FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ (FAACZ) CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

> CLAUDIO YURI P. BRANDÃO JOÃO VICTOR GOMES FRANÇA LUIZ CARLOS FRANÇA JUNIOR

ANÁLISE COMPARATIVA DE DIMENSIONAMENTO DE VIGAS E PILARES DE CONCRETO ARMADO REALIZADOS EM PLANILHA DE EXCEL E SOFTWARE CYPECAD

ARACRUZ 2018 CLAUDIO YURI P. BRANDÃO JOÃO VICTOR GOMES FRANÇA LUIZ CARLOS FRANÇA JUNIOR

ANÁLISE COMPARATIVA DE DIMENSIONAMENTO DE VIGAS E PILARES DE CONCRETO ARMADO REALIZADOS EM PLANILHA DE EXCEL E SOFTWARE CYPECAD

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenadoria do Curso de Engenharia Civil das Faculdades Integradas de Aracruz – FAACZ, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. M. Sc, Harlley Davidson Gomes

ARACRUZ 2018

CLAUDIO YURI P. BRANDÃO JOÃO VICTOR GOMES FRANÇA LUIZ CARLOS FRANÇA JUNIOR

ANÁLISE COMPARATIVA DE DIMENSIONAMENTO DE VIGAS E PILARES DE CONCRETO ARMADO REALIZADOS EM PLANILHA DE EXCEL E SOFTWARE CYPECAD

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenadoria do Curso de Engenharia Civil das Faculdades Integradas de Aracruz – FAACZ, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em ____ de _____ de 2018.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. M. Sc Harlley Davidson Gomes Faculdades Integradas de Aracruz – FAACZ Orientador

Prof. Esp Evandro José Pinto de Abreu Faculdades Integradas de Aracruz Examinador interno

Prof. Me. Kamila Zamborlini Nome da instituição do examinador Examinador externo (ou interno se for da FAACZ)

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Declaramos, para fins de pesquisa acadêmica, didática e técnico científico, que este Trabalho de Conclusão de Curso pode ser parcialmente utilizado, desde que se faça referência à fonte e aos autores.

Aracruz, 11 de dezembro de 2018.

CLAUDIO YURI P. BRANDÃO JOÃO VICTOR GOMES FRANÇA LUIZ CARLOS FRANÇA JUNIOR

Como disse Esopo, "A gratidão é a virtude das nobres.", almas portanto, agradecemos às nossas famílias, em especial aos nossos pais, que trabalharam, lutaram e fizeram de tudo para nos proporcionar uma vida digna e para que pudéssemos chegar até aqui. Agradecemos também ao corpo docente das Faculdades Integradas de Aracruz, em especial ao nosso orientador, professor M.Sc Harlley Davidson Gomes, por nos transmitirem os conhecimentos necessários, pelos incentivos e pelo suporte.

"Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do reino do espírito, para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer.", Albert Einstein.

RESUMO

Este presente trabalho visa apresentar dois meios de dimensionamento estrutural, sendo vigas e pilares, baseados nas normas brasileiras, sendo um através de planilha de Excel e um através do software Cypecad, com a finalidade de comprovar a funcionalidade da planilha de Excel. Para a comprovação da funcionalidade da planilha, foram elaborados métodos para analisar e comparar os resultados obtidos por ambos os programas.

Nos testes referentes aos dimensionamentos das vigas, foram obtidos resultados que quando comparados com o software Cypecad, notou-se que o dimensionamento realizado pela planilha de Excel se torna um pouco mais conservador, pelo fato dos resultados de todos os testes darem valores acima dos resultados obtidos pelo Cypecad, sendo assim, uma planilha funcional.

Já nos resultados obtidos pela planilha de Excel referentes ao dimensionamento dos pilares, quando comparados com os resultados do Cypecad, houveram resultados deficitários aleatórios, que tornaram a planilha não funcional.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 – Valores estimados de módulo de elasticidade em função da re	sistência
característica à compressão	8
Figura 2 – Planilha de dimensionamento de viga	13
Figura 3 – Tela de nova obra	14
Figura 4 – Tela de entrada de dados	15
Figura 5 – Tela básica de projeto	15
Figura 6 – Tela de entrada de piso	16
Figura 7 – Tela de entrada de pilar	16
Figura 8 – Tela cargas do pilar	17
Figura 9 – Tela de definições das vigas	17
Figura 10 – Tela de cargas nas vigas	18
Figura 11 – Relatório gerado pelo Cypecad	18
Figura 12 – Pré-dimensionamento da laje	19
Figura 13 – Reações de apoio lajes com carga uniforme	20
Figura 14 – Carga da alvenaria	21
Figura 15 – Analise estrutural	22
Figura 16 – Esforços gerados pelas cargas no software Cypecad	23
Figura 17 – Dados para calculo de vigas	24
Figura 18 – Dados para calculo de pilares	24
Figura 19 – Representação dos testes das vigas	25
Figura 20 – Representação dos testes dos pilares	25
Figura 21 – Tabela de comparativo de resultados	27
Figura 22 – Gráfico de A_s , Calculado	
Figura 23 – Gráfico de A_s , Efetivo	29
Figura 24 – Gráfico de diferença entre Excel e Cypecad	

LISTA DE ABREVIATURAS

- f_{ck} resistência característica à compressão do concreto
- f_{yk} Resistencia característica do aço à tração
- f_{st} resistência à tração do aço de armadura passiva
- f_y resistência ao escoamento do aço de armadura passiva
- ε_{uk} deformação na ruptura
- ρ_c massa específica do concreto
- f_c resistência à compressão do concreto
- f_{ct} resistência do concreto à tração direta
- q carga uniformemente distribuída
- N_k Carga pontual
- M_k Momento característico
- ABNT Associação brasileira de normas técnicas
- NBR Norma brasileira

