



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

CAMILA LIMA BRITO

**APLICATIVO DE WINDOWS PARA DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO
DA ARMADURA LONGITUDINAL NA SEÇÃO TRANSVERSAL DE VIGAS DE
CONCRETO ARMADO**

MOSSORÓ – RN
2019

CAMILA LIMA BRITO

**APLICATIVO DE WINDOWS PARA DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO
DA ARMADURA LONGITUDINAL NA SEÇÃO TRANSVERSAL DE VIGAS DE
CONCRETO ARMADO**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-árido – UFERSA,
Centro de Engenharias para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Francisco Rosendo Sobrinho, Prof.
Me.

MOSSORÓ – RN
2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

B862a Brito, Camila Lima.
Aplicativo de windows para dimensionamento e detalhamento da armadura longitudinal na seção transversal de vigas de concreto armado / Camila Lima Brito. - 2019.
66 f. : il.

Orientador: Francisco Rosendo Sobrinho.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil, 2019.

1. Cálculo estrutural de vigas. 2. Implementação computacional. 3. Detalhamento de vigas. I. Rosendo Sobrinho, Francisco, orient.
II. Título.

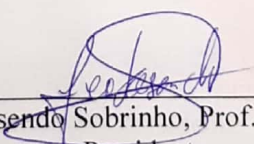
CAMILA LIMA BRITO

**APLICATIVO DE WINDOWS PARA DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO
DA ARMADURA LONGITUDINAL NA SEÇÃO TRANSVERSAL DE VIGAS DE
CONCRETO ARMADO**

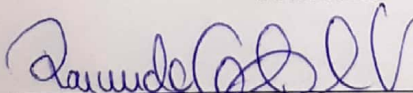
Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-árido – UFERSA,
Centro de Engenharias para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 09/08/2019.

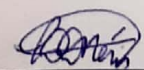
BANCA EXAMINADORA



Francisco Rosendo Sobrinho, Prof. Me. (UFERSA)
Presidente



Raimundo Gomes de Amorim Neto, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador



Lorena Graciane Duarte Nêris, Profª. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por permitir que minha caminhada me trouxesse até aqui, aos meus pais, Maria Izônia e Paulo César por todo suporte e amor dado a mim durante essa jornada na graduação, minha vó Maria Altina e toda minha família que perto ou longe sempre me deram apoio para realização desse sonho.

Aos meus amigos da vida e de graduação, em especial a Elves Monteiro, Wesllianny dos Santos, Adja Rhayfane, Valteson da Silva e Amanda Cristine por sempre estarem presentes, compartilhando experiências e conhecimentos, dividindo aflições e alegrias proporcionadas por esse curso.

Ao meu orientador, Francisco Rosendo, pelo empenho e toda a paciência e conhecimento compartilhado no desenvolvimento desse trabalho e durante a graduação.

RESUMO

Diversos aplicativos computacionais vem sendo desenvolvidos referentes a projetos de estruturas de concreto armado, tendo em vista a grande aplicação desse material na construção civil. Esses programas tem se tornado cada vez mais sofisticados e completos, com resultados que simulam quase que perfeitamente a realidade, demonstrando assim sua complexidade, permitindo cada vez mais a manipulação de dados e interface. Partindo para a interação do programa com o usuário, existe um paradoxo, pois a complexidade de manipulação de muitas dessas ferramentas torna-as inacessíveis quando se trata de usuários que tem pouca ou nenhuma prática em sua utilização, sendo assim necessário um processo de aprendizagem e adequação longo até que a ferramenta se torne acessível. Além da problemática da complexidade de manipulação de dados em interface, os *softwares* não facilitam a compreensão da metodologia de cálculo e procedimentos utilizados por eles, tornando os resultados disponibilizados nas saídas de dados como parâmetros a serem aceitos, muitas vezes não compreendido. Dessa forma no presente trabalho idealiza-se uma ferramenta com interface de fácil utilização, com saída de dados segmentadas de acordo com o procedimento a elas aplicado e resultados finais dispostos de forma que facilite a interpretação do usuário e permita tomada de decisões na entrada de dados, concedendo ao usuário uma análise crítica dos parâmetros fornecidos pelo aplicativo, mantendo-os sempre de acordo com a norma brasileira vigente, ABNT NBR 6118: 2014. Para isso foram realizadas validações de implementação com métodos de literaturas e *software* comercial, assim como aplicação prática proposta, para fins de comparação e comprovação da eficiência e aplicabilidade do aplicativo, obtendo resultados positivos quanto a precisão e confiabilidade qualitativa da ferramenta desenvolvida.

Palavras-chave: Cálculo estrutural de vigas. Implementação computacional. Detalhamento de vigas.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classe de agressividade ambiental	21
Tabela 2 - Cobrimento mínimo dos elementos estruturais	21
Tabela 3 - Taxas mínimas de armadura de flexão para vigas.....	28
Tabela 4 - Dados iniciais fornecidos para dimensionamento da Viga 2	44
Tabela 5 - Comparação entre resultados obtidos para Viga 2	52
Tabela 6 - Resultados obtidos para parâmetros de detalhamento.....	55
Tabela 7 – Bitolas e distribuições resultantes de cada seção da Viga 2	55
Tabela 8 – Reações das lajes nas vigas.....	57
Tabela 9 - Tabela resumo do detalhamento da Viga 5	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Viga em concreto simples e concreto armado respectivamente.	13
Figura 2- Diagrama tensão-deformação.	15
Figura 3- Diagrama tensão-deformação para aços.	15
Figura 4-Domínios de estado-limite último de uma seção transversal.....	16
Figura 5- Viga de concreto.	19
Figura 6 - Modelo viga melhorada.	25
Figura 7 - Aproximação em apoios extremos.....	26
Figura 8 - Representação da matriz resultante do método dos deslocamentos	27
Figura 9 - Definição dos parâmetros da linha neutra e altura útil na seção transversal.	28
Figura 10 - Fluxograma de utilização do aplicativo	34
Figura 11 - Aba de entrada de dados	35
Figura 12 - Aba de pré-dimensionamento	36
Figura 13 - Aba inicial de ações atuantes	37
Figura 14 - Representação de entrada de dados na aba ações atuantes	37
Figura 15 - Aba de banco de dados	38
Figura 16 - Aba inicial da análise estrutural.....	39
Figura 17 - Representação de entrada e saída de dados na aba análise estrutural	40
Figura 18 - Representação de entrada e saída de dados na aba dimensionamento.....	41
Figura 19 - Representação de saída de dados na aba detalhamento	42
Figura 20 - Corte da locação da Viga 2	43
Figura 21 - Entrada de dados da Viga 2 no aplicativo.....	45
Figura 22 - Pré-dimensionamento da Viga 2.....	46
Figura 23 - Resultados na aba de banco de dados	46
Figura 24 - Entrada de dados nas ações atuantes.....	47
Figura 25 - Resultados obtidos na aba de ações atuantes	48
Figura 26 - Diagrama de momento fletor gerado pelo <i>Ftool</i>	48
Figura 27 - Diagrama de esforço cortante gerado pelo <i>Ftool</i>	48
Figura 28 - Resultados da análise estrutural feita pelo <i>software</i>	49
Figura 29 - Dados de entrada dos pilares na aba de análise estrutural	50
Figura 30 - Resultados calculados na aba de análise estrutural.....	51
Figura 31 - Áreas mínimas das áreas de aço longitudinal e transversal	51
Figura 32 - Resultados do dimensionamento longitudinal e transversal	52

Figura 33 - Detalhamento calculado pelo <i>Eberick</i>	53
Figura 34 - Verificação do espaçamento entre barras longitudinais	54
Figura 35 - Detalhamentos da seção 1 da Viga 2 e da armadura transversal	54
Figura 36 - Planta de fôrma da aplicação integrada	56
Figura 37 - Entrada de dados da Viga 5	57
Figura 38- Detalhe da entrada de dados da Viga 5.....	58
Figura 39 - Pré-dimensionamento da Viga 5.....	58
Figura 40 - Ações atuantes definidas para Viga 5.....	59
Figura 41 - Entrada de dados dos pilares na análise estrutural.....	59
Figura 42 - Resultado da análise estrutural da Viga 5.....	60
Figura 43 - Dimensionamento longitudinal da Viga 5	60
Figura 44 - Dimensionamento transversal da Viga 5	61
Figura 45 - Verificações do espaçamento da Viga 5.....	61
Figura 46 - Detalhamento na seção transversal da Viga 5	62
Figura 47 - Detalhamento dos estribos da Viga 5	62

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 OBJETIVOS.....	11
1.1.1 Objetivo Geral	11
1.1.2 Objetivos Específicos	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS PARA CONCRETO ARMADO	12
2.1.1 Aço.....	12
2.1.2 Concreto.....	12
2.1.3 Concreto Armado.....	13
2.2 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DO CONCRETO ARMADO	14
2.2.1 Diagrama tensão-deformação do concreto	14
2.2.2 Diagrama tensão-deformação do aço	15
2.2.3 Capacidade resistente da seção	16
2.3 VIGAS DE CONCRETO ARMADO	18
2.3.1 Características das vigas como elemento estrutural.....	18
2.3.2 Armadura longitudinal.....	19
2.3.3 Armadura transversal	19
2.4 ANÁLISE ESTRUTURAL DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO.....	20
2.4.1 Definições iniciais	20
2.4.2 Agressividade do ambiente.....	20
2.4.3 Pré-dimensionamento	22
2.4.4 Ações atuantes	22
2.4.5 Análise estrutural de vigas de concreto armado	25
2.5 DIMENSIONAMENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO	27
2.5.1 Limites de utilização	27
2.5.2 Taxa mínima de armadura.....	28
2.5.3 Dimensionamento da armadura longitudinal.....	29
2.5.4 Dimensionamento da armadura transversal	30
2.6 DETALHAMENTO DA SEÇÃO TRANSVERSAL.....	31
2.6.1 Espaçamento horizontal	31
2.6.2 Espaçamento vertical.....	32
2.6.3 Número de armaduras transversais por metro	32

2.6.4 Espaçamento entre armaduras transversais	33
3 DESCRIÇÃO DA FERRAMENTA	34
3.1 DADOS DE ENTRADA.....	34
3.2 PRÉ-DIMENSIONAMENTO	35
3.3 AÇÕES ATUANTES.....	36
3.4 BANCO DE DADOS DE ARMAZENAMENTO.....	38
3.5 ANÁLISE ESTRUTURAL	38
3.6 DIMENSIONAMENTO	40
3.7 DETALHAMENTO NA SEÇÃO TRANSVERSAL	41
4 APLICAÇÕES NUMÉRICAS.....	43
4.1 VALIDAÇÃO DO PROGRAMA.....	43
4.2 COMPARAÇÃO DO DETALHAMENTO COM <i>SOFTWARE</i> COMERCIAL E LITERATURA	53
4.3 APLICAÇÃO INTEGRADA PARA ESTRUTURA DE UM PAVIMENTO TIPO	56
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES.....	63
REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

Entre os elementos de concreto armado existentes em modelos estruturais destacamos aqui as vigas, que tem como principal característica a resistência ao momento fletor e o esforço cortante, sendo representado como elemento de barra. Seu dimensionamento, detalhamento e verificações são prescritos segundo a ABNT NBR 6118:2014.

Em um projeto estrutural de vigas de concreto armado são determinados os esforços solicitantes do elemento definido pela análise estrutural, e a partir desses parâmetros são definidas as dimensões da seção transversal, sua armadura longitudinal e transversal.

As vigas possuem dois tipos de corte em detalhamentos, o transversal e o longitudinal, destacando-se aqui, o detalhamento da armadura longitudinal na seção transversal, que especifica os elementos de resistência a flexão e ao cisalhamento e sua disposição dentro da seção, respeitando os limites de espaçamentos definidos pela norma vigente.

O detalhamento da armadura transversal consiste na representação do estribo, com o seu comprimento de barra, bitola, juntamente com o número de armaduras distribuídas e o espaçamento definido entre estribos ao longo do comprimento da estrutura.

Os cálculos de dimensionamento e seus respectivos detalhamentos e verificações podem ser obtidos com o auxílio de diversos softwares de engenharia disponíveis no mercado, que a partir de manipulações de dados iniciais e parâmetros de materiais dão os resultados de cálculos dos simples aos complexos de estruturas completas. A elaboração de aplicativos para esse tipo de tarefa vem se tornando comum devido a facilidade de aprendizado de diversas linguagens de programação, como o C++, amplamente utilizada devido sua flexibilidade de utilização e o amplo acervo de informações.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Elaboração de um aplicativo para *Windows* que disponibilize o dimensionamento e detalhamento da armadura longitudinal e transversal de vigas em concreto armado na seção transversal de forma completa e de fácil interpretação.

1.1.2 Objetivos Específicos

- (i) Apresentar o dimensionamento das armaduras longitudinais e transversais, assim como detalhamento completo dos estribos.
- (ii) Elaborar uma interface que simplifique o desenvolvimento do cálculo assim como o entendimento de cada processo da metodologia de cálculo.
- (iii) Apresentar, em interface, a possibilidade de manipular dados de entrada para análise estrutural, sugerindo assim que o aplicativo mostre uma prévia do detalhamento a ser utilizado.
- (iv) Validar implementação por meio de comparação de seus resultados com os resultados de métodos de literaturas;
- (v) Validar implementação por meio de comparação de seus resultados com os resultados de um *software* comercial;
- (vi) Apresentar aplicações práticas para a implementação proposta.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS PARA CONCRETO ARMADO

O concreto armado é um material de construção composto, obtido pela associação do concreto simples com uma armadura, usualmente constituída por barras de aço, convenientemente colocadas em seu interior, cujo funcionamento conjunto só é possível devido a aderência (ARAÚJO, 2010).

