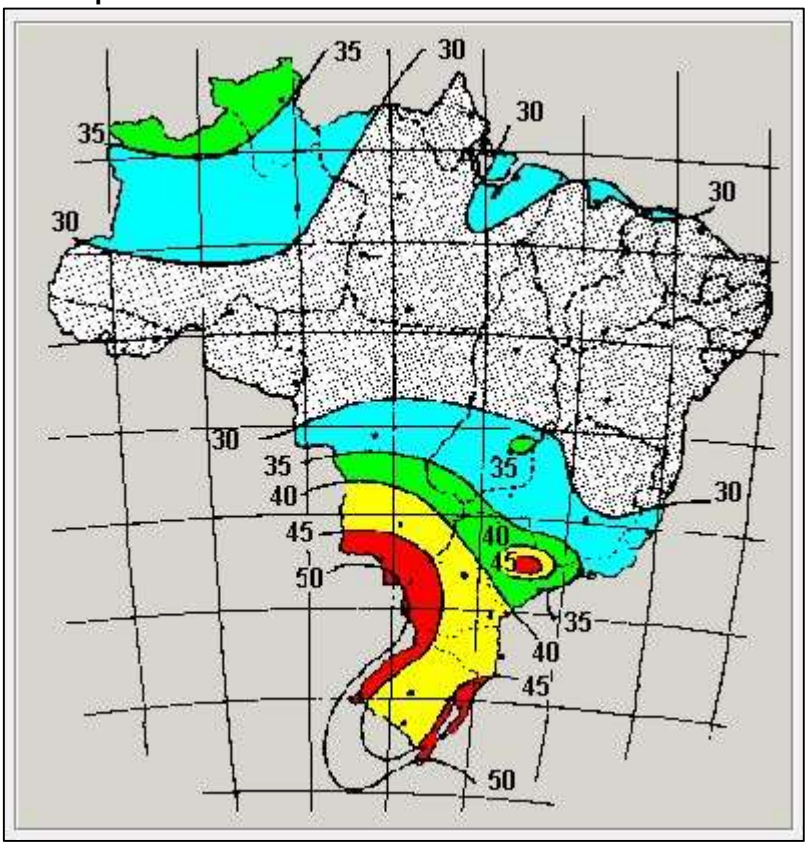
Fonte: NBR 6118:2014

2.3.2.13 VENTO

De acordo com o item 5.1 da norma 6123:1988, a velocidade básica do vento V_0 é de uma rajada de 3 s, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano.

A figura 8 apresenta o mapa das isopletas para todas as regiões do Brasil.

Figura 8 - Mapa das isopletas no Brasil.



Fonte: AltoQi Eberick (2018).

2.3.2.14 LEVANTAMENTO DE QUANTITATIVOS E SUA IMPORTÂNCIA PARA O PROJETO ESTRUTURAL

O levantamento quantitativo de materiais é um item bastante relevante dentro do projeto e execução de uma obra.

Este levantamento é realizado a partir da análise do projeto e das especificações técnicas que o mesmo exige, desta forma é possível prever o quanto será gasto.

Dentro da etapa de projeto estrutural esta relação apresenta o quanto de material será utilizado em cada etapa da obra, desde sua fundação ao acabamento. Garantindo imprevistos em relação a cronogramas por falta de material no canteiro otimizando o desenvolvimento da obra. (Ribeiro, 2018).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 DIMENSIONAMENTO

O desenvolvimento e análise do projeto estrutural em concreto armado será realizado através do software EBERICK (AltoQi) e da Alvenaria Estrutural pelo QiAlvenaria (Altoqi) e ALVEST (TQS).

3.1.1 SOFTWARE EBERICK V10

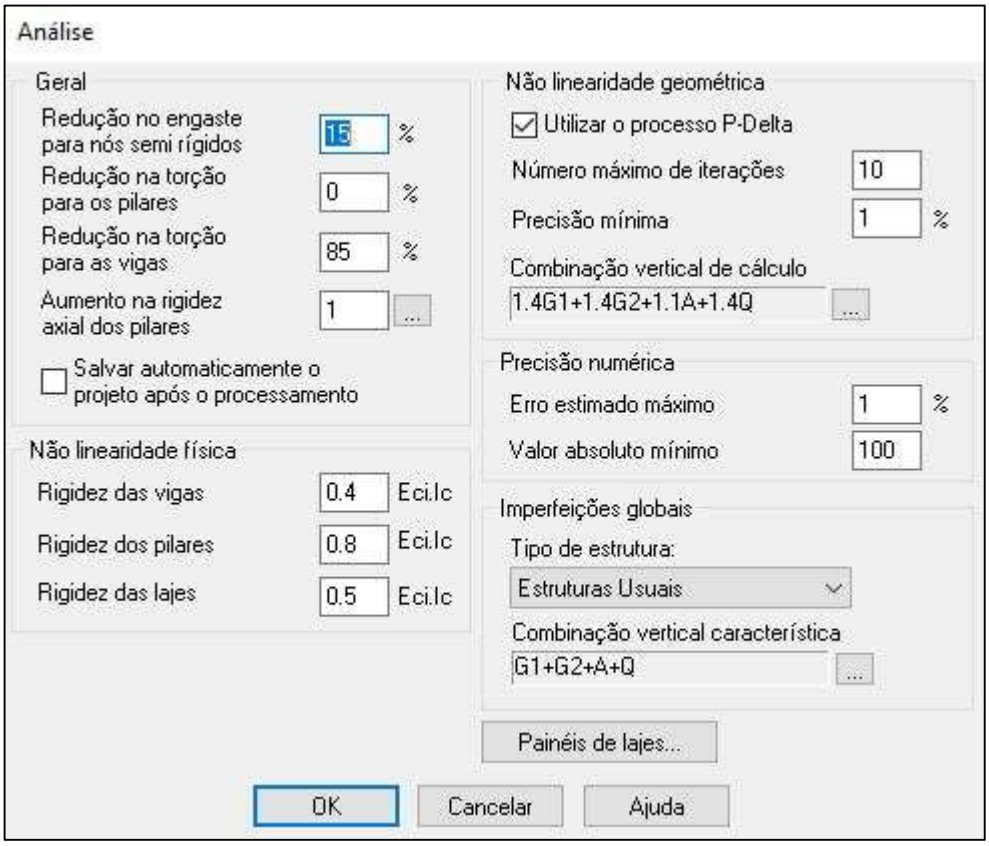
O dimensionamento da estrutura foi realizado através do modelo de pórticos espaciais, que configura o travamento da estrutura aos esforços horizontais e resiste aos esforços verticais.

O sistema utiliza um critério descrito no item 15.5.3 da NBR 6118:2014, onde é calculado um índice denominado Coeficiente Gama-Z. Este coeficiente verifica indiretamente a condição de que os efeitos de 2ª ordem não ultrapassem em mais de 10% aqueles calculados pela análise estática linear de 1ª ordem. Desta forma a estrutura pode ser avaliada como um todo e considera-la como uma estrutura de nós fixos.

O Eberick implementa um processo para consideração deste efeito no cálculo do pórtico. Através de cargas horizontais fictícias aplicadas à edificação, o programa simula o efeito não linear da estrutura para levar em conta os efeitos da não linearidade geométrica no cálculo da estrutura, este processo é denominado P-Delta.

Na figura 9 é ilustrado a forma como é considerada a análise no software.

Figura 9 - Análise da estrutura no Eberick.



Fonte: AltoQi Eberick (2018).

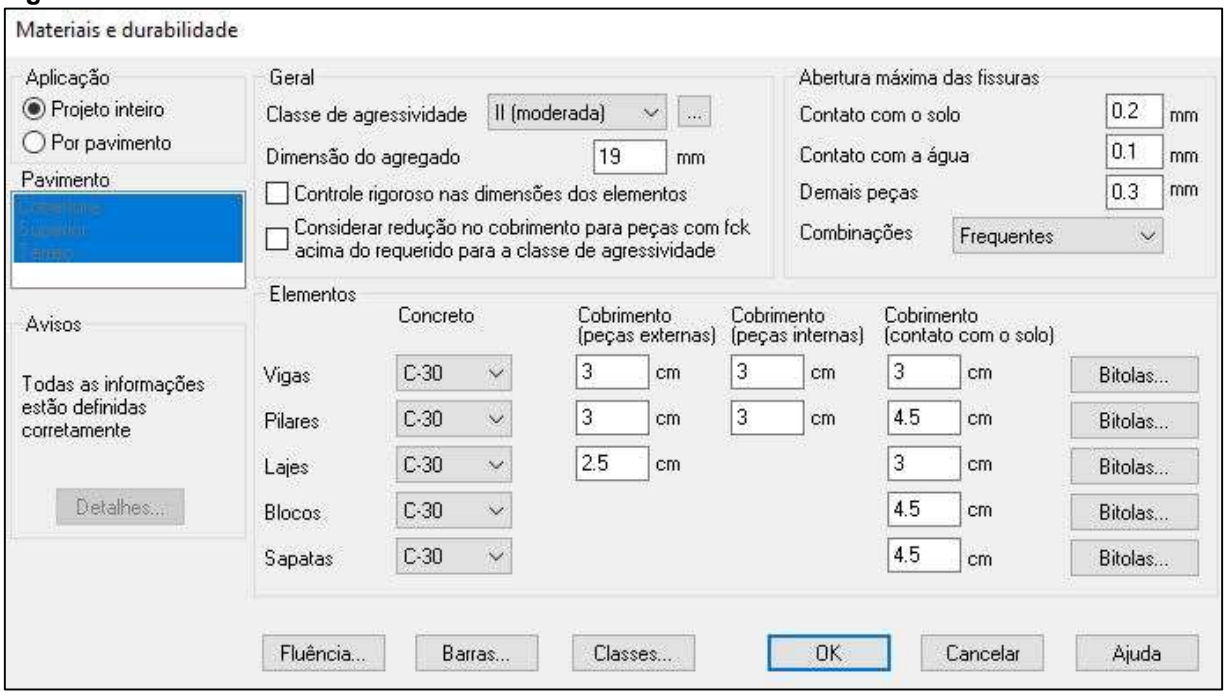
3.1.2 LANÇAMENTO DA ESTRUTURA

O lançamento da estrutura segue as condições impostas pela geometria da arquitetura e pela concepção pré-definida da mesma.

Para este projeto a Classe de agressividade ambiental adotada foi a II (Moderada).

A Classe de agressividade e o Cobrimento da estrutura definido por norma, foi inserido no programa, através da janela Materiais e Durabilidade.

Figura 10 - Materiais e Durabilidade – Eberick.

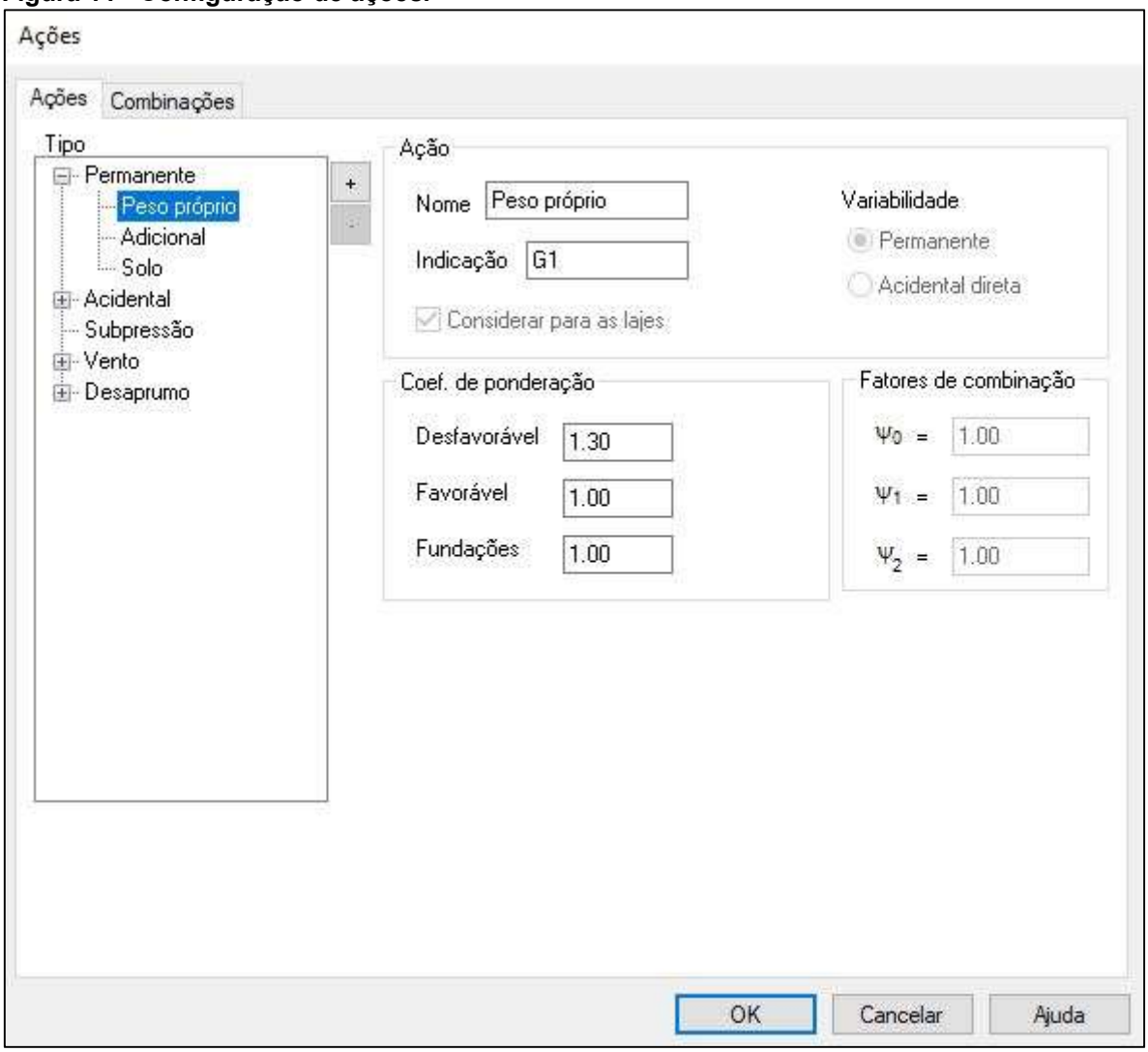


Fonte: AltoQi Eberick (2018).

A configuração das ações do projeto manteve as definições do Eberick, pois as combinações vêm previamente configuradas conforme a NBR 6118:2014 e apesar de abertas para edição, não foram alterados pois é considerado a situação mais desfavorável como preconiza a NBR 6118:2014.

A figura 10 ilustra a configuração de ações no programa.

Figura 11 - Configuração de ações.