SUMÁRIO

1	INTRO	DUÇÃO	3
2	JUSTI	FICATIVA	4
3	OBJE	TIVOS	5
3.1	OBJE	TIVOS GERAIS	5
3.2	OBJE	TIVOS ESPECÍFICOS	5
4	REFE	RENCIAL TEÓRICO	6
4.1	CONC	RETO ARMADO	6
	4.1.1	Aços para armadura	6
	4.1.2	Propriedades do concreto	7
4.2	CARG	AS	8
	4.2.1	Carga acidental	8
	4.2.2	Carga permanente	8
	4.2.3	Combinações de cargas	8
4.3	ANAL	SE ESTRUTURAL	9
4.4	DIME	NSIONAMENTO	9
	4.4.1	Estado de limite último	10
	4.4.2	Estado de limite de serviço	10
	4.4.3	Pilar	10
	4.4.4	Vigas	11
5	METO	DOLOGIA	12
5.1	APRE	SENTAÇÃO DOS PROGRAMAS	12
	5.1.1	Planilha de Excel	12
	5.1.2	Software Cypecad	14
5.2	DETE	RMINAÇÃO DAS CARGAS	19
	5.2.1	Carga nas vigas	19
	5.2.2	Carga nos pilares	22
5.3	ANAL	SE ESTRUTURAL	22
	5.3.1	Ftool	22
	5.3.2	Cypecad	23
5.4	DETE	RMINAÇÃO DOS TESTES	23

	5.4.1	Vigas	23
	5.4.2	Pilares	24
	5.4.3	Testes	24
5.5	COMP	ARATIVO	26
6	ANÁL	ISE DE DADOS	27
6.1	ANALI	SE DOS TESTES	27
7	CONC	LUSÃO	29
8	REFE	RÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO

O concreto armado é um dos materiais mais utilizados na era moderna por seu baixo custo e sua viabilidade de formas, um material fácil de moldar de acordo com a arquitetura projetada. Possui um processo de construção bastante conhecido assim permitindo encontrar profissionais capacitados no mercado facilmente.

Com a necessidade de aliar a durabilidade da pedra com a resistência do aço, o homem então iniciou o processo de inovação combinando os dois materiais para aproveitar ao máximo possível seus benefícios. Com o passar dos anos e a evolução na construção civil, obras de grande porte estão sendo cada vez mais comuns, desta forma, profissionais do ramo como arquitetos, engenheiros e outros especialistas, passaram a projetar, calcular e dimensionar a estrutura em Softwares que agilizam o trabalho.

Este trabalho visa à elaboração de uma planilha de Excel onde será desenvolvido todo o método de dimensionamento dos elementos de concreto armado (vigas e pilares), de acordo com as normas ABNT NBR 6118. Para comprovar a efetividade dos métodos de cálculo adotados na planilha, serão realizados 24 testes sendo 12 em pilares e 12 em vigas com variações nas cargas, comprimentos e no f_{ck} , com posterior comparação com os resultados obtidos no software Cypecad.

2 JUSTIFICATIVA

Este trabalho visa comprovar a funcionalidade de uma planilha de Excel onde desempenhará a função de dimensionar elementos estruturais (vigas e pilares) com intuito de facilitar a inserção de engenheiros recém-formados no mercado de trabalho que não possuem capital suficiente para adquirir um Software de dimensionamento já consolidado no mercado.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS GERAIS

Comparar o dimensionamento de elementos estruturais de concreto armado de acordo com a ABNT NBR 6118, realizado em planilha de Excel com o dimensionamento do software Cypecad, para fins de comprovar a funcionalidade da planilha.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Dimensionar pilares e vigas em ambas as ferramentas, variando as condições de contorno ou condições iniciais;
- Realizar testes para comparar os elementos estruturais dimensionados na planilha de Excel e no Cypecad;
- Verificar a funcionalidade da planilha de Excel;

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 CONCRETO ARMADO

De acordo com a norma NBR 6118(2014, item 3.1.3), define-se concreto armado: "elementos cujo comportamento estrutural depende da aderência entre o concreto e a armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência".

4.1.1 Aços para armadura

De acordo com a NBR 7480 (2007, item 4.1.1): "Classificam-se como barras os produtos de diâmetro nominal 6,3 mm ou superior, obtidos exclusivamente por laminação a quente sem processo posterior de deformação mecânica. Classificam-se como fios aqueles de diâmetro nominal 10,0 mm ou inferior, obtidos a partir de fio-máquina por trefilação ou laminação a fio".

De acordo com a NBR 7480 (2007, item 4.1.2): "De acordo com o valor característico da resistência de escoamento, as barras de aço são classificadas nas categorias CA-25 e CA-50 e os fios de aço na categoria CA-60".

Conforme NBR 6118 (2014, item 8.3.7) "Os aços CA-25 e CA-50, que atendam aos valores mínimos de f_{st}/f_y e ε_{uk} indicados na ABNT NBR 7480, podem ser considerados de alta dutilidade. Os aços CA-60 que obedeçam também às especificações desta Norma podem ser considerados de dutilidade normal".

4.1.1.1 Aderência do aço no concreto

De acordo com a NBR 6118 (2014, item 9.4.1): "Todas as barras das armaduras devem ser ancoradas de forma que as forças a que estejam submetidas sejam integralmente transmitidas ao concreto, seja por meio de aderência ou de dispositivos mecânicos ou por combinação de ambos".

A aderência entre concreto e aço é de extrema importância para a obtenção do concreto armado, evitando escorregamento entre o concreto e as barras de aço.