2.1.1 Aço

O aço é uma liga metálica composta principalmente de ferro e de pequenas quantidades de carbono, no qual o teor nessa liga varia de 0 a 1,7%. Os aços estruturais utilizados na construção civil possuem teores de carbono da ordem de 0,18% a 0,25. As propriedades de ductilidade, fácil trabalhabilidade, resistência a tração, compressão, flexão e torção que o aço apresenta são muito importantes para os seus elementos de aplicação na Engenharia Civil (LIBÂNIO *et al*, 2010).

Ainda de acordo com o mesmo autor, como o concreto simples apresenta pequena resistência à tração e é frágil, é conveniente a associação do aço ao concreto, obtendo-se o concreto armado, produto esse muito utilizado na produção de peças estruturais. Este material, adequadamente dimensionado e detalhado, resiste muito bem à maioria dos tipos de solicitação. Mesmo em peças comprimidas, além de fornecer ductilidade, o aço aumenta a resistência à compressão.

As barras de aço quando incorporadas às estruturas de concreto são denominadas de *armadura passiva*, que tem como objetivo apenas resistir às tensões provenientes das ações atuantes, sem introdução de nenhum esforço adicional à peça, dessa forma, as armaduras em peças de concreto armado só trabalham se houverem solicitações a ela aplicadas (CLÍMACO, 2013).

2.1.2 Concreto

Por definição, segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2014), o concreto é um material de construção estrutural proveniente da mistura, em proporções adequadas, de: aglomerantes, agregados e água, sendo ele o material estrutural mais utilizado mundialmente. Desse modo,

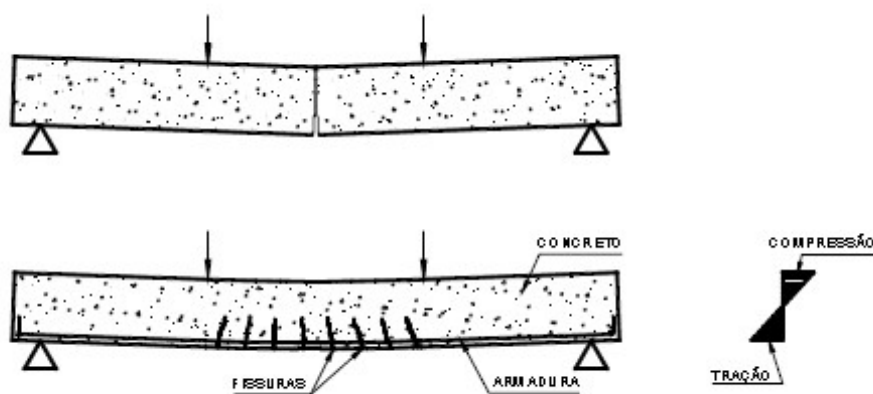
considerando que o cimento é um material caro, a utilização de agregados de maiores dimensões tem como objetivo reduzir os custos sem que a qualidade do material seja muito prejudicada.

As principais propriedades mecânicas do concreto são descritas pelo mesmo autor, como sendo a resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade. Tais propriedades são determinadas a partir de ensaios, executados em condições específicas para controle da qualidade e atendimento às especificações. Para utilização estrutural, o concreto sozinho não é adequado como elemento resistente, pois, enquanto tem uma boa resistência à compressão, pouco resiste à tração, tendo cerca de 1/10 da sua resistência à compressão. Essa solicitação de tração é encontrada e quase sempre presente nas estruturas das construções usuais, tendo como exemplos clássicos os elementos fletidos, submetidos a flexão, nos quais em uma mesma seção transversal existem tanto tensões de compressão quanto de tração. Dessa maneira é observado que na maior parte das aplicações estruturais, para melhorar as características do concreto e suprir suas fragilidades, ele é usado junto com outros materiais.

2.1.3 Concreto Armado

O trabalho conjunto entre o concreto e o aço é possível porque os coeficientes de dilatação térmica dos dois materiais são praticamente iguais. Este trabalho conjunto entre o concreto e a armadura fica bem caracterizado na comparação de uma viga sem armadura e com armadura, como pode ser visto na Figura 1, dado o pressuposto que as forças aplicadas sobre as vigas aumentem gradativamente de zero até a ruptura, a viga sem armadura rompe bruscamente tão logo inicia-se a primeira fissura, o que ocorre quando a tensão de tração atuante alcança a resistência do concreto à tração (BASTOS, 2006).

Figura 1- Viga em concreto simples e concreto armado respectivamente.



Fonte: Pfeil (1989).

Existem diversas alternativas para suprir as deficiências do concreto, sua baixa resistência à tração pode ser contornada com o uso de adequada armadura, constituída em geral de barras de aço, obtendo-se o concreto armado. Além de resistência à tração, o aço garante ductilidade e aumenta a resistência à compressão, em relação ao concreto simples. A fissuração, outro fator a ser contornado, pode ser resolvida ainda em fase de projeto, com armação adequada e limitação do diâmetro das barras e da tensão na armadura (LIBÂNIO *et al*, 2010).

Com o advento da armadura de aço o, agora concreto armado, dispõe de diversas vantagens, listadas por Araújo (2010), tendo como principais sua estrutura monolítica, fazendo com que todo o conjunto trabalhe quando a peça é solicitada; processos construtivos conhecidos e bem difundidos em quase todo o país; o fato de ser moldável, permitindo grande variabilidade de formas e de concepções arquitetônicas; apresentar boa resistência à maioria dos tipos de solicitação, desde que seja feito um correto dimensionamento e um adequado detalhamento das armaduras e seu baixo custo ao que se refere a mão-de-obra e aos materiais.

2.2 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DO CONCRETO ARMADO

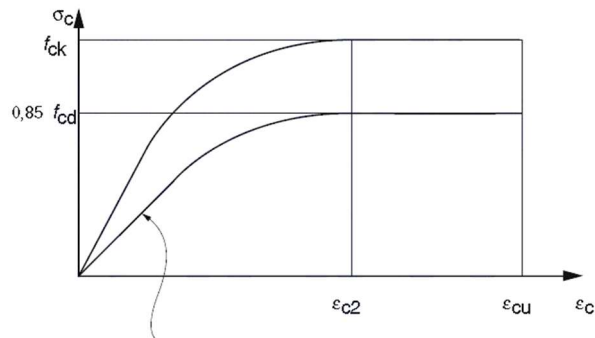
O comportamento do concreto armado é considerado de difícil descrição por ser um resultado da associação de dois materiais estruturais, aço e concreto.

2.2.1 Diagrama tensão-deformação do concreto

O diagrama tensão deformação do concreto não é linear e apresenta um comportamento aproximadamente elástico-linear para tensões da ordem de até 30% de sua tensão máxima de compressão. Assim temos o início plastificação do concreto que, graficamente, é traduzida pelo trecho descendente da curva tensão deformação (DURIGAN; PORTELLA, 2017).

De acordo com a norma ABNT NBR 6118:2014, para análises no estado limite último pode ser utilizado para o concreto submetido a compressão um diagrama tensão deformação idealizado mostrado na Figura 2.

Figura 2- Diagrama tensão-deformação.



Fonte: ABNT NBR 6118 (2014).

sendo:

f_{ck} = resistência característica à compressão do concreto;

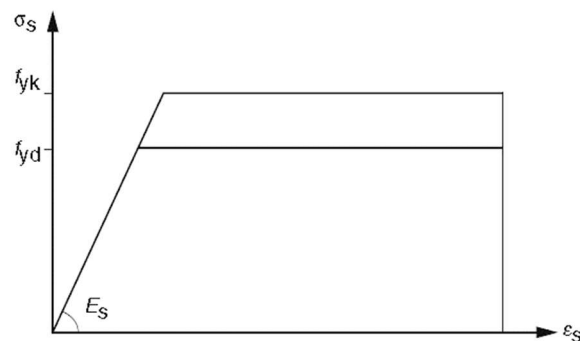
$$f_{cd} = f_{ck}/1,4;$$

2.2.2 Diagrama tensão-deformação do aço

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, o diagrama tensão-deformação do aço e seus respectivos valores característicos da resistência ao escoamento f_{yk} , da resistência à tração f_{stk} e da deformação na ruptura ξ_{uk} devem ser obtidos de ensaios de tração, desde que esses ensaios sejam realizados conforme a norma vigente ABNT NBR ISO 6892-1.

Ainda conforme a ABNT NBR 6118:2014, pode-se utilizar o diagrama simplificado para o cálculo nos estados-limite de serviço e último, para os aços com ou sem patamar de escoamento, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3- Diagrama tensão-deformação para aços.



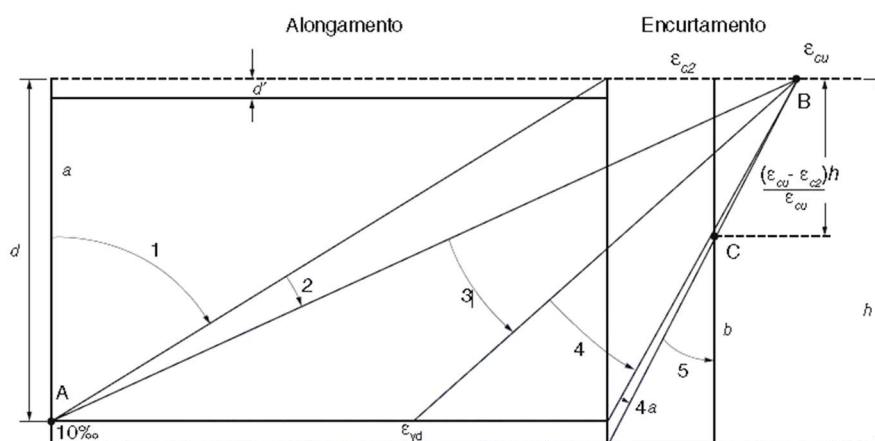
Fonte: ABNT NBR 6118, 2014.

2.2.3 Capacidade resistente da seção

A ruína de uma seção transversal para qualquer tipo de flexão no estado limite último é caracterizada pelas deformações específicas de cálculo do concreto e do aço, que podem atingir, em uma delas ou em ambas, os valores máximos das deformações específicas desses materiais. Esses valores ao longo da seção transversal retangular, submetida a ações normais, com armadura simples definem os seis domínios de deformação. As diversas possibilidades de ruína de uma seção são representadas pelos domínios (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2014).

Conforme a ABNT NBR 6118:2014, a condição de estado limite último de uma seção transversal de concreto armado é caracterizada quando a distribuição das deformações é dada por uma reta que passa necessariamente por um dos pontos A, B ou C, evidenciadas na Figura 4, onde a ruptura pode ocorrer tanto pelo esmagamento do concreto, quanto pela deformação plástica excessiva da armadura.

Figura 4-Domínios de estado-limite último de uma seção transversal.



Fonte: ABNT NBR 6118 (2014).

Os números de 1 a 5, mostrados na Figura 4, representam os domínios de dimensionamento. Ainda em conformidade com a ABNT NBR 6118:2014, podem haver duas modalidades de ruptura, a convencional por deformação plástica excessiva e a convencional por encurtamento limite do concreto.

A ruptura convencional por deformação plástica excessiva pode ser apontada na Figura 4 pela reta a, pelo domínio 1 e pelo domínio 2, definidos por Clímaco (2013) da seguinte forma:

- Domínio 1: Ruptura da peça ocorre por tração não uniforme, sem compressão. O primeiro limite é a reta *a*, da ruptura por uma força de tração no eixo da peça, normal à seção, que sofre apenas translação. Desprezando a resistência à tração do concreto,

podemos admitir que a peça rompe quando o aço alcança o alongamento de 10% , limite convencional de deformação plástica excessiva. A ruptura no domínio 1 é denominada "tração com pequena excentricidade".

- Domínio 2: A ruptura da peça ocorre quando o escoamento do aço atinge o alongamento máximo convencional de 10% , sem esmagamento do concreto. Nesse domínio, em que a flexão predomina, deve-se prevenir a ruptura frágil da peça na zona tracionada, característica das seções fracamente armadas, providenciando uma armadura mínima de tração. A reta limite do domínio 2, da Figura 4, representa um limite da ruptura por flexão no domínio 2, tendo o aço o alongamento máximo e o concreto com esmagamento ao atingir o encurtamento máximo convencional de $3,5\%$.

