

INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA

ANA PAULA DOS SANTOS NOGUEIRA

LARISSA CRISTINA DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE VIGAS DE TRANSIÇÃO EM EDIFÍCIOS
COM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

CARATINGA

2018

ANA PAULA DOS SANTOS NOGUEIRA
LARISSA CRISTINA DE OLIVEIRA
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE VIGAS DE TRANSIÇÃO EM EDIFÍCIOS
COM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Civil das Faculdades DOCTUM de
Caratinga, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.**

Área de concentração: Análise estrutural

Orientador: Prof. Jose Salvador Alves

CARATINGA
2018

TERMO DE APROVAÇÃO

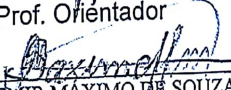
O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE VIGAS DE TRANSIÇÃO EM EDIFÍCIOS COM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO, elaborado pelo(s) aluno(s) ANA PÁULA DOS SANTOS NOGUEIRA e LARISSA CRISTINA DE OLIVEIRA foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA CIVIL das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

Caratinga 12/12/2018



JOSÉ SALVADOR ALVES
Prof. Orientador



CLAUDEMIR MAXIMO DE SOUZA
Prof. Avaliador 1



SIDINEI SILVA ARAÚJO
Prof. Examinador 2

DEDICATÓRIA

Agradeço a minha vó Maria Laureano por todos os ensinamentos, por acalmar meu coração nos momentos de aflição, por estar ao meu lado incondicionalmente. Agradeço também a Deus por sempre colocar pessoas maravilhosas no meu caminho como Ismael que foi meu alicerce, que deu vida aos meus sonhos sem medir esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida. Agradeço a Deus, que se mostrou engenhoso, e foi criativo seu fôlego de vida em mim, me foi sustento e me deu coragem para questionar realidades e propor sempre um novo mundo de possibilidades.

(Larissa C.de Oliveira)

DEDICATÓRIA

“Consagro ao senhor todas as tuas obras e os teus planos serão bem-sucedidos.” (Provérbios 16.3). A minha amada família, ao meu pai Jucimar de Souza Nogueira, que hoje não se encontra mais presente entre nós, mas continua sendo meu super-herói, obrigada por tudo que me ensinou durante o tempo que Deus permitiu. A minha mãe Marinalva que esbanja amor, carinho e muita sabedoria. Aos meus irmãos Jessica, Miriam e Daniel por vocês eu daria tudo, meu amor por vocês é incondicional. Por fim e não menos importante agradeço aos meus amigos de classe, meu muito obrigado por terem feito parte da minha vida nesses cinco anos de luta, independente do caminho que trilharmos para mim vocês são mais que vencedores.

(Ana Paula S. Nogueira)

EPIÍGRAFE

"Se fracassar, ao menos que fracasse ousando grandes feitos, de modo que a sua postura não seja nunca a dessas almas frias e tímidas que não conhecem nem a vitória nem a derrota." **Theodore Roosevelt (2016)**

RESUMO

A concepção da estrutura de um edifício consiste em estabelecer um arranjo adequado para os elementos estruturais de modo a assegurar que o mesmo possa atender às finalidades para as quais foi projetado atendendo o máximo possível o modelo base do projeto arquitetônico, que prevê o posicionamento dos elementos estruturais que são lajes, vigas, pilares e fundação. Muitas vezes a posição dos pilares pode não coincidir entre pavimentos com diferentes usos, sendo necessário considerar pilares que nascem em um determinado pavimento, sobre uma viga. Nesse caso para redirecionar as cargas aos apoios mais próximos empregam-se vigas de transição. Porém o emprego dessas vigas é um dos principais pontos com impacto no desempenho econômico de uma estrutura. Uma estrutura com poucos pilares normalmente tem seu custo elevado, pois exige vãos maiores, com grandes seções e um grande volume de concreto e aço. Esse estudo então desenvolveu o pré-dimensionamento de seções transversais de vigas em concreto armado, submetidas a cargas concentradas provenientes de pavimentos superiores, representando a situação típica de vigas de transição, em edifícios de 4, 6, 8, 10 andares, analisados com diferentes distâncias entre os apoios, analisou e verificou possíveis alturas e larguras de vigas de transição, e por fim foi feita uma análise de rigidez variando a seção das vigas das lajes superiores com a mesma dimensão mínima resistente da viga de transição, com auxílio de um software de cálculo estrutural, com base na NBR 6118/2014 - Projeto de estruturas de concreto procedimento visando atingir as alturas mínimas necessárias para dimensionamento aos estados-limites últimos e de serviço, também foi analisado o custo de cada viga. Com essas análises constatou-se que aumento da altura não resulta na diminuição do valor da seção ao contrário, resultou em um aumento de armadura visto que a viga se torna mais rígida resistindo assim a maiores esforços vindos dos pavimentos superiores. Em relação à variação de largura, podemos dizer que não se mostrou favorável, pois mesmo diminuindo os esforços atuantes sobre a viga teve que manter a mesma altura para que a estrutura atendesse aos critérios de resistência definidos pela norma. Em relação ao estudo de rigidez das vigas superiores notou-se uma diminuição na armadura da mesma, porém quando avaliada em relação ao custo total da estrutura não se torna interessante. Por fim, a diminuição do vão efetivo demonstrou-se mais eficaz para a limitação da altura.

Palavras-Chave: Viga de transição. Concreto armado. Pré-Dimensionamento.

ABSTRACT

The conception of the structure of a building consists about establishing a suitable arrangement for the structural elements in order to ensure that it can meet the purposes for which it was designed with the maximum possible support for the basic model of the architectural project, which provides for the positioning of the elements structures that are slabs, beams, pillars and foundation. Often the position of the pillars may not coincide between floors with different uses, being necessary to consider pillars that are born in a certain floor, on a beam. In this case transitional beams are used to redirect loads to the nearest supports. However, the use of these beams is one of the main points with an impact on the economic performance of a structure. A structure with few pillars usually has its high cost because it requires larger spans, with large sections and a large volume of concrete and steel. This study then developed the pre-dimensioning of cross-sections of beams in reinforced concrete subjected to concentrated loads from upper floors, representing the typical situation of transition beams, in buildings of 4, 6, 8, 10 floors, analyzed with different distances between supports, analyzed and verified possible heights and widths of transition beams, and finally a stiffness analysis was done by varying the section of the beams of the upper slabs with the same minimum resistant dimension of the transition beam, with the aid of software of structural calculation, based on the NBR 6118/2014 - Project of concrete structures procedure aiming to reach the minimum heights required for sizing to the final and service states limit, was also analyzing the cost of the session. With these analyzes it was observed that increase of height does not result in the decrease of the value of the session to the contrary, resulted in an increase of armour as the beam becomes more rigid resisting therefore greater efforts coming from the upper pillars. In relation to the width variation, we can say that it was not favourable, because even reducing the forces acting on the beam had to maintain the same height so that the structure met the resistance criteria defined by the standard. In relation to the analysis of stiffness of the upper beams it was noticed a decrease in the reinforcement of the same, but when evaluated in relation to the total cost of the structure does not become interesting. Finally, the decrease in effective clearance was shown to be more effective in limiting height.

Key words: Transitional beam, Reinforced concrete, Pre-dimensioning.

ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CA – Concreto Armado

CP – Carga Permanente

ELS – Estado-limite de deformação excessiva

ELU – Estado-limite Último

ℓ_{ef} – Vão efetivo

Mpa – Mega Pascal

NBR – Norma Brasileira de Regulamentação

SU – Sobrecarga de Utilização

TCPO – Tabela de Composição de Preços para Orçamento

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema estrutural de viga de transição.....	16
Figura 2 – Vão efetivo.....	24
Figura 3 – Diagrama de momento fletor.....	28
Figura 4 – Fluxograma de Classificação da pesquisa.....	32
Figura 5 – Planta de forma pavimento-tipo com vão 6,00m.....	35
Figura 6 – Planta de forma pavimento-tipo com vão 8,20m.....	35
Figura 7 – Planta do térreo com vão de 6,00m.....	36
Figura 8 – Planta do térreo com vão de 8,20m.....	36

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Peso específico dos materiais de construção.....	26
QUADRO 2– Variação de alturas analisadas para o vão de 6,00m.....	37
QUADRO 3 – Variação de alturas analisadas para o vão de 8,20m.....	38
QUADRO 4– Variação de larguras analisadas para o vão de 6,00m.....	39
QUADRO 5 – Variação de larguras analisadas para o vão de 8,20m.....	39
QUADRO 6 – Composição de custos relacionados ao concreto.....	40
QUADRO 7 – Composição de custos relacionados a armadura de aço.....	41
QUADRO 8 – Composição de custos relacionados a fôrmas de vigas.....	42
QUADRO 9 – Resumo de orçamento para o vão de 6,00m.....	44
QUADRO 10 – Resumo de orçamento para o vão de 8,20m.....	45
QUADRO 11 – Análise percentual de armadura conforme a variação da altura das sessões com vão de 6,00m.....	46
QUADRO 12 – Análise percentual de armadura conforme a variação da altura das sessões com vão de 8,20m.....	47
QUADRO 13 – Análise em percentual dos esforços de acordo com a variação da altura das sessões com vão de 6,00m.....	48
QUADRO 14 – Análise em percentual do aumento dos esforços de acordo com a variação da altura das sessões com vão de 8,20m.....	49
QUADRO 15 – Análise em percentual do aumento de armadura de acordo com a variação da largura das sessões com vão de 6,00m.....	50
QUADRO 16 – Análise em percentual do aumento de armadura de acordo com a variação da largura das sessões com vão de 8,20 m.....	51
QUADRO 17 – Análise em percentual do aumento dos esforços de acordo com a variação da largura das sessões com vão de 6,00.....	52
QUADRO 18 – Análise em percentual do aumento dos esforços de acordo com a variação da altura das sessões com vão de 8,20m.....	52
QUADRO 19 – Taxa de armadura com aumento de rigidez nas vigas superiores....	54
QUADRO 20 – Orçamentação total da estrutura com aumento de rigidez.....	55

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Contextualização	15
1.2.1 Objetivo geral	16
1.2.2 Objetivos específicos	17
1.3 Estrutura do trabalho	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 Concreto armado	18
2.2 Normas Técnicas da ABNT	19
2.2.1 NBR 6118/2014 Projeto de estruturas de concreto – Procedimento	19
2.2.2 NBR 6120/1980 Cargas para o cálculo de estruturas de edificações	19
2.3 TCPO - Tabela de Composição de Preços para Orçamentos	19
2.4 Cypecad	20
2.5 Vigas	20
2.5.1 Vigas de transição	21
2.6 Cálculo da viga de transição	22
2.6.1 Pré-dimensionamento	22
2.6.2 Altura x largura	22
2.6.3 Vão efetivo	23
2.6.4 Carregamentos	24

2.6.5	Peso próprio	25
2.6.6	Alvenaria	25
2.6.7	Ações das lajes	27
2.6.8	Ação de vigas	27
2.6.9	Momentos fletores de cálculo	27
2.7	Dimensionamento da armadura	28
2.7.1	Armadura Longitudinal	28
2.7.2	Armadura transversal	29
2.7.3	Esforços Cortantes de Cálculo	29
2.7.4	Estado-limite de deformação excessiva (ELS)	30
2.7.5	Estado-limite último (ELU)	30
2.8	Detalhamento da viga de transição	31
3.	METODOLOGIA	32
3.1	Classificação da pesquisa	32
3.2	Procedimentos metodológicos	33
3.2.1	Descrição dos projetos	33
3.2.2	Elaboração dos projetos utilizados na pesquisa	34
3.3	Alturas	37
3.4	Larguras	38
3.5	Aumento de rigidez nas vigas superiores	39

3.6 Composições de custos	40
4. RESULTADOS E ANÁLISES	43
4.1 Definição da sessão transversal mais adequada para cada caso atendendo a ELU e ELS.....	44
4.2 Análise da variação de largura da sessão mínima resistente	50
4.3 Análise do aumento de rigidez para as vigas superiores as de transição...	53
5. CONCLUSÃO	56
REFERÊNCIAS.....	58
APÊNDICE A	61
APÊNDICE B	66
APÊNDICE C	68
APÊNDICE D	70
APÊNDICE E	72
APÊNDICE F.....	74
ANEXO I.....	76
ANEXO II.....	77
ANEXO III.....	78

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A concepção da estrutura de um edifício em concreto armado consiste em estabelecer um arranjo adequado para os elementos estruturais, de modo a assegurar que o mesmo possa atender às finalidades para as quais foi projetado, resistir às ações e as transmitir para o solo. Seus elementos principais são: Lajes, vigas, pilares e fundação.

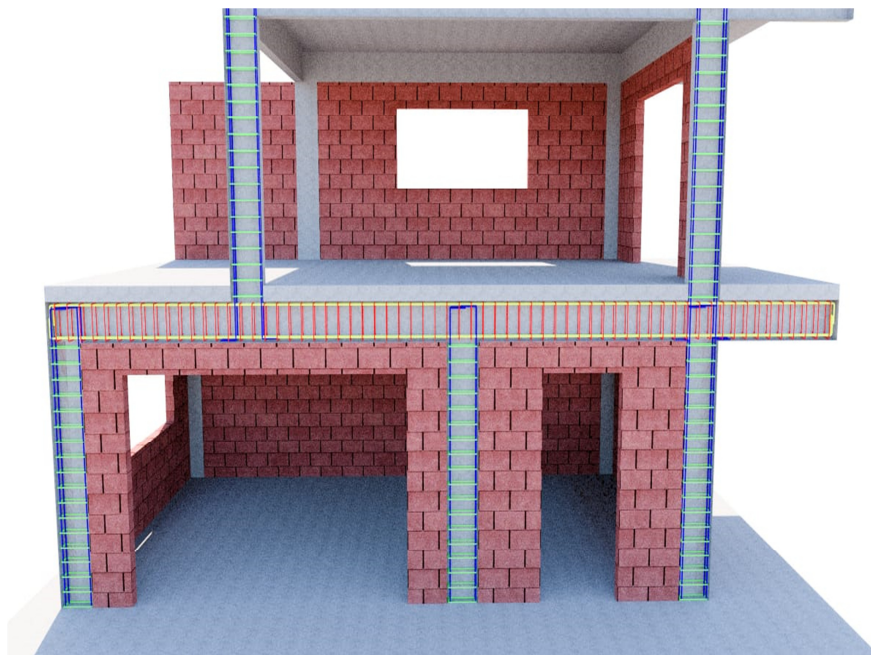
Uma das principais preocupações do engenheiro estrutural deverá ser a interação com os demais projetos, em especial com o arquitetônico, o qual direcionará grande parte das decisões tomadas. Portanto o posicionamento dos elementos estruturais precisa garantir resistência segurança, economia e durabilidade da edificação.

Muitas vezes a posição dos pilares pode não coincidir entre pavimentos com diferentes usos, sendo necessário considerar pilares que nascem em um determinado pavimento, sobre uma viga como no caso de garagens, lojas e apartamentos que se sobrepõem em uma edificação de multipavimentos.

Nesse caso quando há necessidade de redirecionar uma carga concentrada para os pilares próximos é necessário o dimensionamento de uma viga mais resistente denominada viga de transição. Que tem a função de receber a carga de um ou mais pilares e transmitir estas cargas para outros pilares mais próximos. Devido a magnitude da carga aplicada, para que o elemento de transição tenha rigidez para resistir às solicitações a seção transversal necessária torna-se grande em comparação com outras vigas da edificação.

Na prática, é uma viga cada vez mais usada porem sempre que possível deve ser evitada, tendo em vista que elevadas seções resultam em um custo elevado, causando problemas para o cálculo da estrutura e para o projeto de arquitetura exigindo um dimensionamento cauteloso. A figura 1 representa o modelo típico de uma viga de transição.

Figura 1 - Esquema estrutural de uma viga de transição.



Fonte: Os autores (2018)

Para colaborar com esta questão, foram analisadas e verificadas possíveis alturas e larguras de vigas de transição, submetidas a um carregamento concentrado no centro do vão, variando a distância entre apoios, e as cargas concentradas. Buscando as alturas mínimas necessárias de dimensionamento para os estados-limite últimos e de serviço.

Com intuito de compreender melhor o dimensionamento de uma viga de transição, de forma que possamos contribuir apresentando a melhor seção para seu dimensionamento, considerando diferentes seções transversais da viga de transição, escolhendo a que melhor se adequa a planta de arquitetura e aos cálculos do dimensionamento.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Analisar a tipologia mais adequada economicamente, para uma viga de transição de um edifício de estrutura em concreto armado, com vãos livres de 6,00m e 8,20m, para 4, 6, 8 e 10 pavimentos, com carga concentrada no meio do vão e considerando pórtico espacial.

1.2.2 Objetivos específicos

A presente pesquisa tem como objetivos específicos os seguintes tópicos:

- Determinar a menor seção transversal da viga de transição possível atendendo os estados limite último e de serviço.
- Avaliar a influência da variação da altura da viga de transição no custo da mesma
- Avaliar a influência da variação da largura da viga de transição no custo da mesma
- Avaliar a influência da rigidez da estrutura no custo da viga de transição e em toda a estrutura
- Definir a seção transversal mais adequada para a viga de transição

1.3 Estrutura do trabalho

CAPÍTULO 1. Aborda o capítulo introdutório onde se apresenta a contextualização os objetivos e a estrutura do trabalho.

CAPÍTULO 2. Apresenta a fundamentação teórica para o desenvolvimento do trabalho, abordando teoricamente a metodologia adotada para cálculo das vigas de transição de acordo com as normas que regem as estruturas em concreto armado.

CAPÍTULO 3. Descreve a metodologia adotada para o dimensionamento de vigas de transição em concreto armado variando dimensões, carregamentos e vãos de acordo com as normas que regem uma estrutura buscando encontrar um melhor modelo.

CAPÍTULO 4. Discute-se os resultados obtidos, para esclarecimento do melhor modelo para cada caso correlacionando-os com os critérios normativos de cálculo.