4.1.2 Propriedades do concreto

As propriedades mecânicas do concreto estão relacionadas diretamente ao fator de proporção água cimento, utilizado em um traço de concreto. O concreto tem como características principais a resistência à compressão e a trabalhabilidade pelo fato de ser moldável.

4.1.2.1 Massa específica

De acordo com a NBR 6118 (2014, item 8.2.2):

"Esta Norma se aplica aos concretos de massa específica normal, que são aqueles que, depois de secos em estufa, têm massa específica (ρ_c) compreendida entre 2.000kN/m³ e 2800kg/m³. Se a massa específica real não for conhecida, para efeito de cálculo, pode-se adotar para o concreto simples o valor 2.400 kg/m³ e para o concreto armado, 2.500 kg/m³. Quando se conhecer a massa específica do concreto utilizado, pode-se considerar para valor da massa específica do concreto armado aquela do concreto simples acrescida de 100kg/m³ a 150kg/m³.

4.1.2.2 Modulo de elasticidade

De acordo com a NBR 6118 (2014, item 8.2.8): "A deformação elástica do concreto depende da composição do traço do concreto, especialmente da natureza dos agregados. Na avaliação do comportamento de um elemento estrutural ou seção transversal, pode ser adotado módulo de elasticidade único, à tração e à compressão." A norma NBR 6118 (2014, item 8.2.8) nos apresenta a Figura 1 com valores estimados do módulo de elasticidade.

Figura 1 - Valores estimados de módulo de elasticidade em função da resistência característica à compressão.

Classe de resistência	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C60	C70	C80	C90
E _{ci} (GPa)	25	28	31	33	35	38	40	42	43	45	47
E_{cs} (GPa)	21	24	27	29	32	34	37	40	42	45	47

Fonte: NBR 6118 (2014, item 8.2.8).

Sendo:

 E_{ci} – Módulo de elasticidade ou módulo de deformação tangente inicial do concreto, referindo-se sempre ao módulo cordal.

 E_{cs} – Módulo de deformação secante do concreto.

4.2 CARGAS

4.2.1 Carga acidental

Conforme NBR 6120 (1980, item 2.2), carga acidental "é toda aquela que pode atuar sobre a estrutura de edificações em função do seu uso (pessoas, móveis, materiais diversos, veículos etc.)."

De acordo com a NBR 6120 (1980, item 2.2.1.2): "As cargas verticais que se consideram atuando nos pisos de edificações, além das que se aplicam em caráter especial referem-se a carregamentos devidos a pessoas, móveis, utensílios e veículos, e são supostas uniformemente distribuídas".

4.2.2 Carga permanente

De acordo com a NBR6120 (1980, item 2.1):

"este tipo de carga é constituído pelo peso próprio da estrutura e pelo peso de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes. Quando forem previstas paredes divisórias, cuja posição não esteja definida no projeto, o cálculo de pisos com suficiente capacidade de distribuição transversal da carga, quando não for feito por processo exato, pode ser feito admitindo, além dos demais carregamentos, uma carga uniformemente distribuída por metro quadrado de piso não menor que um terço do peso por metro linear de parede pronta, observado o valor mínimo de $1kN/m^2$.

4.2.3 Combinações de cargas

As solicitações de cálculo devem ser determinadas a partir de combinações das ações consideradas, de acordo com a análise estrutural, conforme a NBR 6118 (2014, item 11.8.1):

"Um carregamento é definido pela combinação das ações que têm probabilidades não desprezíveis de atuarem simultaneamente sobre a estrutura, durante um período preestabelecido. A combinação das ações deve ser feita de forma que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura; a verificação da segurança em relação aos estados-limites últimos e aos estados-limites de serviço deve ser realizada em função de combinações últimas e de combinações de serviço, respectivamente."

4.3 ANALISE ESTRUTURAL

De acordo com a NBR 6118 (2014, item 14.2.1):

"O objetivo da análise estrutural é determinar os efeitos das ações em uma estrutura, com a finalidade de efetuar verificações dos estados-limites últimos e de serviço. A análise estrutural permite estabelecer as distribuições de esforços internos, tensões, deformações e deslocamentos, em uma parte ou em toda a estrutura".

De acordo com a NBR 6118 (2014, item 14.2.2): "A análise estrutural deve ser feita a partir de um modelo estrutural adequado ao objetivo da análise. Em um projeto pode ser necessário mais de um modelo para realizar as verificações previstas nesta Norma."

4.4 DIMENSIONAMENTO

Para evitar problemas futuros com determinadas estruturas, como ruinas, trincas ou avarias em geral, o dimensionamento estrutural deve ser realizado com segurança, estabilidade e durabilidade juntamente com uma boa execução e utilização.

Para se projetar uma estrutura com um adequado grau de segurança de acordo com a norma NBR 6118 (2014, item 10), é necessário que se verifique a não ocorrência dos seguintes estados limites: Estado de limite último (ELU) e estados de limites de serviço (ELS).

4.4.1 Estado de limite último

É o estado limite relacionado ao colapso, ou a qualquer outra forma de ruína estrutural, que determine a paralização do uso da estrutura, onde está ligado diretamente com os casos de ruínas.

A flambagem é um fenômeno que acontece em elementos estruturais submetidos a esforço axial de compressão e está relacionada diretamente com o índice de esbeltez da peça, quando submetida a tal esforço, a peça estrutural chegará a um limite de perda de estabilidade, que é conhecido como limite de instabilidade ou limite de flambagem, limite de flambagem é considerado um estado de limite último. Normalmente a peça estrutural perderá estabilidade e o colapso ocorrerá sempre na direção do eixo de menor momento de inércia de sua seção transversal. Uma peça pode chegar ao estado limite de flambagem sem que tenha atingido seu estado limite de escoamento ou de ruptura.