Já a ruptura convencional por encurtamento limite do concreto é demonstrada na Figura 5 pelos domínios 3, 4, 4a, 5 e pela reta b, definidos pelo mesmo autor da seguinte forma:

- Domínio 3: A ruptura da peça ocorre por flexão com o escoamento da armadura ocorrendo simultaneamente ao esmagamento do concreto à compressão. Ruptura característica de seções balanceadas, dessa forma a peça apresenta sinais visíveis do risco de ruptura: fissuras de grande abertura e flechas acentuadas. A reta limite do domínio 3, da Figura 4, representa um limite da ruptura da peça por flexão no domínio 3, com o aço no início do seu escoamento, com o alongamento ε_{yd} , e o concreto esmagando com o encurtamento máximo de $3,5\%$.
- Domínio 4 Ruptura por flexão, ocorrendo o esmagamento do concreto sem o escoamento do aço. Na prática procura-se evitar o dimensionamento nesse domínio como prevenção de risco de ruptura sem aviso, visto que o esmagamento do concreto ocorre de forma brusca. A reta limite do domínio 4, da Figura 4, representa hipoteticamente o limite da ruptura da peça por flexão no domínio 4, tendo o aço alongamento zero e o concreto esmagando com o encurtamento de $3,5\%$. Na prática esse limite só ocorre na flexão composta.
- Domínio 4a: Ocorre a ruptura por compressão excêntrica, estando toda a seção e as armaduras comprimidas, com exceção de uma pequena região tracionada, nas fibras abaixo da armadura.
- Domínio 5: Nesse domínio ocorre a ruptura por compressão não uniforme, sem tração. A reta limite do domínio 5, da Figura 4, representa a ruptura da peça com a resultante de compressão, provocando o encurtamento máximo de $3,5\%$. A reta b da figura

representa uma ruptura por compressão uniforme ou axial, com a seção sofrendo apenas translação e rompendo o concreto com o encurtamento máximo de 2,0%. A ruptura de seções no domínio 5 é proveniente da "compressão com pequena excentricidade".

Considerando as diversas situações de ruptura, Bastos (2006) faz uma análise de como os elementos, quando dimensionados de forma errada podem se comportar, dividindo-os em:

- Peças subarmadas: quando há uma pequena taxa de armadura, o rompimento ocorre no domínio 2, devido a deformação excessiva das barras de aço sem esmagamento do concreto.
- Peças normalmente armadas: a ruptura ocorre no limite entre o domínio 2 e o domínio 3, com esmagamento do concreto e escoamento do aço ocorrendo simultaneamente. Situação ideal de cálculo.
- Peças superarmadas: o rompimento ocorre no domínio 4, com o esmagamento do concreto tendo início antes do escoamento da armadura.

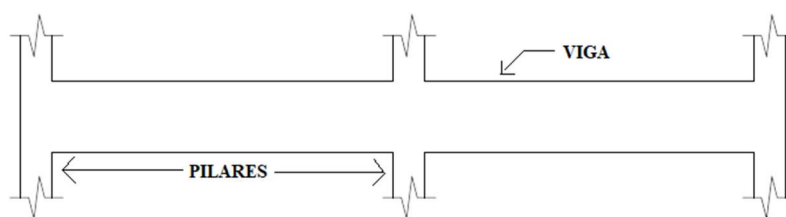
2.3 VIGAS DE CONCRETO ARMADO

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014 (item 14.4.1.1) vigas são “elementos lineares em que a flexão é preponderante”, classificadas ainda pelo (item 14.4.1) como sendo 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".

2.3.1 Características das vigas como elemento estrutural

As vigas são normalmente retas e horizontais, designadas a receber ações das lajes, de outras vigas, de paredes de alvenaria, e eventualmente de pilares, como mostrado na Figura 5. Basicamente a função das vigas é vencer vãos e transmitir as ações atuantes sobre elas para seus apoios, caracterizados geralmente pelos pilares. Essas ações geralmente são perpendicularmente ao seu eixo longitudinal, podendo ser distribuídas ou concentradas, podendo ainda receber esforços normais de compressão ou de tração. As armaduras das vigas são geralmente compostas por estribos, armadura transversal, e por barras longitudinais, armadura longitudinal (BASTOS, 2006).

Figura 5- Viga de concreto.



Fonte: Autoria própria (2019).

2.3.2 Armadura longitudinal

Segundo Barbato (2007) a armadura longitudinal é a parte do elemento estrutural, viga, formada por barras de aço de eixo retilíneo e seção transversal circular. Estas barras são dispostas na região tracionada da viga, no caso da chamada armadura simples e quando necessário na região tracionada e comprimida no caso de armadura dupla.

Ainda de acordo com o mesmo autor, quando se utiliza a armadura simples, as barras devem absorver todos os esforços de tração gerados pelo momento aplicado, já no caso de emprego de armadura dupla parte da absorção dos esforços de tração produzidos pelo momento é feito pelas barras e parte colabora com o concreto aumentando a resistência da região comprimida da viga, caso não haja a necessidade será utilizada barras de sustentação ou também chamada de armaduras construtivas.

2.3.3 Armadura transversal

A armadura transversal é um elemento constituído por estribos ou por estribos e barras dobradas (cavalete) que tem como função estrutural absorver as tensões de tração que se manifestam na alma da viga. Os estribos são construídos por barras de aço de seção transversal circular, geralmente de pequeno diâmetro, e dispostos perpendicularmente à armadura longitudinal (BARBATO, 2007).

2.4 ANÁLISE ESTRUTURAL DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO

2.4.1 Definições iniciais

Quando se trata de projetos de estruturas de concreto armado, o dimensionamento dos diferentes elementos estruturais é feito no chamado “Estado Limite Último”, definido pela ABNT NBR 6118:2014 como sendo: “Estado limite relacionado ao colapso, ou a qualquer outra forma de ruína estrutural, que determine a paralisação do uso da estrutura”.

Segundo Araújo (2010), esses elementos estruturais são dimensionados no limiar da ruptura, teoricamente. No entanto, para evitar que a ruptura ocorra, todas as estruturas são projetadas com coeficientes de segurança aplicados de forma a existir uma folga de resistência relativamente aos carregamentos aplicados na estrutura, de tal forma que, para ocorrer a ruptura a estrutura teria que estar submetida a carregamentos bem superiores para os quais foi projetada.

Ainda de acordo com o mesmo autor, as estruturas devem também ser analisadas quanto às suas deformações, à fissuração e ao conforto do usuário durante sua utilização. Com o intuito de não prejudicar a estética e a utilização da construção, as estruturas não devem apresentar deformações excessivas, dessa forma as aberturas das fissuras devem ser limitadas, visando garantir a durabilidade. Esses quesitos são tratados pelos “Estados Limites de Serviço”.

Os estados limites de serviço definidos pela NBR 6118:2014 (item 3.2) são:

- a) **Estado limite de formação de fissuras (ELS-F);**
- b) **Estado limite de abertura das fissuras (ELS-W);**
- c) **Estado limite de deformações excessivas (ELS-DEF);**
- d) **Estado limite de descompressão (ELS-D);**
- e) **Estado limite de descompressão parcial (ELS-DP);**
- f) **Estado limite de compressão excessiva (ELS-CE);**
- g) **Estado limite de vibrações excessivas (ELS-VE);**

2.4.2 Agressividade do ambiente

A agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas de concreto (BASTOS 2006).

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014 (item 6.4.2) nos projetos das estruturas correntes, a agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com o apresentado na Tabela 1 e pode ser avaliada, simplificada, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

Tabela 1 - Classe de agressividade ambiental

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

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 6118 (2014).

Definida a classe de agressividade do ambiente, é possível agora definir o cobrimento da armadura de aço, caracterizado pela ABNT NBR 6118:2014, em seu item 7.4.7.6, como sendo dependente da classe de agressividade ambiental, do tipo de elemento estrutural e do tipo de concreto utilizado, como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Cobrimento mínimo dos elementos estruturais

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 1)			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Laje	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo	30		40	50
Concreto protendido	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 6118 (2014).

2.4.3 Pré-dimensionamento

O pré-dimensionamento de vigas não é preestabelecido por norma, sendo conceitualmente definido pela experiência do calculista estrutural, mas esses valores definidos devem seguir os requisitos mínimos estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2014 (item 13.2.2) que define que “a seção transversal das vigas não pode apresentar largura menor que 12 cm.” Ainda de acordo com esse item, esses limites podem ser reduzidos, respeitando-se um mínimo absoluto de 10 cm em casos excepcionais, sendo obrigatoriamente respeitadas as seguintes condições:

a) alojamento das armaduras e suas interferências com as armaduras de outros elementos estruturais, respeitando os espaçamentos e cobrimentos estabelecidos nesta Norma;

b) lançamento e vibração do concreto de acordo com a ABNT NBR 14931:2004.

Com esses conceitos estabelecidos, a altura da viga pode ser dada pela equação 1.

$$h = d + c + \phi_t + \frac{\phi_l}{2} \quad (1)$$

onde:

d = altura útil da viga;

ϕ_l = diâmetro das barras longitudinais;

ϕ_t = diâmetro das barras transversais;

c = cobrimento;

2.4.4 Ações atuantes

Seguindo os critérios da ABNT NBR 6118:2014 devemos considerar na análise estrutural a influência de todas as ações que possam produzir efeitos significativos para a segurança da estrutura a qual está sendo estudada, levando-se em conta os possíveis estados limites últimos e os de serviço.

As ações a serem consideradas na análise de uma estrutura de concreto armado classificam-se, de acordo com a ABNT NBR 8681:2003, em permanentes, variáveis e excepcionais. Deve-se salientar que para cada tipo de construção, as ações a serem consideradas devem respeitar suas peculiaridades e as normas a ela aplicáveis.

2.4.4.1 Ações permanentes

Ações permanentes são definidas como as que ocorrem com valores praticamente constantes durante toda a vida útil da construção, sendo também consideradas permanentes as ações que aumentam no tempo, tendendo a um valor-limite constante. As ações permanentes devem ser consideradas com seus valores representativos mais desfavoráveis para a segurança (ABNT NBR 6118, 2014).

De acordo com Bastos (2006), nas construções correntes admite-se que o peso próprio da estrutura seja avaliado considerando-se a massa específica para o concreto simples de 2.400 kg/m^3 e 2.500 kg/m^3 para o concreto armado.

As massas específicas dos materiais de construção correntes para cálculo podem ser avaliadas com base nos valores indicados na ABNT NBR 6120:1980, e os pesos das instalações permanentes são considerados com os valores nominais indicados pelos respectivos fornecedores.

2.4.4.2 Ações variáveis

Como indicado pelo próprio nome as ações variáveis são aquelas que variam ao longo do tempo. Segundo ABNT NBR 6118:2014 as ações variáveis são constituídas pelas cargas acidentais previstas para o uso da construção, pela ação do vento e da água, devendo-se respeitar as prescrições feitas pelas Normas Brasileiras específicas.

2.4.4.3 Combinação de ações

As combinações de ações são aquelas que têm probabilidades de atuarem simultaneamente sobre a estrutura, durante um certo período. Essas combinações de ações devem ser feitas de forma que possibilite a determinação dos 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 (ABNT NBR 6118, 2014).

Essas combinações são definidas conforme a ABNT NBR 6118:2014, podendo ser resumidas em combinações últimas mostradas no Quadro 1 e combinações de serviço visualizadas no Quadro 2.

Quadro 1 – Combinações últimas

Combinações últimas (ELU)	Descrição	Cálculo das solicitações
Normais	Esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de concreto armado ^a	$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{eq} F_{eqk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \psi_{0j} F_{qjk}) + \gamma_{eq} \psi_{0e} F_{eqk}$
	Esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de concreto protendido	Deve ser considerada, quando necessário, a força de protensão como carregamento externo com os valores P_{kmax} e P_{kmin} para a força desfavorável e favorável, respectivamente, conforme definido na Seção 9
	Perda do equilíbrio como corpo rígido	$S(F_{sd}) \geq S(F_{nd})$ $F_{sd} = \gamma_{gs} G_{sk} + R_d$ $F_{nd} = \gamma_{gn} G_{nk} + \gamma_q Q_{nk} - \gamma_{qs} Q_{s,min}$, onde: $Q_{nk} = Q_{1k} + \sum \psi_{0j} Q_{jk}$
Especiais ou de construção ^b		$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{eq} F_{eqk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \psi_{0j} F_{qjk}) + \gamma_{eq} \psi_{0e} F_{eqk}$
Excepcionais ^b		$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{eq} F_{eqk} + F_{q1exc} + \gamma_q \sum \psi_{0j} F_{qjk} + \gamma_{eq} \psi_{0e} F_{eqk}$
onde F_d é o valor de cálculo das ações para combinação última; F_{gk} representa as ações permanentes diretas; F_{eqk} representa as ações indiretas permanentes como a retração F_{sgk} e variáveis como a temperatura F_{aqk} ; F_{qk} representa as ações variáveis diretas das quais F_{q1k} é escolhida principal;		

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014).

Quadro 2 – Combinações de serviço.

Combinações de serviço (ELS)	Descrição	Cálculo das solicitações
Combinações quase permanentes de serviço (CQP)	Nas combinações quase permanentes de serviço, todas as ações variáveis são consideradas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \sum F_{gi,k} + \sum \psi_2 F_{qj,k}$
Combinações frequentes de serviço (CF)	Nas combinações frequentes de serviço, a ação variável principal F_{q1} é tomada com seu valor frequente $\psi_1 F_{q1k}$ e todas as demais ações variáveis são tomadas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \sum F_{gik} + \psi_1 F_{q1k} + \sum \psi_2 F_{qjk}$
Combinações raras de serviço (CR)	Nas combinações raras de serviço, a ação variável principal F_{q1} é tomada com seu valor característico F_{q1k} e todas as demais ações são tomadas com seus valores frequentes $\psi_1 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \sum F_{gik} + F_{q1k} + \sum \psi_1 F_{qjk}$
onde $F_{d,ser}$ é o valor de cálculo das ações para combinações de serviço; F_{q1k} é o valor característico das ações variáveis principais diretas; ψ_1 é o fator de redução de combinação frequente para ELS; ψ_2 é o fator de redução de combinação quase permanente para ELS.		