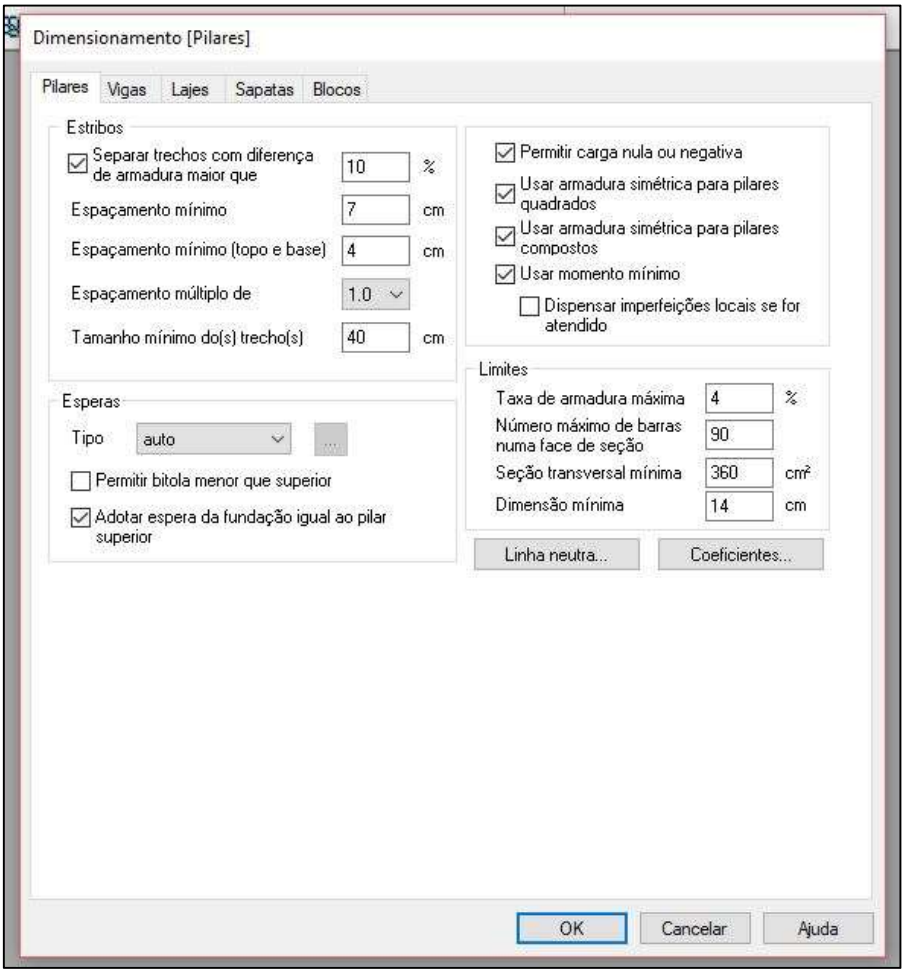


Fonte: AltoQi Eberick (2018).

3.1.2.1 Dimensionamento dos pilares

Inicialmente foi feito um ajuste nas ponderações de cálculo através da NBR 6118:2014 referente aos estribos, esperas e limites de armadura como mostra a figura 11.

Figura 12 - Dimensionamento Pilares.



Fonte: AltoQi Eberick (2018).

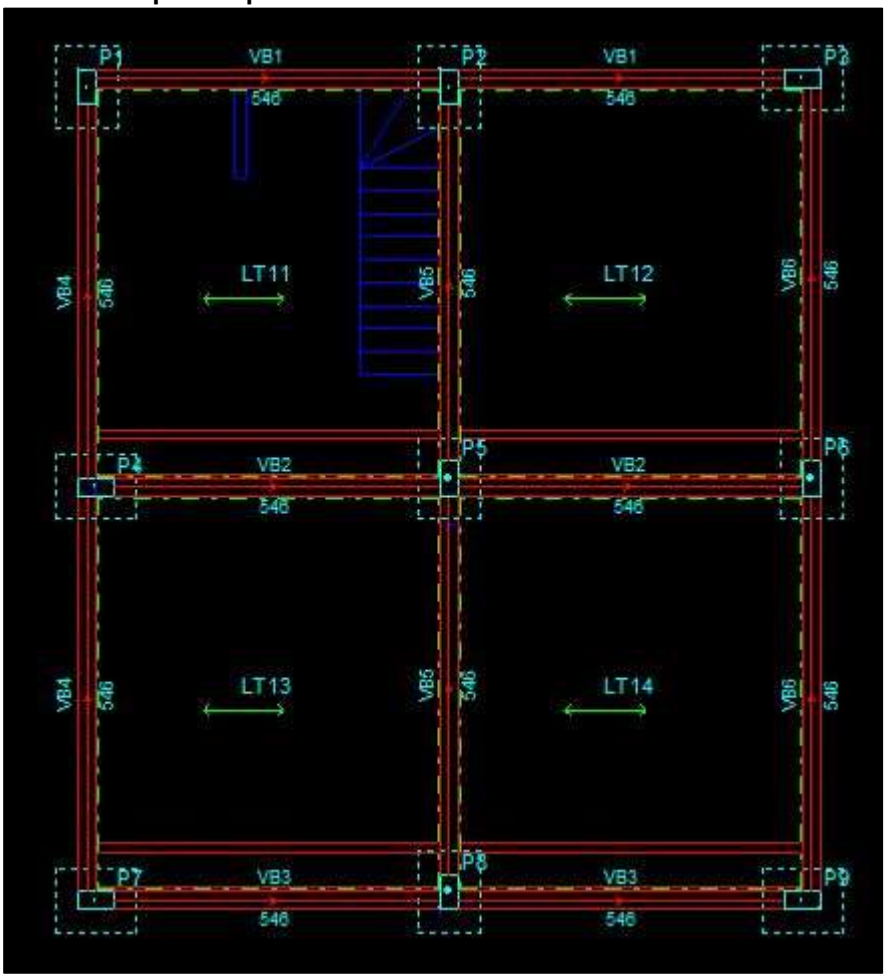
Com as definições iniciais da estrutura feitas os pilares foram lançados, em áreas menos nobres, nos cantos da parede para que fossem embutidos na mesma.

A NBR 6118:2014 estabelece que a área mínima para pilares é de 360cm². Utilizamos como menor dimensão do pilar 14 cm, para que o mesmo estivesse embutido na parede de 14 cm.

Estabelecido o ponto fixo de lançamento, foi deixado o espaçamento para o reboco de 0,5 cm para cada lado. Os pilares foram lançados inicialmente no pavimento Térreo e repetido para os pavimentos Superior e Cobertura.

A figura 13 apresenta o lançamento dos pilares no pavimento Térreo.

Figura 13 - Lançamento dos pilares pavimento Térreo – Eberick.



Fonte: AltoQi – Eberick (2018).

Os pilares do pavimento térreo foram copiados para os demais pavimentos a fim de verificar possíveis interferências arquitetônico e estruturais. Foi mantido para todos os pavimentos mesma seção e posição dos pilares.

3.1.2.2 Dimensionamento das vigas

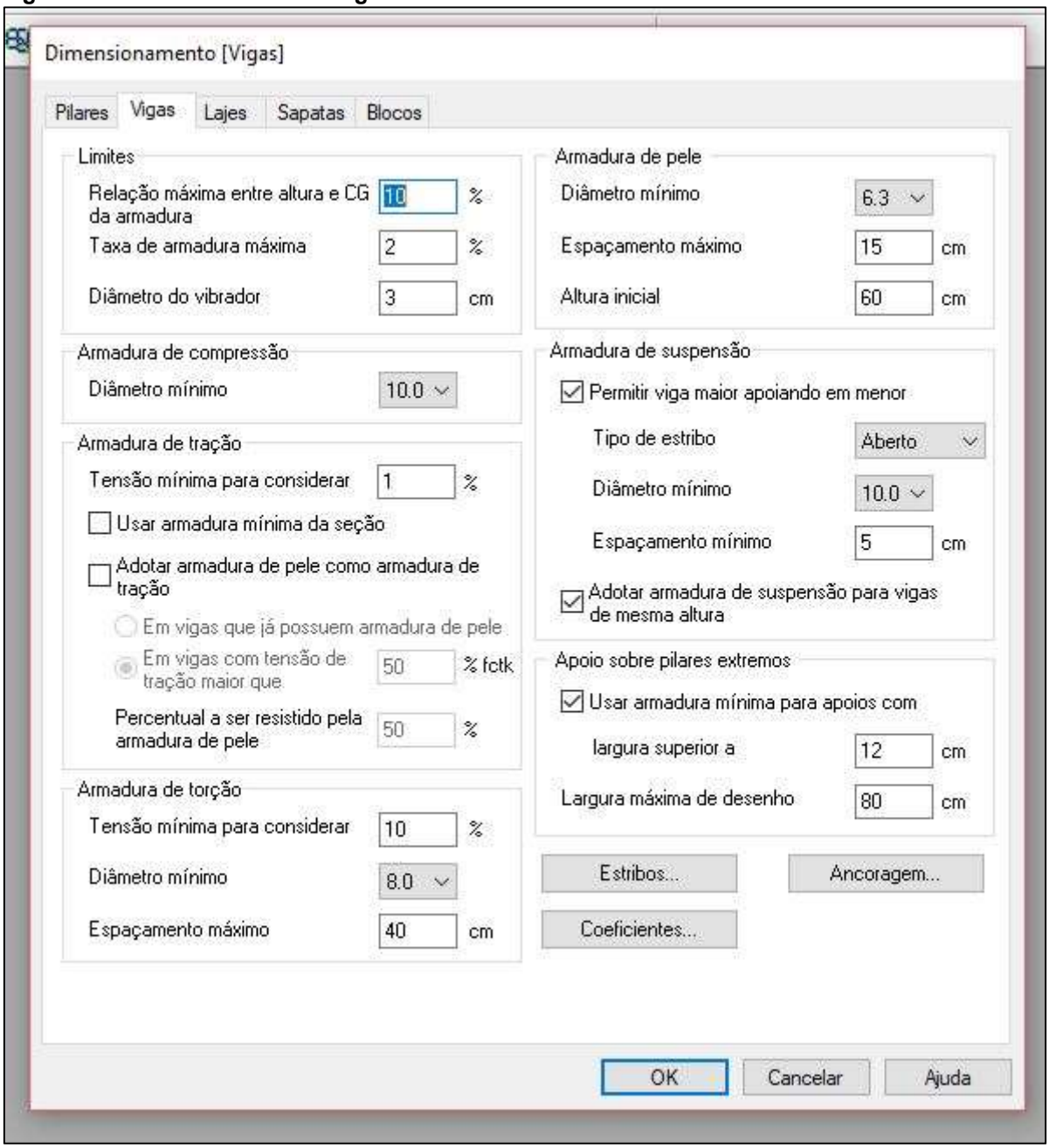
De acordo com a NBR 6118:2014 a relação máxima entre altura e centro de gravidade é limitada em 10%, esta relação foi utilizada neste trabalho.

Para que a soma da taxa de armadura máxima na viga de 4% não seja ultrapassada, a soma da armadura de tração e compressão foi definida em 2%.

A NBR 6118:2014 recomenda a utilização de armadura mínima de compressão de 10 mm para evitar flambagem, utilizamos esta recomendação no dimensionamento.

A figura 14 ilustra as configurações de cálculo de viga definidas através da NBR 6118:2014 no software.

Figura 14 - Dimensionamento viga.



Fonte: AltoQi Eberick (2018).

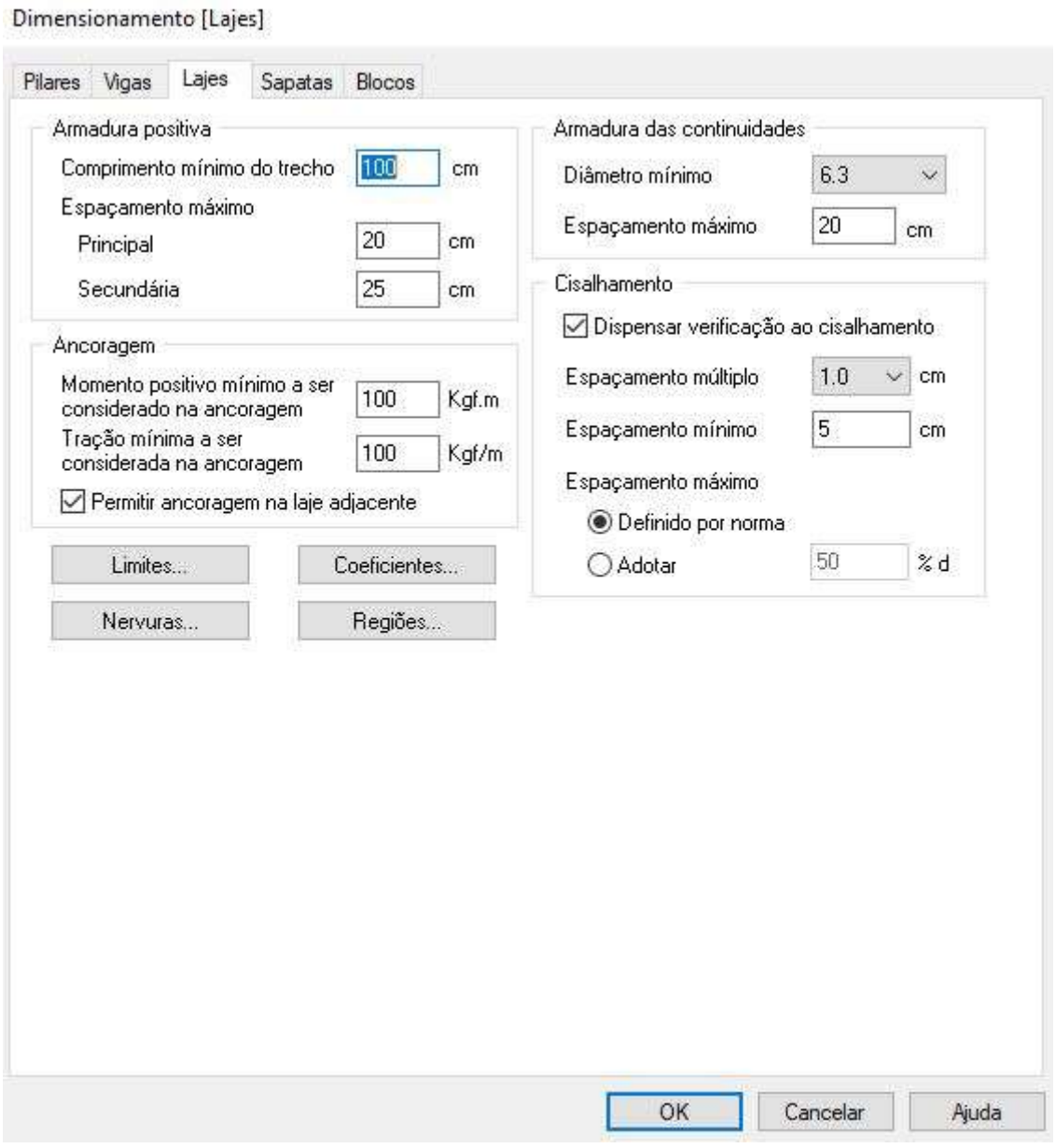
3.1.2.3 Dimensionamento das lajes

O modelo de laje definido foi a pré-moldada, constituída por nervuras longitudinais dispostas em uma única direção com preenchimento com material inerte, com a função de reduzir o volume do concreto e o peso próprio da laje.

Para o lançamento dentro do software foram mantidas as configurações de dimensionamento iniciais que se baseiam na NBR 6118:2014 e 14860-1:2002.

A figura 15 mostra as definições de dimensionamento.

Figura 15 - Dimensionamento laje.