CAPÍTULO 5. Capítulo reservado para discussões e considerações finais sobre as análises feitas sobre os resultados alcançados neste trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Concreto armado

“O concreto é um material composto de água, cimento e agregados, o concreto sozinho não é considerado como elemento resistente, pois pouco resiste a tração sua resistência maior é a compressão. Portanto para aumentar a resistência da viga é importante associar o concreto ao aço, um material que tem boa resistência a tração e pode se considerar mais deformável. Com isso o concreto armado é obtido por meio da associação entre concreto simples e armadura” (CARVALHO, 2016).

“O concreto é o material resultante da mistura dos agregados, naturais ou britados com cimento e água. Quando necessário são acrescentados aditivos químicos e adições de minerais que melhoram a característica do concreto fresco ou endurecido. Já o concreto armado é o material composto, obtido pela associação do concreto com barras de aço, convenientemente colocadas em seu interior. Em virtude da baixa resistência a tração do concreto, as barras de aço cumprem a função de absorver os esforços de tração na estrutura, também servem para aumentar a capacidade de carga das peças comprimidas” (ARAÚJO, 2014).

De acordo com a NBR 6118/2014 são denominados elementos de concreto armado “aqueles que o comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência”.

O concreto é uma mistura simples de cimento, areia, pedra e água. A sua maior vantagem é o seu baixo custo quando analisado em relação à resistência. Sem dúvida alguma, apesar de o concreto simples ser um excelente material por ter elevada resistência a compressão, a verdadeira revolução deste material nobre para a construção civil foi e é o concreto armado. O uso de aço no concreto armado foi um fator fundamental para o desenvolvimento da construção, isso se tornou possível graças á boa aderência entre concreto e aço.

2.2 Normas Técnicas da ABNT

2.2.1 NBR 6118/2014 Projeto de estruturas de concreto – Procedimento

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da norma brasileira (NBR) 6118/2014, define critérios a serem obedecidos durante as etapas de dimensionamento e detalhamentos de vigas.

Com o intuito de considerar diversos fatores que influenciam diretamente nestas etapas de projeto e execução como o desempenho em serviço e durabilidade, a segurança quanto a ruptura da edificação e a capacidade da estrutura manter-se em condições plenas de utilização durante sua vida útil.

2.2.2 NBR 6120/1980 Cargas para o cálculo de estruturas de edificações

A norma NBR 6120 é a que define as cargas para projetos estruturais, onde fixa as condições exigíveis para determinação dos valores das cargas que devem ser consideradas no projeto de estrutura de edificações.

A seguir, serão estabelecidos definições e parâmetros de projeto definidos pelas normas do trabalho proposto. E também, serão descritos conceitos sobre os pontos pesquisados.

2.3 TCPO - Tabela de Composição de Preços para Orçamentos

Há mais de 60 anos no mercado a TCPO tem sido alicerce para o trabalho de construtores, incorporadores e contratantes de obras, públicas e privadas. Além do mais, seus benefícios englobam escolhas que potencializam o desempenho da mão de obra, detalhando a orçamentação, permitindo comparativos e atenção aos itens necessários da obra.

A tabela TCPO abrange métodos de composições de custos parciais. Com ideia de nortear empreendedor ao processo de orçamentos para as edificações civis. Destacando-se que para chegar ao resultado final do orçamento da obra, o empreendedor precisa fazer sua própria composição de materiais referentes e cruzarem-se os dados de referências de acordo com a planilha do TCPO, os preços são fornecidos de acordo com a sua região. Além disso a tabela serve também para mensurar o desempenho da equipe de trabalho.

A TCPO é complexa, mais também de suma eficácia. Oferece aos profissionais ligados aos custos uma fonte confiável de informações para estimativas de consumos e produtividades. Podendo engajar a construtora da inércia, dando um planejamento, surtindo um feito positivo nas finanças da empresa.

Para realizar a análise orçamentária utilizamos a TCPO como base para a composição de custos do aço, concreto e fôrmas.

2.4 Cypecad

De acordo com as informações obtidas no site, acessado em 22/09/2018. O CYPECAD é um software para projeto estrutural em concreto armado, pré-moldado, protendido e misto de concreto e aço que integra as etapas de lançamento do projeto, análise e cálculo estrutural, dimensionamento e detalhamento final dos elementos. Os meios para detalhamento e dimensionamento estão de acordo com as normas brasileiras de concreto armado (NBR 6118:2014), fundações (NBR 6122), carregamentos (NBR 6120), barras (NBR 7480), ventos (NBR 6123), ações e combinações (NBR 8681).

É um dos principais softwares de cálculo do mercado e um dos mais confiáveis, os critérios de cálculo estão sempre de acordo com as mais recentes normas disponibilizadas e traz em seu conjunto de normas as principais normas nacionais e internacionais, tornando o software utilizável em várias partes do mundo.

2.5 Vigas

A norma regulamentadora NBR 6118/2014 item 14.4.1 define vigas como, “elementos lineares onde a flexão é preponderante”.

Pinheiro, Muzardo, & Santos (2004) as define como, “Barras horizontais que delimitam as lajes, suportam paredes e recebem ações das lajes ou de outras vigas e as transmitem para os apoios”.

Com base nos autores citados podemos descrever então as vigas como bloco retangular de concreto armado dimensionado para suportar e distribuir o peso da laje para os pilares. Podem ser classificadas em três tipos: isoladas, contínuas ou em balanço. Seus esforços mais relevantes são momento fletor e força cortante. Sua resistência se altera conforme sua altura, quanto mais alta, mais resistente.

2.5.1 Vigas de transição

Segundo Pinheiro, Muzardo, & Santos (2004) “em alguns casos as vigas podem receber cargas de pilares, nesses casos essas vigas são denominadas vigas de transição.”

Quando há necessidade de redirecionar uma carga concentrada para os pilares próximos esse fato se denomina viga de transição De acordo com Ching, S.Onouye, & Zuberbuhler (2015):

“Qualquer desvio no percurso de uma carga vertical exige que a carga seja redirecionada horizontalmente, por uma viga ou treliça de transição, até apoios verticais alternativos – o que resulta em carregamentos e alturas maiores dos componentes horizontais.” (CHING, S.Onouye, & Zuberbuhler, 2015)

Segundo Clímaco (2008), é importante especificar as cargas atuantes as associando a elementos que serão capazes de fornecer a resistência adequada.

“Quando nenhuma das soluções encontradas para a posição dos pilares nos pavimentos superiores satisfaz ao andar térreo (pilotis, lojas, etc.), sendo necessário mudar sua posição, o viga do teto do andar térreo deverá fornecer apoio conveniente aos pilares superiores, funcionando como estrutura de transição” (CLÍMACO, 2008)

Araújo, (2014) relata que, “Quando um pilar “nasce” em um andar acima das fundações, ele se apoia em uma viga de transição, que por sua vez, recebe uma carga concentrada igual á força normal do pilar”.

De acordo com os autores acima podemos definir viga de transição como: uma viga que recebe uma alta carga concentrada e tem como função redistribuir os pontos de concentração desta carga. São muito usadas em edifícios que possuem garagens, lojas e salão de festas no térreo ou subsolo.

Exige uma execução cuidadosa levando em consideração que é responsável pela sustentação de todos os andares do edifício. É uma viga cada vez mais usada e deve ser evitada, quando possível, pois se tratam de vigas extremamente

carregadas em aço e com grandes seções, causando assim problemas para o cálculo da estrutura.

No entanto, devido as necessidades arquitetônicas de mais espaços livres, torna-se de grande importância a introdução desse elemento estrutural capaz de transferir cargas para os pilares próximos.

2.6 Cálculo da viga de transição

2.6.1 Pré-dimensionamento

De acordo com Bastos (2015) “as forças atuantes nas vigas devem ser analisadas e calculadas em todos os vão da viga, e em cada trecho do vão, se este contiver trechos de carga diferentes. Geralmente, as ações atuantes nas vigas são derivadas de paredes, lajes, e de outras vigas, de pilares e sempre o peso próprio da viga.”

Segundo Pinheiro, Muzardo, & Santos (2004), “o pré-dimensionamento dos elementos estruturais é necessário para que se possa calcular o peso próprio da estrutura que é a primeira parcela considerada no cálculo das ações”.

Portanto o primeiro passo para o pré-dimensionamento das vigas consiste em identificar os elementos iniciais. Entre eles abrangem, classes do concreto e do aço e o cobrimento, forma estrutural, com as dimensões preliminares em planta, distância até o andar superior, reações de apoio das lajes, cargas das paredes, dimensões das seções transversais das vigas, atingidas num pré-dimensionamento, posteriormente, devem ser observados, esquema estático, vãos e dimensões da seção transversal.

2.6.2 Altura x largura

A norma NBR 6118/2014 especifica que “A seção transversal das vigas não deve ter largura inferior a 15 cm em vigas-parede, e 12 cm nas demais vigas. Em casos incomuns, esses valores podem ser reduzidos até 10 cm”.

“Por via de regra, a preferência é de que as vigas não fiquem expostas para que não possam ser percebidas. Para que isso seja possível a largura das vigas deve ser escolhida após determinado a espessura da parede, que depende

basicamente das alvenarias e da espessura da argamassa de revestimento nos dois lados da parede” (BASTOS, 2015).

“Podemos observar que a altura da viga depende de diversos fatores, e ela deve ser suficiente para garantir uma alta resistência mecânica e pequena deformação. Depende diretamente do vão, do carregamento e da resistência do concreto”(ARAÚJO, 2014). Conforme os autores a altura tem relação direta com o projeto arquitetônico e também com a resistência da estrutura.

2.6.3 Vão efetivo

Além da seção transversal, o comprimento da viga é outro fator determinante geometricamente. Existem dois tipos de vãos, vão livre e vão efetivo. Vão livre é basicamente a distancia livre entre os apoios e vão efetivo a distancia entre os eixos dos apoios. (BASTOS, 2015)

“Vão livre (ℓ_0) é a distância entre as faces dos apoios, o vão efetivo (ℓ_{ef}), também conhecido como vão teórico. No entanto, é usual adotar o vão teórico como sendo, simplesmente, a distância entre os eixos dos apoios. Nas vigas em balanço, vão livre é a distância entre a extremidade livre e a face externa do apoio, e o vão teórico é a distância até o centro do apoio” (PINHEIRO, MUZARDO, & SANTOS, 2004).

A norma 6118/2014 item 14.6.2.4, vão efetivos de vigas, pode ser calculado pela EQUAÇÃO 1:

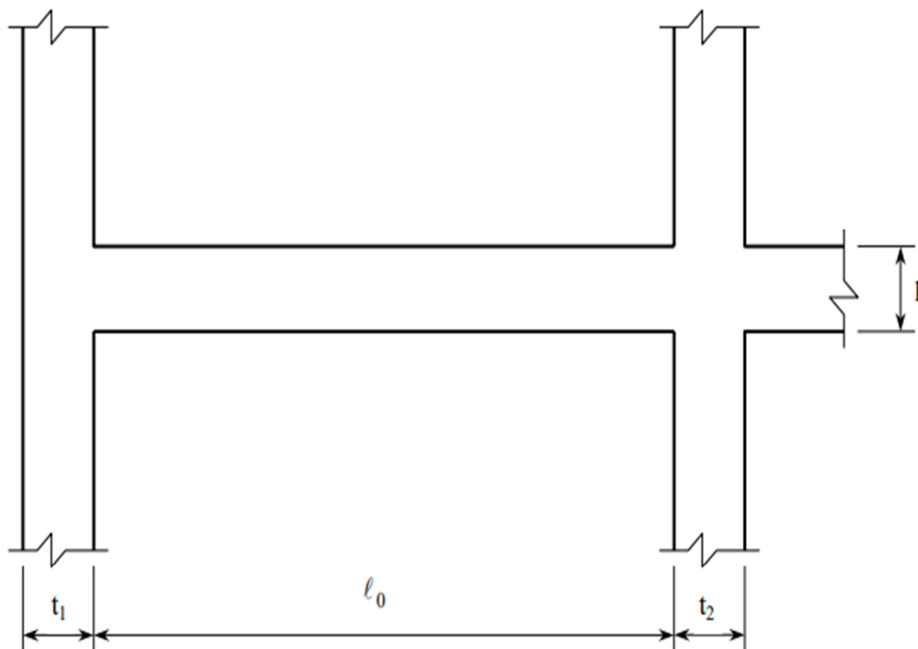
$$\ell_{ef} = \ell_0 + a_1 + a_2 \quad (1)$$

Onde:

a_1 = menor valor entre $\frac{t_1}{2}$ e $0,3x h$

a_2 = menor valor entre $\frac{t_2}{2}$ e $0,3x h$

Referindo-se t como a largura dos apoios e h a altura da seção transversal da viga, ℓ_0 vão livre, ou seja, distância livre entre as faces dos apoios conforme a figura 2 obtida no item 14.5 da NBR 6118/2014.

Figura 2 - Vão efetivo

Fonte: NBR 6118 (2014)

2.6.4 Carregamentos

De acordo com Araújo (2014), “o primeiro passo para o estudo das vigas na estrutura baseia-se na indicação do carregamento atuante. Que se constitui basicamente na determinação do Peso próprio, alvenaria, ação nas lajes, as ações das vigas e ações de pilares.”

Segundo Carvalho & Figueiredo Filho (2016), “um carregamento é definido pela combinação das ações que tem probabilidades não desprezíveis de atuarem simultaneamente sobre a estrutura durante um período preestabelecido”.

Geralmente o carregamento se da por um conjunto de cargas nas vigas, como peso próprio, reações de apoio das lajes e peso de paredes, casualmente, podem receber cargas de outras vigas e cargas de pilares, nos casos de vigas de transição ou em vigas de fundação.

Com exceção das cargas vindas de outras vigas ou de pilares, que são concentradas, as outras podem ser consideradas uniformemente distribuídas. Geralmente o peso próprio, cargas acidentais são definidos de acordo com a NBR

6120 (1980), revestimento na face inferior da laje, peso do contra piso e revestimento cerâmico ou similar.

2.6.5 Peso próprio

O peso próprio de vigas com seção transversal constante é uma carga considerada uniformemente distribuída ao longo do comprimento da viga, e deve sempre ser obrigatoriamente considerado (BASTOS, 2015).

De acordo com a NBR 6118/2014 no item 8.2.2 a massa específica do concreto armado é 2.500 kg/m^3 . “O peso próprio da viga é considerado então como uma carga linear, uniformemente distribuída, correspondendo ao peso de 1 m de viga” (ARAÚJO, 2014).

Sabendo então o peso específico do concreto, o peso próprio se da pela multiplicação do peso específico do concreto armado pela área da seção transversal em m^2 .

2.6.6 Alvenaria

Existe no comércio uma infinidade de alvenaria, com as dimensões mais variadas. Antes de se definir a largura da viga é necessário, portanto, definir o tipo e as dimensões da unidade de alvenaria, levando em consideração a posição em que a unidade será assentada.(BASTOS, 2015).

De acordo com Bastos (2015), “Geralmente as paredes têm espessura e altura constantes, quando então a carga da parede pode ser considerada uniformemente distribuída ao longo do seu comprimento”.

Segundo Araújo (2014), “O peso das alvenarias P_a , também é considerado uniformemente distribuído”.

Conforme mencionado acima, a alvenaria é um conjunto de tijolos, blocos ou peças coladas por argamassa, formando um elemento vertical, podendo ser classificada em dois tipos, alvenaria de vedação (convencional) com a função de vedar os vãos das paredes e alvenaria estrutural, tem função estrutural, dispensando o uso de vigas e pilares.

O peso específico da alvenaria se encontra descrito conforme o material desejado na NBR 6120/1980 posteriormente é multiplicado, por sua espessura e

altura. Escolhido de acordo com o material descrito conforme a norma 6120/1980 especificada no quadro 1.

Quadro 1 - Peso específico dos materiais de construção

Tabela 1- Peso específico dos materiais de construção		
MATERIAIS		Peso específico aparente (KN/m³)
1 ROCHAS	Arenito	26
	Basalto	30
	Gneiss	30
	Granito	28
	Marmore e Calcáreo	28
2 BLOCOS ARTIFICIAIS	Blocos de argamassa	22
	Cimento amianto	20
	Lajotas cerâmicas	18
	Tijolos furados	18
	Tijolos maciços	18
	Tijolos Sílicos- Calcáreo	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 MADEIRA	Pinho, cedro	5
	Louro, imbuia, pau óleo	6.5
	Guajuvirá, guatambu, grápia	8
	Angico, cabriuva, ipê róseo	10
5 METAIS	Aço	78.5
	Aluminio e ligas	23
	Bronze	85
	Chumbo	114
	Cobre	89
	Ferro fundido	72.5
	Estanho	74
	Latão	85
	Zinco	72
6 MATERIAIS DIVERSOS	Alcatão	12
	Asfalto	13
	Borracha	17
	Papel	15
	Plástico em folhas	21
	Vidro plano	26

Fonte: Adaptado de NBR 6120/1980 (2018).

2.6.7 Ações das lajes

“No cálculo das reações das lajes, é recomendável distinguir as parcelas referentes às ações permanentes e as variáveis, para que se possam determinar as combinações das ações, até mesmo nas verificações de fissuração e de flechas” (PINHEIRO, MUZARDO, & SANTOS, 2004).

“As reações das lajes sobre as vigas de apoio devem ser conhecidas. Importante é verificar se uma ou duas lajes descarregam a sua carga sobre a viga.” (BASTOS, 2015).

Segundo, Araújo (2014), “as ações das lajes sobre as vigas pelo método simplificado da seção podem ser consideradas uniformemente distribuídas. Inclusive quando se considera cargas de paredes sobre as vigas uniformemente distribuídas contribui com a segurança do edifício.”

Normalmente as lajes se apoiam nas vigas, em geral as lajes suportam seu peso próprio e do seu revestimento, suas cargas são distribuídas linearmente sobre as vigas.

2.6.8 Ação de vigas

De acordo com Araújo (2014), “Nos casos de apoios indiretos, a viga principal recebe uma carga concentrada de valor igual à reação de apoio da viga secundária”.

“Quando uma viga serve de apoio ou a viga está apoiada em outra, a carga concentrada na viga que serve de apoio é igual a reação de apoio daquela que está apoiada. Em determinados pavimentos, a escolha de qual viga apoia-se sobre qual fica muito difícil” (BASTOS, 2015). A análise adequada deve ser minuciosa devido aos riscos de cisalhamento.