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014).

2.4.5 Análise estrutural de vigas de concreto armado

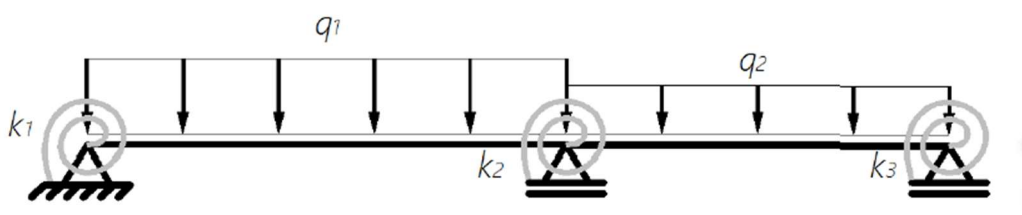
A análise estrutural dos elementos deve considerar todas as ações que possam produzir solicitações à estrutura, combinadas entre si. Existem diversos métodos de análise, nos quais devemos sempre optar pela reprodução mais realística dos efeitos nos elementos estruturais, de modo a “representar de maneira clara todos os caminhos percorridos pelas ações até os apoios da estrutura” (NBR 6118, ABNT 2014).

2.4.5.1 Modelo de viga contínua melhorada

Conforme a ABNT NBR 6118:2014 (14.6.6.1), temos que alternativamente, o modelo de viga contínua pode ser melhorado, considerando-se a solidariedade dos pilares com a viga, mediante a introdução da rigidez à flexão dos pilares extremos e intermediários. A norma ainda afirma que a adequação do modelo empregado deve ser verificada mediante análise cuidadosa dos resultados obtidos. Os devidos cuidados devem ser tomados para garantir o equilíbrio de momentos nos nós viga-pilar, especialmente nos modelos mais simples, como o de vigas contínuas.

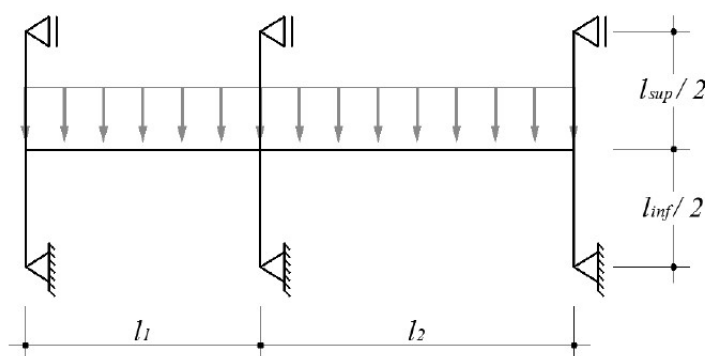
Nesse caso há a introdução da rigidez à flexão dos pilares extremos, dessa forma a viga fica vinculada ao apoio extremo por meio de um engastamento elástico, caracterizado pela mola, como mostra a Figura 6. No caso da rigidez do pilar é dada por sendo a metade do comprimento equivalente do lance do pilar, como indicado na Figura 7 (BASTOS 2017).

Figura 6 - Modelo viga melhorada.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 7 - Aproximação em apoios extremos.



Fonte: Autoria própria (2019).

Prosseguindo, temos que a rigidez à flexão da mola ficará sendo definida pela seguinte equação:

$$K_i = Ecs \left(\frac{6I, sup}{li, sup} + \frac{6I, inf}{li, inf} \right) \quad (2)$$

onde:

Ecs = módulo de elasticidade secante do concreto;

I = momento de inércia do lance do pilar;

li, sup = comprimento equivalente do lance superior;

li, inf = comprimento equivalente do lance inferior;

2.4.5.2 Método dos deslocamentos

A metodologia dos métodos de análise de estruturas tem como base a superposição de casos básicos. No método dos deslocamentos as soluções são cinematicamente determinadas, configurações deformadas conhecidas, essas soluções, chamadas de soluções fundamentais, formam a base da resolução dos métodos de análise. Para esse método, é necessária a determinação de forças e momentos que impõem uma configuração deformada conhecida para uma estrutura, e a dedução dessas soluções fundamentais é feita com base no princípio dos deslocamentos virtuais, considerada uma das principais ferramentas para a determinação de forças (e momentos) necessárias para impor uma determinada configuração deformada a uma estrutura (MARTHA 2010).

Ainda de acordo com o mesmo autor, as soluções mais importantes fundamentais de barra isolada são os chamados coeficientes de rigidez de barra, nesse contexto temos que os

coeficientes de rigidez de barra são forças e momentos que devem atuar nas extremidades da barra isolada, em paralelo aos seus eixos locais, para manter o equilíbrio estático quando um deslocamento é imposto, isoladamente, em uma das suas extremidades. Para todas as forças e momentos que atuam nas extremidades da barra, pode-se escrever a relação matricial mostrada na Figura 8.

Figura 8 - Representação da matriz resultante do método dos deslocamentos

$$\begin{Bmatrix} f'_1 \\ f'_2 \\ f'_3 \\ f'_4 \\ f'_5 \\ f'_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k'_{11} & 0 & 0 & k'_{14} & 0 & 0 \\ 0 & k'_{22} & k'_{23} & 0 & k'_{25} & k'_{26} \\ 0 & k'_{32} & k'_{33} & 0 & k'_{35} & k'_{36} \\ k'_{41} & 0 & 0 & k'_{44} & 0 & 0 \\ 0 & k'_{52} & k'_{53} & 0 & k'_{55} & k'_{56} \\ 0 & k'_{62} & k'_{63} & 0 & k'_{65} & k'_{66} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} d'_1 \\ d'_2 \\ d'_3 \\ d'_4 \\ d'_5 \\ d'_6 \end{Bmatrix}$$

Fonte: Martha (2010).

Portanto o vetor de forças globais atuantes é definido, assim como a matriz de rigidez global do sistema de barras, e, por análise numérica ou solução direta são encontradas as deformações, tratadas como incógnitas do problema, pela resolução das equações de equilíbrio (DURIGAN E PORTELLA, 2017).

2.5 DIMENSIONAMENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO

2.5.1 Limites de utilização

Com os conhecimentos adquiridos sobre os domínios de dimensionamento descritos em 1.2.3 e a condição de Estados Limites Últimos proposta pela ABNT NBR 6118:2014, assim como determinados os diagramas de esforços da viga, é possível iniciar o processo de dimensionamento da armadura.

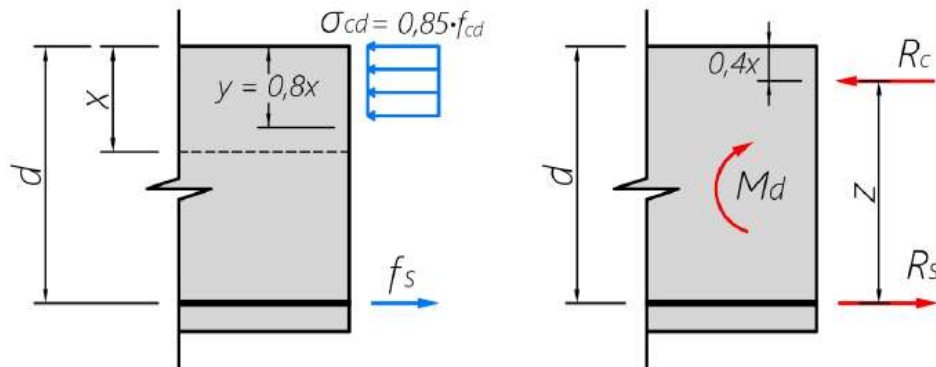
A ABNT NBR 6118:2014 estabeleceu um conjunto de relações referentes a profundidade relativa da linha neutra, com intuito de estabelecer uma checagem mais fácil dos limites de utilização, definidos por:

$$\frac{x}{d} \leq 0,45 \text{ para } f_{ck} \leq 50\text{MPa} \quad (3)$$

$$\frac{x}{d} \leq 0,35 \text{ para } 50\text{MPa} \leq f_{ck} \leq 90\text{MPa} \quad (4)$$

Onde x é a profundidade da linha neutra e d , a altura útil da peça, que são definidas de acordo com a Figura 9.

Figura 9 - Definição dos parâmetros da linha neutra e altura útil na seção transversal.



Fonte: Autoria própria (2019).

2.5.2 Taxa mínima de armadura

Segundo a ABNT NBR 6118:2014 em sua tabela 17.3 – Taxas mínimas de armadura de flexão para vigas, a taxa mínima, é admitida considerando uma seção retangular, a partir do f_{ck} do concreto.

Tabela 3 - Taxas mínimas de armadura de flexão para vigas

Forma da seção	Valores de $\rho_{\min}^a$ ($A_{s,\min}/A_c$)										
	%										
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Retangular	0,150	0,150	0,150	0,164	0,179	0,194	0,208	0,211	0,219	0,226	0,233

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 6118 (2014).

Com essa definição podemos obter a área de armadura mínima através da Equação 5, dada por:

$$A_{s,\min} = \rho \times b_w \times h \quad (5)$$

2.5.3 Dimensionamento da armadura longitudinal

O dimensionamento das armaduras longitudinais deve conduzir a um conjunto de esforços resistentes (N_{Rd} , M_{Rd}) que constituam envoltória dos esforços solicitantes (N_{Sd} , M_{Sd}) determinados na análise estrutural (NBR 6118, ABNT 2014).

Esse dimensionamento pode ser realizado a partir de equações adimensionais, que sempre que conveniente deve ser utilizadas, pela sua facilidade de emprego em diversos sistemas de unidades, permitindo a utilização de gráficos e de quadros de modo mais racional (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2014).

Essas equações adimensionais admitidas para o dimensionamento de seções retangulares são definidas por:

$$KMD = \frac{M_d}{b_w \times d^2 \times f_{cd}} \quad (6)$$

$$Kx = 1,25 - 1,9174\sqrt{0,425 - Kmd} \quad (7)$$

$$Kz = 1 - 0,4kx \quad (8)$$

onde:

M_d = Momento de cálculo atuante na viga;

b_w = Base da viga;

d = Altura útil da viga;

$f_{cd} = f_{ck}/1,4$;

A partir dessas equações podemos definir o cálculo da área de aço pela equação:

$$A_s = \frac{M_d}{(Kz) \times d \times f_s} \quad (9)$$

onde:

f_s = Tensão de escoamento do aço;

Ainda segundo a ABNT NBR 6118:2014 as armaduras longitudinais devem ser dispostas ao longo da seção transversal, de forma a garantir a resistência adequada do elemento estrutural.

2.5.4 Dimensionamento da armadura transversal

A armadura transversal pode ser constituída por estribos ou pela composição de estribos e barras dobradas; entretanto, quando forem utilizadas barras dobradas, não podem suportar mais do que 60% do esforço total resistido pela armadura (NBR 6118, ABNT 2014).

Segundo Clímaco (2013) o dimensionamento de uma peça de concreto à esforço cortante envolve, sempre, duas etapas:

- Verificação das "diagonais" ou "bielas" comprimidas quanto ao esmagamento do concreto pela ação das tensões de compressão.
- Dimensionamento da armadura transversal de combate ao cisalhamento na flexão, para absorver as tensões de tração. Essas tensões inclinadas cortam o plano neutro da peça a um ângulo de 45°, aproximadamente.

A verificação de resistência dos elementos estruturais deverá atender, simultaneamente, as condições das Equações 10 e 11.

$$V_{sd} \leq V_{Rd2} \quad (10)$$

$$V_{sd} \leq V_{Rd3} = V_c + V_{sw} \quad (11)$$

onde:

V_{sd} = Força cortante solicitante de cálculo, na seção;

V_{Rd2} = Força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína das diagonais comprimidas de concreto.