4.4.2 Estado de limite de serviço

São aqueles que correspondem à impossibilidade do uso normal da estrutura, estando relacionados à durabilidade das estruturas, aparência, conforto do usuário e a boa utilização funcional da mesma, seja em relação aos usuários, sejam às máquinas e aos equipamentos utilizados. Podem se originar de uma das seguintes causas:

- Estado limite de formação de fissuras;
- Estado limite de abertura de fissuras;
- Estado limite de deformações excessivas;

4.4.3 Pilar

Os pilares têm normalmente a função de transferir as cargas provenientes das lajes, vigas, outros pilares, para uma fundação. São elementos indispensáveis em um sistema estrutural.

De acordo com a NBR 6118 (2014, item 14.4.1.2), pilares são "Elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes."

De acordo com a NBR 6118 (2014, item 14.4.2.4), pilares-parede são:

"Elementos de superfície plana ou casca cilíndrica, usualmente dispostos na vertical e submetidos preponderantemente à compressão. Podem ser compostos por uma ou mais superfícies associadas. Para que se tenha um pilar-parede, em alguma dessas superfícies a menor dimensão deve ser menor que 1/5 da maior, ambas consideradas na seção transversal do elemento estrutural."

4.4.4 Vigas

As vigas são elementos que tem como finalidade transferir as cargas provenientes das lajes, eventualmente de outras vigas ou pilares, também servindo como elementos de contraventamentos em um sistema estrutural.

NBR 6118 (2014, item 14.4.1.1), vigas são "elementos lineares em que a flexão é preponderante."

NBR 6118 (2014, item 14.4.1), elementos lineares "São aqueles em que o comprimento longitudinal supera em pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal, sendo também denominados barras."

5 METODOLOGIA

Será explicado o desenvolvimento dos objetivos citados no tópico 3.2. Estes métodos foram elaborados pelos autores deste trabalho com intuito de comprovar a veracidade dos resultados obtidos. Os resultados dos testes realizados nos programas Excel e Cypecad serão organizados em uma tabela com a finalidade de demostrar a diferença ou igualdade dos resultados.

5.1 APRESENTAÇÃO DOS PROGRAMAS

5.1.1 Planilha de Excel

A planilha contempla células de inserção de dados e resultados calculados que estão separadas por cores. De acordo com a NBR 6118, basearam-se as fórmulas para o cálculo do dimensionamento.

As linhas e colunas de cor cinza representam as células de inserção dos dados iniciais para o cálculo dos dimensionamentos, as células de cor amarela possuem fórmulas que indicarão os resultados dos cálculos, as células de cor verde são para inserção de dados adotados. A Figura 2 abaixo exemplifica a planilha.

			VIGA
DA	DOS DE ENTRADA		Legenda
Vk	10,2	kN	Dados iniciais a serem inseridos
Mk	7,6	kN.m	Valores calculados
L	300	cm	Valores a serem adotados
h	25	cm	OBSERVAÇÕES
b	12	cm	LEIA ATENTAMENTE TODOS OS COMENTÁRIOS
с	3	cm	FIQUE ATENTO COM AS UNIDADES
FCK	20	MPa	
FYK	500	MPa	
d,max,agregado	19	mm	
ρ	Armadura Simples		
μ	0,15		1
μlim	0,30		
xlim	9,90	cm	
Fed	1,43	kN/cm²	
Fyd	43,48	kN/cm²	
δcd	1,21	kN/cm²	
αc	0,85	-	
Md	1064,00	kN.cm	
d	22,00	cm	
ξlim	0,45		
ړ	0,80	-	
Z	18,04	cm	
ρmin	0,0013	-	
ď	3,00	cm	
ε	0,0035	-	
ε's	0,00		
Es	210,00	GPa	
ő'sd	43,48	kN/cm²	
	As		
As	1,36	cm³	
Asmin	0,45	cm²	
Asefetivo	1,57	cm²	
№ Barras 1ª camada	2,00	Qtd /	
Ø1ªcamada	10,00		ana 1
N• Barras 2ª camada	0,00	Qtd 🥥	
Ø2ªcamada	0,00	mm	0

Figura 2 – Planilha de dimensionamento de viga.

5.1.2 Software Cypecad

De acordo com o manual do usuário: O CYPECAD foi concebido para realizar o projeto de edifícios de concreto armado e mistos, com geração automática da discretização da estrutura, das ações verticais, horizontais, saída das peças escritas e desenhadas.

Para o início do cálculo com o Cypecad é necessário criar uma nova obra, o programa apresenta algumas opções em sua tela inicial, conforme Figura 3.

Figura 3 – Tela de nova obra.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Com o tipo de inicialização definido, o Cypecad mostra a tela de entrada dos dados e parâmetros a serem considerados para cálculo da estrutura, dados estes que vão desde o nome, localidade da obra, normas e coeficientes, conforme Figura 4. Figura 4 - Tela de entrada de dados.

Normas: ABNT NBR 6	118:2014, ABNT NBR 14762: 20	10, ABNT NBR 8800:2008, NB	R 7190 e Eurocódigo 9			
Concreto armado		Perfis				
Concreto		Aço				
Pisos	C20, em geral 🔹	Laminados e soldados	A-36 250Mpa 💌			
Fundação	C20, em geral 🔹 🎽	Dobrados	CF-26 •			
Tubulões	C20, em geral 🔹	Madeira 🗼				
Pilares	C20, em geral 🔹	Serrada	- Coniferas - C20			
Cortinas	C20, em geral 🔹	Alumínio extrudado				
Características do agregado	Granito (15 mm)	EN	AW-5083 - F			
Aço						
Barras	CA-50 e CA-60 🔹 🐖					
Parafusos	ISO 898.C4.6 👻 📷					
Ações		Coeficientes de flamb	agem			
Com ação do vento		Pilares de betão e mistos				
Constanting to the last		Bx 1.000 By 1.00	00			
Com ação sismica		Pilares em aço				
🕅 Verificar resistência ao fogo		Bx 1.000 By 1.00	00			
Estados limites (combinaçõe	(2)	Ambiente				
	~,	Vigas CAA I (Abertur	a máxima de fissura: 0.40 mm)			
Ações adicionais (cargas espe	ciais)	rigos creati postara matina de insolia. 0.40 min)				

Fonte: Elaborado pelos autores.