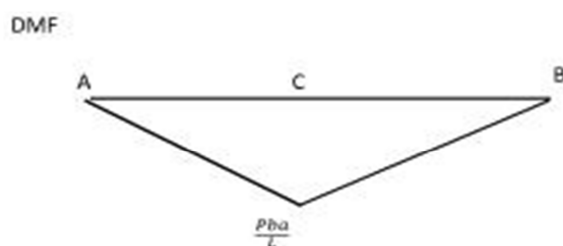
2.6.9 Momentos fletores de cálculo

“Momento fletor é derivado do momento de todas as forças e momentos de uma parcela isolada sobre a outra parcela na direção transversal ao eixo da barra na seção transversal de corte” (MARTHA, 2012).

“O Momento fletor pode ser definido como a soma vetorial dos momentos ocasionados pelas forças externas de um dos lados da seção tomada como referência, tende a flexionar a peça, como resultado de tensões normais de sinais

contrários na mesma seção, comprimindo uma parte e distendendo a outra” (Christoforo & Fernando, 2014). Conforme apresenta a figura 3 a seguir.

Figura 3 - Modelo diagrama de momento fletor com força concentrada



Fonte: Ebah (2018)

2.7 Dimensionamento da armadura

2.7.1 Armadura longitudinal

A NBR 6118/2014 de acordo com o item 17.3.5

“A ruptura frágil das seções transversais, quando da formação da primeira fissura, deve ser evitada considerando-se, para o cálculo das armaduras, um momento mínimo dado pelo valor correspondente ao que produziria a ruptura da seção de concreto simples, supondo que a resistência à tração do concreto seja dada por $f_{ctk,sup}$, devendo também obedecer às condições relativas ao controle da abertura de fissuras dadas em 17.3.3 “

Ainda de acordo com a NBR 6118/2014 “os valores máximos para as armaduras originam-se da necessidade de garantir as condições de ductilidade e de se respeitar a validade dos ensaios que deram origem às regras de funcionamento da relação aço-concreto.”

Segundo Bastos (2015), “as armaduras longitudinais são calculadas para os máximos momentos positivos nos vãos e para os momentos negativos sobre os apoios da viga”.

Ou seja, a armadura longitudinal necessária para cada seção é obtida após conhecer o diagrama de momento fletor, as dimensões das seções transversais e as características do concreto e aço.

2.7.2 Armadura transversal

A NBR6118/2014 de acordo com o item 18.3.3 define que:

“As armaduras destinadas a resistir as forças de tração provocadas por forças cortantes podem ser constituídas por estribos, combinados ou não com barras dobradas ou telas soldadas e devem ser projetadas de acordo com as prescrições de 17.4.”

“As armaduras transversais são formadas por estribos verticais de dois ramos, desse modo após determinada a área dos estribos por metro de comprimento da viga, deve-se determinar o diâmetro das barras e calcular seu espaçamento. O cálculo da mesma analisa dois ramos dos estribos para assim fornecer o dobro da área obtida para as armaduras das lajes” (ARAÚJO, 2014).

“Para a definição da seção transversal das vigas verifica-se a largura nas suas dimensões. Determinada as larguras, variou-se a altura aos poucos. A altura final representa a altura mínima necessária para atender ao estado-limite último e de serviço, considerando o critério de variação da altura com múltiplos de 5cm, bem como as taxas máximas de armaduras e espaçamentos mínimos indicados na NBR 6118” (ABNT, 2014).

Com base nos autores citados Armadura transversal deve ser dimensionada de forma que suporte o esforço de tração resistido pelo concreto antes da formação de fissuras de cisalhamento.

2.7.3 Esforços cortantes de cálculo

“É a resultante de forças de uma porção isolada sobre a outra porção na direção transversal ao eixo da barra na seção transversal de corte, representa o efeito de cisalhamento em uma seção transversal da barra” (MARTHA, 2012).

“Esforço Cortante é a força perpendicular à peça, calculada a partir da tensão cisalhante na mesma. O efeito do Esforço Cortante é o de provocar o deslizamento linear no sentido do esforço de uma seção sobre a outra infinitamente próxima,

acarretando o corte ou cisalhamento da mesma” (CHRISTOFORO & FERNANDO, 2014). Segundo os autores citados a armadura transversal tem que ser dimensionada de forma que resista à aplicação do esforço cortante.

2.7.4 Estado-limite de deformação excessiva (ELS)

A NBR-6118/2014 (item 3.2.4) define estado limite de deformações excessivas como sendo o “estado em que as deformações atingem os limites estabelecidos para a utilização da norma, dados em 13.3 e 17.3.2”

De acordo com a NBR 6118/201 no item 17.3.2 a verificação dos valores-limites para a deformação da estrutura como rotações e deslocamentos deve ser realizada através de modelos que considerem a rigidez efetiva das seções, ou seja, levem em consideração a presença da armadura, a presença de fissuras ao longo dessa armadura e as deformações ao longo do tempo.

Para a verificação quanto ao estado-limite de deformação excessiva, tem como limitação da flecha total, soma das parcelas de deformação imediata e diferida, destaca-se que este limite pode gerar deslocamentos indesejados, deve-se ficar atento para o tipo de projeto e considerar que o deslocamento se propagará por todos os pavimentos acima da transição (CAMACHO, 2005).

2.7.5 Estado-limite último (ELU)

A NBR6118/2014 (item 3.2.1) define estado-limite último ELU, como “estado-limite relacionado ao colapso, ou a qualquer outra forma de ruína estrutural, que determine a paralisação do uso da estrutura.”

Segundo Araújo, (vol.1,2014), “no projeto estrutural de concreto armado deve verificar a segurança em relação ao estado limite último em relação a alguns itens como perda de equilíbrio da estrutura, admitida como um corpo rígido; instabilidade de equilíbrio, considerando os efeitos de segunda ordem; ruptura ou deformação plástica excessiva dos materiais, entre outros.”

De acordo com os autores citados, podemos concluir como estado limite último o esgotamento da capacidade resistente da estrutura e risco a segurança. Neste caso, quando a estrutura está submetida ao estado limite último são necessários reparos ou até mesmo a substituição da construção para que a segurança seja garantida.

2.8 Detalhamento da viga de transição

De acordo com a NBR 6118/2014, conforme o item 7.5.2: “As barras devem ser dispostas dentro do componente ou elemento estrutural, de modo a permitir e facilitar a boa qualidade das operações de lançamento e adensamento do concreto”.

Ainda com base na NBR 6118/2014, com base no item 7.5.2: “Para garantir um bom adensamento, é necessário prever no detalhamento da disposição das armaduras espaço suficiente para entrada da agulha do vibrador”.

“Uma viga em concreto armado é dimensionada a resistir aos carregamentos de força cortante e momento fletor. O cálculo da flexão e o deslocamento vertical irão determinar a seção transversal e armadura longitudinal. Logo após dimensionada ao esforço cortante é feito o detalhamento da armadura transversal” (BASTOS, 2015).

Com base nos textos citados, podemos concluir que as vigas são compostas internamente por barras de aço, variando a seção transversal, devendo resistir todos os carregamentos, promovendo rigidez.

3. METODOLOGIA

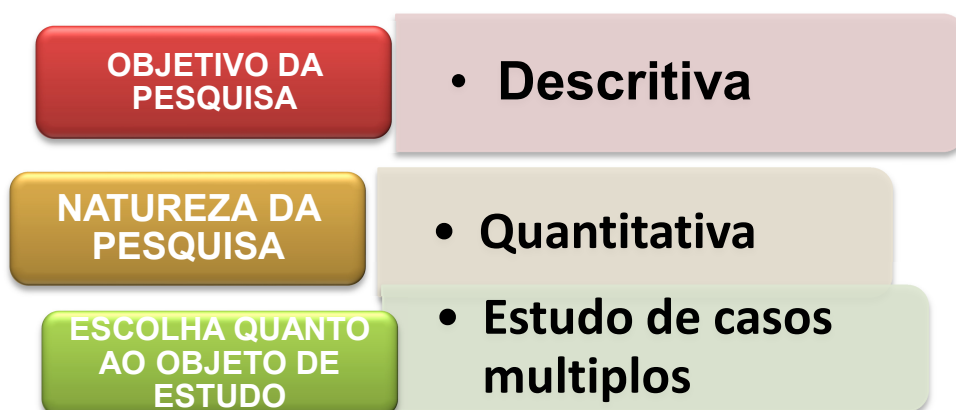
3.1 Classificação da pesquisa

Para Gil (1999), o método científico é um conjunto de procedimentos intelectuais e técnicos utilizados para atingir o conhecimento. Para que seja considerado conhecimento científico, é necessária a identificação dos passos para a sua verificação, ou seja, determinar o método que possibilitou chegar ao conhecimento.

Para direcionar o presente estudo e obter resultados mais objetivos, caracterizou-se a pesquisa em básica estratégica, optou-se pelo estudo de caso múltiplo, adotando uma abordagem quantitativa. Para a elaboração deste trabalho, previamente foi realizado uma estruturação teórica apresentada no capítulo dois, sobre o tema exposto. Após esse processo foi realizado o levantamento de dados dos projetos e os estudos necessários para o domínio do software de projeto estrutural que será utilizado para a execução do trabalho.

Tendo em vista o cumprimento dos objetivos e a obtenção das respostas para o problema de pesquisa, foi essencial a definição da abordagem metodológica a ser seguida. Para esclarecimento dos métodos adotados, foi elaborado um fluxograma com a classificação da pesquisa.

Figura 4 - Classificação da pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores (2018)

3.2 Procedimentos metodológicos

Esse capítulo metodológico tem então como principal objetivo a análise de vigas de transição situadas no pavimento térreo de edifícios em concreto armado com lajes maciças, e com vigas e pilares de seção transversal retangular, com diferentes números de pavimentos e diferentes distâncias entre os apoios.

Para isso primeiramente, foi realizado um levantamento de dados para o lançamento das estruturas no software Cypecad utilizado. Os pesos específicos de materiais considerados neste trabalho foram determinados segundo a NBR 6120:1980, sendo estes apresentados nos dados dos projetos, procurando atender os requisitos impostos pela NBR 6118 (ABNT, 2014).

Foram analisadas variações de alturas e larguras das vigas de transição para se chegar a um modelo mais favorável economicamente possível. Também foi verificada a influência da rigidez das vigas superiores à de transição, os pilares variaram suas espessuras, em consequência da atuação da viga de transição até chegarmos ao dimensionamento mínimo necessário para que os elementos resistissem às solicitações, atendendo ao estado-limite último e de serviço, obtendo assim uma quantidade de situações favoráveis para à análise de comparação.

3.2.1 Descrição dos projetos

O projeto analisado neste trabalho tem como dados iniciais os seguintes:

Os projetos objetos do estudo são de edifícios residenciais com 4, 6, 8 e 10 pavimentos, com uma viga de transição situada no pavimento térreo, (pé-direito do térreo de 4,00m e dos pavimentos-tipo 3,00m). Foram analisados as situações dos vãos efetivos da viga de transição para 6,00m e 8,20m.

Materiais:

- Concreto C30 ($f_{ck} = 30\text{MPa}$);
- Aço CA-50 e CA-60
- Característica do agregado – (Gnaiss 19 mm)
- Revestimento de pisos e tetos – (Argamassa cimento e areia)
- Laje maciça – 12 cm

Ações:

- Carga permanente – CP (kN/m^2) 1,5
- Sobrecarga de utilização- SU (KN/m^2) 1,5
- Ações do vento: MG 35 m/s

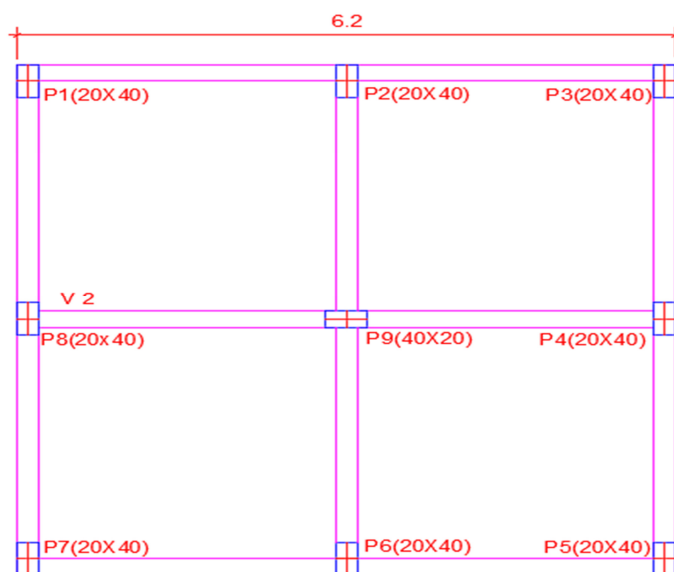
O volume de fôrmas utilizado em cada caso, foi obtido com a soma de suas três faces (face lateral 1, face lateral 2, e face inferior) multiplicado, pelo comprimento referente do vão efetivo.

3.2.2 Elaboração dos projetos utilizados na pesquisa

O lançamento dos elementos estruturais é realizado sobre o projeto arquitetônico realizado com o auxílio do software Autocad, versão 2016 que é uma ferramenta utilizada para o desenho de diversos produtos em inúmeras áreas, como a indústria automobilística, engenharia, construção civil, arquitetura, informática, etc.

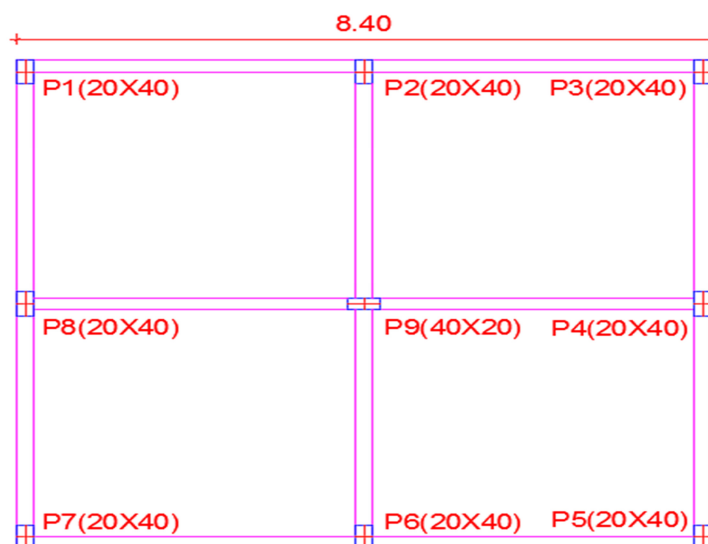
Na análise, verificação e pré-dimensionamento das vigas foi utilizado o software de projeto estrutural CypeCAD versão 2017, um software para cálculo e dimensionamento de estruturas de concreto armado, estruturas mistas e estruturas metálicas, O software realiza o dimensionamento com base na NBR 6118 (ABNT, 2014) e NBR 14762 (ABNT,2010).

Portanto, foram necessárias duas plantas arquitetônicas com diferentes distâncias entre as faces externas dos pilares com 6,20m e 8,40m, para representar as duas opções de vão efetivo com pilares retangulares com seção 20x40cm, conforme mostrado nas figuras abaixo para o pavimento tipo. Na figura 4 está representada a planta de fôrma do pavimento tipo com distância entre as faces de 6,20m.

Figura 5 - Planta de fôrma do pavimento tipo

Fonte: Os autores (2018).

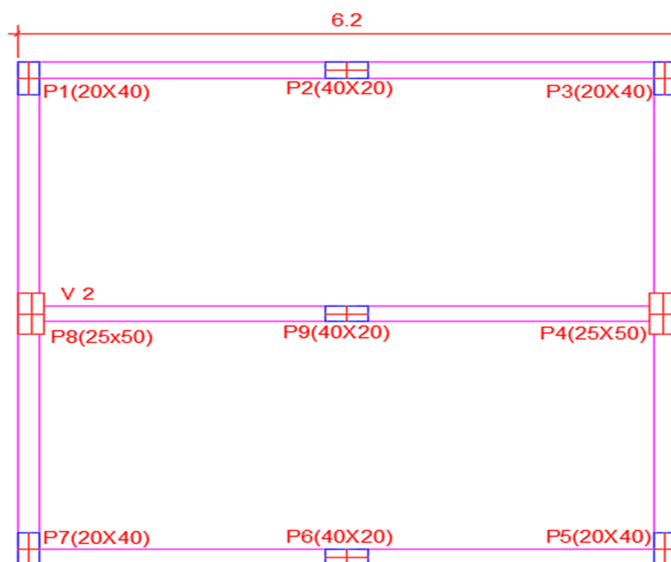
A figura 5 representa a planta de fôrma referente ao pavimento tipo com distância entre as faces de 8,40m.

Figura 6 - Planta de fôrma do pavimento tipo

Fonte: Os autores (2018).

Na figura 6, esta representada a planta arquitetônica do pavimento térreo onde se localiza a viga de transição analisada, com distância entre as faces de 6,20 m.

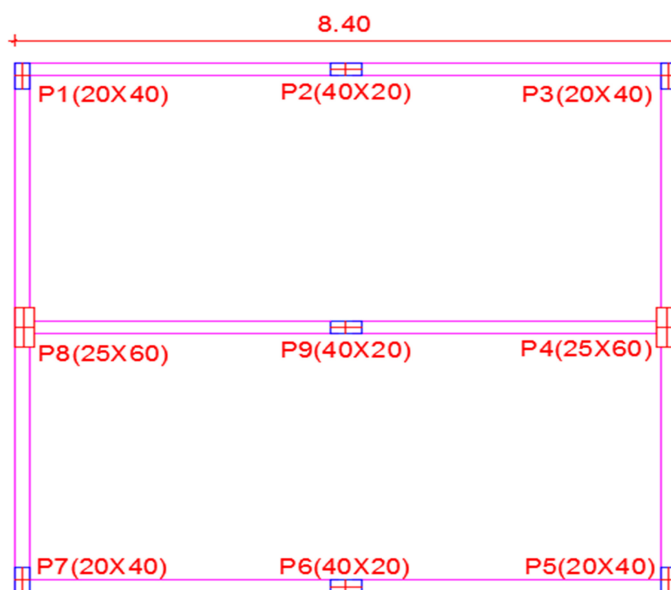
Figura 7 - Planta arquitetônica do pavimento térreo onde se localiza a viga de transição com vão de 6,20 m.