V_{Rd3} = Força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína por tração diagonal;

V_c = Parcela de esforço cortante absorvida por mecanismos complementares ao de treliça;

V_{sw} = Parcela resistida pela armadura transversal;

Para obtenção dos parâmetros V_{Rd2} e V_{Rd3} é utilizado o Modelo de cálculo I estabelecido pela ABNT NBR 6118:2014, definidos por:

$$V_{Rd2} = 0,27 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d \quad (12)$$

onde:

$$\alpha_{v2} = (1 - f_{ck}/250) \quad (13)$$

$$V_{Rd3} = V_c + V_{sw} \quad (14)$$

onde:

$$V_c = 0,6 \cdot F_{ctd} \cdot b_w \cdot d; \quad (15)$$

$$F_{ctd} = 1,5 \cdot f_{ck}^{2/3}; \quad (16)$$

Com a obtenção desses parâmetros é feito o cálculo da parcela de força absorvida pela armadura transversal, dado por:

$$V_{sw} = V_{sd} - V_c \quad (17)$$

E posteriormente é realizado o cálculo do fator área de aço necessária / altura útil, indicado pela equação 17:

$$\frac{A_{sw}}{S} = \frac{V_{sw}}{0,9 \cdot d \cdot f_{ywd}} \quad (18)$$

2.6 DETALHAMENTO DA SEÇÃO TRANVERSAL

2.6.1 Espaçamento horizontal

A ABNT NBR 6118:2014 (item 18.3.2.2) estabelece o espaçamento mínimo livre entre as faces das barras longitudinais, medido no plano da seção transversal, deve ser igual ou superior ao maior dos seguintes valores:

$$a_h \geq \begin{cases} 20 \text{ mm}; \\ \text{diâmetro da barra, do feixe ou da luva}; \\ 1,2 \text{ vez a dimensão máxima característica do agregado graúdo}; \end{cases} \quad (19)$$

Com valores definidos de bitolas da armadura transversal, cobrimento e diâmetro da armadura longitudinal o espaço disponível por camada é definido pela Equação 20.

$$a = b_w - [2 \cdot (c + \phi_{estribo} + \phi_{longitudinal})] \quad (20)$$

onde:

b_w = Base da viga;

$\phi_{estribo}$ = Diâmetro do estribo;

$\phi_{longitudinal}$ = Diâmetro da barra longitudinal;

c = cobrimento.

Dessa forma define-se que o número máximo de barras por camada é aquele que respeita o espaçamento horizontal estabelecido pela norma.

2.6.2 Espaçamento vertical

Ainda de acordo com a ABNT NBR 6118:2014 (item 18.3.2.2), é possível encontrar os valores mínimos para o espaçamento vertical entre as barras. Este deve ser o maior entre:

$$a_v \geq \begin{cases} 20 \text{ mm;} \\ \text{diâmetro da barra, do feixe ou da luva;} \\ 0,5 \text{ vez a dimensão máxima característica do agregado graúdo.} \end{cases} \quad (21)$$

O cálculo da distância do eixo da primeira camada a borda da viga é realizado a partir da Equação 22, dada por:

$$a' = c + \phi_{estribo} + \frac{\phi_{longitudinal}}{2} \quad (22)$$

onde:

$\phi_{estribo}$ = Diâmetro do estribo;

$\phi_{longitudinal}$ = Diâmetro da barra longitudinal;

c = Cobrimento.

2.6.3 Número de armaduras transversais por metro

Com todos os parâmetros de dimensionamento a tração definidos, torna-se necessário a definição do número de armaduras transversais distribuídas por metro, estabelecido pela Equação 23, como sendo:

$$N = \frac{\max \left\{ \frac{A_{sw}}{S}, \frac{A_{sw}}{S_{min}} \right\}}{2 \cdot A\phi} \quad (23)$$

onde:

$$\max \left\{ \frac{A_{sw}}{S}, \frac{A_{sw}}{S_{min}} \right\} = \text{Valor máximo entre os fatores de armadura transversal e a mínima;}$$

$A\phi$ = Área da bitola do estribo;

2.6.4 Espaçamento entre armaduras transversais

Definida a quantidade de armaduras transversais é possível estabelecer o cálculo do espaçamento, demonstrado pela Equação 24.

$$S = \frac{1}{N} \quad (24)$$

Posteriormente se faz necessário a verificação do espaçamento máximo, estabelecido pela ABNT NBR 6118:2014, como sendo:

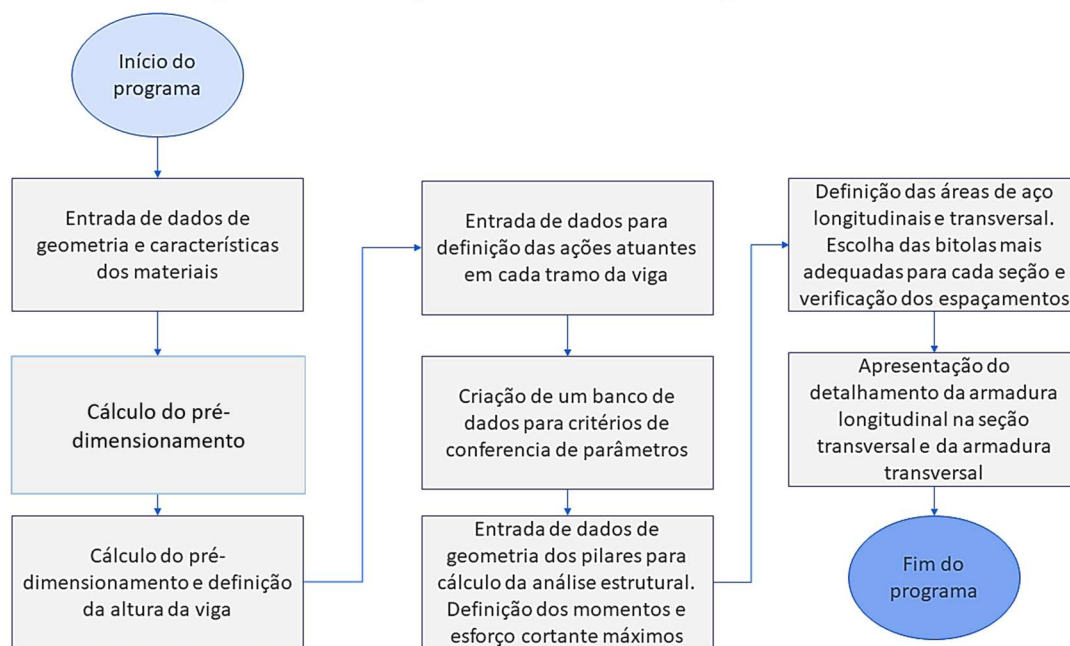
$$S_{m\acute{a}x} \leq \begin{cases} 0,6 * d \leq 300mm \text{ se } V_{sd} \leq 0,67 * V_{rd2} \\ 0,3 * d \leq 200mm \text{ se } V_{sd} > 0,67 * V_{rd2} \end{cases} \quad (25)$$

3 DESCRIÇÃO DA FERRAMENTA

A ferramenta aqui descrita equivale a um aplicativo que pode ser executado em plataforma *Windows*, com capacidade de realizar análise, dimensionamento e detalhamento de vigas na seção transversal conforme ABNT NBR 6118: 2014 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. O desenvolvimento do aplicativo foi realizado utilizando a linguagem de programação C++, a partir da ferramenta *Visual Studio*® na versão 2019, disponibilizado pela *Microsoft*.

A metodologia de sequência de utilização do programa, mostrada na Figura 10, foi empregada de forma a simplificar o entendimento dos resultados, calculados de forma coerente com as normas vigentes. O aplicativo é uma derivação de um *software* de cálculo estrutural de elementos de concreto armado, composto por lajes maciças, detalhamento da armadura longitudinal de vigas e pilares.

Figura 10 - Fluxograma de utilização do aplicativo



Fonte: Autoria própria (2019).

3.1 DADOS DE ENTRADA

Inicialmente é realizada uma entrada de dados (FIGURA 11) com características do aço e do concreto, número de vigas, geometria da viga, base e comprimento, número de tramos,

comprimento de cada tramo e definições de classe de agressividade, para determinação do cobrimento, assim como as bitolas pré-estabelecidas para o cálculo do pré-dimensionamento.

O aplicativo nos dá a opção de escolha de padronização da base das vigas, garantindo a entrada válida de dados pra cada uma. O número de vigas é limitado a oito, levando em conta a concepção estrutural apresentada na página inicial, que limita o número de lajes em nove. Após preenchimento de todos os dados requeridos é necessário salvar as informações para cálculos conseguintes.

É importante salientar que as caixas de texto na coloração branca se referem a entrada de dados, enquanto os textos e as caixas de coloração cinza se referem aos resultados calculados, dessa forma não é possível alterar os resultados dados pelo aplicativo, a exceção de que o resultado tenha saída de dados em caixas de texto brancas.

Figura 11 - Aba de entrada de dados

Dados de Entrada do Material

Fck: MPa

Fyk: MPa

Es: GPa

Dados de Entrada da Geometria

N° de Vigas:

As vigas possuem base padrão? ☐ Sim ☐ Não

C. Agressividade: ϕl : mm

Cobrimento: cm ϕt : mm

BITOLAS

COMPRIMENTO DOS TRAMOS

	N° de Tramos	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
V01	b = cm L = m	m	m	m
V02	b = cm L = m	m	m	m
V03	b = cm L = m	m	m	m
V04	b = cm L = m	m	m	m
V05	b = cm L = m	m	m	m
V06	b = cm L = m	m	m	m
V07	b = cm L = m	m	m	m
V08	b = cm L = m	m	m	m

Concepção Estrutural Padrão

V1

V2

V3

V4

V5

V6

V7

V8

P1

P2

P3

P4

P5

P6

P7

P8

P9

P10

P11

P12

P13

P14

P15

P16

Salvar

Preencha todos os dados e siga para o Pré-dimensionamento após salvá-los

Fonte: Autoria própria (2019).

3.2 PRÉ-DIMENSIONAMENTO

A partir das variáveis declaradas na aba de dados de entrada e com equações pré-estabelecidas, é realizado o pré-dimensionamento. Nessa aba, apresentada na Figura 12, temos uma saída de dados com o valor da altura de cada viga calculada por relações comumente utilizadas na teoria, assim como valor estabelecido de altura útil (d), calculado a partir da

equação (1), e um esboço da seção transversal da viga com suas cotas de altura e altura útil definidas em tela.

Para chamada dos dados de cada viga individualmente o usuário deverá selecionar quais vigas devem aparecer em tela. Nessa aba é possível adequar a altura da viga, dessa forma o valor calculado pode ser substituído por um valor estabelecido pelo usuário.

Figura 12 - Aba de pré-dimensionamento

Fonte: Autoria própria (2019).

3.3 AÇÕES ATUANTES

Partindo para as ações atuantes há uma entrada de dados das ações que atuam sobre a viga (FIGURA 13), sendo elas as de revestimento, peso próprio e carga accidental, estabelecidos pela ABNT NBR 6120:1980. Além desses carregamentos citados é possível a entrada de dados proveniente da reação das lajes na viga. Nessa parte do aplicativo temos o cálculo das cargas atuantes em cada tramo da viga selecionada e a majoração dessas cargas para questão de cálculo estrutural.

Figura 13 - Aba inicial de ações atuantes

Dimensionamento de vigas

Dados Iniciais | Pré-Dimensionamento | **Ações Atuantes** | Banco de dados | Análise Estrutural | Dimensionamento | Detalhamento na seção transversal

Selecione as vigas para inserir os dados de Ações Atuantes Viga: N° de Tramos: #

Cargas Permanentes:

☒ Carga das lajes

Peso Próprio: # kN/m

☒ Tramo 1 ☒ Tramo 2 ☒ Tramo 3

Revestimento: kN/m

Tramo 1 Tramo 2 Tramo 3

☐ Com carga pontual ☐ Com carga pontual ☐ Com carga pontual

Avenaria: kN/m

Carga da laje na viga: kN/m Carga da laje na viga: kN/m Carga da laje na viga: kN/m

Cargas Variáveis:

Total: # kN/m Total: # kN/m Total: # kN/m

Carga Acidental: kN/m

Total: # kN/m

Combinação de Ações Máximas:

Solicitação Tramo 1: # kN/m

Calcular Calcule as Ações Atuantes de cada viga e confira no Banco de Dados

Fonte: Autoria própria (2019).

Após inserção de dados é feito o cálculo, que tem como saída de dados as cargas aplicadas na viga, assim como sua representação analítica, como mostra a Figura 14.

Figura 14 - Representação de entrada de dados na aba de ações atuantes

Dimensionamento de vigas

Dados Iniciais | Pré-Dimensionamento | **Ações Atuantes** | Banco de dados | Análise Estrutural | Dimensionamento | Detalhamento na seção transversal

Selecione as vigas para inserir os dados de Ações Atuantes Viga: 01 N° de Tramos: 2

Cargas Permanentes:

☒ Carga das lajes

Peso Próprio: 1,125 kN/m

☒ Tramo 1 ☒ Tramo 2 ☐ Tramo 3

Revestimento: 1,5 kN/m

Tramo 1 Tramo 2

☐ Com carga pontual ☐ Com carga pontual

Avenaria: 3,5 kN/m

Carga da laje na viga: 5 kN/m Carga da laje na viga: 6 kN/m

Cargas Variáveis:

Total: 12,63 kN/m Total: 13,63 kN/m

Carga Acidental: 1,5 kN/m

Total: 1,5 kN/m

Combinação de Ações Máximas:

Solicitação Tramo 1: 17,68 kN/m

Solicitação Tramo 2: 19,08 kN/m

Calcular Calcule as Ações Atuantes de cada viga e confira no Banco de Dados

Diagrama de uma viga com duas travessas. A primeira travessa tem uma carga distribuída de 17,68 kN/m. A segunda travessa tem uma carga distribuída de 19,08 kN/m.

Fonte: Autoria própria (2019).

3.4 BANCO DE DADOS DE ARMAZENAMENTO

Com todas as entradas de dados de características dos materiais e as ações que atuam em cada viga calculadas e estabelecidas pelo usuário, um banco de dados é gerado. Esse banco de dados foi idealizado como ferramenta para programação, utilizado para organização das variáveis necessárias para cálculos posteriores, assim como instrumento de conferência de dados. A aba de banco de dados é apresentada na Figura 15.