Com os dados de entrada devidamente inseridos passa-se para a tela de entrada do software, tela essa que possibilita a importação de arquivos do tipo DWG para facilitar a entrada dos elementos estruturais do objeto proposto, conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Tela básica de projeto.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A seguir é necessário informar a quantidade de pisos e cotas, para que o programa execute aos demais elementos estruturais, conforme mostrado na Figura 6.

Figura 6 - Tela de entrada de piso.

	Nome	Altura	Categoria de uso	SCU (t/m²)	CP (t/m²)
1	Piso 1		Uso 1		
ateg	porias de uso				

Fonte: Elaborado pelos autores.

Com os pisos devidamente configurados o software possibilita da entrada do elemento estrutural pilar, possibilita a entrada direta do elemento ou com a importação da máscara que consiste de um desenho desenvolvido em plataforma CAD com a posição dos pilares e seções transversais, devida locação dos pilares, o elemento pilar é previamente configurado pelo usuário, dando entrada com os dados e cargas dos mesmos, conforme mostrado nas Figuras 7 e 8.

Figura 7 - Tela de entrada de pilar.

Referência 😫	 Sem vinculação exterio Com vinculação exterio Desnível de apoio Aitura de apoio 	r e rior 0.00 m 0.00 m	Coef. de Coeficien Coeficien Cobrimen Resistên	flambagem tes de engastan te de rigidez axi to cia do betão	ento A al A
		Piso 1		Largura X (cm) 30	Largura Y (cm) 30
Pieb 1	3.00 m				

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 8 - Tela de cargas do pilar.

	N (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Qx (t)	Gy (t)	T (t-m)
Peso próprio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cargas permanentes	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sobrecarga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N Mx My Qx My yx	Estas carg aplicam-se O topo do apóia sobr Se pelo pili face super Se o pilar fi coincide ci	as são referent no topo do últi pilar coincide o s esse pilar (inc ar passar uma ' or da viga alta or livre ou se s m a cota do p	es a eixos glob mo tramo do p com a face sup cluídos os desr viga alta invert invertida (exist omente nele ap ico definido	pais. As carg ilar seleciona erior da laje níveis da laje ida, o topo d ida, o topo d ia ou não laji póiam vigas i	as aqui introc edo. ou da viga q e e viga, se e lo pilar coinci e). nclinadas, o	duzidas ue se xxistirem) de com a

Fonte: Elaborado pelos autores.

Passando da etapa de entrada dos pilares, é necessário passar aos dados dos pavimentos inserindo os dados das vigas a serem calculadas, a configuração das vigas tem resumidamente as mesmas etapas de inserção de dados dos pilares, passando desde as escolhas das pré-dimensões, vinculações e cargas atuantes no elemento, conforme mostrado nas Figuras 9 e 10.

Figura 9 - Tela de definições das vigas.



Figura 10 - Tela de cargas nas vigas.

Hipótese	Cargas permanentes 🔻	
Açõe	s adicionais (cargas especiais)	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Com os elementos estruturais devidamente inseridos, o software calcula e verifica os mesmos, ao final do cálculo dos elementos é possível visualizar o gráfico dos esforços gerados pelas combinações das cargas atuantes no pórtico e então gerar os relatórios, de modo a possibilitar o usuário extrair as informações necessárias para a composição do projeto inserido ao Cypecad, conforme mostrado na Figura 11.

Figura 11 - Relatório gerado pelo Cypecad.



5.2 DETERMINAÇÃO DAS CARGAS

5.2.1 Carga nas vigas

Para a elaboração dos testes, serão dimensionadas várias vigas que terão cargas uniformemente distribuídas ao longo de todo o seu comprimento.

5.2.1.1 Vigas com vão de 3m

Para determinação da carga q_1 da viga de 3 *m* de vão, considerou-se hipoteticamente que esta viga é uma das 4 vigas que sustentam uma laje de um dormitório residencial, foi realizado um pré-dimensionamento da altura desta laje dormitório sedo como, maciça de concreto armado de 3x3m, tendo então 10cm de altura e foram consideradas as seguintes cargas, conforme Figura 12:

- Cargas permanentes: Peso próprio da laje, peso da argamassa (contrapiso), peso de piso cerâmico, peso de forro de gesso.
- Carga variável: considerou-se carga acidental de um cômodo dormitório de acordo com o item 11 da tabela 2 da NBR 6120.