Fonte: Os autores (2018).

Na figura 7, está representada a planta arquitetônica do pavimento térreo, com distância entre as faces de 8,40m.

Figura 8 - Planta arquitetônica do pavimento térreo onde se localiza a viga de transição com vão de 8,40 m.



Fonte: Os autores (2018)

3.3 Alturas

As alturas das vigas de transição foram variadas de 10 em 10 cm até que atendesse a todos os requisitos das normas utilizadas, procurando determinar a situação mais favorável economicamente.

Para melhor entendimento essas variações foram colocadas em quadros, no quadro 2 abaixo, descreve-se as variações de alturas das vigas que foram suficientes para resistir aos estado-limite último (ELU) e estado-limite de serviço (ELS) em relação ao vão efetivo de 6,00m, descreve-se também o número de pavimentos específicos em cada caso.

Quadro 2 - Variação de alturas analisadas para o vão de 6,00 m

Nº PAVIMENTOS	VÃO EFETIVO	ALTURA	LARGURA
10	6,00m	90cm	20cm
10	6,00m	80cm	20cm
10	6,00m	70cm	20cm
10	6,00m	60cm	20cm
10	6,00m	50cm	20cm
Nº PAVIMENTOS	VÃO EFETIVO	ALTURA	LARGURA
8	6,00m	90cm	20cm
8	6,00m	80cm	20cm
8	6,00m	70cm	20cm
8	6,00m	60cm	20cm
8	6,00m	50cm	20cm
Nº PAVIMENTOS	VÃO EFETIVO	ALTURA	LARGURA
6	6,00m	90cm	20cm
6	6,00m	80cm	20cm
6	6,00m	70cm	20cm
6	6,00m	60cm	20cm
6	6,00m	50cm	20cm
Nº PAVIMENTOS	VÃO EFETIVO	ALTURA	LARGURA
4	6,00m	90cm	20cm
4	6,00m	80cm	20cm
4	6,00m	70cm	20cm
4	6,00m	60cm	20cm
4	6,00m	50cm	20cm

Fonte: Os autores (2018)

No quadro 3 descreve-se as variações das alturas das vigas analisadas em relação ao vão efetivo de 8,20m.

Quadro 3 - Variação de alturas analisadas para o vão de 8,20 m

Nº PAVIMENTOS	VÃO EFETIVO	ALTURA	LARGURA
10	8,20m	110cm	20cm
10	8,20m	110cm	20cm
10	8,20m	90cm	20cm
10	8,20m	80cm	20cm
10	8,20m	70cm	20cm
Nº PAVIMENTOS	VÃO EFETIVO	ALTURA	LARGURA
8	8,20m	110cm	20cm
8	8,20m	110cm	20cm
8	8,20m	90cm	20cm
8	8,20m	80cm	20cm
8	8,20m	70cm	20cm
Nº PAVIMENTOS	VÃO EFETIVO	ALTURA	LARGURA
6	8,20m	110cm	20cm
6	8,20m	110cm	20cm
6	8,20m	90cm	20cm
6	8,20m	80cm	20cm
6	8,20m	70cm	20cm
Nº PAVIMENTOS	VÃO EFETIVO	ALTURA	LARGURA
4	8,20m	110cm	20cm
4	8,20m	110cm	20cm
4	8,20m	90cm	20cm
4	8,20m	80cm	20cm
4	8,20m	70cm	20cm

Fonte: Os autores (2018)

3.4 Larguras

De modo geral, a preferência dos engenheiros e arquitetos é de que as vigas fiquem embutidas nas paredes de vedação, de tal forma que não possam ser percebidas visualmente. Para isso, a largura das vigas foi escolhida em função da espessura final da parede, a qual depende basicamente das dimensões e da posição de assentamento das unidades de alvenaria e da espessura da argamassa de revestimento nos dois lados da parede.

Porém para poder analisar a influência da largura sobre os esforços solicitados a viga foi necessário ignorar esse fator. O quadro 4 abaixo descreve as variações de larguras que foram utilizados na análise em relação ao vão efetivo de 6,00m.

Quadro 4 - Variação de larguras analisadas para o vão de 6,00m

Nº PAVIMENTOS	VÃO EFETIVO	ALTURA	LARGURA
10	6,00m	50cm	20cm
10	6,00m	50cm	30cm
10	6,00m	50cm	40cm
Nº PAVIMENTOS	VÃO EFETIVO	ALTURA	LARGURA
8	6,00m	50cm	20cm
8	6,00m	50cm	30cm
8	6,00m	50cm	40cm
Nº PAVIMENTOS	VÃO EFETIVO	ALTURA	LARGURA
6	6,00m	50cm	20cm
6	6,00m	50cm	30cm
6	6,00m	50cm	40cm
Nº PAVIMENTOS	VÃO EFETIVO	ALTURA	LARGURA
4	6,00m	50cm	20cm
4	6,00m	50cm	30cm
4	6,00m	50cm	40cm

Fonte: Os autores (2018)

O quadro 5 abaixo descreve as variações de larguras que foram utilizados na análise em relação ao vão efetivo de 8,20m.

Quadro 5 - Variação de larguras analisadas para o vão de 8,20m

Nº PAVIMENTOS	VÃO EFETIVO	ALTURA	LARGURA
10	8,20m	70cm	20cm
10	8,20m	70cm	30cm
10	8,20m	70cm	40cm
Nº PAVIMENTOS	VÃO EFETIVO	ALTURA	LARGURA
8	8,20m	70cm	20cm
8	8,20m	70cm	30cm
8	8,20m	70cm	40cm
Nº PAVIMENTOS	VÃO EFETIVO	ALTURA	LARGURA
6	8,20m	70cm	20cm
6	8,20m	70cm	30cm
6	8,20m	70cm	40cm
Nº PAVIMENTOS	VÃO EFETIVO	ALTURA	LARGURA
4	8,20m	70cm	20cm
4	8,20m	70cm	30cm
4	8,20m	70cm	40cm

Fonte: Os autores (2018)

3.5 Aumento de rigidez nas vigas superiores

Em busca da melhor seção transversal para a viga de transição, foi analisada influência das vigas correspondentes a mesma nos pavimentos superiores, aumentando suas seções para as dimensões da que atendeu aos critérios estabelecidos, as sessões foram alteradas piso a piso a fim de compreender a influência da rigidez das mesmas sobre a viga de transição.

3.6 Composições de custos

No trabalho proposto foi utilizada a tabela TCPO (Tabela de Composições e Preços para Orçamentos). Também foi realizada a cotação de preço dos materiais, nos comércios regionais. É válido acrescentar que, a fim de se chegar ao total de custos diretos do orçamento da obra, deve se multiplicar seus preços unitários pelos quantitativos, acrescentando os custos indiretos, sendo importante para o fechamento dos custos totais dos orçamentos de obras. O quadro 6 mostrado abaixo, descreve os itens necessários para orçamentação das vigas em relação a volume de concreto.

QUADRO 6 - Composição de custos relacionados ao concreto

CONCRETO estrutural dosado em central , fck 30 MPa, TRANSPORTE, LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO do concreto em estrutura						
03310,8,2,7						
Quantidade		m ³	Leis Sociais	80.00%		
Código	Componente	Unid,	Coef,	Consumo	Custo Unit,(R\$)	Total
03310,3,1,7	Concreto dosado em central convencional brita 1 e 2 (resistência: 30,0 MPa)	m ³	1,02	1,02	300,00	306,00
01270,0,40,1	Pedreiro	h	1,62	1,62	8,68	14,06
01270,0,45,1	Servente	h	1,62	1,62	4,34	7,03
22300,9,10,1	VIBRADOR de imersão, elétrico, potência 2 HP (1,5 kW) - vida útil 4,500 h	h prod	0,1	0,1	10,00	1,00
TOTAL						328,09
Valor LS						16.87
TOTAL C/LS						344,97

Fonte: Adaptado da TCPO - Tabela de Composições e Preços para Orçamentos (2018)

O quadro 7 mostrado a seguir, descreve os itens necessários para orçamentação de armaduras de aço para estruturas em geral, CA-60 e CA-50, com os insumos de corte e dobras em obra de acordo com os respectivos diâmetros das barras de aço.

QUADRO 7 - Composição de custos relacionados armadura de aço

03210.8.1.4		ARMADURA de aço para estruturas em geral, CA-50 Ø 20 mm, corte e dobra na obra							
Quantidade		kg	Leis Sociais	80.00%					
Código	Componente	Unid.	Coef.	Consumo	Custo Unit.(R\$)	Sub-Total1 (R\$)	TOTAL S/ LS (R\$)	LS (R\$)	TOTAL
01270.0.7.1	Ajudante de armador	h	0,1	0,1	4,34	0,43			
01270.0.25.1	Armador	h	0,1	0,1	8,68	0,87			
05060.3.3.1	Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	kg	0,03	0,03	6,00	0,18			
03210.3.2.4	Barra de aço CA-60 5.0 mm	kg	1,15	1,15	4,97	5,72	7,20	1,04	8,24
03210.3.2.5	Barra de aço CA-50 6.3 mm	kg	1,15	1,15	4,58	5,27	6,75	1,04	7,79
03210.3.2.6	Barra de aço CA-50 8 mm	kg	1,15	1,15	4,59	5,28	6,76	1,04	7,80
03210.3.2.7	Barra de aço CA-50 10 mm	kg	1,15	1,15	4,36	5,01	6,50	1,04	7,54
03210.3.2.8	Barra de aço CA-50 12.5 mm	kg	1,15	1,15	4,22	4,85	6,34	1,04	7,38
03210.3.2.9	Barra de aço CA-50 16 mm	kg	1,15	1,15	4,22	4,85	6,34	1,04	7,38
03210.3.2.10	Barra de aço CA-50 20 mm	kg	1,15	1,15	4,27	4,91	6,39	1,04	7,43
03210.3.2.11	Barra de aço CA-50 25 mm	kg	1,15	1,15	4,28	4,92	6,40	1,04	7,45

Fonte: Adaptado da TCPO - Tabela de Composições e Preços para Orçamentos (2018)

Os itens necessários para orçamentação das vigas em relação ao volume gasto de fôrma para as vigas analisada estão descritos no quadro 8.

Quadro 8 - Composição de custos relacionados a fôrmas de vigas

03110.8.2.1	FÔRMA de chapa compensada para estruturas em geral, plastificada, e=12 mm, 5 reaproveitamentos, apenas de um lado, reforçada com sarrafo					
Quantidade		m²	Leis Sociais	80.00%		
Código	Componente	Unid.	Coef.	Consumo	Custo Unit.(R\$)	Total (R\$)
01270.0.4.1	Ajudante de carpinteiro	h	1,35	1,35	4,34	5,86
01270.0.19.1	Carpinteiro	h	1,35	1,35	8,68	11,72
03110.3.1.1	Chapa compensada plastificada (espessura: 12 mm)	m²	0,26	0,26	15,00	3,90
05060.3.20.6	Prego (tipo de prego: 18x27)	kg	0,25	0,25	5,50	1,38
06062.3.2.1	Pontalete 3a. construção (seção transversal: 3x3 " / tipo de madeira: cedro)	m	1,2	1,2	5,00	6,00
06062.3.4.3	Sarrafo 3a. construção (seção transversal: 1x4 " / tipo de madeira: cedro)	m	1,53	1,53	2,00	3,06
06062.3.5.5	Tábua 3a. construção (seção transversal: 1x12 " / tipo de madeira: cedrinho)	m	1,17	1,17	5,00	5,85
TOTAL						37,76
Valor LS						14,06
TOTAL C/LS						51,82

Fonte: Adaptado da TCPO - Tabela de Composições e Preços para Orçamentos (2018)

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Para o desenvolvimento de parte do projeto estrutural dos edifícios residenciais apresentados neste trabalho, foi utilizado o software Cypecad, como detalhado anteriormente. Desta forma, foram elaboradas tabelas no programa Microsoft Excel, que se encontram abaixo, com o propósito de detalhar as variações de alturas, larguras, rigidez, vãos e quantidade de pavimentos, e também quantificar o gasto para a execução dos mesmos.

A partir dos resultados obtidos no dimensionamento das vigas, pôde-se comparar cada uma delas, nos requisitos: dimensões da seção transversal, quantidade de armadura, áreas de formas, e volume de concreto. Possibilitando o levantamento dos custos para cada caso analisado.

4.1 Definição da seção transversal mais adequada para cada caso atendendo a ELU e ELS

Para a definição da seção transversal das vigas na primeira análise que seria da variação de altura, fixou-se a largura da viga em 20cm em função da dimensão do pilar que apoia na viga (largura de 20cm), fixadas as larguras partiu para a definição da altura que depende de diversos fatores, tendo como os mais importantes o vão, o carregamento e a resistência do concreto. A altura deve ser suficiente para proporcionar resistência mecânica e baixa deformabilidade (flecha).

Portanto variou-se a altura (h) de 10 em 10 centímetros até a altura final que representa a altura mínima necessária para atender ao estado-limite último e de serviço, considerando o critério de variação da altura com múltiplos de 10 cm, bem como as taxas máximas de armaduras e espaçamentos mínimos prescritos na NBR 6118 (ABNT, 2014).

O quadro 9 descreve o resumo dos orçamentos das vigas de transição em relação aço, concreto e forma, analisadas para os edifícios de 4, 6, 8 e 10 pavimentos para cada altura da sessão analisada, relacionadas ao vão de 6,00m. O quantitativo detalhado em relação a forma, concreto e aço das vigas obtido pelos relatórios de dimensionamento estão descritos no apêndice A.

Quadro 9 - Resumo de orçamento para o vão de 6,00m.

VALOR TOTAL DA VIGA 10 PAV. VÃO 6,00m				
SESSÃO TRASNVERSAL	FORMA (m)	CONCRETO(m³)	AÇO (kg)	CUSTO FINAL
20X90	R\$ 689,52	R\$ 356,10	R\$ 1.263,52	R\$ 2.309,14
20X80	R\$ 620,57	R\$ 324,53	R\$ 1.206,43	R\$ 2.151,53
20X70	R\$ 551,62	R\$ 283,96	R\$ 1.034,76	R\$ 1.870,34
20X60	R\$ 482,66	R\$ 243,40	R\$ 888,10	R\$ 1.614,16
20X50	R\$ 413,71	R\$ 202,83	R\$ 818,73	R\$ 1.435,27
VALOR TOTAL DA VIGA 8 PAV. VÃO 6,00m				
SESSÃO TRASNVERSAL	FORMA (m)	CONCRETO(m³)	AÇO (kg)	CUSTO FINAL
20X90	R\$ 689,52	R\$ 356,10	R\$ 1.081,46	R\$ 2.127,08
20X80	R\$ 620,57	R\$ 324,53	R\$ 1.044,25	R\$ 1.989,35
20X70	R\$ 551,62	R\$ 283,96	R\$ 972,68	R\$ 1.808,26
20X60	R\$ 482,66	R\$ 243,40	R\$ 768,70	R\$ 1.494,76
20X50	R\$ 413,71	R\$ 202,83	R\$ 720,14	R\$ 1.336,68
VALOR TOTAL DA VIGA 6 PAV. VÃO 6,00m				
SESSÃO TRASNVERSAL	FORMA (m)	CONCRETO(m³)	AÇO (kg)	CUSTO FINAL
20X90	R\$ 689,52	R\$ 356,10	R\$ 885,70	R\$ 1.931,32
20X80	R\$ 620,57	R\$ 324,53	R\$ 848,78	R\$ 1.793,88
20X70	R\$ 551,62	R\$ 283,96	R\$ 755,44	R\$ 1.591,02
20X60	R\$ 482,66	R\$ 243,40	R\$ 599,89	R\$ 1.325,95
20X50	R\$ 413,71	R\$ 202,83	R\$ 552,14	R\$ 1.168,68
VALOR TOTAL DA VIGA 4 PAV. VÃO 6,00m				
SESSÃO TRASNVERSAL	FORMA (m)	CONCRETO(m³)	AÇO (kg)	CUSTO FINAL
20X90	R\$ 689,52	R\$ 356,10	R\$ 682,66	R\$ 1.728,28
20X80	R\$ 620,57	R\$ 324,53	R\$ 656,30	R\$ 1.601,40
20X70	R\$ 551,62	R\$ 283,96	R\$ 626,04	R\$ 1.461,62
20X60	R\$ 482,66	R\$ 243,40	R\$ 473,99	R\$ 1.200,05
20X50	R\$ 413,71	R\$ 202,83	R\$ 443,47	R\$ 1.060,01

Fonte: Os autores (2018)

Com base na análise dos resultados acima, definiu-se que a sessão transversal mais econômica da viga de transição com o vão de 6,00m seria 20x50cm para todos os casos.

O quadro 10 descreve o resumo do orçamento das vigas de transição em relação aço, concreto e forma, analisadas para os edifícios de 4, 6, 8 e 10 pavimentos para cada altura da sessão analisada, relacionadas ao vão de 8,20m.