Essa aba é automatizada de forma que exiba em tela a quantidade de dados relacionada ao número de vigas selecionadas na aba de dados iniciais, assim como os dados de número de tramos.

Figura 15 - Aba de banco de dados

Fonte: Autoria própria (2019).

3.5 ANÁLISE ESTRUTURAL

Seguindo para a análise estrutural temos a disposição a opção de escolher qual viga está sendo trabalhada, assim como estabelecer se a estrutura é térrea ou de dois pavimentos. Com esses dois dados estabelecidos é feita a leitura das características da viga, mais especificamente o número de tramos, de forma que a partir dessa informação o algoritmo estabeleça em tela a quantidade de pilares e suas abas de entradas de dados para cálculo da rigidez dos apoios, pelo

método de cálculo se tratar do método da viga melhorada. Esses dados dos pilares devem ser inseridos de forma a seguir o formato da representação mostrada na figura disposta em tela, como apresentado na Figura 16.

Figura 16 - Aba inicial da análise estrutural

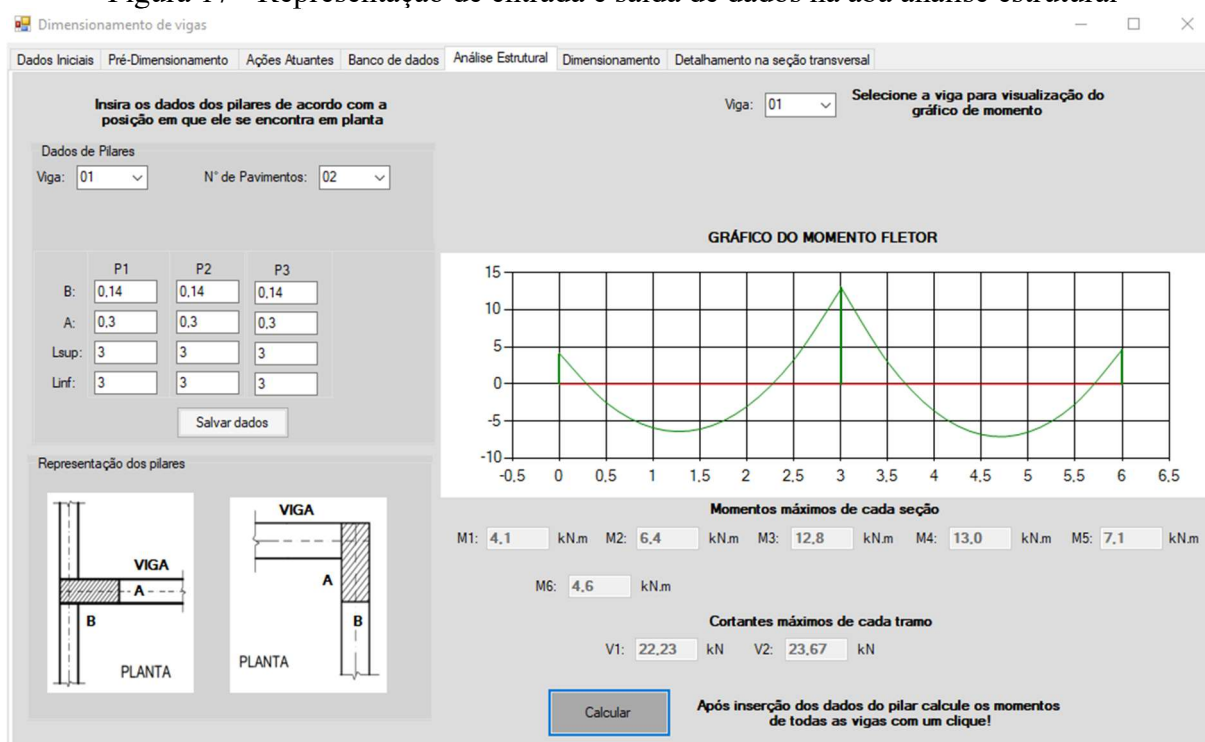
A interface do software 'Dimensionamento de vigas' apresenta a seguinte estrutura:

- Barra de Navegação:** Contém as abas 'Dados Iniciais', 'Pré-Dimensionamento', 'Ações Atuantes', 'Banco de dados', 'Análise Estrutural' (ativa), 'Dimensionamento' e 'Detalhamento na seção transversal'.
- Área de Entrada de Dados:**
 - Título: 'Insira os dados dos pilares de acordo com a posição em que ele se encontra em planta'.
 - Botão: 'Viga:' com uma lista suspensa.
 - Botão: 'Selezione a viga para visualização do gráfico de momento'.
 - Seção 'Dados de Pilares':
 - Botão: 'Viga:' com uma lista suspensa.
 - Botão: 'Nº de Pavimentos:' com uma lista suspensa.
- Representação dos pilares:**
 - Dois diagramas de planta: 'PLANTA' (mostrando uma viga horizontal e um pilar vertical) e 'VIGA' (mostrando uma viga horizontal e um pilar vertical). Ambos os diagramas possuem pontos de apoio rotulados como 'A' e 'B'.
- Área de Resultados:**
 - Título: 'GRÁFICO DO MOMENTO FLETOR'.
 - Textos: 'Momentos máximos de cada seção' e 'Cortantes máximos de cada tramo'.
- Botão de Ação:** Um botão 'Calcular' localizado na parte inferior central.
- Nota:** 'Após inserção dos dados do pilar calcule os momentos de todas as vigas com um clique!'.

Fonte: Autoria própria (2019).

Com os dados de pilares definidos e salvos, é possível calcular e gerar o gráfico de momento fletor de cada viga a ser dimensionada, definindo assim os momentos máximos atuantes na viga, nos apoios definidos com auxílio do método dos deslocamentos e ao longo da viga pelas equações da estática. De forma análoga ao cálculo do momento é realizado a definição do esforço cortante. Tais parâmetros são utilizados para cálculo de dimensionamento da armadura longitudinal e transversal respectivamente, como mostrado na Figura 17.

Figura 17 - Representação de entrada e saída de dados na aba análise estrutural



Fonte: Autoria própria (2019).

3.6 DIMENSIONAMENTO

Após determinação de valores máximos de momentos fletores e esforço cortante para cada viga, seguimos para aba de dimensionamento (FIGURA18). Nessa parte do programa são estabelecidos para cada viga, de acordo com suas características de locação, suas respectivas áreas de aço, calculadas para cada seção com seu momento máximo atuante, de acordo com as equações adimensionais definidas em 2.5.3.

A partir das áreas de aço calculadas é possível selecionar a bitola mais adequada, de acordo com análise comparativa entre A_s e A_{sef} , definindo dessa forma o número de barras que irão compor a seção transversal em seu detalhamento. O programa verifica se os parâmetros escolhidos estão respeitando o espaçamento mínimo entre bitolas, definido pela ABNT NBR 6118:2014. A quantidade de seções a serem dimensionadas é definida a partir do número de tramos. O dimensionamento da armadura transversal é feito de forma semelhante, seguindo os preceitos do item 2.5.4.

Figura 18 - Representação de entrada e saída de dados na aba dimensionamento

Dimensionamento de vigas

Dados Iniciais Pré-Dimensionamento Ações Atuantes Banco de dados Análise Estrutural **Dimensionamento** Detalhamento na seção transversal

Viga: 01 Seleccione a vigas para exibição dos valores de Dimensionamento

Dimensionamento Longitudinal

Selecione a bitola adequada para cada seção

Seção	As	φ	mm	Asnom	Asef
S01	0,5400000	8,0	mm	0,500 :m²	1,00 cm²
S02	0,8248162	8,0	mm	0,500 :m²	1,00 cm²
S03	1,7580161	12,5	mm	1,250 :m²	2,50 cm²
S04	0,9182570	10,0	mm	0,800 :m²	1,60 cm²
S05	0,5845349	8,0	mm	0,500 :m²	1,00 cm²

Dimensionamento Transversal

As: 1,180 cm² φ: 5,0 mm Asnom: 0,240 cm²
N° de Bitolas : 3 bitolas de 5,0 mm Asef: 0,720 :m²

Limites de dimensionamento

Asmint: 1,180 cm²
Asminl: 0,540 cm²

Verificação de espaçamento

Espaçamento mínimo horizontal = 2 cm
Espaçamento mínimo vertical = 2 cm

S01: OK! S02: OK! S03: OK! S04: OK!
S05: OK!

Quando espaçamento não estiver OK o programa utiliza outro arranjo de bitolas que se adequa.

Salvar Salve os dados de cada viga e siga para o Detalhamento

Fonte: Autoria própria (2019).

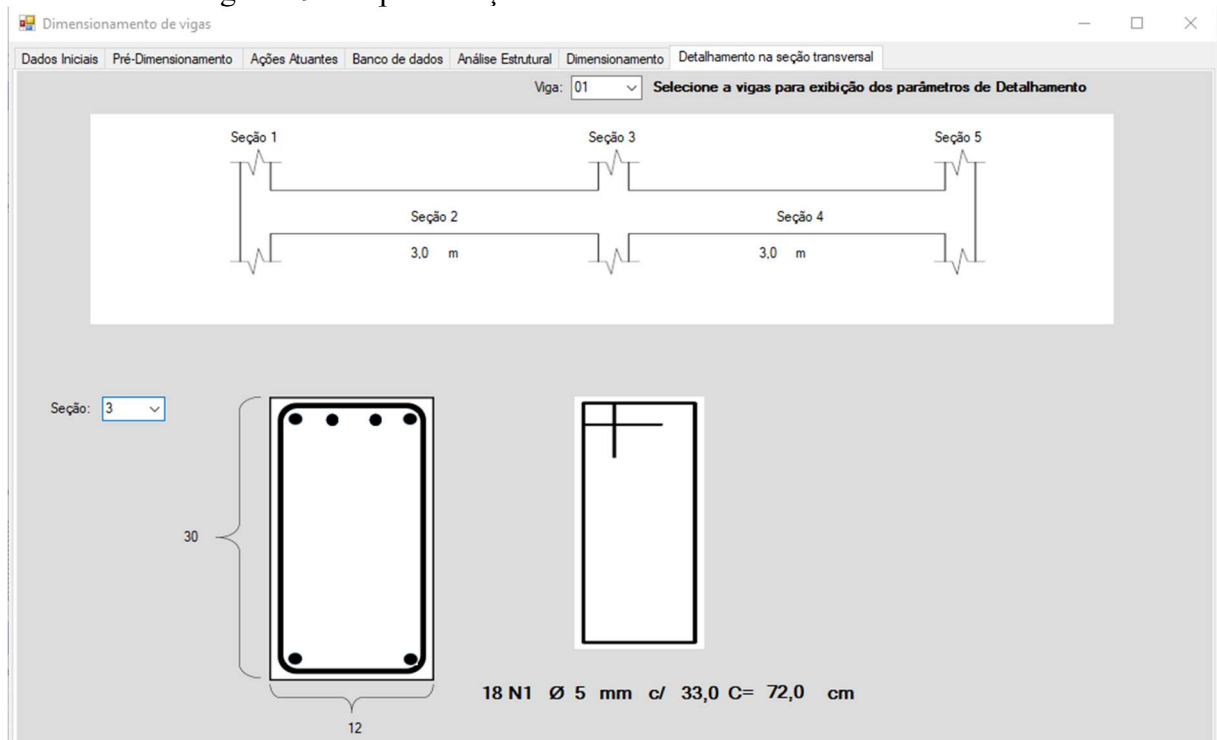
3.7 DETALHAMENTO NA SEÇÃO TRANSVERSAL

Partindo para o detalhamento é necessário selecionar a viga que será detalhada, dessa forma, de acordo com os parâmetros estabelecidos de altura, base, número de tramos e seus respectivos comprimentos, é mostrado em tela a representação da viga longitudinalmente e sua seção transversal, devidamente cotadas.

Tendo definido as bitolas para cada seção e para o esforço cortante na aba de dimensionamento é feito a representação da disposição das bitolas longitudinais dentro da seção transversal, obedecendo os devidos espaçamentos. Quando o espaçamento mínimo para uma camada horizontal definido não é respeitado o aplicativo rearranja as bitolas de forma que a distribuição respeite o espaçamento mínimo transversal e horizontal respectivamente.

Ainda na aba de detalhamento é mostrada a representação do detalhamento da armadura transversal, estribo, com sua respectiva nomenclatura, estabelecendo valores de quantidade de estribos ao longo da viga, a bitola escolhida, espaçamento entre armaduras, seu comprimento nominal e cotas, conforme mostrado na Figura 19.

Figura 19 - Representação de saída de dados na aba detalhamento



Fonte: Autoria própria (2019).