LAJE	QUAR	Ю	CARGAS					
Ly	3,00	m	Pp,conc	2,50	kN/m ²			
Lx	3,00	m	m Pp,cp		kN/m ²			
d	6,90	cm	Pp,piso	0,08	kN/m ²			
H	9,80	cm	Pp,forro	0,38	kN/m ²			
H adotado	10,00	cm	Carga acidental	1,50	kN/m ²			
n	2,00	-	Carga total	5,51	kN/m ²			
	3,00	m	V	3,56				
С	2,50	cm	V	5,88	kN/m			
Fil	8,00	mm	lambida	1,00				

Figura 12 – Pré-dimensionamento da laje.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Assim foi realizada a combinação de carga de acordo com a tabela 11.3 da NBR 6118, encontrando-se à carga total na laje. Conforme a tabela A-6 de Bares e adaptado por L.M. Pinheiro, foi considerado o caso "4B" conforme Figura 13, assim

Tabela 2.2b										
	REAG	ÇÕES DI		EM LAJ	IES CON	I CARG	A UNIFO	RME		
				Ti	ро					
$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$		y, x 3	ℓ _y						$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$	
	Vx	$\mathbf{v}^{i}\mathbf{x}$	vy	v*y	Vx	$\mathbf{v}^{*}\mathbf{y}$	v'x	vy		
1,00	2,17	3,17	2,17	3,17	1,44	3,56	3,56	1,44	1,00	
1,05	2,27	3,32	2,17	3,17	1,52	3,66	3,63	1,44	1,05	
1,10	2,36	3,46	2,17	3,17	1,59	3,75	3,69	1,44	1,10	
1,15	2,45	3,58	2,17	3,17	1,66	3,84	3,74	1,44	1,15	
1,20	2,53	3,70	2,17	3,17	1,73	3,92	3,80	1,44	1,20	
1,25	2,60	3,80	2,17	3,17	1,80	3,99	3,85	1,44	1,25	
1,30	2,63	3,90	2,17	3,17	1,88	4,06	3,89	1,44	1,30	
1,35	2,73	3,99	2,17	3,17	1,95	4,12	3,93	1,44	1,35	
1,40	2,78	4,08	2,17	3,17	2,02	4,17	3,97	1,44	1,40	
1,45	2,84	4,15	2,17	3,17	2,09	4,22	4,00	1,44	1,45	
1,50	2,89	4,23	2,17	3,17	2,17	4,25	4,04	1,44	1,50	
1,55	2,93	4,29	2,17	3,17	2,24	4,28	4,07	1,44	1,55	
1,60	2,98	4,36	2,17	3,17	2,31	4,30	4,10	1,44	1,60	
1,65	3,02	4,42	2,17	3,17	2,38	4,32	4,13	1,44	1,65	
1,70	3,06	4,48	2,17	3,17	2,45	4,33	4,15	1,44	1,70	
1,75	3,09	4,53	2,17	3,17	2,53	4,33	4,18	1,44	1,75	
1,80	3,13	4,58	2,17	3,17	2,59	4,33	4,20	1,44	1,80	
1,85	3,16	4,63	2,17	3,17	2,63	4,33	4,22	1,44	1,85	
1,90	3,19	4,67	2,17	3,17	2,72	4,33	4,24	1,44	1,90	
1,95	3,22	4,71	2,17	3,17	2,78	4,33	4,26	1,44	1,95	
2,00	3,25	4,75	2,17	3,17	2,83	4,33	4,28	1,44	2,00	
> 2,00	4,38	6,25	2,17	3,17	5,00	4,33	5,00	1,44	> 2,00	
Elaborad $v = v \frac{p \ell}{10}$	ta por L.N	M. Pinheir P	ro, confor) = carga	me o pro uniforme	cesso das	s áreas d $\ell_{\rm x}$ = m	a NBR 61 ienor vão	18.		
(*) Alívio	s conside	erados pe	la metad	e, preven	do a pos	sibilidade	de engas	stes parc	iais.	

Figura 13 - Reações de apoio lajes com carga uniforme.

Fonte: Libânio M. Pinheiro (2017, Tabelas de Lajes).

Para determinação da carga q_2 da viga de 3m, foi adotado a q_1 + o peso de alvenaria. Foi considerado para composição da carga de alvenaria, conforme Figura 14:

- Tijolos cerâmicos de 14x19x39cm;
- Juntas de argamassa de 2*cm* entre os tijolos;

Figura 14 - Carga da alvenaria.

CARGA DE PAREDE											
VIGA	COMPRIME NTO (m)	ALTURA DA PAREDE (m)	PESO ESPECÍFICO (ALV.) (kN/m3)	PESO ESPECÍFICO (REVEST. ARGAM.) (kN/m3)	PESO ESPECÍFICO (REVEST. Cerâmico) (kN/m2)	PESO/ M (kN/m)					
VIGA	3,00	3,00	13,00	19,00	0,00	8,31					

Fonte: Elaborado pelos autores.

Reboco de 2,5*cm* de espessura em toda área de alvenaria, em ambas as faces da alvenaria.

 $q_2 = 14,19 \, kN/m.$

5.2.1.2 Vigas com vão de 5*m*

Para a elaboração das cargas que atuarão sobre a viga com vão de 5m, foram considerados os mesmos critérios adotados no item 5.2.1.1, porém com as seguintes alterações:

O cômodo considerado para esta viga foi de um escritório de 5x5 m, o prédimensionamento determinou uma altura de 15cm e a carga acidental considerada foi a de um escritório de acordo com o item 14 da Tabela 2 da NBR 6120. Tendo então, $q_1 = 12,91 kN/m$ e $q_2 = 21,23 kN/m$.

5.2.1.3 Vigas com vão de 8*m*

Para a elaboração das cargas que atuarão sobre a viga com vão de 8m, foram considerados os mesmos critérios adotados no item 5.2.1.1, porém com as seguintes alterações:

O cômodo considerado para esta viga foi de uma sala de aula com 8x5m, o prédimensionamento determinou uma altura de 15cm e a carga acidental considerada foi a de salas de aula de acordo com o item 13 da Tabela 2 da NBR 6120. Tendo então, $q_1 = 16,92 kN/m$ e $q_2 = 25,24 kN/m$.

5.2.2 Carga nos pilares

Os pilares que serão dimensionados neste trabalho para realização dos testes, serão considerados apenas carga vertical pontual localizada no centro geométrico da seção transversal do pilar.