Quadro 10 - Resumo de orçamento para o vão de 8,20 m

VALOR TOTAL DA VIGA 10 PAV. VÃO 8,20m				
SESSÃO TRASNVERSAL	FORMA (m)	CONCRETO(m³)	AÇO (kg)	CUSTO FINAL
20X110	R\$ 1.130,81	R\$ 599,73	R\$ 2.204,97	R\$ 3.935,51
20X100	R\$ 1.036,58	R\$ 545,21	R\$ 1.814,37	R\$ 3.396,16
20X90	R\$ 942,34	R\$ 490,67	R\$ 1.689,09	R\$ 3.122,10
20X80	R\$ 848,11	R\$ 436,17	R\$ 1.530,36	R\$ 2.814,64
20X70	R\$ 753,88	R\$ 381,65	R\$ 1.331,11	R\$ 2.466,64
VALOR TOTAL DA VIGA 8 PAV. VÃO 8,20m				
SESSÃO TRASNVERSAL	FORMA (m)	CONCRETO(m³)	AÇO (kg)	CUSTO FINAL
20X110	R\$ 1.130,81	R\$ 599,73	R\$ 1.831,21	R\$ 3.561,75
20X100	R\$ 1.036,58	R\$ 545,21	R\$ 1.875,88	R\$ 3.457,67
20X90	R\$ 942,34	R\$ 490,67	R\$ 1.561,63	R\$ 2.994,64
20X80	R\$ 848,11	R\$ 436,17	R\$ 1.404,86	R\$ 2.689,14
20X70	R\$ 753,88	R\$ 381,65	R\$ 1.173,11	R\$ 2.308,64
VALOR TOTAL DA VIGA 6 PAV. VÃO 8,20m				
SESSÃO TRASNVERSAL	FORMA (m)	CONCRETO(m³)	AÇO (kg)	CUSTO FINAL
20X110	R\$ 1.130,81	R\$ 599,73	R\$ 1.522,37	R\$ 3.252,91
20X100	R\$ 1.036,58	R\$ 545,21	R\$ 1.456,00	R\$ 3.037,79
20X90	R\$ 942,34	R\$ 490,67	R\$ 1.288,83	R\$ 2.721,84
20X80	R\$ 848,11	R\$ 436,17	R\$ 1.171,24	R\$ 2.455,52
20X70	R\$ 753,88	R\$ 381,65	R\$ 1.122,64	R\$ 2.258,17
VALOR TOTAL DA VIGA 4 PAV. VÃO 8,20m				
SESSÃO TRASNVERSAL	FORMA (m)	CONCRETO(m³)	AÇO (kg)	CUSTO FINAL
20X110	R\$ 1.130,81	R\$ 599,73	R\$ 1.511,12	R\$ 3.241,66
20X100	R\$ 1.036,58	R\$ 545,21	R\$ 1.354,10	R\$ 2.935,89
20X90	R\$ 942,34	R\$ 490,67	R\$ 1.214,15	R\$ 2.647,16
20X80	R\$ 848,11	R\$ 436,17	R\$ 1.074,60	R\$ 2.358,88
20X70	R\$ 753,88	R\$ 381,65	R\$ 1.009,83	R\$ 2.145,36

Fonte: Os autores (2018)

Com base na análise dos resultados acima, definiu-se que a sessão transversal mais econômica da viga de transição com o vão de 8,20m foi 20x70cm.

Os quadros seguintes detalham em porcentagem o aumento de armaduras em relação aos esforços solicitados conforme a variação de altura das sessões, para que consigamos ter um melhor entendimento do real motivo de se chegar a esse resultado, e o modelo de relatório onde foram obtidos os dados encontram-se no anexo I. O quadro 11 descreve essa análise em relação ao vão de 6,00m.

Quadro 11 - Análise percentual do aumento de armadura de acordo com a variação da altura das sessões com vão de 6,00m

	VÃO		ARMADURA	ARMADURA	ARMADURA	ARMADURA	TOTAL %
		h x l	NEGATIVA	POSITIVA	DE PELE	DE ESTRIBO	
			%	%	%	%	
4 PAV	6,00m	20x50	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		20x60	4,20%	5,16%	0,00%	16,67%	6,45%
		20x70	-11,89%	22,55%	0,00%	32,05%	38,54%
		20x80	-18,88%	26,90%	14,71%	47,44%	44,99%
		20X90	-22,38%	28,26%	28,68%	62,82%	50,25%
% MÉDIA							42%
6 PAV	6,00m	20x50	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		20x60	-21,21%	19,19%	0,00%	36,25%	8,32%
		20x70	-23,38%	30,57%	0,00%	55,00%	34,79%
		20x80	-29,87%	53,32%	14,71%	81,25%	51,43%
		20X90	-32,03%	57,35%	28,68%	100,00%	57,71%
% MÉDIA							43%
8PAV	6,00m	20x50	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		20x60	-4,23%	15,28%	0,00%	-2,88%	6,82%
		20x70	-10,21%	34,53%	0,00%	21,58%	33,58%
		20x80	-7,04%	42,26%	14,71%	35,97%	43,02%
		20X90	-10,56%	45,47%	28,68%	50,36%	47,85%
% MÉDIA							38%
10PAV	6,00m	20x50	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		20x60	-9,62%	16,72%	0,00%	15,17%	8,20%
		20x70	-16,03%	23,08%	0,00%	31,03%	24,31%
		20x80	-21,57%	51,51%	14,71%	68,97%	45,12%
		20X90	-24,49%	57,36%	28,68%	86,90%	51,57%
% MÉDIA							35%
MEDIA DO AUMENTO DE ARMADURA TOTAL							40%

Fonte: Os autores (2018)

Com base na análise percentual podemos notar que conforme o aumento da altura da seção entre a mínima 20x50cm e a máxima 20x90cm analisada se teve um aumento médio em relação a armadura de aproximadamente 40%, nos casos relacionados ao vão de 6,00m.

A análise percentual de armadura relacionada ao vão de 8,20m esta descrita no quadro 12. Os quadros detalhados com os quantitativos de armaduras obtidos após o dimensionamento dos edifícios encontram-se no apêndice B.

Quadro 12 - Análise em percentual do aumento de armadura de acordo com a variação da altura das sessões com vão de 8,20m

		h x l	ARMADURA	ARMADURA	ARMADURA	ARMADURA	TOTAL %
			NEGATIVA	POSITIVA	DE PELE	DE ESTRIBO	
			%	%	%	%	
4 PAV	8,20 m	20x70	0,00%	0,00	0,00%	0,00%	0,00%
		20x80	-38,80%	10,91%	15,76%	66,20%	5,60%
		20x90	-42,59%	31,27%	30,43%	83,80%	19,08%
		20x100	-42,59%	51,18%	44,57%	101,41%	33,16%
		20X110	-38,80%	72,12%	59,24%	119,01%	48,75%
% MÉDIA							26%
6 PAV	8,20 m	20x70	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		20x80	-8,97%	5,11%	14,67%	10,91%	4,08%
		20x90	-14,62%	19,95%	29,35%	22,42%	14,33%
		20x100	-27,57%	45,74%	43,48%	34,55%	29,21%
		20X110	-25,58%	53,16%	58,15%	53,33%	37,70%
% MÉDIA							22%
8PAV	8,20 m	20x70	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		20x80	-6,61%	17,05%	14,13%	74,23%	18,79%
		20x90	-9,61%	41,23%	28,26%	70,10%	32,31%
		20x100	3,00%	62,52%	42,39%	151,55%	58,45%
		20X110	0,60%	71,70%	56,52%	79,38%	55,46%
% MÉDIA							44%
10PAV	8,20 m	20x70	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		20x80	-2,16%	22,46%	14,13%	15,64%	14,88%
		20x90	-13,91%	40,21%	28,26%	43,60%	26,45%
		20x100	-8,87%	47,91%	42,39%	63,98%	35,72%
		20X110	-14,39%	82,57%	56,52%	147,39%	64,51%
% MÉDIA							31%
MÉDIA DO AUMENTO DE ARMADURA TOTAL							29%

Fonte: Os autores (2018)

Com base na análise percentual podemos notar que o aumento na altura da seção entre a mínima 20x70cm e a máxima 20x110cm analisada resultou em um aumento médio de 29% em relação ao vão de 8,20m.

Tendo em vista que a variação da altura não resultou na diminuição da armadura, procurou-se analisar o que ocasionou esse acréscimo, partindo para análise dos esforços solicitantes. Os quadros detalhados com os quantitativos de armaduras obtidos após o dimensionamento dos edifícios encontram-se no apêndice B.

O quadro 13 descreve em percentual o aumento dos esforços solicitantes decorrentes da variação de altura das sessões transversais da viga de transição nos

casos analisados para o vão de 6,00m. O anexo II apresenta um modelo de relatório retirado do software onde se obtém o valor dos esforços solicitados.

Quadro 13 - Análise em percentual de aumento dos esforços de acordo com a variação da altura das sessões com vão de 6,00 m

			MOMENTO	MOMENTO	MOMENTO	FORÇA	FORÇA	Nd
		h x l	POSITIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	CORTANTE	CORTANTE	
			KN.m	KN.m	KN.m	KN	KN	
4 PAV	6 m	20x50	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		20x60	35,70%	10,84%	10,84%	18,86%	18,86%	30,82%
		20x70	71,94%	17,35%	17,35%	37,64%	37,64%	60,13%
		20x80	106,74%	21,25%	21,25%	55,53%	55,53%	87,18%
		20X90	138,67%	23,94%	23,94%	72,00%	72,00%	130,54%
% MÉDIA			89%	19%	17%	38%	47%	74%
6 PAV	6 m	20x50	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		20x60	39,44%	14,12%	14,12%	20,80%	20,80%	34,96%
		20x70	81,75%	24,35%	24,35%	43,37%	43,37%	70,45%
		20x80	124,69%	31,97%	31,97%	66,16%	66,16%	105,33%
		20X90	166,31%	38,16%	38,16%	88,13%	88,13%	138,23%
% MÉDIA			103%	28%	28%	55%	55%	88%
8PAV	6 m	20x50	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0%
		20x60	40,29%	16,31%	16,31%	21,59%	21,59%	35,91%
		20x70	84,38%	29,04%	29,04%	44,61%	44,61%	73,10%
		20x80	175,78%	39,27%	39,27%	68,20%	68,20%	110,53%
		20X90	100,57%	48,00%	48,00%	91,67%	91,67%	146,76%
% MÉDIA			92%	34%	34%	56%	56%	92%
10PAV	6 m	20x50	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		20x60	40,80%	12,95%	12,95%	20,09%	20,09%	36,36%
		20x70	87,34%	21,99%	21,99%	42,36%	42,36%	75,70%
		20x80	137,46%	28,32%	28,32%	65,99%	65,99%	116,72%
		20X90	189,06%	32,95%	32,95%	90,02%	90,02%	157,99%
% MÉDIA			112%	25%	25%	54%	54%	96%
MEDIA TOTAL			98%	27%	27%	46%	54%	90%

Fonte: Os autores (2018)

Ao analisar os esforços solicitados compreendeu-se que as solicitações que obtiveram uma porcentagem de aumento mais relevante foram em relação ao momento positivo e ao esforço normal do pilar sobre a viga (Nd). Obteve-se um crescimento significativo de aproximadamente 90% em relação esforço do pilar e

98% em relação ao momento positivo nos casos analisados em relação ao vão de 6,00m. O quadro 14 descreve o aumento desses esforços com a variação de altura das sessões transversais da viga de transição nos casos analisados para o vão de 8,20m.

Quadro 14 - Análise em percentual do aumento dos esforços de acordo com a variação da altura das sessões com vão de 8,20 m

		h x l	MOMENTO	MOMENTO	MOMENTO	FORÇA	FORÇA	Nd
			POSITIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	CORTANTE	CORTANTE	
			%	%	%	%	%	
4 PAV	8,20m	20x70	0,00%	0,00%	0,00%	0.00%	0.00%	0%
		20x80	28,39%	-31,43%	-31,43%	-1,39%	-1,39%	8,48%
		20x90	65,32%	-31,01%	-31,01%	12,21%	12,21%	63,58%
		20x100	104,03%	-31,37%	-31,37%	26,61%	26,61%	120,79%
		20X110	142,98%	-31,61%	-31,61%	41,21%	41,21%	209,27%
% MÉDIA			85%	-31%	-31%	12%	19%	92%
6 PAV	8,20m	20x70	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0%
		20x80	23,95%	-27,94%	4,16%	-1,94%	8,61%	16,62%
		20x90	60,90%	-25,30%	10,23%	12,91%	23,46%	67,34%
		20x100	101,12%	-23,22%	15,29%	29,34%	39,94%	121,39%
		20X110	142,99%	-21,59%	19,45%	46,51%	57,10%	176,41%
% MÉDIA			81%	-24%	10%	13%	32%	94%
8PAV	8,20m	20x70	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		20x80	35,01%	8,95%	8,95%	13,80%	13,80%	49,96%
		20x90	74,59%	16,50%	16,50%	29,77%	29,77%	105,00%
		20x100	117,90%	23,06%	23,06%	47,50%	47,50%	163,81%
		20X110	163,73%	28,93%	28,93%	66,43%	66,43%	225,38%
% MÉDIA			96%	20%	17%	30%	39%	134%
10PAV	8,20m	20x70	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		20x80	34,13%	10,25%	10,25%	13,77%	13,77%	42,44%
		20x90	72,79%	19,17%	19,17%	29,67%	29,67%	89,39%
		20x100	115,32%	27,07%	27,07%	47,32%	47,32%	140,01%
		20X110	160,69%	34,36%	34,36%	66,25%	66,25%	193,41%
MEDIA TOTAL			83%	-24%	10%	13%	32%	94%

Fonte: Os autores (2018)

Neste caso, após a análise em relação esforços solicitados compreendeu-se que com o aumento da seção se obteve um incremento significativo em média de 94% do esforço do pilar sobre a viga e 83% de acréscimo em relação ao momento positivo nos casos analisados em relação ao vão de 8,20m. Ocasionalmente assim no prolongamento de armadura para resistir ao aumento dos esforços. Os quadros com

os valores obtidos dos esforços solicitados em cada caso através dos relatórios de dimensionamento encontram-se no apêndice C.

4.2 Análise da variação de largura da sessão mínima resistente

Tendo em vista que a variação da altura não resultou na diminuição de armadura, procurou-se fazer uma análise em relação a largura da sessão transversal da viga de transição, para avaliar se a largura da viga resultaria em uma redução dos esforços solicitantes fazendo com que houvesse uma diminuição na taxa de armadura.

Para essa análise fixou-se a menor altura resistente para o vão de 6,00m que atendeu aos estados limites necessários que foi 50 cm e para o vão de 8,20m a altura mais favorável foi de 70 cm. Após essa definição variou-se a largura de 20 cm para 30, 40, e 50 cm. Analisando assim primeiramente a alteração da taxa de armadura para os casos. O quadro 15 abaixo descreve percentualmente os resultados obtidos para os casos observados em relação ao vão de 6,00m.

Quadro 15 - Análise em percentual do aumento de armadura de acordo com a variação da largura das sessões com vão de 6,00m

	VÃO	h x l	ARMADURA	ARMADURA	ARMADURA	ARMADURA	TOTAL
			NEGATIVA	POSITIVA	DE PELE	DE ESTRIBO	
			%	%	%	%	
4 PAV	6,00m	20x50	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		30x50	4,20%	13,59%	0,00%	34,62%	14,09%
		40x50	0,00%	41,85%	0,00%	18,61%	38,88%
% MÉDIA							26%
6 PAV	6,00 m	20x50	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		30x50	-20,35%	29,86%	0,00%	68,75%	18,28%
		40x50	-9,09%	41,47%	0,00%	91,25%	30,97%
% MÉDIA							25%
8PAV	6,00m	20x50	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		30x50	-2,82%	19,81%	0,00%	7,19%	11,23%
		40x50	-12,68%	32,08%	0,00%	36,69%	19,41%
% MÉDIA							15%
10PAV	6,00m	20x50	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		30x50	-10,20%	15,72%	0,00%	44,14%	11,33%
		40x50	-10,50%	35,95%	0,00%	100,00%	29,83%
% MÉDIA							21%
MEDIA TOTAL							23%

Fonte: Os autores (2018)

O quadro 16 abaixo descreve percentualmente os resultados obtidos para os casos analisados em relação ao vão de 8,20 m.

Quadro 16 - Análise em percentual do aumento de armadura de acordo com a variação da largura das sessões com vão de 8,20 m

	VÃO	h x l	ARMADURA	ARMADURA	ARMADURA	ARMADURA	TOTAL
			NEGATIVA	POSITIVA	DE PELE	DE ESTRIBO	
			Kg	Kg	Kg	Kg	
4 PAV	8,20 m	20x70	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		30x70	-11,99%	35,99%	56,52%	64,08%	30,36%
		40x70	-2,52%	55,01%	99,46%	127,46%	55,19%
% MÉDIA							30%
6 PAV	8,20m	20x70	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		30x70	-2,66%	32,60%	56,52%	60,61%	31,52%
		40x70	10,96%	63,75%	99,46%	100,00%	61,48%
% MÉDIA							31%
8PAV	8,20m	20x70	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		30x70	390%	38,45%	56,52%	36,60%	32,90%
		40x70	23,12%	64,21%	99,46%	70,10%	60,27%
% MÉDIA							32%
10PAV	8,20m	20x70	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		30x70	1,68%	22,78%	56,52%	25,59%	21,64%
		40x70	5,52%	45,24%	99,46%	108,06%	49,06%
% MÉDIA							27%
MEDIA TOTAL							31%

Fonte: Os autores (2018)

Observando os resultados obtidos através da variação de largura notou-se que também não houve diminuição da armadura, ao contrário disso, encontrou-se um aumento médio de 23% em relação às sessões com vão de 6,00m e 31% de aumento em relação ao vão de 8,20 m.

Para um resultado mais consistente procurou-se então realizar também a análise dos esforços solicitantes, para examinar se os esforços solicitantes estariam aumentando assim como no prolongamento da altura, e também estariam resultando nesse aumento da taxa de armadura necessária.

O quadro 17 descreve em percentual o aumento dos esforços solicitados com a variação de largura das sessões transversais da viga de transição analisadas para o vão de 6,00m. O quantitativo de armaduras descrito percentualmente nos quadros anteriores encontra-se detalhado no apêndice D.