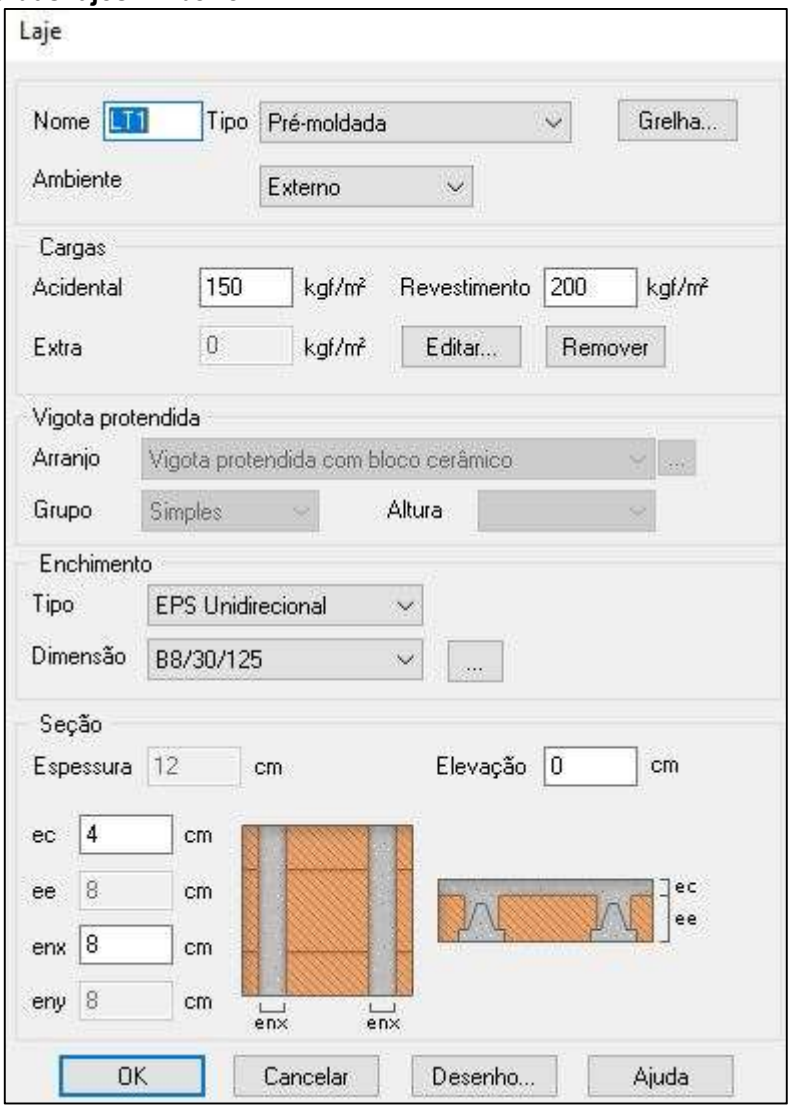


Fonte: AltoQi Eberick (2018).

Na configuração de lançamento da laje foram inseridas as cargas acidentais e de revestimento de acordo com a NBR 6120:1980. Para dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro foi utilizado 150 kgf/m² e para despensa, área de serviço e lavanderia 200 kgf/m².

A figura 16 referente a laje LT1 do pavimento térreo exemplifica esta configuração.

Figura 16 - Carga das lajes – Eberick



Fonte: AltoQi Eberick (2018).

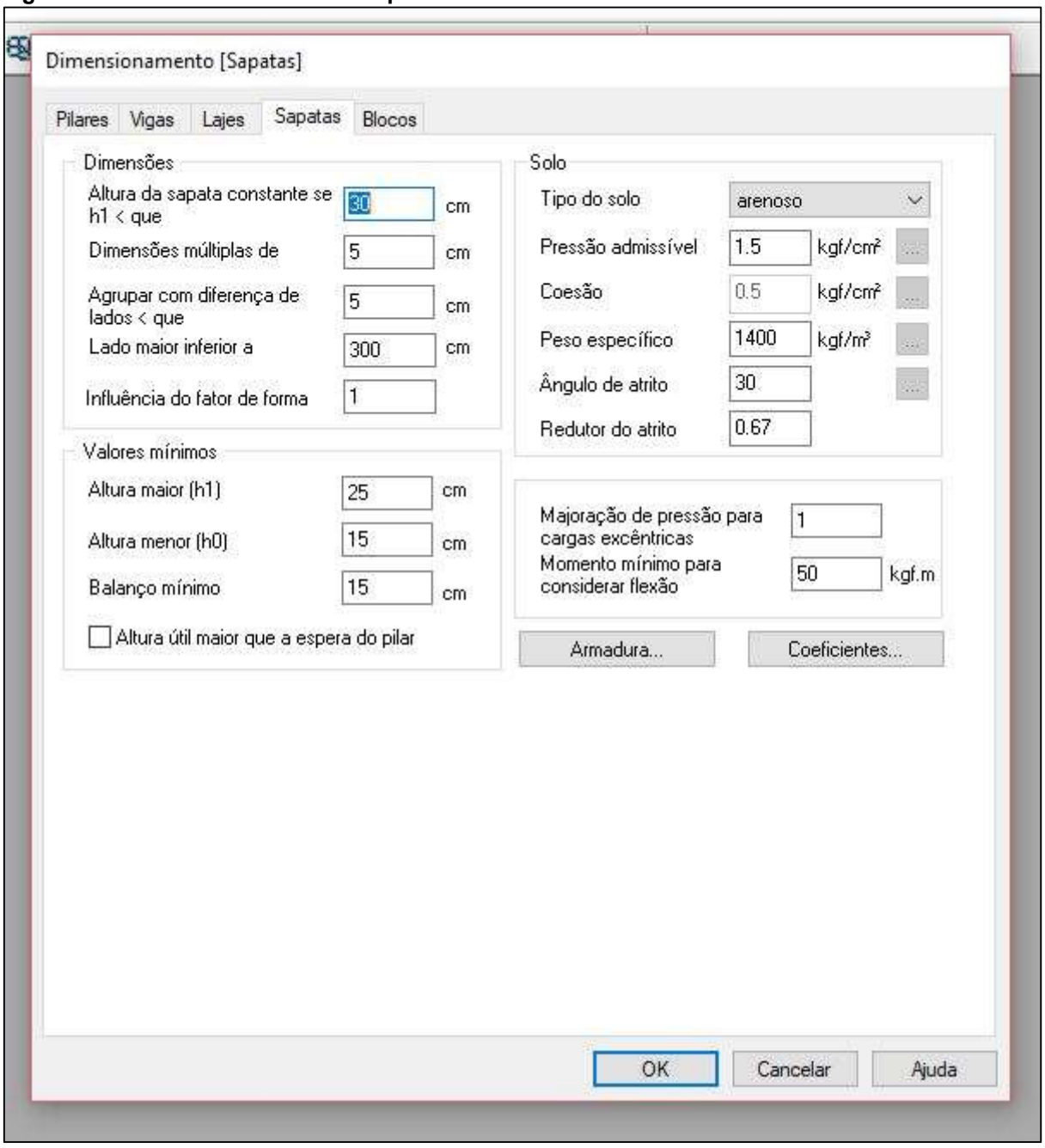
3.1.2.4 Dimensionamento das sapatas

A fundação utilizada foi a sapata, segundo a NBR 6118:2014 é uma fundação do tipo direta onde o seu volume transmite ao terreno as cargas de fundação.

Por se tratar de uma sapata rígida existe flexão nas duas direções e a tração a flexão é uniformemente distribuída na sua largura. O cisalhamento também ocorre nas duas direções, não ocorrendo ruptura por tração diagonal, apenas por compressão diagonal, isto porque a sapata está localizada dentro do cone hipotético de punção, impossibilitando a punção dentro do mesmo.

O tipo de solo tem relação direta ao comportamento da sapata, portando foi adotado através de estudos de parâmetros dos solos de Marangon (2018), o solo do tipo areia média e acrescentado os seus respectivos coeficientes no software, como mostra a figura 17.

Figura 17 - Dimensionamento de sapata – Eberick



Fonte: AltoQi Eberick (2018).

3.1.3 SOFTWARE QiAlvenaria

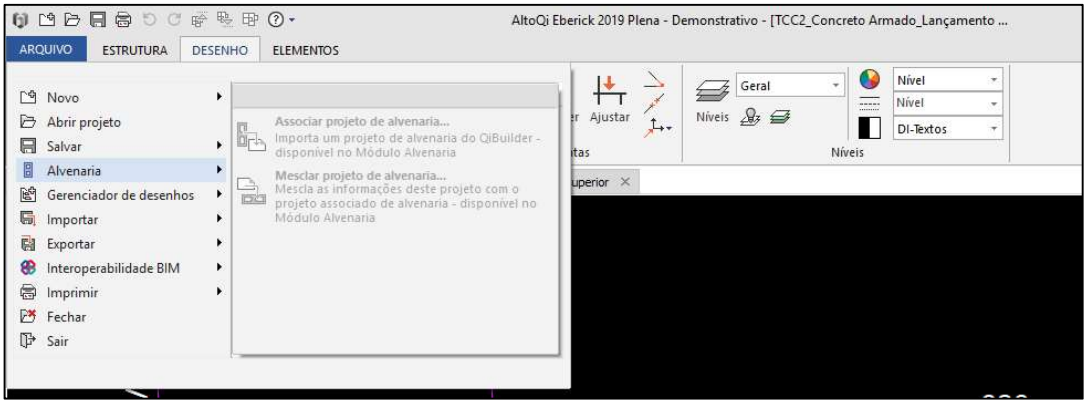
O software QiAlvenaria é um módulo do Eberick e permite calcular estruturas em alvenaria estrutural como o Alvest.

A AltoQi assim como TQS disponibiliza uma versão demonstrativa do Eberick 2019, mas o módulo Alvenaria não é disponibilizado para uso.

Foi entrado em contato com a AltoQi para verificar a possibilidade de uso do módulo Alvenaria, mas o mesmo foi negado.

A figura 18 ilustra a entrada de dados de Alvenaria na versão demonstrativa do software Eberick 2019.

Figura 18 - Software Eberick 2019 - Módulo Alvenaria.



Fonte: Versão demonstrativa Eberick 2019 (2018).

3.1.4 SOFTWARE TQS ALVEST 21.0

Inicialmente tentou ser utilizado QiAlvenaria por ser o mesmo fornecedor do Eberick, mas devido a limitação da versão demonstrativa não foi possível dar continuidade. Apesar de ter algumas diferenças entre os softwares, o ALVEST foi utilizado para fins de comparação.

No ALVEST é realizado o dimensionamento (ELU) de paredes de alvenaria não armadas à compressão simples, flexo-compressão e cisalhamento. Dimensionamento (ELU) de paredes armadas à flexão composta oblíqua e ao cisalhamento com consideração de esbeltez, verificando as armaduras mínimas e máximas.

O dimensionamento atende às principais normas técnicas ABNT, entre elas a NBR 15961-1:2011, NBR 15812-1:2010, NBR 6123 e NBR 8681.

3.1.4.1 LANÇAMENTO DA ESTRUTURA

O software fornece uma avaliação gratuita a qual dimensiona a estrutura, mas não exporta seu detalhamento. Para o lançamento da estrutura foram seguidas as etapas do tutorial fornecido.

A figura 19 ilustra o tutorial disponibilizado pelo TQS.

Figura 19 - Tutorial - Versão para avaliação gratuita TQS Alvest.

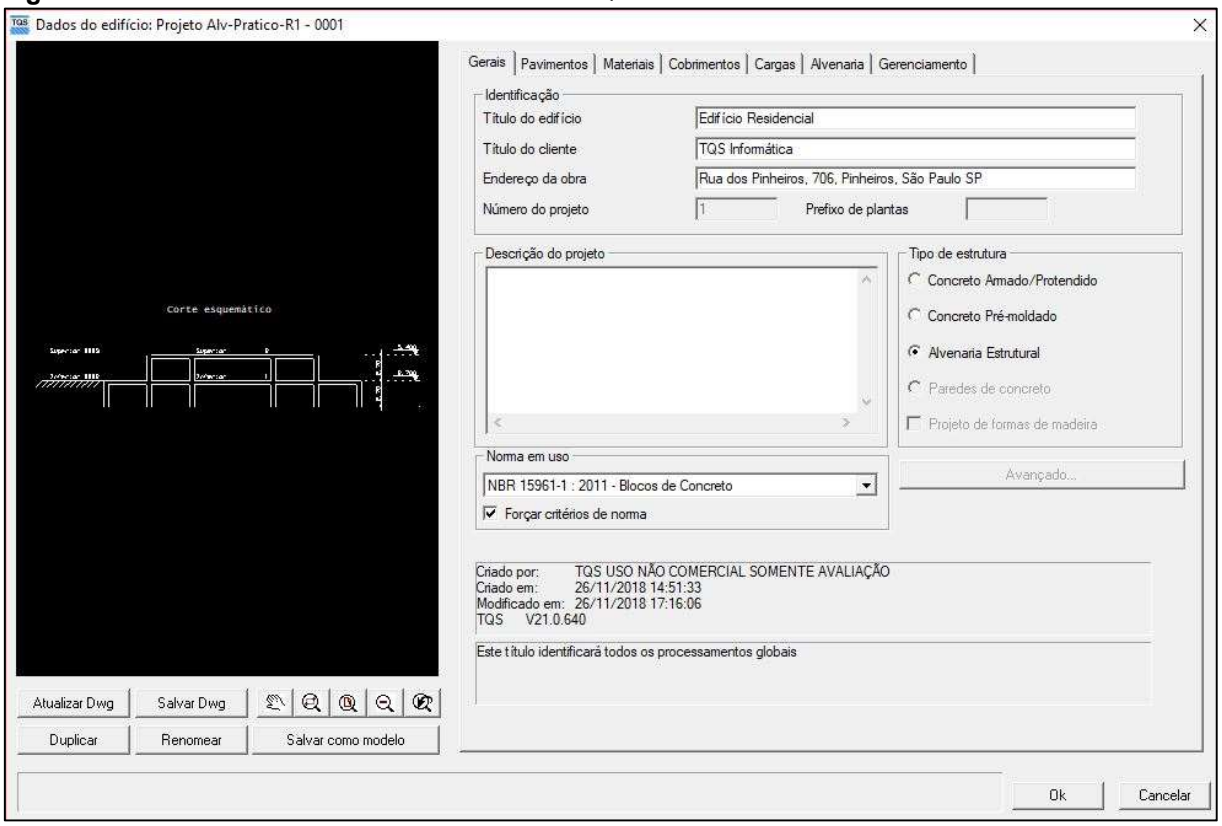
Fonte: TQS (2018).

3.4.1.1 ENTRADA DE DADOS

Na etapa de entrada de dados é fornecida as informações do projeto e suas características construtivas.

A figura 20 mostra as informações necessárias e a maneira que é inserida.

Figura 20 - Entrada de dados da estrutura no TQS Alvest.