Foram considerados apenas duas cargas, N_{k1} e N_{k2} para todos os pilares. Considerou-se para o N_{k1} a carga de reação de apoio proveniente da análise estrutural da viga com 8*m* de vão com a carga q_2 e multiplicou-se por 2, como se o pilar estivesse recebendo carga de duas vigas idênticas a viga com 8*m* de vão. Para o N_{k2} , multiplicou-se a N_{k1} por 4, como se houvesse 3 pavimentos acima com pilares de carga N_{k1} .

5.3 ANALISE ESTRUTURAL

5.3.1 Ftool

Como mostrado no tópico 5.1, deverão ser inseridos os dados de entrada da planilha de dimensionamento desenvolvida pelos autores deste trabalho. Para a determinação dos esforços solicitantes de cálculo M_k e N_k , para a realização dos dimensionamentos dos pilares e vigas serão feitos através do software ftool, a Figura 15 abaixo mostra um exemplo de uma análise.





Fonte: Elaborado pelos autores.

5.3.2 Cypecad

Para os elementos dimensionados no software CYPECAD, a analise estrutural foi realizada pelo próprio software, a Figura 16 abaixo mostra um exemplo da análise.

Figura 16 - Esforços gerados pelas cargas no software Cypecad.



Fonte: Elaborado pelos autores.

5.4 DETERMINAÇÃO DOS TESTES

Para realização dos testes foram elaborados os parâmetros de dimensionamento dos elementos:

5.4.1 Vigas

Foram estipulados três vãos com diferentes comprimentos, Figura 17, dois valores diferentes de f_{ck} e carga para todos os vãos, uniformemente distribuídas ao longo de todo o comprimento.

Vão <u>1</u>			Vão <u>2</u>			Vão <u>3</u>		
L	L <u>3</u> <i>m</i>		L <u>5</u> <i>m</i>			L	8 m	
q_1	5,88 kN/m		q_3	12,91 kN/m		q_5	16,92 kN/m	
q_2	14,19 <i>kN/m</i>		q_4	21,23 kN/m		q_6	25,24 kN/m	
f_{ck1}	20 MP _a		f_{ck1}	20 MP _a		f_{ck1}	20 MP _a	
fck2	30 MP _a		fck2	30 MP _a		f _{ck2}	30 MP _a	

Figura 17 - Dados para calcula de vigas.

Fonte: Elaborado pelos autores.

5.4.2 Pilares

Foram estipuladas três alturas com diferentes comprimentos, dois valores diferentes de f_{ck} e carga para todas as alturas, conforme mostrado na Figura 18.

Figura 18 - Dados para calcula de pilares.

Altura <u>1</u>			Altura 2			Altura 3		
h	1,5 <i>m</i>		h	<u>3</u> m		h	<u>6</u> m	
Nk ₁	464 kN		Nk ₁	464 kN		Nk ₁	464 kN	
Nk ₂	928 kN		Nk ₂	928 kN		Nk ₂	928 kN	
f_{ck1}	20 <i>MP</i> _a		f_{ck1}	20 <i>MP</i> _a		f_{ck1}	20 MP _a	
fck2	30 MP _a		fck2	30 MP _a		fck2	30 MP _a	

Fonte: Elaborado pelos autores.

5.4.3 **Testes**

Os testes foram elaborados em um formato de tabela para melhor entendimento conforme mostrado nas Figuras 19 e 20.

5.4.3.1 Vigas

	V1	V2	V3	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Fck1	Fck2
Teste 1	Х			Х						Х	
Teste 2	Х			Х							Х
Teste 3	Х				Х					Х	
Teste 4	Х				Х						Х
Teste 5		Х				Х				Х	
Teste 6		Х				X					Х
Teste 7		Х					Х			Х	
Teste 8		Х					Х				Х
Teste 9			Х					Х		Х	
Teste 10			Х					Х			Х
Teste 11			Х						Х	Х	
Teste 12			Х						Х		Х

Figura 19 - Representação dos testes das vigas.

Fonte: Elaborado pelos autores.

5.4.3.2 Pilares

Figura 20 - Representação dos testes dos pilares.

	Altura 1	Altura 2	Altura 3	Nk1	Nk2	Fck1	Fck2
Teste 13	Х			Х		Х	
Teste 14	Х			Х			Х
Teste 15	Х				Х	Х	
Teste 16	Х				Х		Х
Teste 17		Х		Х		Х	
Teste 18		Х		Х			Х
Teste 19		Х			Х	Х	
Teste 20		Х			Х		Х
Teste 21			Х	Х		Х	
Teste 22			Х	Х			Х
Teste 23			Х		Х	Х	
Teste 24			Х		X		Х

5.5 COMPARATIVO

Os resultados dos cálculos de área de concreto (A_c), área de aço (A_s) e área de aço efetiva ($A_{s,ef}$), extraídos do Excel e Cypecad serão compilados no formato de tabela para realização do comparativo das informações, conforme Figura 19.

Para a realização dos comparativos, serão analisados os resultados teste a teste, afim de demonstrar se há divergências seja elas em grandes ou pequenas e/ou convergências nos resultados de ambos métodos.

6 ANÁLISE DE DADOS

Esta parte sintetiza todos os dados do trabalho mencionados até aqui, analisando-os para que se possa conseguir de forma clara e eficaz o comparativo proposto no objetivo do trabalho.

Analisando os resultados dos testes obtidos da Figura 21 entre a planilha de Excel e o software Cypecad, podemos observar que há variações entre os dois resultados, porem sem valores discrepantes, com exceção dos testes de numero 17, 18, 22 e 23.