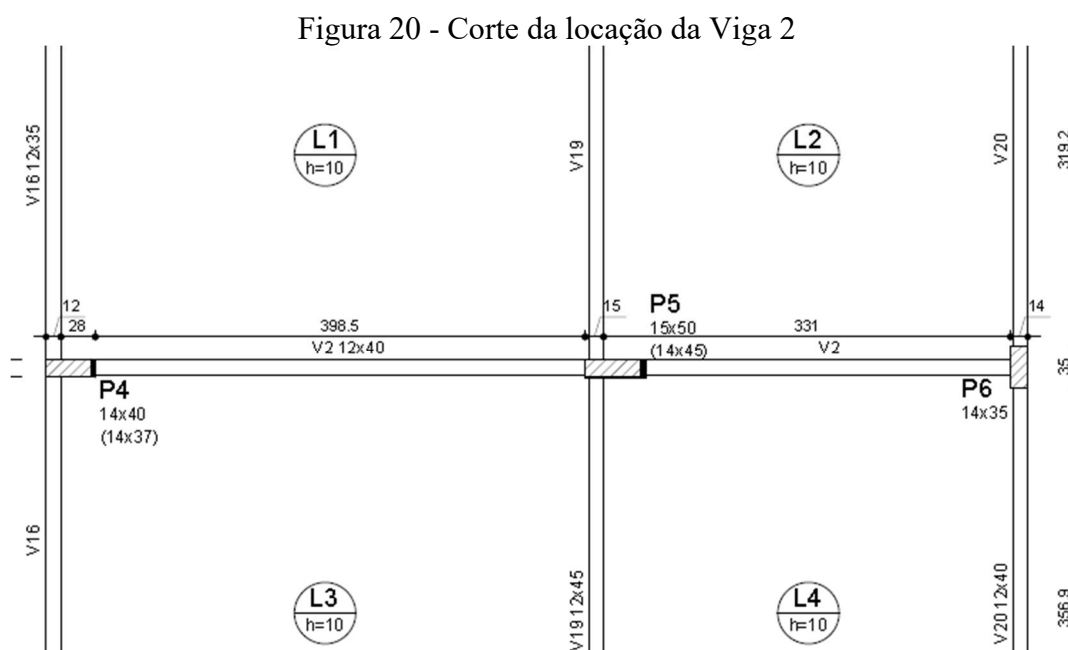
4 APLICAÇÕES NUMÉRICAS

Para critérios de validação de confiabilidade qualitativa da ferramenta desenvolvida serão apresentados exemplos numéricos aplicados com soluções já conhecidas para que assim possa ser realizada a comparação dos resultados obtidos aplicando os mesmos parâmetros ao aplicativo.

É realizado ainda uma aplicação mútua no *software* desenvolvido e em um *software* comercial, *Eberick*, apresentando os resultados e comparando ambos. Por fim é realizado um dimensionamento de uma estrutura completa com auxílio dos aplicativos adjacentes de cálculo estrutural desenvolvidos para lajes e pilares.

4.1 VALIDAÇÃO DO PROGRAMA

Para a primeira aplicação de validação será feito o estudo de uma viga proposta por Kemczinski (2015), onde o cálculo se baseia na análise da Viga 2 presente numa estrutura de um edifício residencial, localizada no primeiro pavimento. Essa viga possui dois tramos e está apoiada em três pilares como mostra a Figura 20.



Fonte: Kemczinski (2015).

A validação consistirá na comparação entre os parâmetros de valores de momentos atuantes, esforços cortantes e áreas de aço calculadas por Kemczinski (2015) e os resultados dados pelo software.

Os dados iniciais são fornecidos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Dados iniciais fornecidos para dimensionamento da Viga 2

Parâmetro	Valores
Base da viga (cm)	12
Altura da viga (cm)	40
Altura do pilar (cm)	280
Classe do concreto	C25
Classe do aço	CA-50
Cobrimento (cm)	3,0 (Classe II)
Comprimento do Tramo 1 (cm)	452
Comprimento do Tramo 2 (cm)	352
Peso Próprio (kN/m)	1,20
Carga da Laje no Tramo 1 (kN/m)	16,16
Carga da Laje no Tramo 2 (kN/m)	9,22
Carga da alvenaria (kN/m)	5,40

Fonte: Autoria própria (2019).

Em posse dessas informações é feita a entrada de dados no aplicativo, de forma que é inserido o número de vigas a serem analisadas, as propriedades dos materiais utilizados, concreto e aço, características da viga, o número de tramos e seus respectivos comprimentos, como mostrado na Figura 21. Vale salientar que o autor utilizou bitola longitudinal de 12,5 mm e transversal de 5,0 mm como padrão para pré-dimensionamento.

Figura 21 - Entrada de dados da Viga 2 no aplicativo

Dimensionamento de vigas

Dados Iniciais | **Pré-Dimensionamento** | **Ações Atuantes** | **Banco de dados** | **Análise Estrutural** | **Dimensionamento** | **Detalhamento na seção transversal**

Dados de Entrada do Material

Fck: 25 MPa
Fyk: 500 MPa
Es: 24 GPa

Dados de Entrada da Geometria

Nº de Vigas: 1

As vigas possuem base padrão?
☐ Sim ☒ Não

BITOLAS

C. Agressividade: 2 ϕ_l : 12.5 mm
Cobrimento: 3 cm ϕ_t : 5.0 mm

CONCEPÇÃO ESTRUTURAL PADRÃO

V01

b = 12 cm L = 8.04 m

Nº de Tramos

2

COMPRIMENTO DOS TRAMOS

Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
4.52 m	3.52 m	0 m

Diagrama de Vigas:

O diagrama mostra uma grade de vigas com 4 linhas (V1-V4) e 4 colunas (P1-P4). As vigas são numeradas de 1 a 18. As pilas são numeradas de P1 a P16.

Salvar

Preencha todos os dados e siga para o Pré-dimensionamento após salvá-los

Fonte: Autoria própria (2019).

Seguindo para a aba de pré-dimensionamento é realizado o cálculo da altura útil da viga e mostrado em tela uma pré-visualização da seção transversal da Viga 2. Do pré-dimensionamento calculado pelo aplicativo, é indicado para fins de projeto que a viga possua uma altura de no mínimo 38 cm, porém, como indicado por Kemczinski (2015), o elemento a ser dimensionado deve ter 40 cm de altura, desse modo a alteração da altura é realizada no próprio *layout*, considerando que a saída de dado da caixa da altura está habilitada para edições.

Com a nova altura inserida é realizado um novo cálculo da altura útil, como mostra a Figura 22.

Figura 22 - Pré-dimensionamento da Viga 2

Dimensionamento de vigas

Dados Iniciais | **Pré-Dimensionamento** | Ações Atuantes | Banco de dados | Análise Estrutural | Dimensionamento | Detalhamento

Escolha as vigas para visualização do Pré-dimensionamento Viga: 01

V01

h: 40 cm

ϕ_l : 12.5 mm

ϕ_t : 5.0 mm

c: 3.0 cm

Altura Útil (d): 35.875

Diagrama da seção transversal da viga V01, mostrando as dimensões: altura total de 40 cm, altura útil de 35.875 cm, e uma dimensão lateral de 4.125 cm.

Fonte: Autoria própria (2019).

A verificação dos parâmetros já estabelecidos no aplicativo são dispostos em banco de dados apresentado na Figura 23.

Figura 23 - Resultados na aba de banco de dados

Dimensionamento de vigas

Dados Iniciais | Pré-Dimensionamento | Ações Atuantes | **Banco de dados**

V01

Altura: 40 cm

Base: 12 cm

Comprimento: 8.04 m

Combinação de Ações Máximas:

Solicitação Tramo 1: 31.86 kN/m

Solicitação Tramo 2: 22.15 kN/m

Fonte: Autoria própria (2019).

Continuando com a entrada de dados da Viga 2 no aplicativo, partindo para aba de ações atuantes, é feito a entrada de dados referentes às cargas as quais o elemento está sobre ação. O *software* permite entrada de dados de revestimento, carga de alvenaria, carga accidental e cargas das lajes na viga e calcula automaticamente o peso próprio a partir dos dados de geometria da própria viga. Kemczinski (2015) já nos fornece as cargas considerando a carga accidental e a de revestimento, dessa forma o preenchimento desses dados, em específico, no aplicativo será com o valor zero. Com essas considerações teremos as entradas exibidas na Figura 24.

Figura 24 - Entrada de dados das ações atuantes

The screenshot displays the 'Ações Atuantes' (Acting Actions) tab within a software application. The interface includes a navigation bar at the top with tabs: 'Dados Iniciais', 'Pré-Dimensionamento', 'Ações Atuantes' (selected), 'Banco de dados', 'Análise Estrutural', 'Dimensionamento', and 'Detalhamento na seção transversal'. Below the navigation bar, there is a section for selecting beams and the number of spans. The main area is divided into sections for 'Cargas Permanentes' (Permanent Loads) and 'Cargas Variáveis' (Variable Loads). The 'Cargas Permanentes' section includes input fields for 'Peso Próprio' (Self-weight), 'Revestimento' (Cladding), and 'Alvenaria' (Masonry), all set to 0 kN/m. It also has checkboxes for 'Carga das lajes' (Slab load) and 'Com carga pontual' (With point load). The 'Cargas Variáveis' section includes input fields for 'Carga Accidental' (Accidental load) and 'Total', both set to 0 kN/m. The 'Combinação de Ações Máximas' (Maximum Action Combination) section includes input fields for 'Solicitação Tramo 1' and 'Solicitação Tramo 2', both set to 0 kN/m. A diagram of a continuous beam with three supports is shown on the right side of the interface.

Fonte: Autoria própria (2019).

Os resultados do cálculo das ações atuantes consistem nos valores das solicitações aplicadas a cada tramo da viga, com e sem majoração, evidenciados pela Figura 25.

Figura 25 - Resultados obtidos na aba de ações atuantes

Dados Iniciais Pré-Dimensionamento **Ações Atuantes** Banco de dados Análise Estrutural Dimensionamento Detalhamento na seção transversal

Selecione as vigas para inserir os dados de Ações Atuantes Viga: 01 N° de Tramos: 2 **Recomenda-se o uso da NBR 6120 como material de apoio!**

Cargas Permanentes:

Peso Próprio: 1,2 kN/m

Revestimento: 0 kN/m

Alvenaria: 5,4 kN/m

☒ Carga das lajes

☒ Tramo 1 ☒ Tramo 2 ☐ Tramo 3

Tramo 1 ☐ Com carga pontual

Tramo 2 ☐ Com carga pontual

Carga da laje na viga: 16,16 kN/m Carga da laje na viga: 9,22 kN/m

Cargas Variáveis:

Carga Acidental: 0 kN/m

Total: 0 kN/m

Combinação de Ações Máximas:

Solicitação Tramo 1: 31,86 kN/m

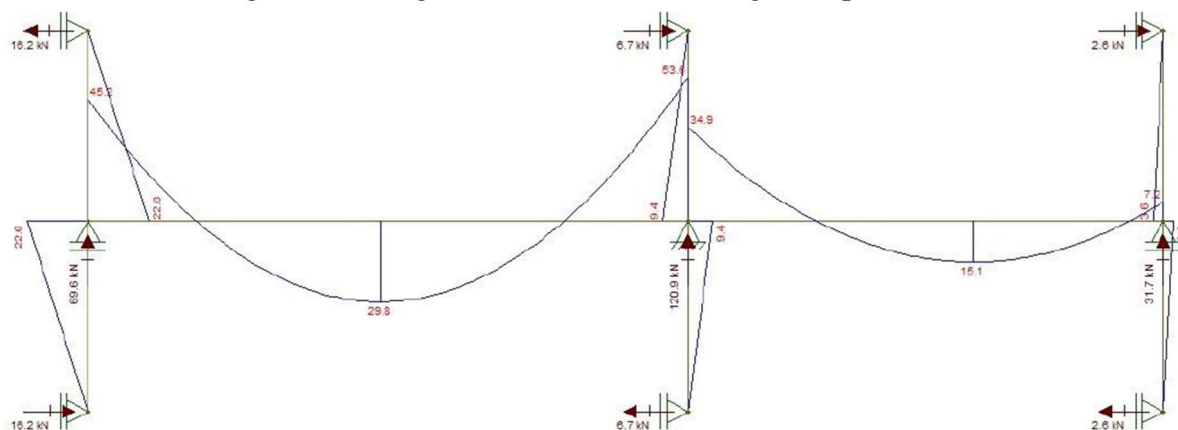
Solicitação Tramo 2: 22,15 kN/m

Total: 22,76 kN/m Total: 15,82 kN/m

Fonte: Autoria própria (2019).

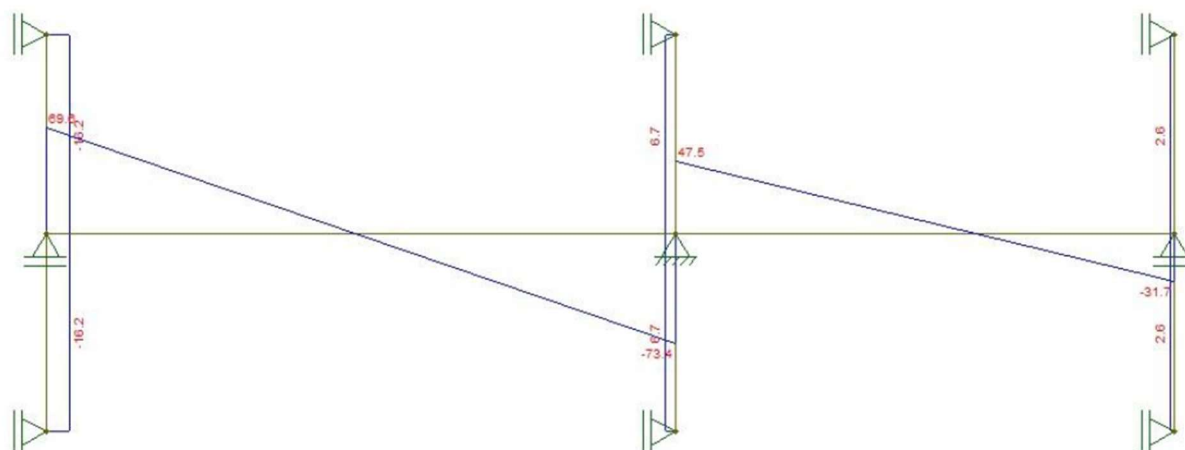
Após definição das cargas atuantes na Viga 2, Kemczinski (2015) realiza a análise estrutural por meio da ferramenta *Ftool*, definindo as características dos elementos e lançando as cargas previamente calculadas e já majoradas, gerando assim o diagrama do momento fletor e esforço cortante, como evidenciado na Figura 26 e Figura 27, respectivamente.