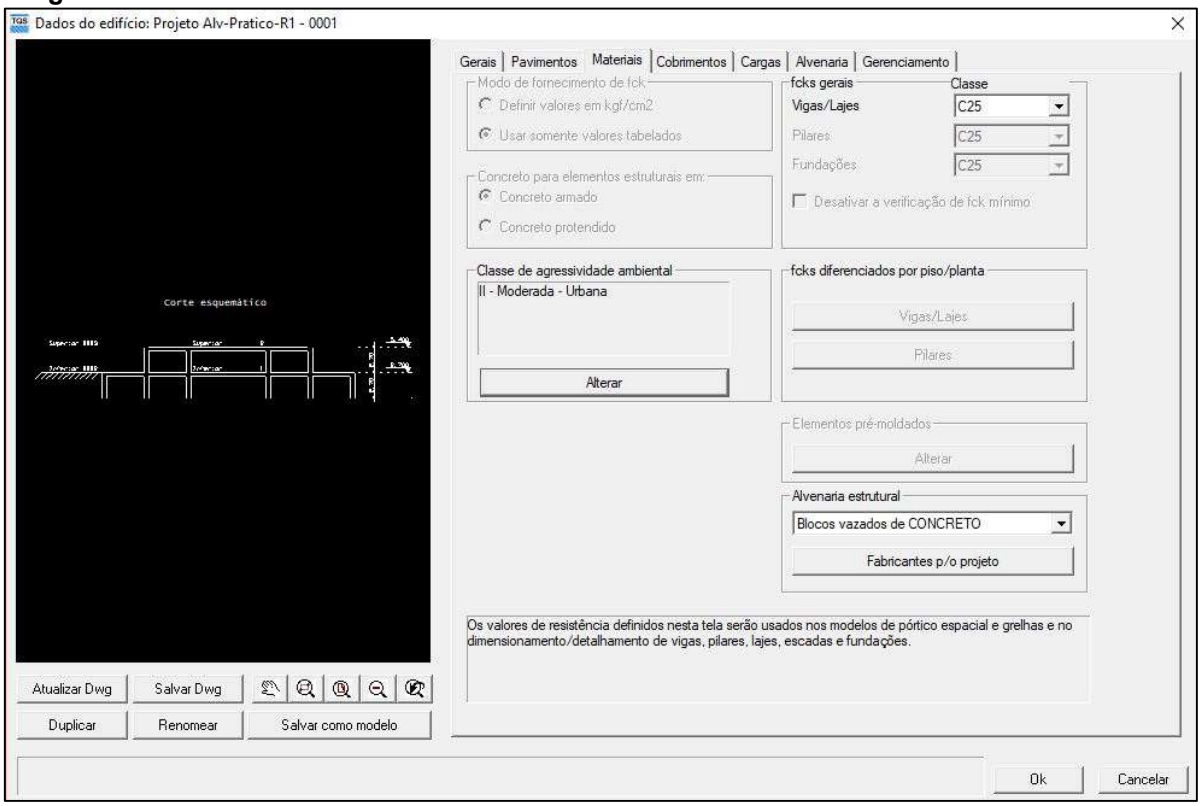


Fonte: TQS Alvest (2018).

As definições de materiais e cobrimentos estabelecidas para a estrutura em concreto armado foram mantidas para a estrutura em alvenaria estrutural para alinhar posterior comparação entre as estruturas.

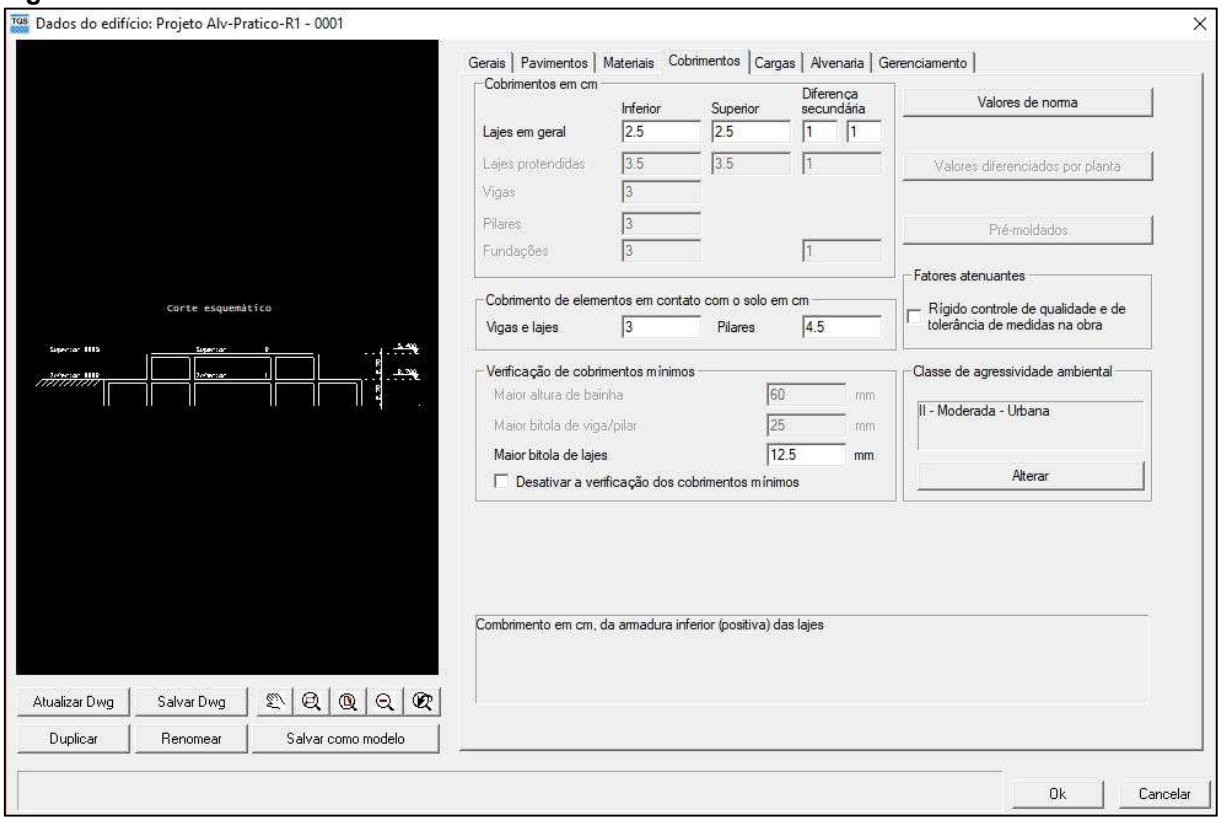
A figura 21 e 22 ilustra a forma como essas informações são inseridas no software.

Figura 21 - Dados dos materiais - Estrutura em alvenaria estrutural.



Fonte: TQS Alvest (2018).

Figura 22 - Dados de cobrimento - Estrutura em alvenaria estrutural.

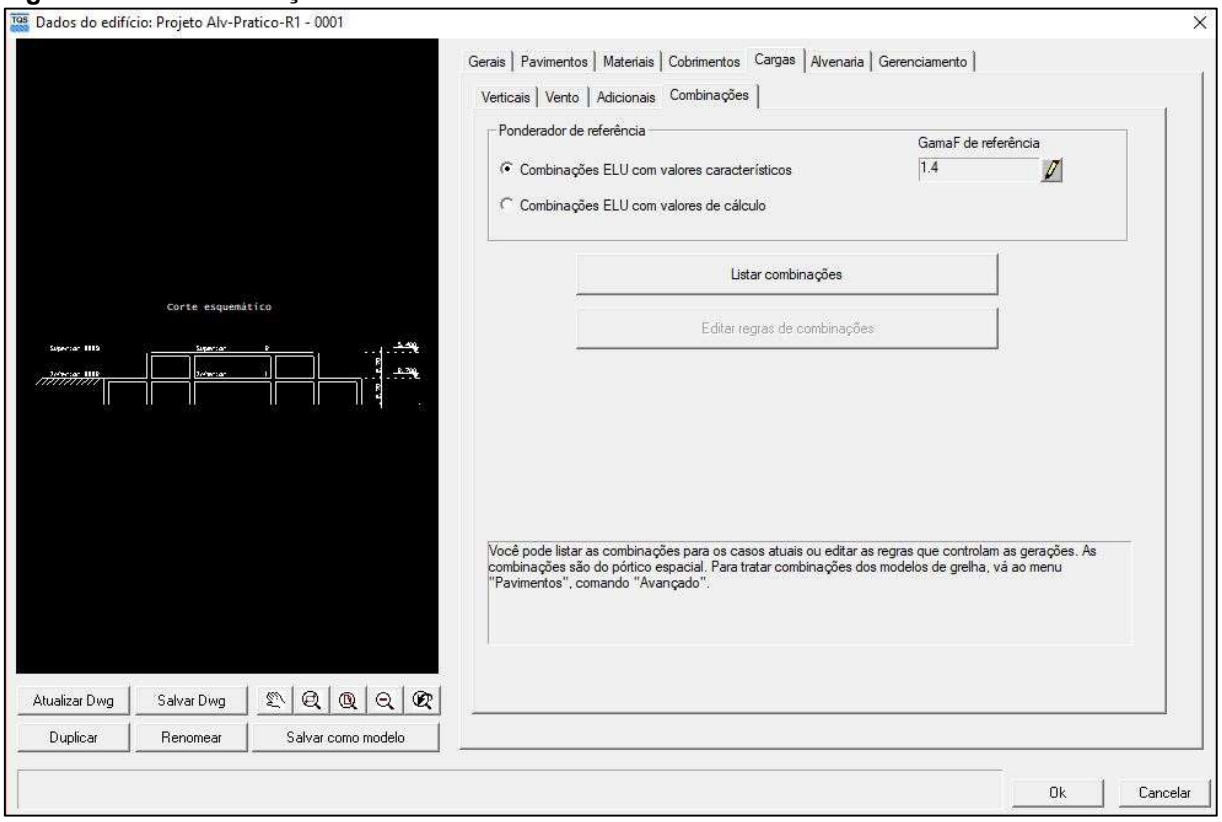


Fonte: TQS Alvest (2018).

As configurações das ações do projeto mantiveram as definições do Alvest, pois as combinações vêm previamente configuradas conforme a norma 15961-1 e apesar de abertas para edição, não foram alterados pois é considerado a situação mais desfavorável como preconiza a norma.

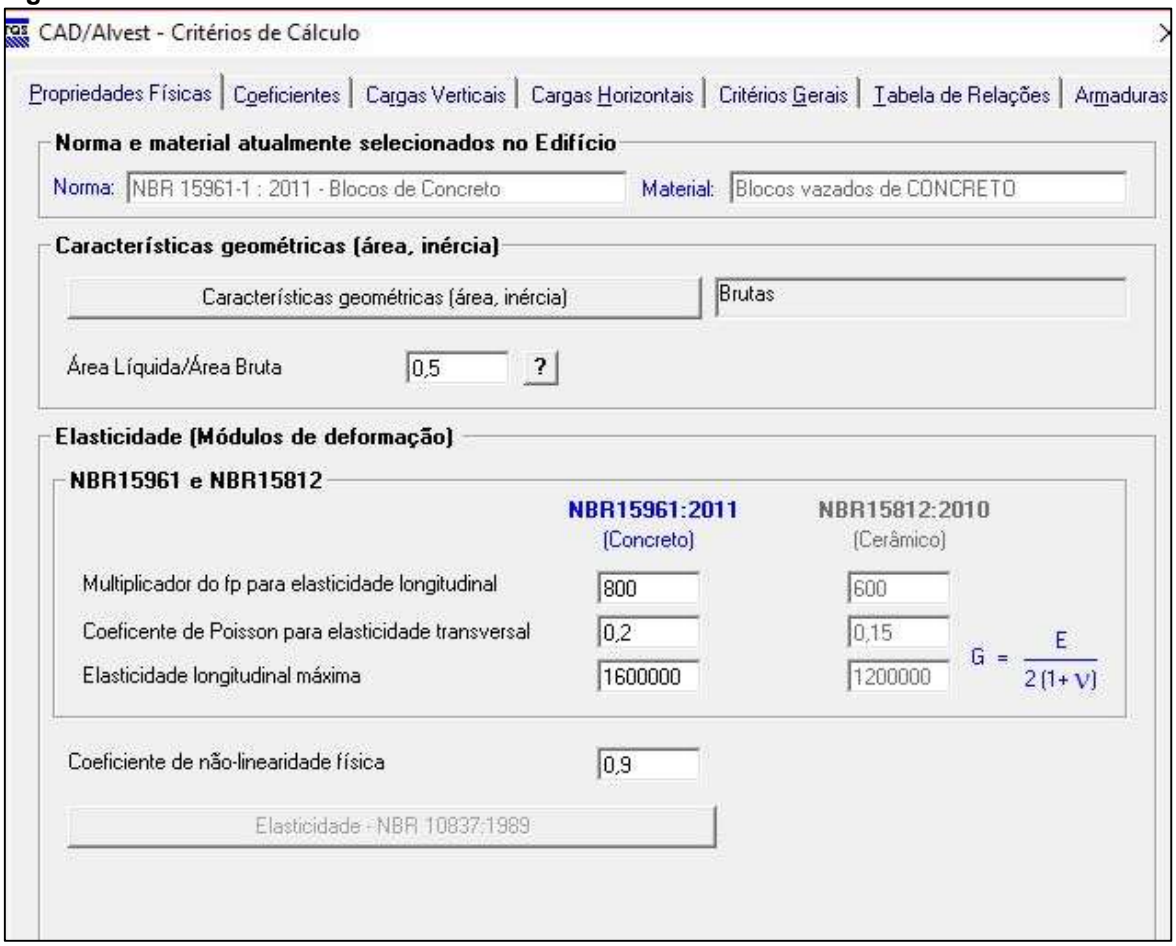
A figura 23 e 24 ilustra a configuração de ações no software.

Figura 23 - Dados de ações – Estrutura em alvenaria estrutural.



Fonte: TQS Alvest (2018).

Figura 24 - Critérios de cálculo - Alvenaria estrutural.

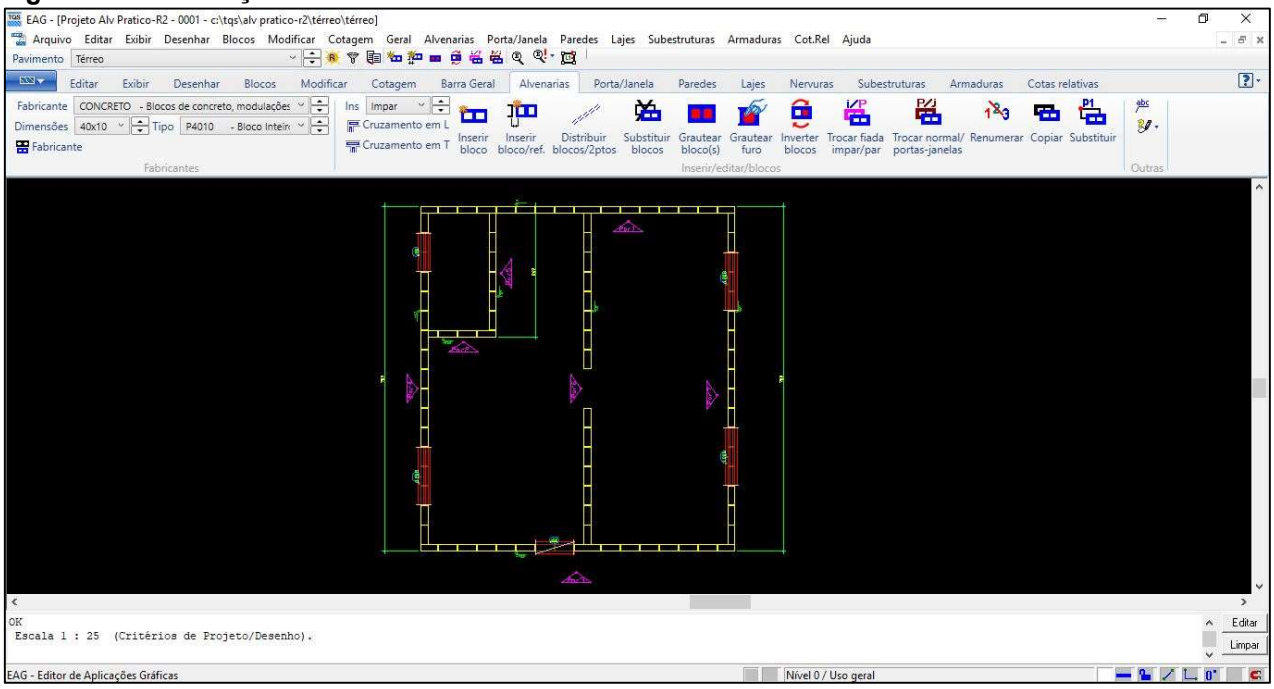


Fonte: TQS Alvest (2018).