Quadro 17 - Análise em percentual de aumento dos esforços conforme a variação de largura das sessões com vão de 6,00 m

	VÃO	h x l	MOMENTO	MOMENTO	MOMENTO	FORÇA	FORÇA	Nd
			POSITIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	CORTANTE	CORTANTE	
			%	%	%	%	%	
4 PAV	6,00m	20x50	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		30x50	26,04%	4,35%	4,35%	14,67%	14,67%	19,23%
		40x50	47,87%	4,83%	4,83%	27,38%	27,38%	33,74%
% MÉDIA			37%	5%	5%	21%	21%	26%
6 PAV	6,00m	20x50	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		30x50	28,07%	6,31%	6,31%	15,39%	15,39%	21,86%
		40x50	52,27%	8,38%	8,38%	29,00%	29,00%	39,22%
% MÉDIA			40%	7%	7%	22%	22%	31%
8PAV	6,00m	20x50	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		30x50	28,51%	7,83%	7,83%	15,60%	15,60%	22,65%
		40x50	50,22%	5,09%	5,09%	25,87%	25,87%	30,20%
% MÉDIA			39%	6%	6%	21%	21%	26%
10PAV	6,00m	20x50	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
		30x50	29,04%	6,59%	6,59%	14,91%	14,91%	23,74%
		40x50	50,49%	9,28%	9,28%	28,33%	28,33%	43,63%
% MÉDIA			40%	8%	8%	22%	22%	34%
MEDIA.TOTAL			37%	8%	8%	21%	21%	26%

Fonte: Os autores (2018)

O quadro 18 descreve em percentual o aumento dos esforços solicitados com a variação de largura das seções da viga de transição para o vão de 8,20m.

Quadro 18 - Análise em percentual de aumento dos esforços conforme a variação de largura das sessões com vão de 8,20 m

	VÃO	h x l	MOMENTO	MOMENTO	MOMENTO	FORÇA	FORÇA	Nd
			POSITIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	CORTANTE	CORTANTE	
			KN.m	KN.m	KN.m	KN	KN	
4 PAV	8,20m	20x70	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
		30x70	32.49%	2.43%	2.43%	13.90%	13.90%	42.91%
		40x70	60.98%	1.82%	1.82%	26.96%	26.96%	77.48%
% MÉDIA			47%	2%	2%	20%	20%	60%
6 PAV	8,20m	20x70	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
		30x70	34.73%	3.43%	3.43%	15.36%	15.36%	41.74%
		40x70	65.94%	3.82%	3.82%	30.03%	30.03%	77.08%
% MÉDIA			50%	4%	4%	23%	23%	59%
8PAV	8,20m	20x70	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
		30x70	34.64%	9.88%	9.88%	15.85%	15.85%	50.85%
		40x70	71.62%	14.95%	14.95%	33.48%	33.48%	99.73%
% MÉDIA			53%	12%	12%	25%	25%	75%
10PAV	8,20m	20x70	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
		30x70	26.37%	-0.76%	-0.76%	9.27%	9.27%	22.33%
		40x70	56.00%	1.54%	1.54%	23.14%	23.14%	52.15%
% MÉDIA			41%	0%	0%	16%	16%	37%
MEDIA TOTAL			41%	2%	2%	16%	16%	51%

Fonte: Os autores (2018)

Ao analisar os esforços solicitados com o aumento da largura, compreendeu-se que, com o acréscimo da largura da seção também se obteve um crescimento dos esforços solicitantes em uma menor escala, porém nada que tornasse vantajoso o dimensionamento das mesmas. Nos casos analisados em relação ao vão de 6,20m o aumento foi de 26% e para o vão de 8,20m foi de 51%, em relação força normal de compressão (N_d), aplicada sobre a viga de transição, fazendo com que o momento positivo tivesse um aumento médio de 37% para o vão de 6,00m e 41% para o vão de 8,20m. Os dados com detalhamento dos esforços encontram-se no apêndice E.

4.3 Análise do aumento de rigidez para as vigas superiores as de transição

Depois de verificado a influência do aumento de armadura em relação à variação de altura e largura da viga, foi realizada uma análise para tentar diminuir a taxa de armadura da viga de transição. Entendendo-se que essa viga de transição está resistindo a um elevado esforço normal devido à reação do pilar sobre a mesma.

Portanto partiu-se para uma análise da rigidez da estrutura de vão de 8,20m, aumentando a seção das vigas correspondentes à viga de transição nas lajes dos pavimentos superiores, um a um, com a mesma seção mínima que resistiu aos estados limites ultimo e de serviço sendo assim a mais econômica portando adotada como melhor opção para a viga de transição.

Assim aumentou-se a rigidez das vigas superiores para que suportem maiores esforços e assim diminua os esforços atuantes sobre a viga de transição. Os quadros seguintes então descrevem essa variação de rigidez nas vigas superiores, com os resultados obtidos em cada caso analisado, representando a diminuição dessa taxa de armadura em valor e em porcentagem para um melhor entendimento.

O quadro 19, portanto descreve os valores quantitativos de armadura obtidos com o aumento de rigidez nas sessões dos pavimentos superiores, e a porcentagem relativa a diminuição das mesmas em cada caso.

Quadro 19 - Taxa armadura com aumento de rigidez nas vigas superiores

		LAJE	h x l	ARMADURA NEGATIVA	ARMADURA POSITIVA	ARMADURA DE PELE	ARMADURA DE ESTRIBO	TOTAL	%
				Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	
8,20m	4PAV		20x70	31,70	67,80	18,40	14,20	132,10	0,00%
		LAJE-2		31,30	60,20	18,40	13,20	123,60	-6,43%
		LAJE-3		30,60	53,10	18,40	15,80	117,90	-10,75%
		LAJE-4		25,40	53,10	18,40	15,30	112,20	-15,06%
MÉDIA									-10,75%
8,20m	6PAV		20x70	30,10	82,20	18,40	16,50	147,20	0,00%
		LAJE-2		30,10	67,80	18,40	15,10	131,40	-10,73%
		LAJE-3		31,60	61,20	18,40	14,60	125,80	-14,54%
		LAJE-4		30,80	60,30	18,40	14,00	123,50	-16,10%
		LAJE-5		30,70	54,40	18,40	13,50	117,00	-7,00%
		LAJE-6		30,40	54,40	18,40	14,30	117,50	-6,60%
MÉDIA									-10,73%
8,20m	8PAV		20x70	33,30	82,70	18,40	19,40	153,80	0,00%
		LAJE-2		33,50	74,40	18,40	19,40	145,70	-5,27%
		LAJE-3		33,50	73,10	18,40	18,40	143,40	-6,76%
		LAJE-4		35,50	67,80	18,40	16,20	137,90	-10,34%
		LAJE-5		30,80	61,20	18,40	15,10	125,50	-12,48%
		LAJE-6		30,80	59,20	18,40	15,10	123,50	-13,88%
		LAJE-7		30,40	59,20	18,40	14,60	122,60	-2,31%
		LAJE-8		30,40	59,20	18,40	14,60	122,60	-2,31%
MÉDIA									-6,01%
8,20m	10PAV		20x70	41,70	93,50	18,40	21,10	174,70	0,00%
		LAJE-2		41,30	82,70	18,40	25,90	168,30	-3,66%
		LAJE-3		40,50	73,10	18,40	23,20	155,20	-11,16%
		LAJE-4		35,90	73,10	18,40	23,20	150,60	-13,80%
		LAJE-5		35,90	67,80	18,40	21,10	143,20	-7,73%
		LAJE-6		35,90	64,80	18,40	21,10	140,20	-9,66%
		LAJE-7		35,60	61,40	18,40	16,20	131,60	-8,10%
		LAJE-8		35,90	61,40	18,40	16,20	131,90	-7,89%
		LAJE-9		35,90	59,30	18,40	15,10	128,70	-2,20%
		LAJE10		35,90	59,30	18,40	15,10	128,70	-2,20%
MÉDIA									-7,89%
MÉDIA DE DIMINUIÇÃO DE ARMADURA									-9,31%

Fonte: Os autores (2018)

Obtivemos então com esta análise uma diminuição média de 9.31% de armadura em relação à viga de transição. Contudo, analisamos economicamente o que resultaria essa diminuição de armadura na viga de transição em relação ao edifício como um todo, tendo em vista que com o aumento das seções resultaria no aumento no valor gasto em forma e concreto, e até mesmo armadura. O quadro 20 relata os valores obtidos nestas análises. O anexo III apresenta um modelo de relatório retirado do software onde se obtém o quantitativo total da obra relacionado acima.

Quadro 20 - Orçamentação total da estrutura com aumento de rigidez

VAO 8,20 m	AÇO			FORMA			CONCRETO			VALOR	TOTAL	VARIAÇÃO
	TOTAL	VALOR	DIF.	TOTAL	DIF.	VALOR	TOTAL	DIF.	VALOR	TOTAL	DIFERENÇA	%
4 PAV	KG	(R\$)	(R\$)	m²	m²	DIF.(R\$)	m³	m³	DIF.(R\$)	(R\$)	(R\$)	
	4414	33678,82	0,00	615,63	0,00	0,00	62,11	0,00	0,00	89209,48	0,00	0,00%
LAJE-2	4421	33732,23	53,41	617,67	2,04	117,22	62,35	0,24	77,89	89457,99	248,52	0,28%
LAJE-3	4380	33419,40	-259,42	619,83	4,20	241,33	62,63	0,52	168,76	89360,15	150,67	-0,11%
LAJE-4	4350	33190,50	-488,32	621,89	6,26	359,70	62,91	0,80	259,62	89340,48	131,00	-0,02%
6 PAV	MÉDIA											-0,02%
	6549	49968,87	0,00	888,33	0,00	0,00	88,12	0,00	0,00	129609,90	0,00	0,00%
LAJE-2	6288	47977,44	-199,43	890,49	2,16	124,11	88,40	0,28	90,87	127833,45	-1776,45	-1,37%
LAJE-3	6264	47794,32	-2174,55	892,65	2,16	124,11	88,68	0,28	90,87	127865,31	-1959,57	0,02%
LAJE-4	6260	47763,80	-2205,07	894,81	2,16	124,11	88,96	0,28	90,87	128049,77	-1990,09	0,14%
LAJE-5	6333	48320,79	-1648,08	896,97	2,16	124,11	89,24	0,28	90,87	128821,74	-1433,10	0,60%
LAJE-6	6284	47946,92	-2021,95	899,13	2,16	124,11	89,52	0,28	90,87	128662,86	-1806,97	-0,12%
8 PAV	MÉDIA											0,02%
	8703	66403,89	0,00	1161,77	0,00	0,00	114,34	0,00	0,00	8703,00	0,00	0,00%
LAJE-2	8607	65671,41	-732,48	1163,93	2,16	124,11	114,62	0,28	90,87	8673,00	-517,50	-0,34%
LAJE-3	8640	65923,20	-480,69	1166,09	2,16	124,11	114,90	0,28	90,87	8640,00	-265,71	-0,38%
LAJE-4	8487	64755,81	-1648,08	1168,25	2,16	124,11	115,18	0,28	90,87	8487,00	-265,71	-1,77%
LAJE-5	8507	64908,41	-1495,48	1170,41	2,16	124,11	115,46	0,28	90,87	8507,00	-1280,50	0,24%
LAJE-6	8536	65129,68	-1274,21	1172,57	2,16	124,11	115,74	0,28	90,87	8536,00	-1059,23	0,34%
LAJE-7	8554	65267,02	-1136,87	1174,73	2,16	124,11	116,02	0,28	90,87	8554,00	-921,89	0,21%
LAJE-8	8572	65404,36	-999,53	1175,69	0,96	55,16	116,15	0,13	42,19	8572,00	-902,18	0,21%
10 PAV	MÉDIA											0,21%
	11293	86165,59	0,00	1436,94	0,00	0,00	140,86	0,00	0,00	11293,00	0,00	0,00%
LAJE-2	11119	84837,97	-1327,62	1437,03	0,09	5,17	140,87	0,01	3,25	11119,00	-1319,20	-1,54%
LAJE-3	11070	84464,10	-1701,49	1439,19	2,16	124,11	141,15	0,28	90,87	11070,00	-1486,51	-0,44%
LAJE-4	11026	84128,38	-2037,21	1441,35	2,16	124,11	141,43	0,28	90,87	11026,00	-1822,23	-0,40%
LAJE-5	11012	84021,56	-2144,03	1443,51	2,16	124,11	141,71	0,28	90,87	11012,00	-1929,05	-0,13%
LAJE-6	11035	84197,05	-1968,54	1445,67	2,16	124,11	141,99	0,28	90,87	11035,00	-1753,56	0,21%
LAJE-7	11041	84242,83	-1922,76	1447,83	2,16	124,11	142,27	0,28	90,80	11041,00	-1707,84	0,05%
LAJE-8	11060	84387,80	-1777,79	1449,99	2,16	124,11	142,55	0,28	90,87	11060,00	-1562,81	0,17%
LAJE-9	11118	84830,34	-1335,5	1452,15	2,16	124,11	142,83	0,28	90,87	11118,00	-1120,27	0,52%
LAJE-10	11050	84311,50	-1854,09	1454,31	2,16	124,11	143,11	0,28	90,87	11050,00	-1639,11	-0,61%
	MÉDIA											-0,13%
												0,0015%

Fonte: Os autores (2018)

Ao finalizar a análise dos resultados encontrados podemos notar que o aumento da rigidez nas vigas superiores não resultou em uma redução significativa da armadura nem do custo total da edificação. O detalhamento dos esforços atuantes sobre as vigas de transição com o aumento de rigidez nas vigas superiores encontram-se no apêndice F.

5. CONCLUSÃO

Esse estudo restringiu-se ao pré-dimensionamento de seções transversais de vigas em concreto armado, submetidas a cargas concentradas provenientes de pavimentos superiores, representando a situação típica de vigas de transição. Buscou-se analisar diferentes situações de carregamentos e vãos, juntamente com a variação das alturas e da largura das seções, e também a influência da rigidez em relação as vigas superiores à de transição. Com isso, foram gerados resultados que expressam o modelo mais econômico possível para os casos.

Como esperado, o vão efetivo influencia na altura final das vigas. Partindo-se do pressuposto que o vão não poderá ser alterado após a definição do projeto arquitetônico, pois as vigas analisadas em relação ao menor vão tiveram seções com uma taxa de armadura bem menor, possibilitando o dimensionamento com menores alturas.

Conferiu-se que o aumento em relação à altura da viga não é interessante, uma vez que ela se torna mais rígida fazendo com que absorva mais carga, com isso obtendo um aumento significativo da reação do pilar P10 sobre a viga, fazendo com que o momento positivo fosse bem maior, ocasionando a necessidade de aumentar a armadura para garantir a resistência da estrutura.

Ao variar a largura da seção transversal pode-se notar uma diminuição do esforço do pilar sobre a viga e do momento positivo, em relação à variação de altura. Porém nada que se contribui para um dimensionamento favorável em relação a seção mais econômica encontrada, pois se teve que manter a mesma altura mesmo com o aumento da largura para que o deslocamento permanecesse dentro do limite aceitável.

Em relação ao crescimento de rigidez nas vigas dos pavimentos superiores à viga de transição, notou-se uma subtração na armadura da mesma, entretanto, quando avaliada em relação ao custo total da estrutura não se torna interessante.

Enfim, sugere-se para estudos futuros a análise da influência do aumento de rigidez de todas as vigas do pavimento térreo (que contém a viga de transição), nas dimensões da viga de transição, para atender exigências arquitetônicas.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118: Projetos de estrutura de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2014.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. São Paulo, SP: ABNT, 1980.

ALVA, Gerson Moacyr Sisniegas. CONCEPÇÃO ESTRUTURAL DE EDIFÍCIOS EM CONCRETO ARMADO: ESTRUTURAS DE CONCRETO. **ESTRUTURAS DE CONCRETO** , Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 1-23, maio. 2007. Disponível em: <<http://www.ceap.br/material/MAT16082010230324.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

ARAÚJO, José Milton de. **CURSO DE CONCRETO ARMADO** : Concreto Armado. 4. ed. RIO GRANDE - RS: Dunas, 2014. 356 p. v. 2. **CURSO DE CONCRETO ARMADO** : Concreto Armado. 4. ed. RIO GRANDE - RS: Dunas, 2014. 289 p. v. 3.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **ESTRUTURAS DE CONCRETO I : FLEXÃO NORMAL SIMPLES - VIGAS**. 2015. ed. Bauru: [s.n.], 2015. 81 p. v. 1. Disponível em: <<http://file:///C:/Users/Cliente/Downloads/FlexaoSimples%20BASTOS.pdf>>. Acesso em: 09 abr. 2018_____. **ESTRUTURAS DE CONCRETO II: VIGAS DE CONCRETO ARMADO**. 2017. ed. Bauru: [s.n.], 2017. 60 p. v. 1. Disponível em: <[http://file:///C:/Users/Cliente/Downloads/Vigas%20\(1\).pdf](http://file:///C:/Users/Cliente/Downloads/Vigas%20(1).pdf)>. Acesso em: 09 abr. 2018.

CARDOSO, Julia Rodrigues. **PRÉ-DIMENSIONAMENTO DA SEÇÃO TRANSVERSAL DE VIGAS DE TRANSIÇÃO PARA EDIFICAÇÕES EM CONCRETO ARMADO** . 2016. 82 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil)- Engenharia Civil, Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2016. 1. Disponível em: <[http://file:///C:/Users/Cliente/Downloads/2016JuliaRodriguesCardoso%20\(1\).pdf](http://file:///C:/Users/Cliente/Downloads/2016JuliaRodriguesCardoso%20(1).pdf)>. Acesso em: 09 abr. 2018.

CAMACHO, Jefferson Sidney . **CONCRETO ARMADO** : ESTADOS LIMITES DE UTILIZAÇÃO. 2005. ed. Ilha Solteira: [s.n.], 2005. 48 p. v. 1.

CARVALHO, Roberto Chust; FILHO, Jasson Rodrigues de Figueiredo. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado** : segundo a NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014. 416 p. v. 1.

CHING, Francis D. K.; ONOUYE, Barry S.; ZUBERBUHLER, Douglas; tradução: Alexandre Salvaterra. **Sistemas estruturais ilustrados**: padrões, sistemas e projeto. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

CHRISTOFORO , André Luis; SIMIONI, Cássio Fernando . **Esforços Solicitantes** . 2014. 47 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil)- Departamento de Engenharia Civi, Universidade Federal de Viçosa., VIÇOSA, 2014. Disponível em: <http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_8581apostila_esfoboyos_solicitantes_em_vigas_pdf.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2018.