		PL	ANILHA DE EXCE	L		CYPECAD		EXCEL - CYPECAD			
		A,concreto (cm ²)	As,calculado (cm ²)	As,efetivo (cm²)	A,concreto (cm ²)	As,calculado (cm²)	As,efetivo (cm ²)	A,concreto (cm ²)	As,calculado (cm ²)	As,efetivo (cm ²)	
	TESTE-1	300	1,36	1,57	300	1,02	1,25	0,00	0,34	0,32	
	TESTE-2	300	1,36	1,57	300	1,02	1,25	0,00	0,34	0,32	
	TESTE-3	360	2,49	2,45	360	1,98	2,58	0,00	0,51	-0,13	
	TESTE-4	360	2,49	2,45	360	1,86	2,01	0,00	0,63	0,44	
	TESTE-5	675	4,32	4,71	675	2,96	3,58	0,00	1,36	1,13	
AS .	TESTE-6	600	4,90	4,91	600	3,29	4,47	0,00	1,61	0,44	
NR.	TESTE-7	675	6,20	6,14	675	5,20	6,04	0,00	1,00	0,10	
	TESTE-8	675	6,20	6,14	675	4,79	5,97	0,00	1,41	0,17	
	TESTE-9	1400	9,58	9,82	1400	7,15	8,04	0,00	2,43	1,78	
	TESTE-10	1400	9,58	9,82	1400	6,91	8,04	0,00	2,67	1,78	
	TESTE-11	1500	12,65	14,07	1500	10,30	13,45	0,00	2,35	0,62	
	TESTE-12	1400	13,47	14,07	1400	10,57	13,45	0,00	2,90	0,62	
	TESTE-13	500	6,57	7,36	500	7,36	7,36	0,00	-0,79	0,00	
	TESTE-14	400	3,94	4,91	400	4,91	4,91	0,00	-0,97	0,00	
	TESTE-15	1000	12,81	12,95	1000	12,06	12,06	0,00	0,75	0,89	
	TESTE-16	800	7,89	8,04	800	7,36	7,36	0,00	0,53	0,68	
	TESTE-17	500	9,78	9,82	500	12,06	12,06	0,00	-2,28	-2,24	
BES	TESTE-18	400	7,89	8,04	400	12,06	12,06	0,00	-4,17	-4,02	
ILA I	TESTE-19	1000	19,71	20,11	1000	20,31	20,31	0,00	-0,60	-0,20	
I -	TESTE-20	800	14,59	14,73	800	16,08	16,08	0,00	-1,49	-1,35	
	TESTE-21	1000	9,86	12,06	1000	14,73	14,73	0,00	-4,87	-2,67	
	TESTE-22	750	5,54	7,36	750	15,02	15,02	0,00	-9,48	-7,66	
	TESTE-23	2000	13,14	14,73	2000	19,63	19,63	0,00	-6,49	-4,90	
	TESTE-24	1750	8,63	9,82	1750	9,82	9,82	0,00	-1,19	0,00	

Figura 21 - Tabela de comparativo de resultados.

Fonte: Elaborado pelos autores.

6.1 ANALISE DOS TESTES

Para melhor visualização das diferenças entre os resultados, abaixo consta o gráfico da área de aço calculada e área de aço efetivo, Figuras 22, 23 e 23.







Figura 23 - Gráfico de A_s , Efetivo.





7 CONCLUSÃO

Conforme analisado no capitulo 6 pode-se notar que os métodos de cálculo adotados pela planilha de Excel retornam valores um pouco mais conservadores que os resultados obtidos pelo software Cypecad. Conforme planilha desenvolvida pelos autores, tem como base métodos de cálculo simplificado, pode-se associar esta diferença ao fato de que o software faz análises mais complexas do que a planilha de Excel.

Com relação aos resultados das comparações das vigas, considerar que a planilha de Excel para dimensionamento é viável e funcional, pois o intuito deste trabalho era de comprovar a efetividade da planilha de Excel para que engenheiros recémformados possam utilizá-la, estes resultados conservadores podem ser considerados positivos para engenheiros recém-formados para que estes se sintam confiantes para realizar seus trabalhos até que consigam adquirir mais conhecimento e experiência.

Com os resultados obtidos pelo dimensionamento dos pilares realizados na planilha de Excel, notou-se que há divergências deficitárias aleatórias relevantes quando comparados com os resultados do software Cypecad, essas divergências podem ser justificadas pelo fato do método de cálculo adotado ser um método simplificado e dependente de visualização de ábacos, gerando probabilidades de erros quando necessário cruzar e obter dados nestes ábacos. Portanto, como os resultados obtidos pela planilha foram deficitárias quando comparados com o Cypecad, podese considerar que para o dimensionamento dos pilares a planilha de Excel não se torna funcional.

8 REFERÊNCIAS

NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014. **NBR 8800:** Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto. Rio de Janeiro, 2008.

NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

BT-106: Guia básico de utilização do cimento portland. São Paulo, 2002.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Pilares de concreto armado**. Bauru: UNESP 2017.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Lajes de concreto**. Bauru: UNESP 2015. BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Ancoragem e emenda de armaduras**. Bauru: UNESP 2018.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Vigas de concreto armado**. Bauru: UNESP 2017.

BOTELHO, M. H. C., & OSVALDO, M. Concreto armado eu te amo vol. 1. São Paulo: Blucher, 2013.

FREITAS, Felipe Coelho. Estrutura de concreto. Espirito Santo, 2017.

FREITAS, Felipe Coelho. Estrutura de concreto: Flexão normal simples, dimensionamento de seções retangulares. Espirito Santo, 2017.

FREITAS, Felipe Coelho. Estrutura de concreto: Estados limites de utilização – Deformação em vigas. Espirito Santo, 2017.

FREITAS, Felipe Coelho. Estrutura de concreto: Estados limites de utilização – Fissuração. Espirito Santo, 2017.