Com os dados de projeto inseridos foi iniciada a modulação da estrutura. A família de blocos utilizada foi a “M -15”, com modulações 20, 35, 40 e 55.

A figura 25 ilustra a maneira como os blocos foram inseridos no pavimento térreo.

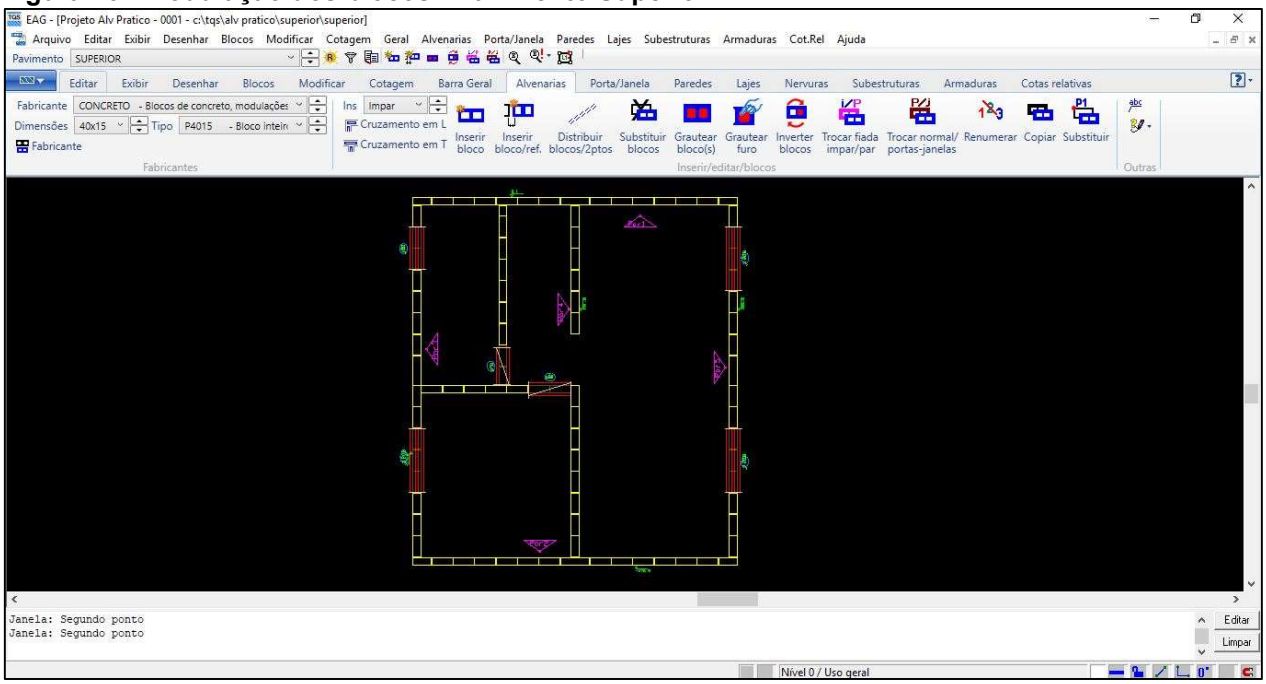
Figura 25 - Modulação dos blocos - Pavimento Térreo.



Fonte: TQS Alvest (2018).

A figura 26 ilustra a maneira como os blocos foram inseridos no pavimento superior.

Figura 26 - Modulação dos blocos - Pavimento Superior.

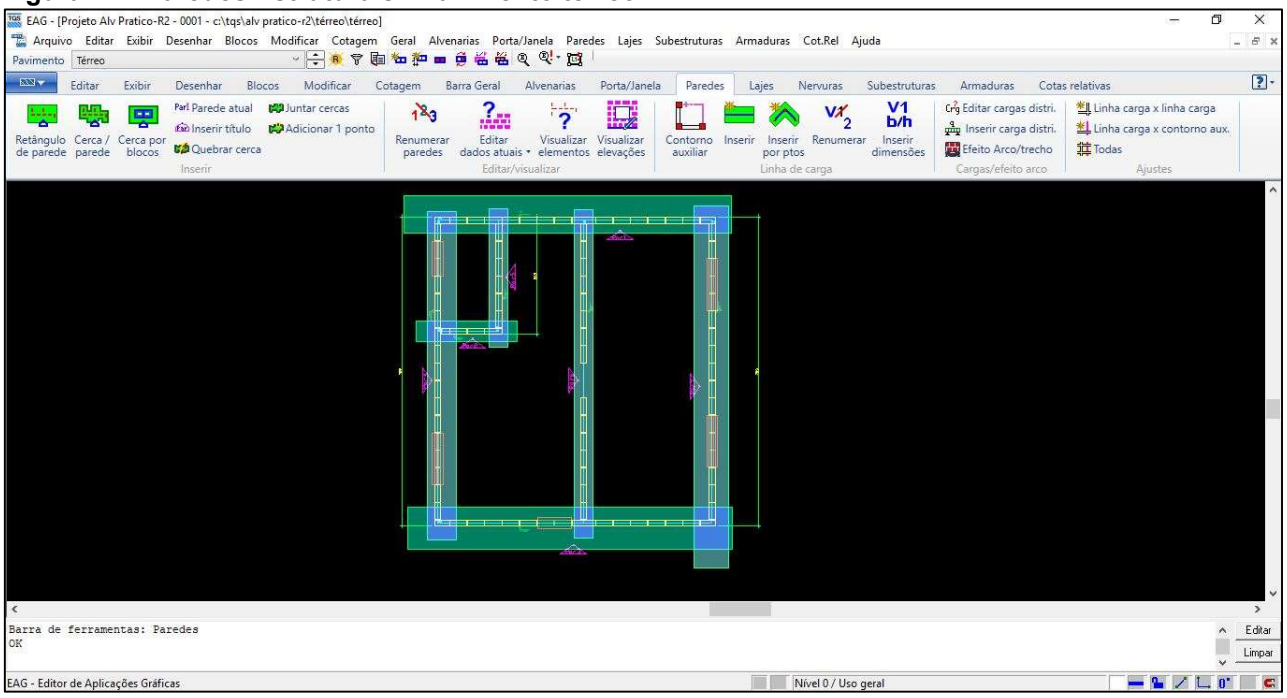


Fonte: TQS Alvest (2018).

Com a modulação da estrutura definida foram selecionadas as cercas que definem as paredes estruturais.

A figura 27 ilustra estas cercas no pavimento térreo.

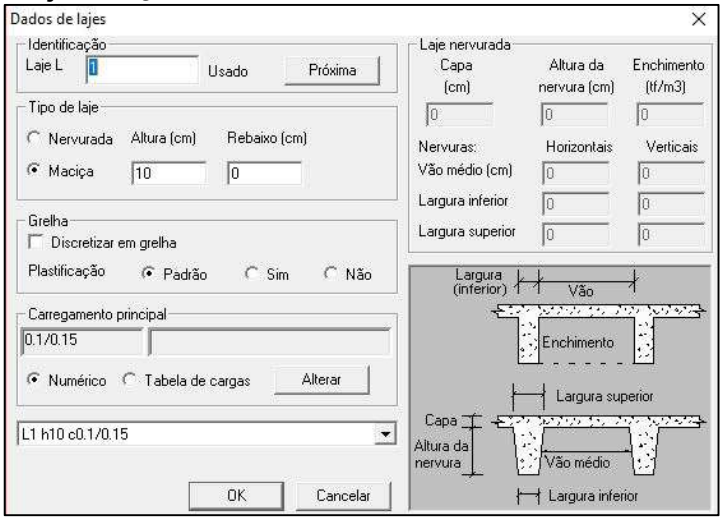
Figura 27 - Paredes Estruturais - Pavimento térreo.



Fonte: TQS Alvest (2018).

Com a definição das cercas das paredes estruturais foi possível inserir a laje. A laje definida foi a maciça, a figura 28 ilustra a maneira como os dados foram inseridos no software.

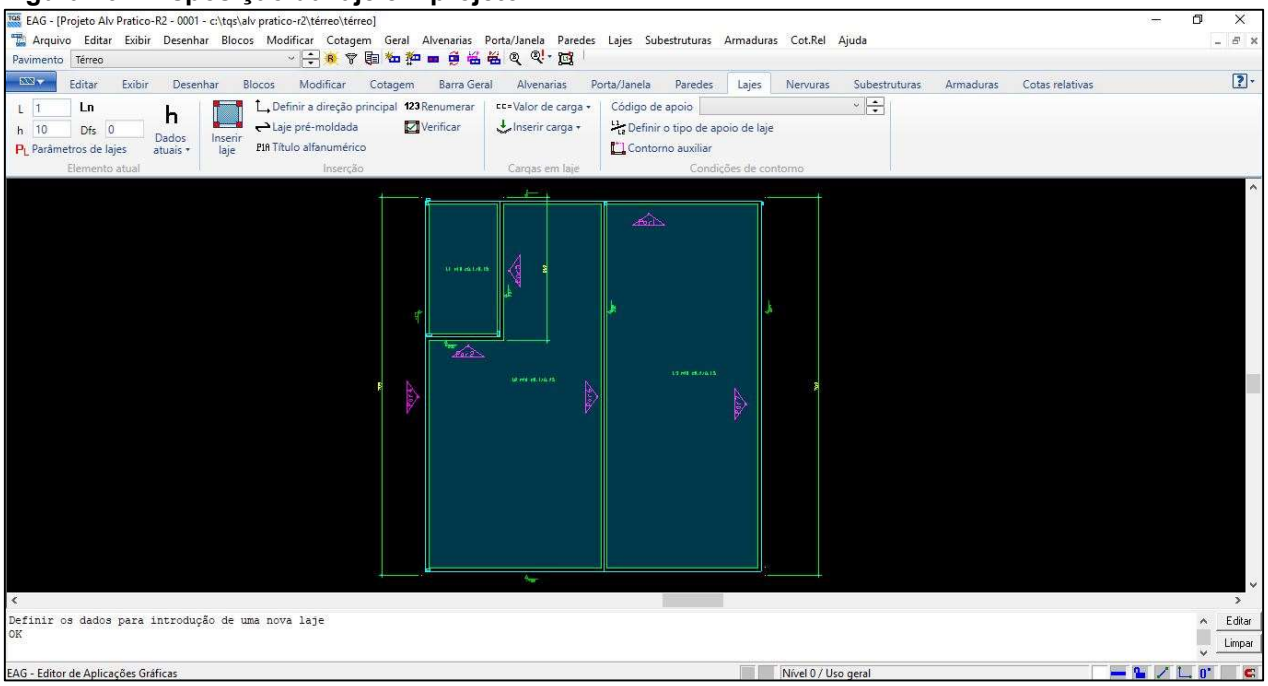
Figura 28 - Dados da laje maciça - Alvenaria estrutural.



Fonte: TQS Alvest (2018).

A figura 29 ilustra a laje em projeto.

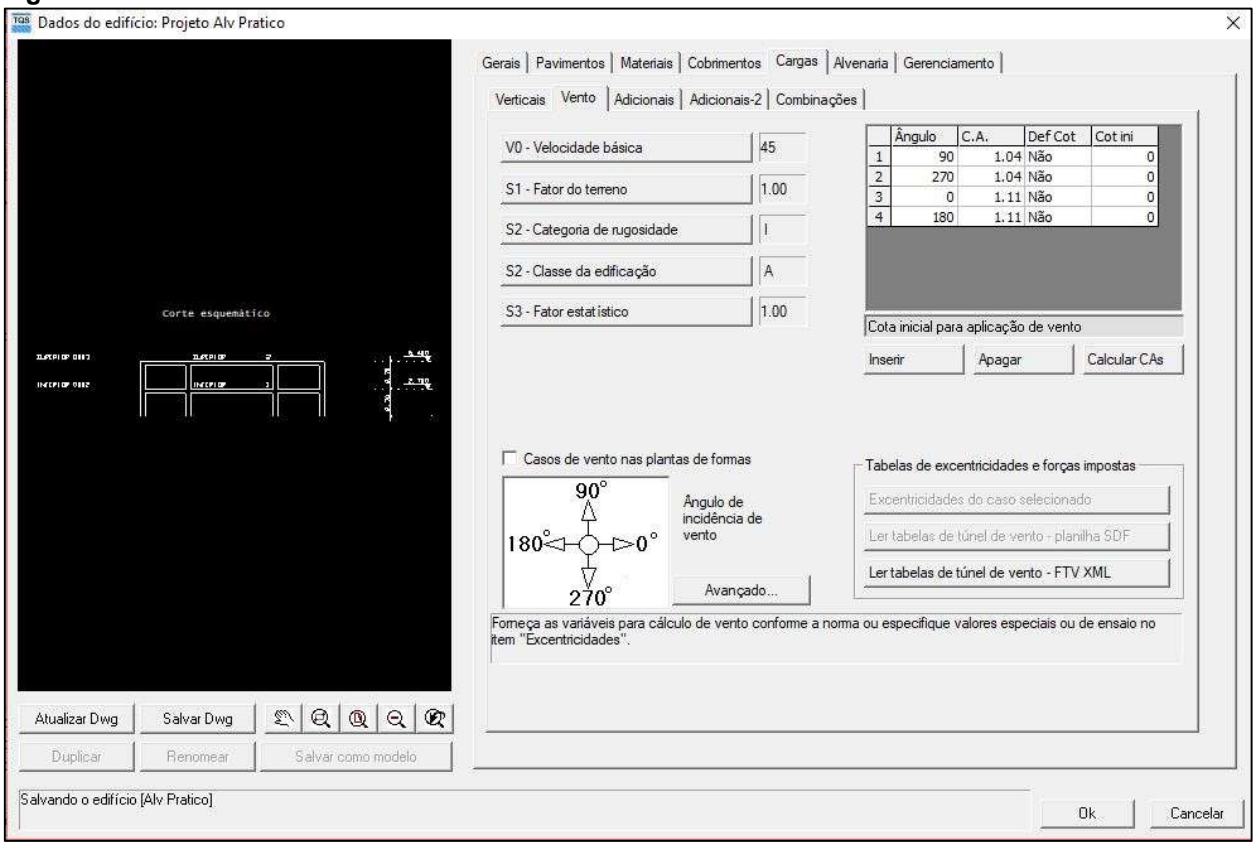
Figura 29 - Disposição da laje em projeto.



Fonte: TQS Alvest (2018).

Após a definição do carregamento das lajes no projeto foram geradas a cercas de subestrutura a quais calculam as cargas horizontais e verticais de vento. A figura 30 e 32 ilustra os dados de vento inserido no projeto.