CLÍMACO, João Carlos Teatini de Souza. **ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO** : FUNDAMENTOS DE PROJETO, DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO. 3. ed. Brasília-DF: Unb, 2016. 439 p. v. 1. EXEMPLO de um projeto completo de edifício de concreto armado. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1986. Disponível em: <<http://usuarios.upf.br/~zacarias/Cap-1-Introducao-Criterios-de-Projetos.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

KEMCZINSKI, Pedro Gabriel. **CÁLCULO E DETALHAMENTO DE ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL** . 2015. 121 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil)- Engenharia Civil, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, FLORIANÓPOLIS, [2015]. 1. Disponível em: <http://file:///C:/Users/Cliente/Downloads/TCC_Pedro%20Gabriel%20Kemczinski.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2018.

MARTHA, Luiz Fernando. **Ftool** : A análise estrutural bidimensional com eficiência e facilidade. O Ftool certamente você já conhece!. E-Civil. Disponível em: <http://www.ecivilnet.com/software/ftool_analise_estrutural.htm>. Acesso em: 01 maio 2018

_____. **MÉTODOS BÁSICOS DA ANÁLISE DE ESTRUTURAS** . 2012. 325 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil)- Engenharia Civil - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro ? PUC-Rio , Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/decc/ECC1002/Downloads/Metodos_basicos_da_analise_de_e_structuras_Capa_e_Sumario.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2018.

PAIVA , Débora Pereira de; MOREIRA , Joselias ; AMARANTE , Maikol Nascimento do. **DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA EXTRUTURAL PARA O DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO** . 2015. 188 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bachareis em Engenharia Civil)- Ciências Exatas e de Tecnologia , Universidade Tuiuti do Paraná. , CURITIBA, [2015]. 1. Disponível em: <<http://file:///C:/Users/Cliente/Downloads/DESENVOLVIMENTO-DO-PROGRAMA.pdf>>. Acesso em: 09 abr. 2018.

PINHEIRO, Libânio M.; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P. FUNDAMENTOS DO CONCRETO E PROJETO DE EDIFÍCIOS: ESTRUTURAS DE CONCRETO I. **ESTRUTURAS DE CONCRETO I** , São Carlos, v. 1, p. 1-380, maio. 2007. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Apost_EESC_USP_Libanio.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2018.

TEIXEIRA, Clever Marcos. **Copyspider Anti-plágio** : Detector de Plágio pela Internet. Version 1.1.0. Anhanguera Educacional- FAV: [s.n.], [2013?]. Disponível em: <<http://www.copyspider.com.br>>. Acesso em: 01 maio 2018.

RABELO, BRUNO VINHAES. **ANÁLISE DE UMA ESTRUTURA DE EDIFICAÇÃO COM VIGA DE TRANSIÇÃO** . 2012. 49 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil)- Engenharia Civil- Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. 1. Disponível em:

<[http://file:///C:/Users/Cliente/Downloads/monopoli10004743%20\(1\).pdf](http://file:///C:/Users/Cliente/Downloads/monopoli10004743%20(1).pdf)>. Acesso em: 09 abr. 2018

COOPER Jr., John Milton. The Warrior and the Priest: Woodrow Wilson and Theodore Roosevelt. Cambridge: The Harvard University Press, 1983. Acesso em: 29 nov. 2018

**APÊNDICE A: RELAÇÃO ORÇAMENTARIA DE AÇO, FORMA E CONCRETO
PARA OS CASOS ANALISADOS COM VARIAÇÃO DE ALTURA.**

h x l	10 PAV 6,00m				VALOR TOTAL DA VIGA
		QTD	CUST UNT.	VALOR TT.	
	FORMA (m)	12.00	R\$ 57,46	R\$ 689,52	R\$ 2.318,14
20X90	CONCRETO (m³)	1.125	R\$ 324,53	R\$ 365,10	
	AÇO (kg)	164.6		R\$ 1.263,52	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	
	FORMA (m)	10.80	R\$ 57,46	R\$ 620,57	R\$ 2.151,53
20X80	CONCRETO (m³)	1.000	R\$ 324,53	R\$ 324,53	
	AÇO (kg)	157.6		R\$ 1.206,43	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	
	FORMA (m)	9,6	R\$ 57,46	R\$ 551,62	R\$ 1.870,34
20x70	CONCRETO (m³)	0.875	R\$ 324,53	R\$ 283,96	
	AÇO (kg)	135,0		R\$ 1.034,76	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	
	FORMA (m)	8.4	R\$ 57,46	R\$ 482,66	R\$ 1.614,16
20X60	CONCRETO (m³)	0.750	R\$ 324,53	R\$ 243,40	
	AÇO (kg)	117.5		R\$ 888,10	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	
	FORMA (m)	7.2	R\$ 57,46	R\$ 413,71	R\$ 1.435,27
20X50	CONCRETO (m³)	0.625	R\$ 324,53	R\$ 202,83	
	AÇO (kg)	108.6		R\$ 818,73	

h x l	8 PAV 6,00m				VALOR TOTAL DA VIGA
		QTD	CUST UNT.	VALOR TT.	
	FORMA (m)	12.00	R\$ 57,46	R\$ 689,52	R\$ 2.136,08
20X90	CONCRETO (m³)	1.125	R\$ 324,53	R\$ 365,10	
	AÇO (kg)	140.9		R\$ 1.081,46	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	
	FORMA (m)	10.80	R\$ 57,46	R\$ 620,57	R\$ 1.989,35
20X80	CONCRETO (m³)	1.000	R\$ 324,53	R\$ 324,53	
	AÇO (kg)	136.3		R\$ 1.044,25	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	
	FORMA (m)	9.6	R\$ 57,46	R\$ 551,62	R\$ 1.808,26
20X70	CONCRETO (m³)	0.875	R\$ 324,53	R\$ 283,96	
	AÇO (kg)	127.3		R\$ 972,68	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	
	FORMA (m)	8.4	R\$ 57,46	R\$ 482,66	R\$ 1.494,76
20X60	CONCRETO (m³)	0.750	R\$ 324,53	R\$ 243,40	
	AÇO (kg)	101.8		R\$ 768,70	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	
	FORMA (m)	7.2	R\$ 57,46	R\$ 413,71	R\$ 1.336,68
20X50	CONCRETO (m³)	0.625	R\$ 324,53	R\$ 202,83	
	AÇO (kg)	95.3		R\$ 720,14	

h x l	6 PAV 6,00m				VALOR TOTAL DA VIGA
20X90		QTD	CUST UNT.	VALOR TT.	R\$ 1.940,32
	FORMA (m)	12.00	R\$ 57,46	R\$ 689,52	
	CONCRETO (m³)	1.125	R\$ 324,53	R\$ 365,10	
	AÇO (kg)	115.6		R\$ 885,70	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	
20X80	FORMA (m)	10.80	R\$ 57,46	R\$ 620,57	R\$ 1.793,88
	CONCRETO (m³)	1.000	R\$ 324,53	R\$ 324,53	
	AÇO (kg)	110.7		R\$ 848,78	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	
20X70	FORMA (m)	9.6	R\$ 57,46	R\$ 551,62	R\$ 1.591,02
	CONCRETO (m³)	0.875	R\$ 324,53	R\$ 283,96	
	AÇO (kg)	98.8		R\$ 755,44	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	
20X60	FORMA (m)	8.4	R\$ 57,46	R\$ 482,66	R\$ 1.324,95
	CONCRETO (m³)	0.750	R\$ 324,53	R\$ 243,40	
	AÇO (kg)	79.4		R\$ 598,89	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	
20X50	FORMA (m)	7.2	R\$ 57,46	R\$ 413,71	R\$ 1.168,68
	CONCRETO (m³)	0.625	R\$ 324,53	R\$ 202,83	
	AÇO (kg)	73.3		R\$ 552,14	

h x l	4 PAV 6,00m				VALOR TOTAL DA VIGA
20X90		QTD	CUST UNT.	VALOR TT.	R\$ 1.737,28
	FORMA (m)	12.00	R\$ 57,46	R\$ 689,52	
	CONCRETO (m³)	1.125	R\$ 324,53	R\$ 365,10	
	AÇO (kg)	88.5		R\$ 682,66	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	
20X80	FORMA (m)	10.80	R\$ 57,46	R\$ 620,57	R\$ 1.601,40
	CONCRETO (m³)	1.000	R\$ 324,53	R\$ 324,53	
	AÇO (kg)	85.4		R\$ 656,30	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	
20X70	FORMA (m)	9.6	R\$ 57,46	R\$ 551,62	R\$ 1.461,62
	CONCRETO (m³)	0.875	R\$ 324,53	R\$ 283,96	
	AÇO (kg)	81.6		R\$ 626,04	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	
20X60	FORMA (m)	8.4	R\$ 57,46	R\$ 482,66	R\$ 1.200,05
	CONCRETO (m³)	0.750	R\$ 324,53	R\$ 243,40	
	AÇO (kg)	62.7		R\$ 473,99	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	
20X50	FORMA (m)	7.2	R\$ 57,46	R\$ 413,71	R\$ 1.060,01
	CONCRETO (m³)	0.625	R\$ 324,53	R\$ 202,83	
	AÇO (kg)	58.9		R\$ 443,47	

h x l	10 PAV 8,20m				VALOR TOTAL DA VIGA
		QTD	CUST UNT.	VALOR TT.	
20X110	FORMA (m)	19.68	R\$ 57,46	R\$ 1.130,81	R\$ 3.935,51
	CONCRETO (m³)	1.848	R\$ 324,53	R\$ 599,73	
	AÇO (kg)	287.4		R\$ 2.204,97	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	
20X100	FORMA (m)	18.04	R\$ 57,46	R\$ 1.036,58	R\$ 3.396,16
	CONCRETO (m³)	1.680	R\$ 324,53	R\$ 545,21	
	AÇO (kg)	237.1		R\$ 1.814,37	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	
20X90	FORMA (m)	16.4	R\$ 57,46	R\$ 942,34	R\$ 3.122,12
	CONCRETO (m³)	1.512	R\$ 324,53	R\$ 490,69	
	AÇO (kg)	220.9		R\$ 1.689,09	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	
20X80	FORMA (m)	14.76	R\$ 57,46	R\$ 848,11	R\$ 2.814,64
	CONCRETO (m³)	1.344	R\$ 324,53	R\$ 436,17	
	AÇO (kg)	200.7		R\$ 1.530,36	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	
20X70	FORMA (m)	13.12	R\$ 57,46	R\$ 753,88	R\$ 2.466,64
	CONCRETO (m³)	1.176	R\$ 324,53	R\$ 381,65	
	AÇO (kg)	174.7	R\$ 57,46	R\$ 1.331,11	

h x l	8 PAV 8,20m				VALOR TOTAL DA VIGA
		QTD	CUST UNT.	VALOR TT.	
20X110	FORMA (m)	19.68	R\$ 57,46	R\$ 1.130,81	R\$ 3.561,75
	CONCRETO (m³)	1.848	R\$ 324,53	R\$ 599,73	
	AÇO (kg)	239.1		R\$ 1.831,21	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	
20X100	FORMA (m)	18.04	R\$ 57,46	R\$ 1.036,58	R\$ 3.457,67
	CONCRETO (m³)	1.680	R\$ 324,53	R\$ 545,21	
	AÇO (kg)	243.7		R\$ 1.875,88	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	
20X90	FORMA (m)	16.4	R\$ 57,46	R\$ 942,34	R\$ 2.994,66
	CONCRETO (m³)	1.512	R\$ 324,53	R\$ 490,69	
	AÇO (kg)	203.5		R\$ 1.561,63	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	
20X80	FORMA (m)	14.76	R\$ 57,46	R\$ 848,11	R\$ 2.689,14
	CONCRETO (m³)	1.344	R\$ 324,53	R\$ 436,17	
	AÇO (kg)	182.7		R\$ 1.404,86	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	
20X70	FORMA (m)	13.12	R\$ 57,46	R\$ 753,88	R\$ 2.308,63
	CONCRETO (m³)	1.176	R\$ 324,53	R\$ 381,64	
	AÇO (kg)	153.8	R\$ 57,46	R\$ 1.173,11	

h x l	6 PAV 8,20m				VALOR TOTAL DA VIGA
		QTD	CUST UNT.	VALOR TT.	R\$ 3.252,91
	FORMA (m)	19.68	R\$ 57,46	R\$ 1.130,81	
20X110	CONCRETO (m³)	1.848	R\$ 324,53	R\$ 599,73	
	AÇO (kg)	202.7		R\$ 1.522,37	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	R\$ 3.037,79
	FORMA (m)	18.04	R\$ 57,46	R\$ 1.036,58	
20X100	CONCRETO (m³)	1.680	R\$ 324,53	R\$ 545,21	
	AÇO (kg)	190.2		R\$ 1.456,00	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	R\$ 2.721,84
	FORMA (m)	16.4	R\$ 57,46	R\$ 942,34	
20X90	CONCRETO (m³)	1.512	R\$ 324,53	R\$ 490,67	
	AÇO (kg)	168.3		R\$ 1.288,83	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	R\$ 2.455,52
	FORMA (m)	14.76	R\$ 57,46	R\$ 848,11	
20X80	CONCRETO (m³)	1.344	R\$ 324,53	R\$ 436,17	
	AÇO (kg)	153.2		R\$ 1.171,24	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	R\$ 2.258,17
	FORMA (m)	13.12	R\$ 57,46	R\$ 753,88	
20X70	CONCRETO (m³)	1.176	R\$ 324,53	R\$ 381,65	
	AÇO (kg)	147.2	R\$ 57,46	R\$ 1.122,64	

h x l	4 PAV 8,20m				VALOR TOTAL DA VIGA
		QTD	CUST UNT.	VALOR TT.	R\$ 3.241,66
	FORMA (m)	19.68	R\$ 57,46	R\$ 1.13,81	
20X110	CONCRETO (m³)	1.848	R\$ 324,53	R\$ 599,73	
	AÇO (kg)	196.5		R\$ 1.511,12	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	R\$ 2.935,89
	FORMA (m)	18.04	R\$ 57,46	R\$ 1.036,58	
20X100	CONCRETO (m³)	1.680	R\$ 324,53	R\$ 545,21	
	AÇO (kg)	175.9		R\$ 1.354,10	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	R\$ 2.647,16
	FORMA (m)	16.4	R\$ 57,46	R\$ 942,34	
20X90	CONCRETO (m³)	1.512	R\$ 324,53	R\$ 490,67	
	AÇO (kg)	157.3		R\$ 1.214,15	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	R\$ 2.358,88
	FORMA (m)	14.76	R\$ 57,46	R\$ 848,11	
20X80	CONCRETO (m³)	1.344	R\$ 324,53	R\$ 436,17	
	AÇO (kg)	139.6		R\$ 1.074,60	
		QTD	CUST UNT	VALOR TT	R\$ 2.145,36
	FORMA (m)	13.12	R\$ 57,46	R\$ 753,88	
20X70	CONCRETO (m³)	1.176	R\$ 324,53	R\$ 381,65	
	AÇO (kg)	132.1		R\$ 1.009,83	

**APÊNDICE B: DETALHAMENTO DE ARMADURAS NOS CASOS ANALISADOS
EM RELAÇÃO À VARIAÇÃO DE ALTURA.**

		h x l	ARMADURA	ARMADURA	ARMADURA	ARMADURA	TOTAL Kg
			NEGATIVA	POSITIVA	DE PELE	DE ESTRIBO	
			Kg	Kg	Kg	Kg	
4 PAV	6,00m	20x50	14.3	36.8		7.8	58.90
		20x60	14.9	38.7		9.1	62.70
		20x70	12.6	45.1	13.6	10.3	81.60
		20x80	11.6	46.7	15.6	11.5	85.40
		20X90	11.1	47.2	17.5	12.7	88.50
6 PAV	6,00m	20x50	23.1	42.2		8.0	73.30
		20x60	18.2	50.3		10.9	79.40
		20x70	17.7	55.1	13.6	12.4	98.80
		20x80	16.2	64.7	15.6	14.5	111.00
		20X90	15.7	66.4	17.5	16.0	115.60
8PAV	6,00m	20x50	28.4	53.0		13.9	95.30
		20x60	27.2	61.1		13.5	101.80
		20x70	25.5	71.3	13.6	16.9	127.30
		20x80	26.4	75.4	15.6	18.9	136.30
		20X90	25.4	77.1	17.5	20.9	140.90
10PAV	6,00m	20x50	34.3	59.8		14.5	108.60
		20x60	31.0	69.8		16.7	117.50
		20x70	28.8	73.6	13.6	19.0	135.00
		20x80	26.9	90.6	15.6	24.5	157.60
		20X90	25.9	94.1	17.5	27.1	164.60

		h x l	ARMADURA	ARMADURA	ARMADURA	ARMADURA	TOTAL KG
			NEGATIVA	POSITIVA	DE PELE	DE ESTRIBO	
			Kg	Kg	Kg	Kg	
4 PAV	8,20 m	20x70	31.7	67.8	18.4	14.2	132.1
		20x80	19.4	75.2	21.3	23.6	139.5
		20x90	18.2	89.0	24.0	26.1	157.3
		20x100	18.2	102.5	26.6	28.6	175.9
		20X110	19.4	116.7	29.3	31.1	196.5
6 PAV	8,20 m	20x70	30.1	82.2	18.4	16.5	147.2
		20x80	27.4	86.4	21.1	18.3	153.2
		20x90	25.7	98.6	23.8	20.2	168.3
		20x100	21.8	119.8	26.4	22.2	190.2
		20X110	22.4	125.9	29.1	25.3	202.7
8PAV	8,20 m	20x70	33.3	82.7	18.4	19.4	153.8
		20x80	31.1	96.8	21.0	33.8	182.7
		20x90	30.1	116.8	23.6	33.0	203.5
		20x100	34.3	134.4	26.2	48.8	243.7
		20X110	33.5	142.0	28.8	34.8	239.1
10PAV	8,20 m	20x70	41.7	93.5	18.4	21.1	174.7
		20x80	40.8	114.5	21.0	24.4	200.7
		20x90	35.9	131.1	23.6	30.3	220.9
		20x100	38.0	138.3	26.2	34.6	237.1
		20X110	35.7	170.7	28.8	52.2	287.4