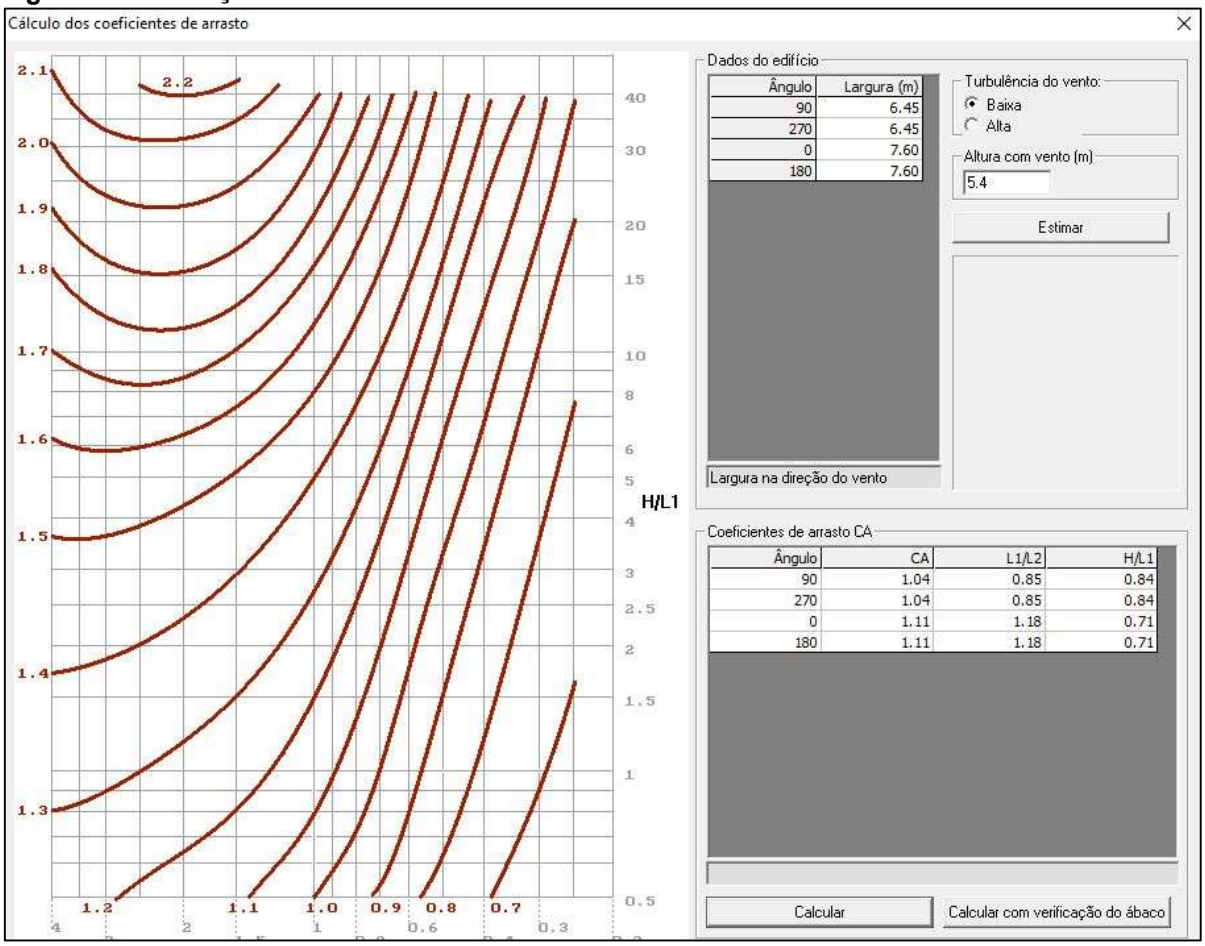
Figura 30 - Dados de vento 1 - Alvenaria estrutural.



Fonte: TQS Alvest (2018).

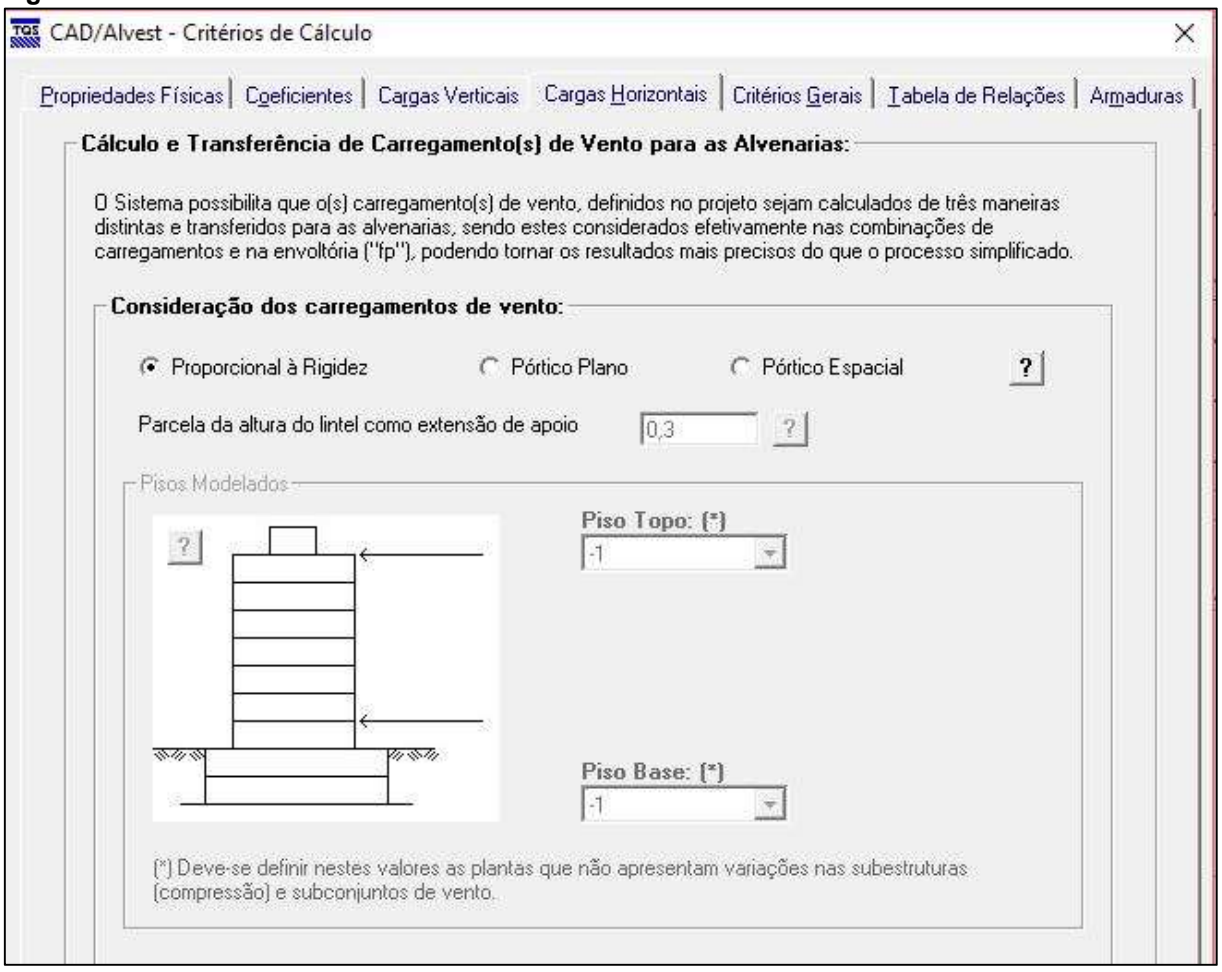
A figura 31 ilustra a definição do coeficiente de arrasto para esta estrutura.

Figura 31 - Definição do coeficiente de arrasto - Alvenaria estrutural.



Fonte: TQS Alvest (2018).

Figura 32 - Dados de vento 2 - Alvenaria estrutural.



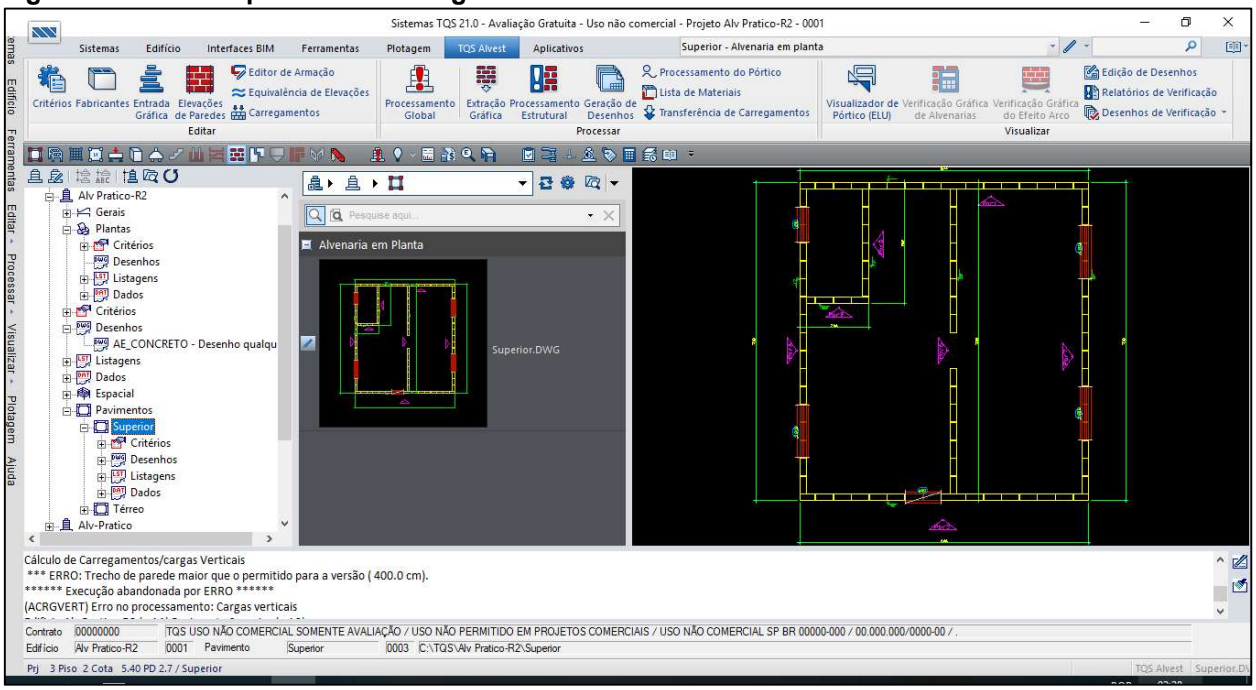
Fonte: TQS Alvest (2018).

Com os dados de todos os pavimentos lançados na entrada gráfica de alvenaria em planta é possível calcular o edifício através do processamento global da estrutura.

No entanto no momento em que o processamento global foi executado não foi possível calcular a estrutura devido ao seguinte erro, *“Trecho de parede maior que o permitido para a versão (400.0cm) ”*.

Como ilustra a figura 33.

Figura 33 - Erro no processamento global da estrutura em alvenaria estrutural.



Fonte: TQS Alvest (2018).

O modelo de cálculo proposto no tutorial possui medidas muito próximas a do modelo arquitetônico utilizado nesta pesquisa, não ultrapassando o limite de comprimento. Foram feitos alguns ajustes nas modulações para calcular a estrutura novamente, mas sem sucesso.

Foi enviado um e-mail a equipe do software TQS relatando o ocorrido e buscando alguma solução, mas até a presente data não houve retorno.

3.1.5 DIMENSIONAMENTO ALVENARIA ESTRUTURAL – PLANILHA

O dimensionamento da estrutura em alvenaria estrutural será obtido através de planilhas de cálculo.

As planilhas foram disponibilizadas para fins de estudo por um escritório de estruturas de Florianópolis, desta forma verificada por engenheiros capacitados.

Os critérios de cálculo seguem como o do software TQS Alvest baseados na NBR 15961-1/2011.

3.1.5.1 ENTRADA DE DADOS

Antes de iniciar o dimensionamento é preciso relacionar as paredes no eixo X e Y, com os dados de área, inércia e comprimento.

A tabela 7 ilustra a planilha com as informações das paredes no eixo X.

Tabela 7 - Dados das paredes no eixo X.

Parede	Área (m^2)	Inércia (m^4)	Xmáx. (m)	Xtotal (m)	Rigidez	Múltiplo	Rig. x Múlt.	%		JTOTAL
PAR01X	10,696	3,822	3,33	6,44	17492	2	34984	27,65%	0,553	7,644
PAR02X	1,596	0,008	0,48	0,74	55	1	55	0,09%	0,001	0,008
PAR03X	4,816	0,378	1,55	2,69	2329	2	4657	3,68%	0,074	0,756
PAR04X	4,396	0,323	1,54	2,74	2001	1	2001	3,16%	0,032	0,323
PAR05X	5,166	0,465	1,47	2,89	2823	1	2823	4,46%	0,045	0,465
PAR06X	10,695	4,247	3,25	6,50	18748	1	18748	29,63%	0,296	4,247
						Σ	**63269**	**0,69**	**1,00**	13,44

Fonte: Autor (2018).

A tabela 8 ilustra a planilha com as informações das paredes no eixo Y.

Tabela 8 - Dados das paredes no eixo Y.

Parede	Área (m^2)	Inércia (m^4)	Ymáx. (m)	Ytotal (m)	Rigidez	Múltiplo	Rig. x Múlt.	%		JTOTAL
PAR07Y	5,586	0,741	1,995001	3,99	4278	1	4278	16,13%	0,161	0,741
PAR08Y	1,598	0,013	0,540168	0,94	91	3	272	0,34%	0,010	0,040
PAR09Y	5,516	0,512	1,361184	2,69	3098	1	3098	11,68%	0,117	0,512
PAR10Y	6,362	0,752	2,092953	3,34	4414	2	8829	16,64%	0,333	1,503
PAR11Y	4,467	0,182	1,342944	1,99	1176	2	2352	4,43%	0,089	0,364
PAR12Y	3,276	0,102	1,07512	1,74	665	2	1330	2,51%	0,050	0,203
PAR13Y	3,906	0,098	1,07382	1,99	648	2	1296	2,44%	0,049	0,196
PAR14Y	2,716	0,049	0,855578	1,34	327	1	327	1,23%	0,012	0,049
PAR15Y	3,346	0,159	1,195001	2,39	1021	1	1021	3,85%	0,038	0,159
PAR16Y	5,582	0,630	1,930509	3,34	3721	1	3721	14,03%	0,140	0,630
						Σ	**26524**	**0,73**	**1,00**	4,40

Fonte: Autor (2018).

Com os dados de cada parede relacionados foi calculado a carga gravimétrica das paredes, levando em consideração seu peso próprio e aberturas.

A tabela 9 ilustra a carga gravimétrica das paredes no eixo X.

Tabela 9 - Carga gravimétrica das paredes no eixo X.

TCC - THAYANA VIEIRA F.													
Paredes X													
Peso-Específico (Kg/m³)			Carregamento (Kg / m)										
1550			Aberturas de Portas e Janelas										
Espessura da Parede (m)			*Larguras (m)*										
0,14			0,80	1,00	1,20	1,50	0,60	0,70	0,80	2,00			
Pé-direito (m)		2,72	*Altura (m)*										
		Peso	0,80	0,60	1,00	1,20	2,10	2,10	2,10	2,10			
Parede	Comprimento	Próprio	**JA1/JVA**	**JA2/JA7**	**JA3/JA4**	**JA5**	**PM1**	**PM2**	**PM3**	**PV2**	Alvenaria	Total	Parede
	(m)	(Kg / m)	***Número de repetições das situações***								(m)	(Kg / m)	
PAR01X	6,44	590									0,00	**590**	PAR01X
PAR02X	0,74	590						1			0,00	**654**	PAR02X
PAR03X	2,69	590									0,00	**590**	PAR03X
PAR04X	2,74	590							1		0,00	**610**	PAR04X
PAR05X	2,89	590									0,00	**590**	PAR05X
PAR06X	6,50	590									0,00	**590**	PAR06X

Fonte: Autor (2018).

A tabela 10 ilustra a carga gravimétrica das paredes no eixo Y.

Tabela 10 - Carga gravimétrica das paredes no eixo Y.

TCC - THAYANA VIEIRA F.													
Paredes Y													
Peso-Específico (Kg/m³)			Carregamento (Kg / m)										
1550			Aberturas de Portas e Janelas										
Espessura da Parede (m)			*Larguras (m)*										
0,14			0,80	1,00	1,20	1,50	0,60	0,70	0,80	2,00			
Pé-direito (m)		2,72	*Altura (m)*										
		Peso	0,80	0,60	1,00	1,20	2,10	2,10	2,10	2,10			
Parede	Comprimento	Próprio	**JA1/JVA**	**JA2/JA7**	**JA3/JA4**	**JA5**	**PM1**	**PM2**	**PM3**	**PV2**	Alvenaria	Total	Parede
	(m)	(Kg / m)	***Número de repetições das situações***								(m)	(Kg / m)	
PAR07Y	3,64	590	1								0,00	**636**	PAR07Y
PAR08Y	1,89	590			1						0,00	**709**	PAR08Y
PAR09Y	2,74	590									0,07	**604**	PAR09Y
PAR10Y	3,64	590						1			0,00	**603**	PAR10Y
PAR11Y	0,74	590						1			0,00	**654**	PAR11Y
PAR12Y	2,78	590			1						0,12	**696**	PAR12Y
PAR13Y	3,00	590			1						0,00	**665**	PAR13Y
PAR14Y	2,97	590			1						0,06	**677**	PAR14Y
PAR15Y	1,51	590			1						0,06	**762**	PAR15Y
PAR16Y	2,97	590									0,00	**590**	PAR16Y

Fonte: Autor (2018).

Os valores S_2 e do coeficiente de arrasto são obtidos através da NBR6123/88, com as informações da norma foi calculado esses valores por planilha. A tabela 11 ilustra os valores obtidos para cada coeficiente de vento.

Tabela 11 - Vento: fator S2 e coeficiente de arrasto.

EDR					
Fator S2					
Rugosidade do terreno	***Dimensões da edificação***		***Altura sobre o terreno***		
categoria IV		classe A	conforme tabela 2		
PAVIMENTO	**Z (m)**	**dif.**	**menor**	**maior**	**S2**
1º Pavimento	2,73	2,73	***0,86***	***0,86***	**0,860**
2º Pavimento	5,46	0,46	***0,86***	***0,86***	**0,860**
Dimensoes do edificio					
Altura ***H*** (m)	Maior dimensao (m)		Menor dimensao (m)		
5,46		7,09		6,44	
Coeficientes de Arrasto					
VENTO Y			***VENTO X***		
H / L1	*L1 / L2*	***Ca***	*H / L2*	*L2 / L1*	***Ca***
0,77	1,10	1,10	0,85	0,91	1,08
* **Obs.**: os valores dos coeficientes de arrasto foram obtidos atraves da figura ***4*** da *NBR 6123/1988*.					
L1 - Ortogonal ao Vento					
L2 - Paralelo ao Vento					

Fonte: Autor (2018).

Para calcular a distribuição das reações das lajes maciças é necessário verificar quais reações estão sendo aplicadas na parede. As reações foram retiradas do modelo de laje maciça calculada no software Eberick e inserida por trecho de parede. A tabela 12 ilustra este cálculo nas paredes 1,2 e 3.

Tabela 12- Distribuição das reações das lajes.

Paredes X												
1				2				3				
Comprimento (m)		6,44		Comprimento (m)		1,00		Comprimento (m)		2,69		
Lajes				Lajes				Lajes				
L1		L2		L1		L2		L1		L2		
Reações (Kgf / m)	Abrangência (m)	Reações (Kgf / m)	Abrangência (m)	Reações (Kgf / m)	Abrangência (m)	Reações (Kgf / m)	Abrangência (m)	Reações (Kgf / m)	Abrangência (m)	Reações (Kgf / m)	Abrangência (m)	
47	1,48	560	3,30	498	1,55	170	1,55	298	2,69	376	2,69	
215	1,66											
Total (Kgf / m)		Total (Kgf / m)		Total (Kgf / m)		Total (Kgf / m)		Total (Kgf / m)		Total (Kgf / m)		
66		287		772		264		298		376		
* **L1** : valor de carregamentos abaixo das paredes.												
* **L2** : valor de carregamentos acima das paredes.												

Fonte: Autor (2018).

A tabela 13 ilustra o resumo da distribuição das reações das lajes em todas as paredes.

Tabela 13 - Resumo da distribuição das reações das lajes nas paredes.

	TIPO					
	L1	G	Q	L2	G	Q
PAR01X	287	201	86	66	46	20
PAR02X	772	540	232	264	184	79
PAR03X	376	263	113	298	209	89
PAR04X	740	518	222	0	0	0
PAR05X	478	334	143	0	0	0
PAR06X	312	218	94	212	149	64
	TIPO					
	L1	G	Q	L2	G	Q
PAR07Y	208	145	62	205	143	61
PAR08Y	745	522	224	0	0	0
PAR09Y	388	272	116	328	230	98
PAR10Y	905	633	271	763	534	229
PAR11Y	666	466	200	664	465	199
PAR12Y	733	513	220	0	0	0
PAR13Y	760	532	228	760	532	228
PAR14Y	654	458	196	0	0	0
PAR15Y	580	406	174	0	0	0
PAR16Y	728	510	218	614	430	184

Fonte: Autor (2018).

Com estes dados calculados é possível verificar se a parede resiste aos esforços solicitados. A tabela 14 ilustra o dimensionamento da parede PAR01X, considerando suas cargas, combinação de ações e excentricidades.

Tabela 14 - Dimensionamento da parede PAR01X.

PVTO	ESPESSURA	CARGAS (Kgf/m)				
			LAJE 1		LAJE 2	
	PAREDE (cm)	Parede	Peso Próprio	Acidental	Peso Próprio	Acidental
2	14	590	201	86	46	20
1	14	590	201	86	46	20

VENTO (MPa)	CARGAS ACUMULADAS (Kgf/m)		TENSÕES (MPa) PERMANENTE	ACIDENTAL
Wk	Permanente	Acidental	Gk	Qk
0,00	837	106	0,06	0,01
0,00	1674	212	0,12	0,02

COMBINAÇÕES (MPa) V = 1				ALTURA		CARGA NO	PIORES COMBINAÇÕES (Kgf/m)	
0,9Gk-(V)Wk	1,4Gk+1,6Qk	1,4Gk+(V)Wk	1,2Gk+1,2Qk+1,2Wk	EFETIVA (m)	ESBELTEZ	TOPO (Kgf/m)	LAJE 1	LAJE 2
0,05	0,10	0,08	0,08	2,72	19,43	0	419	41
0,11	0,19	0,17	0,16	2,72	19,43	859	419	41

Excentricidades (cm)			β	CARGA DE
Parede	Acidental	Cálculo		PROJETO (Kgf/m)
3,83	1,99	**4,29**	0,43	1341
1,34	1,99	**2,79**	0,66	2683

PVTO	Resistência Característica da parede (MPa)
2	0,56
1	0,72

Fonte: Autor (2018).

Com o resultado da resistência característica da parede e feito a verificação do uso de graute é comparado se a mesma é inferior a resistência do bloco.

A tabela 15 ilustra que todas as paredes dimensionadas no eixo X têm fk inferior ao fbk e não precisam de graute para resistir aos esforços.

Tabela 15 - Resumo do dimensionamento das paredes no eixo X.

TCC - THAYANA VIEIRA FERNANDES								
Condições:	γm=	2,50	γv=	1,00		V (m/s) =		45
Parede	fk 1	Grout	fk 2	Grout				
PAR01X	0,72		0,56					
PAR02X	0,97		0,97					
PAR03X	0,92		0,57					
PAR04X	0,61		0,61					
PAR05X	0,48		0,48					
PAR06X	0,52		0,52					
fk (MPa)	***6,2***		***5,5***					
fbk (MPa)	***8,0***		***8,0***					
Bloco s/ graute	6,40		6,40					

Fonte: Autor (2018).

A tabela 16 ilustra que todas as paredes dimensionadas no eixo Y têm fk inferior ao fbk e não precisam de graute para resistir aos esforços.

Tabela 16 - Resumo do dimensionamento das paredes no eixo Y.

TCC - THAYANA VIEIRA FERNANDES										
Condições:	γm=	2,50	γv=	1,00		V (m/s) =		45		
Parede	fk	Grout	fk	Grout						
	1		2							
PAR07Y	0,33		0,33							
PAR08Y	1,08		0,66							
PAR09Y	0,95		0,58							
PAR10Y	1,73		1,04							
PAR11Y	1,43		0,83							
PAR12Y	1,06		0,64							
PAR13Y	1,58		0,92							
PAR14Y	0,59		0,59							
PAR15Y	0,56		0,56							
PAR16Y	1,17		0,25							
fk (MPa)	*2,4*		*2,1*							
fbk (MPa)	***8,0***		***8,0***							
Bloco s/ graute	6,40		6,40							

Fonte: Autor (2018).

4 RESULTADOS OBTIDOS

A partir do resultado do dimensionamento da estrutura em concreto armado e alvenaria estrutural, foi possível compreender o funcionamento dos sistemas estruturais e verificar qual detém menor custo e melhor estabilidade estrutural.

4.1 Dimensionamento em CONCRETO ARMADO

O dimensionamento da estrutura em concreto armado foi realizado através do modelo de pórticos espaciais, foi obtido o travamento da estrutura aos esforços horizontais e resistência aos esforços verticais.

Os valores de deslocamento foram inferiores a 1,0 cm e mesmo o coeficiente Gama-Z tendo ultrapassado 0,03 do seu valor limite, ele não influenciará ao pórtico.

A tabela 17 ilustra os valores obtidos do coeficiente Gama-z.

Tabela 17 - Resultado coeficiente Gama-z - Concreto Armado.

Coeficiente Gama-Z		
	Eixo X	**Eixo Y**
Momento de tombamento de cálculo (tf.m)	11.88	9.96
Momento de 2a. ordem de cálculo (tf.m)	1.33	1.02
Gama-Z	1.13	1.11

Valor limite: 1.10

A tabela 18 apresenta o resultado dos deslocamentos globais devido a ação do vento.

Tabela 18 - Resultado deslocamentos globais devido ao vento - Concreto Armado.

Verificações	X+	X-	Y+	Y-
Altura total da edificação (cm)	640.00			
Deslocamento limite (cm)	0.38			
Deslocamento característico (cm)	1.49	-1.49	1.00	-1.00
gf2	0.30	0.30	0.30	0.30
Deslocamento combinações frequentes (cm)	0.45	-0.45	0.30	-0.30

Pavimento	Altura (cm)	Deslocamento combinações frequentes (cm)				Diferença (cm)				Limite (cm)
		X+	X-	Y+	Y-	X+	X-	Y+	Y-	
Cobertura	270.00	0.45	-0.45	0.30	-0.30	0.20	-0.20	0.13	-0.13	0.32
Superior	270.00	0.24	-0.24	0.17	-0.17	0.19	-0.19	0.13	-0.13	0.32
Térreo	100.00	0.05	-0.05	0.04	-0.04	0.05	-0.05	0.04	-0.04	0.12

Fonte: Eberick V10 (2018).

A tabela 19 apresenta a relação de material da estrutura em concreto armado.

Tabela 19 – Relação de material - Concreto Armado.

Pavimento	Elemento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m³)	Área de forma (m²)	Consumo de aço (kg/m³)	Peso treliças (kg)
Cobertura	Vigas	133.7	2.0	33.4	66.7	
	Pilares	118.7	1.1	21.9	108.6	
	Lajes	17.5	2.0	4.0	8.9	
	Total	269.9	5.0	59.3	53.4	0.0
Superior	Vigas	175.8	2.0	34.3	85.8	
	Pilares	127.4	1.1	21.9	116.5	
	Lajes	0.0	1.5	0.0	0.0	
	Total	303.1	4.7	56.2	64.6	0.0
Térreo	Vigas	179.3	2.0	34.1	87.7	
	Pilares	97.2	0.4	8.1	239.9	
	Lajes	0.0	1.6	0.0	0.0	
	Fundações	95.7	3.0	8.2	32.4	
	Total	372.2	7.0	50.3	52.9	0.0

Aço	Diâmetro (mm)	Peso + 10 % (kg)				
		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
CA50	6.3	87.1		7.6		94.7
CA50	8.0	155.1		9.8	95.7	260.7
CA50	10.0	62.9	202.8			265.8
CA50	12.5	39.8	74.6			114.4
CA50	16.0	33.4				33.4
CA60	5.0	110.3	65.9			176.2

		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	378.4	277.4	17.5	95.7	769.0
	CA60	110.3	65.9			176.2
	Total	488.7	343.3	17.5	95.7	945.2
Volume concreto (m³)	C-30	6.1	2.6	5.1	3.0	16.8
Área de forma (m²)		101.8	51.8	4.0	8.2	165.8
Consumo de aço (kg/m³)		80.2	132.4	3.4	32.4	56.3

Fonte: Eberick V10 (2018).

4.2 Dimensionamento em ALVENARIA ESTRUTURAL

O dimensionamento das paredes estruturais da estrutura em alvenaria estrutural garantiu o travamento aos esforços horizontais e resistência aos esforços verticais através da resistência do bloco.

A tabela 20 apresenta o resultado do dimensionamento das paredes no eixo X.

Tabela 20 - Dimensionamento final das paredes no eixo X.

TCC - THAYANA VIEIRA FERNANDES							
Condições:	γm=	2,5	γv=	1,00		V (m/s) =	45
Parede	fk (MPa)	Transição (kgf/m)	Vento+PP (MPa)	fk (MPa)	Se tração (MPa)	Pavimentos	Observações
PAR01X	0,72	1916	**Ok!**	**0,00**			
PAR02X	0,97	1933	**Ok!**	**0,00**			
PAR03X	0,92	2586	**Ok!**	**0,00**			
PAR04X	0,61	1382	**Ok!**	**0,00**			
PAR05X	0,48	1087	**Ok!**	**0,00**			
PAR06X	0,52	1138	**Ok!**	**0,00**			

Fonte: Autor (2018).

A tabela 21 apresenta o resultado do dimensionamento das paredes no eixo Y.

Tabela 21 - Dimensionamento final das paredes no eixo Y.

TCC - THAYANA VIEIRA FERNANDES							
Condições:	γm=	2,5	γv=	1,00		V (m/s) =	45
Parede	fk (MPa)	Transição (kgf/m)	Vento+PP (MPa)	fk (MPa)	Se tração (MPa)	Pavimentos	Observações
PAR07Y	0,33	1220	**Ok!**	**0,00**			
PAR08Y	1,08	2974	**Ok!**	**0,00**			
PAR09Y	0,95	2701	**Ok!**	**0,00**			
PAR10Y	1,73	4763	**Ok!**	**0,00**			
PAR11Y	1,43	4082	**Ok!**	**0,00**			
PAR12Y	1,06	2921	**Ok!**	**0,00**			
PAR13Y	1,58	4500	**Ok!**	**0,00**			
PAR14Y	0,59	1347	**Ok!**	**0,00**			
PAR15Y	0,56	1272	**Ok!**	**0,00**			
PAR16Y	1,17	3235	**Ok!**	**0,00**			
PAR15Y	2,38	7334	**Ok!**	**0,05**			
PAR16Y	2,38	7334	**Ok!**	**0,05**			

Fonte: Autor (2018).