**APÊNDICE C: DETALHAMENTO DOS ESFORÇOS SOLICITANTES NOS CASOS
ANALISADOS EM RELAÇÃO À VARIAÇÃO DE ALTURA**

			MOMENTO	MOMENTO	MOMENTO	FORÇA	FORÇA	Nd
		h x l	POSITIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	CORTANTE	CORTANTE	
			KN.m	KN.m	KN.m	KN	KN	
4 PAV	6,00m	20x50	143.25	78.91	78.91	106.23	106.23	106.1
		20x60	194.39	87.46	87.46	126.27	126.27	138.8
		20x70	246.30	92.6	92.6	146.21	146.21	169.9
		20x80	296.15	95.68	95.68	165.22	165.22	198.6
		20X90	341.90	97.8	97.8	182.72	182.72	244.6
6 PAV	6,00m	20x50	168.41	99.27	99.27	123.94	123.94	131.3
		20x60	234.83	113.29	113.29	149.72	149.72	177.2
		20x70	306.08	123.44	123.44	177.69	177.69	223.8
		20x80	378.40	131.01	131.01	205.94	205.94	269.6
		20X90	448.50	137.15	137.15	233.17	233.17	312.8
8PAV	6,00m	20x50	193.90	124.66	124.66	145.56	145.56	157.6
		20x60	272.02	144.99	144.99	176.98	176.98	214.2
		20x70	357.52	160.86	160.86	210.49	210.49	272.8
		20x80	534.73	173.62	173.62	244.83	244.83	331.8
		20X90	388.90	184.5	184.5	279	279.00	388.9
10PAV	6,00m	20x50	207.50	143.93	143.93	161.05	161.05	160.9
		20x60	292.16	162.57	162.57	193.41	193.41	219.4
		20x70	388.74	175.58	175.58	229.27	229.27	282.7
		20x80	492.73	184.69	184.69	267.32	267.32	348.7
		20X90	599.80	191.35	191.35	306.03	306.03	415.1

			MOMENTO	MOMENTO	MOMENTO	FORÇA	FORÇA	Nd
		h x l	POSITIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	CORTANTE	CORTANTE	
			KN.m	KN.m	KN.m	KN	KN	
4 PAV	8,20 m	20x70	287.8	164.8	164.8	201.4	201.4	75.5
		20x80	369.5	113.0	113.0	198.6	198.6	81.9
		20x90	475.8	113.7	113.7	226.0	226.0	123.5
		20x100	587.2	113.1	113.1	255.0	255.0	166.7
		20X110	699.3	112.7	112.7	284.4	284.4	233.5
6 PAV	8,20 m	20x70	329.4	177.9	177.9	216.1	216.1	104.7
		20x80	408.3	128.2	185.3	211.9	234.7	122.1
		20x90	530.0	132.9	196.1	244.0	266.8	175.2
		20x100	662.5	136.6	205.1	279.5	302.4	231.8
		20X110	800.4	139.5	212.5	316.6	339.5	289.4
8PAV	8,20 m	20x70	340.8	201.2	201.2	226.1	226.1	111.9
		20x80	460.1	219.2	219.2	257.3	257.3	167.8
		20x90	595.0	234.4	234.4	293.4	293.4	229.4
		20x100	742.6	247.6	247.6	333.5	333.5	295.2
		20X110	898.8	259.4	259.4	376.3	376.3	364.1
10PAV	8,20 m	20x70	372.7	246.8	246.8	247.7	247.7	144.2
		20x80	499.9	272.1	272.1	281.8	281.8	205.4
		20x90	644.0	294.1	294.1	321.2	321.2	273.1
		20x100	802.5	313.6	313.6	364.9	364.9	346.1
		20X110	971.6	331.6	331.6	411.8	411.8	423.1

**APÊNDICE D: DETALHAMENTO DE ARMADURAS NOS CASOS ANALISADOS
EM RELAÇÃO À VARIAÇÃO DE LARGURA**

		h x l	ARMADURA	ARMADURA	ARMADURA	ARMADURA	TOTAL KG
			NEGATIVA	POSITIVA	DE PELE	DE ESTRIBO	
			Kg	Kg	Kg	Kg	
4 PAV	6,00m	20x50	14.3	36.8		7.8	58.9
		30x50	14.9	41.8		10.5	67.2
		40x50	14.3	52.2		153.0	81.8
6 PAV	6,00m	20x50	23.1	42.2		8.0	73.3
		30x50	18.4	54.8		13.5	86.7
		40x50	21.0	59.7		15.3	96.0
8PAV	6,00m	20x50	28.4	53.0		13.9	95.3
		30x50	27.6	63.5		14.9	106.0
		40x50	24.8	70.0		19.0	113.8
10PAV	6,00m	20x50	34.3	59.8		14.5	108.6
		30x50	30.8	69.2		20.9	120.9
		40x50	30.7	81.3		29.0	141.0

		h x l	ARMADURA	ARMADURA	ARMADURA	ARMADURA	TOTAL
			NEGATIVA	POSITIVA	DE PELE	DE ESTRIBO	
			Kg	Kg	Kg	Kg	
4 PAV	8,20m	20x70	31.7	67.8	18.4	14.2	132.1
		30x70	27.9	92.2	28.8	23.3	172.2
		40x70	30.9	105.1	36.7	32.3	205.0
6 PAV	8,20m	20x70	30.1	82.2	18.4	16.5	147.2
		30x70	29.3	109.0	28.8	26.5	193.6
		40x70	33.4	134.6	36.7	33.0	237.7
8PAV	8,20m	20x70	33.3	82.7	18.4	19.4	153.8
		30x70	34.6	114.5	28.8	26.5	204.4
		40x70	41.0	135.8	36.7	33.0	246.5
10PAV	8,20m	20x70	41.7	93.5	18.4	21.1	174.7
		30x70	42.4	114.8	28.8	26.5	212.5
		40x70	44.0	135.8	36.7	43.9	260.4

**APÊNDICE E: DETALHAMENTO DOS ESFORÇOS SOLICITANTES NOS CASOS
ANALISADOS EM RELAÇÃO À VARIAÇÃO DE LARGURA**

		h x l	MOMENTO	MOMENTO	MOMENTO	FORÇA	FORÇA	Nd
			POSITIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	CORTANTE	CORTANTE	
			KN.m	KN.m	KN.m	KN	KN	
4 PAV	6,00m	20x50	143.25	78.91	78.91	106.23	106.23	106.1
		30x50	180.55	82.34	82.34	121.81	121.81	126.5
		40x50	211.83	82.72	82.72	135.32	135.32	141.9
6 PAV	6,00m	20x50	168.41	99.27	99.27	123.94	123.94	131.3
		30x50	215.68	105.53	105.53	143.01	143.01	160.0
		40x50	256.43	107.59	107.59	159.88	159.88	182.8
8PAV	6,00m	20x50	193.9	124.66	124.66	145.56	145.56	157.6
		30x50	249.18	134.42	134.42	168.27	168.27	193.3
		40x50	291.28	131	131	183.22	183.22	205.2
10PAV	6,00m	20x50	207.5	143.93	143.93	161.05	161.05	160.9
		30x50	267.75	153.41	153.41	185.07	185.07	199.1
		40x50	312.26	157.29	157.29	206.68	206.68	231.1

		h x l	MOMENTO	MOMENTO	MOMENTO	FORÇA	FORÇA	Nd
			POSITIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	CORTANTE	CORTANTE	
			KN.m	KN.m	KN.m	KN	KN	
4 PAV	8,20m	20x70	287.8	164.8	164.8	201.4	201.4	75.5
		30x70	381.3	168.8	168.8	229.4	229.4	107.9
		40x70	463.3	167.8	167.8	255.7	255.7	134.0
6 PAV	8,20m	20x70	329.4	177.9	177.9	216.1	216.1	104.7
		30x70	443.8	184.0	184.0	249.3	249.3	148.4
		40x70	546.6	184.7	184.7	281.0	281.0	185.4
8PAV	8,20m	20x70	340.8	201.2	201.2	226.1	226.1	111.9
		30x70	458.9	221.1	221.1	261.9	261.9	168.8
		40x70	584.9	231.3	231.3	301.8	301.8	223.5
10PAV	8,20m	20x70	372.7	246.8	246.8	247.7	247.7	144.2
		30x70	471.0	244.9	244.9	270.7	270.7	176.4
		40x70	581.4	250.6	250.6	305.0	305.0	219.4

**APÊNDICE F: DETALHAMENTO DOS ESFORÇOS SOLICITANTES NOS CASOS
ANALISADOS EM RELAÇÃO À VARIAÇÃO DE RIGIDEZ NAS VIGAS
SUPERIORES**

				MOMENTO	MOMENTO	MOMENTO	FORÇA	FORÇA	Nd	AÇO TOTAL
				POSITIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	CORTANTE	CORTANTE		ESTRUTURA
				KN.m	KN.m	KN.m	KN	KN	KN	KG
8.2 m	4 PAV		20x70	287.8	164.8	164.8	201.4	201.4	75.5	4414
		LAJE-02		246.63	160.33	160.33	189.61	189.6	47.2	4421
		LAJE-03		221.45	149.46	149.46	179.51	179.51	25.3	4380
		LAJE-04		206.17	143.27	143.27	173.53	173.53	12.1	4350
%				40%	15%	15%	16%	16%	524%	1%
8.2 m	6 PAV		20x70	329.4	177.9	177.9	216.1	216.1	104.7	6549
		LAJE-02		287.66	171.22	171.22	203.06	203.06	73.4	6288
		LAJE-03		265.36	163.92	163.92	194.83	194.83	54.4	6264
		LAJE-04		248.58	159.05	159.05	188.89	188.89	40.03	6260
		LAJE-05		235.21	155.15	155.15	184.15	184.15	29	6333
		LAJE-06		226.84	152.72	152.72	181.17	181.17	22	6284
%				45%	16%	16%	19%	19%	376%	4%
8.2 m	8 PAV		20x70	340.8	201.2	201.2	226.1	226.1	111.9	8703
		LAJE-02		318.71	201.13	201.1	220.06	220.6	98.1	8607
		LAJE-03		299.49	194.77	194.77	212.96	212.96	81.9	8640
		LAJE-04		285.25	190.66	190.66	207.94	207.94	69.9	8487
		LAJE-05		273.81	187.34	187.34	203.89	203.89	60.3	8507
		LAJE-06		264.37	184.62	184.62	200.56	200.56	52.4	8536
		LAJE-07		256.67	182.39	182.39	197.82	197.82	45.9	8554
		LAJE-08		255.14	181.96	181.96	197.26	197.26	44.7	8572
%				34%	11%	11%	15%	15%	150%	2%
8.2 m	10 PAV		20x70	372.7	246.8	246.8	247.7	247.7	144.2	11293
		LAJE-2		351.84	246.66	246.68	241.97	241.97	130.9	11119
		LAJE-3		311.79	222.41	222.41	223.01	223.01	95	11070
		LAJE-4		298.8	217.68	217.98	217.98	217.98	89.7	11026
		LAJE-5		288.59	213.92	213.92	214.01	214.01	74.9	11012
		LAJE-6		280.44	210.91	210.91	210.82	210.82	67.8	11035
		LAJE-7		273.78	208.45	208.45	208.36	208.36	61.9	11041
		LAJE-8		268.16	206.39	206.39	206.35	206.35	57	11060
		LAJE-9		263.52	204.7	204.7	204.7	204.7	53	11118
		LAJE-10		260.49	203.61	203.61	206.63	203.63	50.4	11050
%				43%	21%	21%	20%	22%	186%	2%

ANEXO I

Modelo de relatório quantitativo de vigas

Relatório quantitativos de vigas
 Obra: 10 PAV 20X70 8M
 Data: 20/11/2018 16:34:35

Materiais:

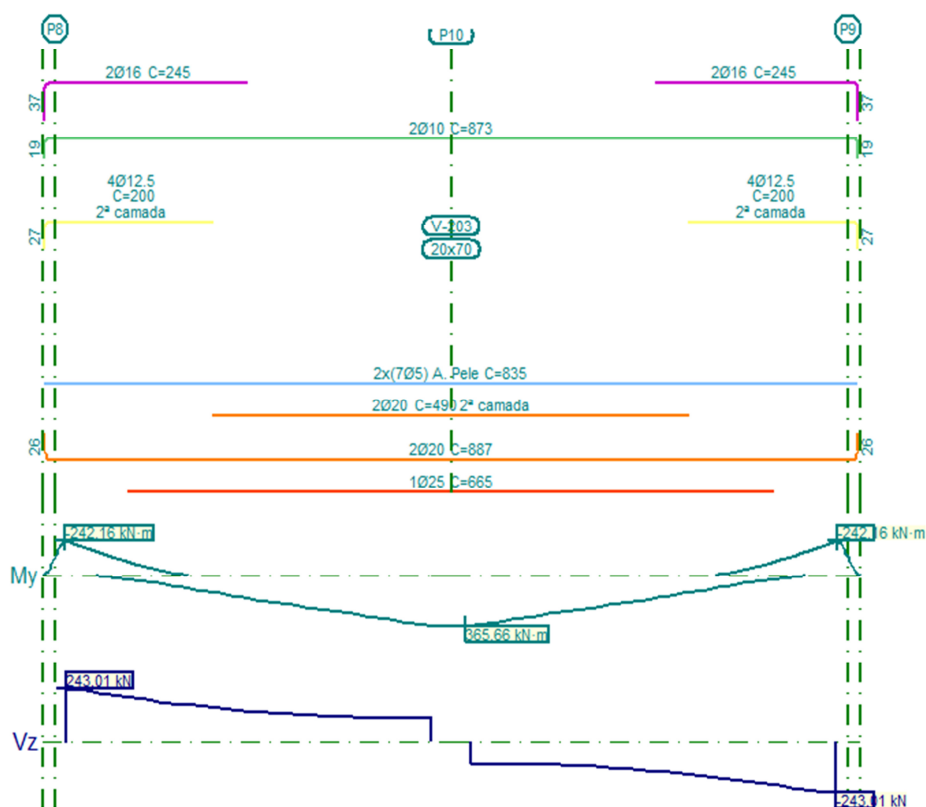
Concreto: C30, em geral

Aço: CA-50 e CA-60

	Tipo	A.neg. kq	A.pos. kq	A.pele kq	A.est. kq	Total kq	Ø5 kq	Ø8 kq	Ø10 kq	Ø12.5 kq	Ø16 kq	Ø20 kq	Ø25 kq	V.conc. m³
V-112(P9-P3)	Alta	19.1	16.3		3.5	38.9	3.5			35.4				0.410
Total V 6		19.1	16.3		7.0	42.4	7.0			35.4				0.820
Total CINTAMENTO		127.3	99.6		45.6	272.5	45.6		27.1	183.0		16.8		4.940
Piso 1														
*V 1														
V-201(P1-P2)	Alta				3.9	3.9	3.9							0.420
V-202(P2-P3)	Alta	26.3	20.9		3.9	51.1	3.9			38.2		9.0		0.420
Total V 1		26.3	20.9		7.8	55.0	7.8			38.2		9.0		0.840
*V 2														
V-203(P8-P9)	Alta	41.7	93.5	18.4	21.1	174.7	39.5		10.8	15.4	15.5	67.9	25.6	1.176
*V 3														
V-204(P7-P6)	Alta				3.9	3.9	3.9							0.420
V-205(P6-P5)	Alta	26.3	20.9		3.9	51.1	3.9			38.2		9.0		0.420
Total V 3		26.3	20.9		7.8	55.0	7.8			38.2		9.0		0.840
*V 4														
V-206(P7-P8)	Alta		1.4		3.5	4.9	3.5			1.4				0.410
V-207(P8-P1)	Alta	32.2	20.7		3.5	56.4	3.5			20.7	32.2			0.410
Total V 4		32.2	22.1		7.0	61.3	7.0			22.1	32.2			0.820
*V 5														
V-208(P5-P9)	Alta		1.4		3.5	4.9	3.5			1.4				0.410
V-209(P9-P3)	Alta	32.2	20.7		3.5	56.4	3.5			20.7	32.2			0.410
Total V 5		32.2	22.1		7.0	61.3	7.0			22.1	32.2			0.820
Total Piso 1		158.7	179.5	18.4	50.7	407.3	69.1		10.8	136.0	79.9	85.9	25.6	4.496

ANEXO II

Modelo de relatório de armaduras de vigas



V 2		Tramo: V-203		
Corte		20x70		
Região		1/3L	2/3L	3/3L
Momento min.	[kN·m]	-241.98	--	-241.98
	x [m]	0.00	--	7.90
Momento máx.	[kN·m]	234.86	365.66	234.86
	x [m]	2.58	4.09	5.33
Esforço cortante min.	[kN]	--	-115.51	-243.01
	x [m]	--	5.20	7.90
Esforço cortante máx.	[kN]	243.01	115.51	--
	x [m]	0.00	2.70	--
Torção min.	[kN]	--	--	--
	x [m]	--	--	--
Torção máx.	[kN]	--	--	--
	x [m]	--	--	--
Área Sup.	[cm²]	Real 10.50	Real 1.57	Real 10.50
		Nec. 9.39	Nec. 0.00	Nec. 9.39
Área Inf.	[cm²]	Real 17.48	Real 17.48	Real 17.48
		Nec. 12.10	Nec. 15.21	Nec. 12.10
Área Transv.	[cm²/m]	Real 5.71	Real 2.67	Real 5.71
		Nec. 5.09	Nec. 1.93	Nec. 5.09
F. Sobrecarga		1.87 mm, L/4222 (L: 7.90 m)		
F. Ativa		8.68 mm, L/910 (L: 7.90 m)		
F. no tempo infinito		20.08 mm, L/393 (L: 7.90 m)		

ANEXO III

Modelo de relatório total da obra

Quantidades da obra

Total obra - Superfície total: 698.46 m²

Elemento	Formas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
LAJES	594.27	62.48	2796
Vigas: fundo	94.23	54.26	3735
Forma lateral	414.64		
Pilares (Sup. Formas)	333.80	24.12	4762
Total	1436.94	140.86	11293
Índices (por m ²)	2.057	0.202	16.17