A estabilidade global da estrutura foi verificada através do coeficiente de estabilidade global o qual foi menor que o limite.

A tabela 22 ilustra a soma dos momentos de inércia e resultado do coeficiente de estabilidade global.

Tabela 22 - Estabilidade global da estrutura - alvenaria estrutural.

Eixo X					Eixo Y			
Jx					Jy			
m4					m4			
13,34					4,40			
					,			
αx	0,01	α limite	0,60		αy	0,02	α limite	0,60
Verificação de estabilidade global em X					Verificação de estabilidade global em Y			
OK !					OK !			

Fonte: Autor (2018).

A tabela 23 apresenta a quantidade total de material utilizada na estrutura.

Tabela 23 – Quantidade total de material – alvenaria estrutural

		Total
Peso total +10% (kg)	CA50	371,0
	CA60	
Volume concreto m³		10,81
Volume graute m³		2,0
Blocos de concreto		4928

Fonte: Autor (2018).

4.3 ANÁLISE RELAÇÃO DE MATERIAIS

Foi realizada uma análise comparativa entre os materiais usados na alvenaria estrutural e concreto armado. Os preços relacionados aos materiais foram levantados através de pesquisa de preço de fornecedores da grande Florianópolis.

As tabelas 24 e 25 apresentam a quantidade de concreto/graute utilizado na estrutura em concreto armado e alvenaria estrutural respectivamente.

Tabela 24 - Relação de concreto - Concreto armado.

Relação de consumo de concreto - Concreto Armado				
Material	Quantidade	Unidade	Valor unitário	Sub-total
Concreto	16,8	m³	R$ 273,12	R$ 4.588,42

Fonte: Autor (2018).

Tabela 25 - Relação de concreto/graute - Alvenaria Estrutural

Relação de consumo de concreto/graute Alvenaria Estrutural				
Material	**Quantidade**	**Unidade**	**Valor unitário**	**Sub-total**
Graute	2,00	m³	R$ 220,96	R$ 441,92
Concreto	10,81	m³	R$ 273,12	R$ 2.952,43
				R$ 3.394,35

Fonte: Autor (2018).

As tabelas 26 e 27 apresentam a quantidade de aço utilizado na estrutura em concreto armado e alvenaria estrutural respectivamente.

Tabela 26 - Relação de aço - Concreto armado.

Relação de consumo de aço - Concreto Armado				
Material	**Quantidade**	**Unidade**	**Valor unitário**	**Sub-total**
5.0	176,2	kg	R$ 3,66	R$ 644,89
6.3	94,7	kg	R$ 4,89	R$ 463,08
8.0	260,7	kg	R$ 3,84	R$ 1.001,09
10.0	265,8	kg	R$ 3,61	R$ 959,54
12.5	114,4	kg	R$ 3,31	R$ 378,66
16.0	33,4	kg	R$ 5,55	R$ 185,37
				R$ 3.632,64

Fonte: Autor (2018).

Tabela 27 - Relação de aço - Alvenaria estrutural.

Relação de consumo de aço - Alvenaria Estrutural				
Material	**Quantidade**	**Unidade**	**Valor unitário**	**Sub-total**
5.0	5,0	kg	R$ 3,66	R$ 18,30
10.0	355	kg	R$ 4,89	R$ 1.735,95
Tela	11,0	kg	R$ 3,84	R$ 42,24
				R$ 1.796,49

Fonte: Autor (2018).

As tabelas 28 e 29 apresentam a quantidade de tijolos/blocos utilizado na estrutura em concreto armado e alvenaria estrutural respectivamente.

Tabela 28 - Relação de tijolos - Concreto armado.

Relação de blocos cerâmicos - Concreto armado				
Material	**Quantidade**	**Unidade**	**Valor unitário**	**Sub-total**
15x19x29	4881	uni.	R$ 1,60	R$ 7.809,60
Arg. Assent.	4	m³	R$ 200,00	R$ 800,00
				R$ 8.609,60

Fonte: Autor (2018).

Tabela 29 - Relação de blocos - Alvenaria estrutural.

Relação de blocos de concreto - Alvenaria Estrutural				
Material	**Quantidade**	**Unidade**	**Valor unitário**	**Sub-total**
40x15	4290	uni.	R$ 2,76	R$ 11.840,40
34x15	442	uni.	R$ 2,60	R$ 1.149,20
54x15	104	uni.	R$ 4,58	R$ 476,32
20x15	52	uni.	R$ 1,52	R$ 79,04
Compensador	40	uni.	R$ 1,12	R$ 44,80
Arg. Assent.	2	m³	R$ 200,00	R$ 400,00
				R$ 13.989,76

Fonte: Autor (2018).

As figuras 30 e 31 apresentam a quantidade revestimento utilizado na estrutura em concreto armado e alvenaria estrutural respectivamente.

Tabela 30 - Relação de revestimento - Concreto armado.

Relação de materiais para revestimento - Concreto armado				
Material	**Quantidade**	**Unidade**	**Valor unitário**	**Sub-total**
Chapisco	6,36	m³	R$ 266,00	R$ 1.691,76
Chapisco Rolado	1920	kg	R$ 1,00	R$ 1.920,00
Reboco	6,36	m³	R$ 210,00	R$ 1.335,60
				R$ 4.947,36

Fonte: Autor (2018).

Tabela 31 - Relação de revestimento - Alvenaria estrutural.

Relação de materiais para revestimento - Alvenaria Estrutural				
Material	**Quantidade**	**Unidade**	**Valor unitário**	**Sub-total**
Reboco	6,36	m³	R$ 210,00	R$ 1.335,60
				R$ 1.335,60

Fonte: Autor (2018).

A tabela 32 apresenta uma planilha global dos materiais utilizados na estrutura em concreto armado e alvenaria estrutural.

Tabela 32 - Relação Global dos materiais utilizados nas estruturas.

Planilha Global - Concreto armado / Alvenaria estrutural		
Material	**Alvenaria Estrutural**	**Concreto Armado**
Concreto/Graute	R$ 3.394,35	R$ 4.588,42
Aço	R$ 1.796,49	R$ 3.632,64
Bloco/Tijolo	R$ 13.989,76	R$ 8.609,60
Revestimento	R$ 1.335,60	R$ 4.947,36
Total	**R$ 20.516,20**	**R$ 21.778,01**

Fonte: Autor (2018).

Com a realização dos estudos pode-se perceber que o único material que teve o preço mais elevado na alvenaria estrutural foram os blocos de concreto.

O concreto armado ainda é o tipo de estrutura mais utilizado na região estudada, no entanto levando em consideração a proposta da edificação enquadrada como habitação popular, a estrutura em alvenaria estrutural se apresenta mais economicamente viável. Isto porque além de garantir a estabilidade global, por se tratar de uma construção modular gera menos resíduos de obra e retrabalho.

5 CONCLUSÃO

Com o aumento da população têm surgido a necessidade de construir-se mais moradias. Em muitos casos as habitações sociais fornecidas pelo governo se encontram em bairros distantes dificultado o deslocamento e desenvolvimento das famílias alocadas.

O estudo de habitações com um preço reduzido que pudessem ser construídas em uma região mais central iria trazer benefício as famílias e desenvolvimento ao entorno.

Dentro da construção civil os sistemas mais utilizados para construção é o concreto armado e a alvenaria estrutural.

A partir desta informação esta pesquisa apresentou os parâmetros de cálculo para o dimensionamento de uma estrutura em concreto armado e alvenaria estrutural.

O dimensionamento destas estruturas teve o auxílio de softwares e planilhas de dimensionamento.

Para o dimensionamento da estrutura em concreto armado foi utilizado como ferramenta de cálculo o software Eberick V10, por ele foi obtido a garantia de estabilidade global da estrutura e o quantitativo de materiais.

No caso da estrutura em alvenaria estrutural inicialmente foi utilizado o software QiAlvenaria, pois seu fornecedor é o mesmo do Eberick V10, configurando uma linguagem muito próxima de dimensionamento.

No entanto a versão demonstrativa é limitada ao cálculo em concreto armado, desta forma não foi possível continuar o dimensionamento da estrutura pelo software da AltoQi.

Apesar de ter algumas diferenças entre os softwares, o ALVEST do TQS foi utilizado para fins de comparação. Utilizando a versão demonstrativa fornecida pelo

TQS foi lançada a estrutura e inserido os seus dados, mas no momento em que o processamento global foi executado não foi possível calcular a estrutura devido à restrição de comprimento do trecho de parede.

Com estes problemas encontrados nestes dois softwares, para obter o dimensionamento em alvenaria estrutural foram utilizadas planilhas disponibilizadas por um escritório de estruturas de Florianópolis, verificada por engenheiros capacitados. Os critérios de cálculo seguem como o do software TQS Alvest baseados na NBR 15961-1/2011.

Com os resultados dos dimensionamentos das estruturas em concreto armado e alvenaria estrutural foi atestado a estabilidade da estrutura e o quantitativo de materiais para cada sistema.

Como resultado da pesquisa foi atestado que os dois sistemas estruturais garantem estabilidade estrutural a edificação, no entanto no quesito benefício econômico a estrutura executada em alvenaria estrutural, ainda que com um valor mais elevado dos blocos, apresenta um custo menor. A alvenaria estrutural é uma estrutura modular, isto reduz significativamente o retrabalho diminuindo os custos da obra. Além disso o tempo de execução e acabamento são menores, pois os blocos têm um acabamento final menos irregular, em alguns casos podem ser pintados sem a execução de reboco.

Desta forma a estrutura que apresenta além da estabilidade estrutural a edificação, o menor custo de execução é a Alvenaria Estrutural.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Após o dimensionamento das estruturas em concreto armado e alvenaria estrutural e a análise de suas estabilidades estruturais e materiais, foram identificados aspectos os quais podem ser explorados e tidos como base para trabalhos futuros ou até mesmo para a extensão deste apresentado, sendo eles:

- Para comparação direta entre tipos de estrutura, utilizar para os dois sistemas o mesmo tipo de laje e fundação;
- Por se tratar de uma habitação social, utilizar a tabela SINAPI para relacionar o preço dos materiais e fazer a comparação entre a relação de materiais dos modelos estruturais;

- Quantificar as formas utilizadas em cada sistema estrutural, pois este material é largamente utilizado na estrutura em concreto armado interferindo diretamente na comparação dos custos;
- Apresentar o quantitativo separado por: fundação, supraestrutura e vedação, para melhor entendimento do seu uso e posterior comparação;

6 REFERÊNCIAS

PARSEKIAN, Guilherme A. (Org.). Parâmetros de projeto de alvenaria estrutural com blocos de concreto. São Carlos: EduFSCar, 2012.

RAMALHO, Marcio A.; CORRÊA, Márcio R. S. Projeto de edifícios de alvenaria estrutural. São Paulo: Pini, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15961-1: Alvenaria Estrutural- Blocos de Concreto. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto- Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. 2014.

_____. NBR 15961-2: Alvenaria estrutural — Blocos de concreto — Parte 2: Execução e controle de obras - Requisitos. 2011.

_____. NBR 15961-1: Alvenaria estrutural — Blocos de concreto Parte 1: Projeto- Requisitos. 2011.

CAMACHO, Jefferson S. Projeto de edifícios de alvenaria estrutural. 2006. 53 f. Monografia – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006. Disponível em:<http://www.nepae.feis.unesp.br/Apostilas/Projeto%20de%20edificios%20de%20alvenaria%20estrutural.pdf>. Acesso em: 20 maio 2018.

FREIRE, Bruno S. Sistema construtivo em alvenaria estrutural de bloco de concreto. 2007. 44f. TCC – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2007. Disponível em: < http://engenharia.anhembi.br/tcc-07/civil-09.pdf> Acesso em: 20 maio 2018.

TAUIL, Carlos Alberto; NESE, Flávio José M. Alvenaria estrutural. 1. Ed. São Paulo: Pini, 2010.

Botelho, Manoel Henrique Campos; Marchetti, Osvaldemar. Concreto Armado Eu te amo. São Carlos, SP: 2015.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO, Jasson Rodrigues de. Cálculo e Detalhamento de estruturas usuais de concreto armado segundo a NBR 6118:2003. São Carlos, SP: 2007.

http://www.elementalchile.cl/en/projects/quinta-monroy/> Acesso em:25 maio 2018

https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-sistemas-construtivos/ > Acesso em: 25 maio 2018.

https://www.escolaengenharia.com.br/alvenaria-estrutural/ > Acesso em: 25 maio 2018.

https://engenhariaverde.wordpress.com/historia-da-engenharia-civil/ > Acesso em: 25 maio 2018.

https://www.ufrgs.br/napead/repositorio/objetos/alvenaria-estrutural/blocos_concreto.php > Acesso em: 25 maio 2018.

https://www.archdaily.com.br/br/01-156685/habitacao-villa-verde-slash-elemental > Acesso em: 25 maio 2018.

https://pt.slideshare.net/thiagolf7/tensoes-emvigas-1 > Acesso em: 25 maio 2018.
http://equipedeobra17.pini.com.br/construcao-reforma/48/raio-x-estrutural-conheca-em-detalhes-a-funcao-de-cada-259769-1.aspx > Acesso em: 25 maio 2018.

VARELA, Marcelo. Disciplina Estabilidade. 2018. Disponível em:<https://docente.ifrn.edu.br/marciovarela/disciplinas/estabilidade/dimensionamento-estrutural-parte-1>. Acesso em: 25 maio 2018.

SANTOS, Santos P.; MUZARDO, Cassiane D.; PINHEIRO, Libânio M. 2003. Vigas. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~almeida/cv714/Vigas.pdf>. Acesso em: 25 maio 2018.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. 2017. Pilares em concreto armado. Disponível em: <http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto2/Pilares.pdf>. Acesso em: 25 maio 2018.

PINHEIRO, Libânio M.; SCADELAI, Murilo A. 2003. Estruturas de Concreto – Pilares. Disponível em<http://www.gdace.uem.br/romel/MDidatico/EstruturasConcretoII/16%20Pilares.pdf>. Acesso em: 25 maio 2018.

SANTOS, Santos P.; MUZARDO, Cassiane D.; PINHEIRO, Libânio M. 2011. Disponível em:<http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/concreto/Textos/11%20Lajes%20Macicas.pdf>. Acesso em: 05 agosto 2018.

<https://www.escolaengenharia.com.br/laje-pre-moldada/>. Acesso em: 17 setembro 2018.

<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/pre-moldados/ABCIC_IVAN_JOPPERT-%20Estacas.pdf>. Acesso em: 11 novembro 2018.

<http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/GF05-Funda%C3%A7%C3%B5es-Profundas-Escolha-Estaca-Consid-Norma.pdf>. Acesso em: 25 maio 2018.

RIBEIRO, Lucas. 2018. Disponível em:<http://tecplaner.com.br/levantamento-quantitativo-do-projeto/>. Acesso em: 07 dezembro 2018.

<http://help.altoqi.com.br/Eberick/default.aspx#pageid=altoqi_eberick>. Acesso em: 08 dezembro 2018.

<https://store.tqs.com.br/systems/tqs-treinamento/a3jl66mpqc>. Acesso em: 05 dezembro 2018.