Figura 26 - Diagrama de momento fletor gerado pelo *Ftool*



Fonte: Kemczinsk (2015).

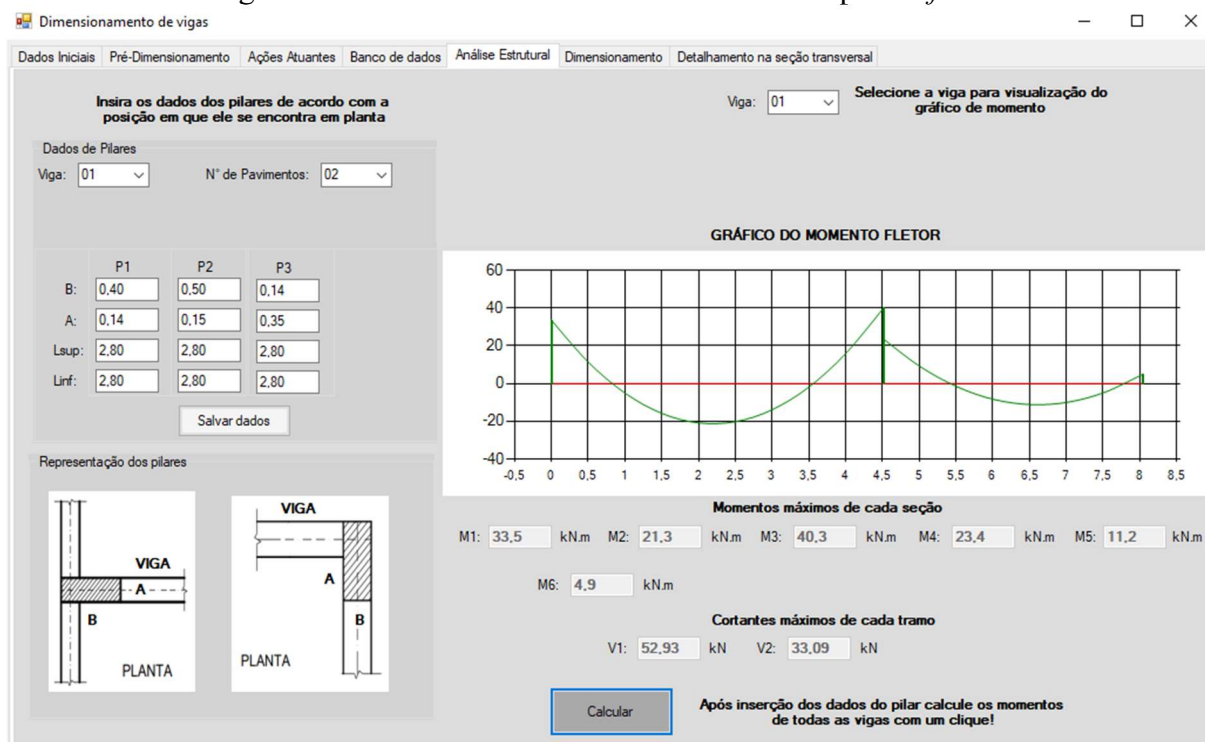
Figura 27 - Diagrama de esforço cortante gerado pelo *Ftool*



Fonte: Kemczinsk (2015).

O cálculo da análise estrutural realizado pelo aplicativo é realizado de forma se faz necessário a entrada de dados referentes aos apoios do elemento estrutural que está sendo analisado, caracterizados pelos pilares P4, P5 e P6, com dimensões de 0,40x0,14 para P4, 0,50x0,15 para P5 e 0,14x0,35 para P6, considerando a representação em planta de cada pilar. Os resultados são apresentados na Figura 28.

Figura 28 - Resultados da análise estrutural feita pelo *software*



Fonte: Autoria própria (2019).

Seguindo o fluxo de entrada de dados do programa, primeiramente devem ser inseridos os dados de pilares e salvar os mesmos, para que o algoritmo calcule as rigidezes de cada um deles. A Viga 2 a qual estamos estudando se encontra numa estrutura com dois pavimentos com pé direito de 2,80 m conforme apresentado na Figura 29.

Figura 29 - Dados de entrada dos pilares na aba de análise estrutural

Insira os dados dos pilares de acordo com a posição em que ele se encontra em planta

Dados de Pilares

Viga: 01 N° de Pavimentos: 02

	P1	P2	P3
B:	0,40	0,50	0,14
A:	0,14	0,15	0,35
Lsup:	2,80	2,80	2,80
Linf:	2,80	2,80	2,80

Salvar dados

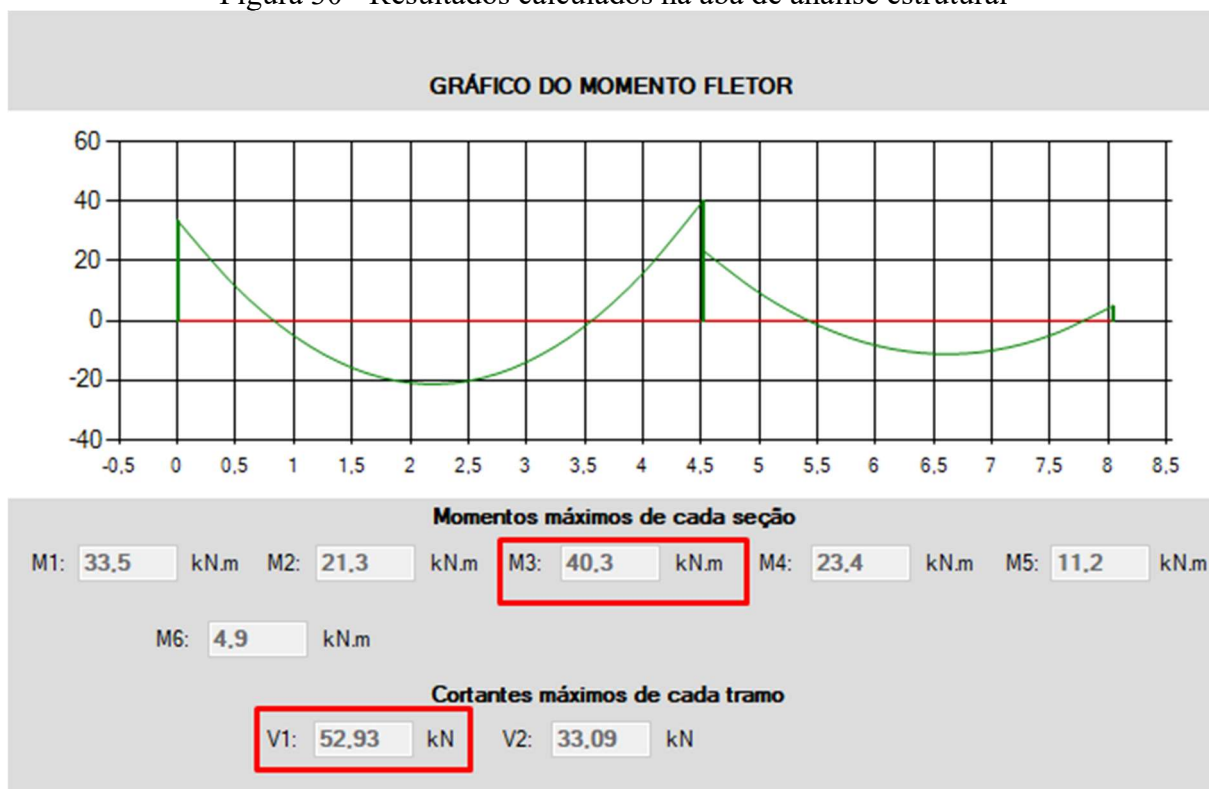
Representação dos pilares

Fonte: Autoria própria (2019).

Os resultados da análise estrutural dado pelo aplicativo consistem no gráfico do momento fletor atuante na viga e os respectivos valores máximos de momento característicos para cada seção analisada.

De forma semelhante são apresentados os valores máximos de esforço cortante para cada tramo da viga, evidenciando sempre o maior valor desse esforço para fins de dimensionamento de armadura transversal, mostrados na Figura 30.

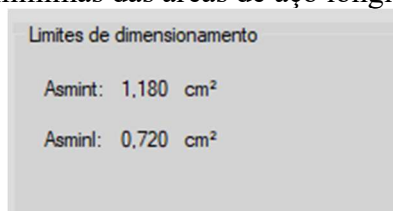
Figura 30 - Resultados calculados na aba de análise estrutural



Fonte: Autoria própria (2019).

Com os valores de momentos e cortante definidos partimos para a aba de dimensionamento, onde obtemos as áreas de aço longitudinais e transversal, calculadas a partir da majoração dos parâmetros encontrados na aba anterior, de acordo com o item 2.5.3 e item 2.5.4, respectivamente. Caso ocorra que a área de aço calculada seja menor do que a mínima definida pela norma vigente, o *software* reconhece automaticamente a área mínima como resultado, evidenciadas na Figura 31.

Figura 31 - Áreas mínimas das áreas de aço longitudinal e transversal



Fonte: Autoria própria (2019).

Os resultados do dimensionamento se apresentam de forma que possamos escolher qual melhor bitola a ser utilizada de acordo com a comparação da área de aço calculada e efetiva. Após definição das bitolas, o aplicativo determina a quantidade de barras a serem dispostas na seção. Tais resultados são visualizados na Figura 32.

Figura 32 - Resultados do dimensionamento longitudinal e transversal

The screenshot shows the 'Dimensionamento de vigas' software interface. The 'Viga: 01' dropdown is selected. The main window is titled 'Selecione a vigas para exibição dos valores de Dimensionamento'. It is divided into three main sections:

- Dimensionamento Longitudinal:** This section lists five sections (S01 to S05) with their respective design parameters:
 - S01: $A_s = 3,3923099$, $\phi L = 12,5$ mm, $A_{snom} = 1,250 \text{ cm}^2$, $N^\circ \text{ de Bitolas} = 3$, $A_{sef} = 3,75 \text{ cm}^2$
 - S02: $A_s = 2,0481925$, $\phi L = 12,5$ mm, $A_{snom} = 1,250 \text{ cm}^2$, $N^\circ \text{ de Bitolas} = 2$, $A_{sef} = 2,50 \text{ cm}^2$
 - S03: $A_s = 4,2042360$, $\phi L = 12,5$ mm, $A_{snom} = 1,250 \text{ cm}^2$, $N^\circ \text{ de Bitolas} = 4$, $A_{sef} = 5,00 \text{ cm}^2$
 - S04: $A_s = 1,0411474$, $\phi L = 10,0$ mm, $A_{snom} = 0,800 \text{ cm}^2$, $N^\circ \text{ de Bitolas} = 2$, $A_{sef} = 1,60 \text{ cm}^2$
 - S05: $A_s = 0,7200000$, $\phi L = 8,0$ mm, $A_{snom} = 0,500 \text{ cm}^2$, $N^\circ \text{ de Bitolas} = 2$, $A_{sef} = 1,00 \text{ cm}^2$
- Dimensionamento Transversal:** This section shows the design for the transversal section:
 - $A_s = 2,919 \text{ cm}^2/\text{m}$, $\phi t = 5,0$ mm, $A_{snom} = 0,196 \text{ cm}^2$
 - $N^\circ \text{ de Bitolas} = 8$, $A_{sef} = 1,568 \text{ cm}^2$
- Verificação de espaçamento:** This section shows the spacing verification:
 - Espaçamento mínimo horizontal = 2 cm
 - Espaçamento mínimo vertical = 2 cm
 - Results for sections: S01: OK!, S02: OK!, S03: OK!, S04: OK!, S05: OK!
 - Message: 'Quando espaçamento não estiver OK o programa utiliza outro arranjo de bitolas que se adequa.'
- Limites de dimensionamento:** This section shows the limits:
 - $A_{smint} = 1,180 \text{ cm}^2$
 - $A_{smint} = 0,720 \text{ cm}^2$

At the bottom, there is a 'Salvar' button and a message: 'Salve os dados de cada viga e siga para o Detalhamento'.

Fonte: Autoria própria (2019).

Com posse desses resultados é possível estabelecer a comparação entre os valores dos parâmetros analisados para validação da ferramenta, listados na Tabela 5.

Tabela 5 - Comparação entre resultados obtidos para Viga 2

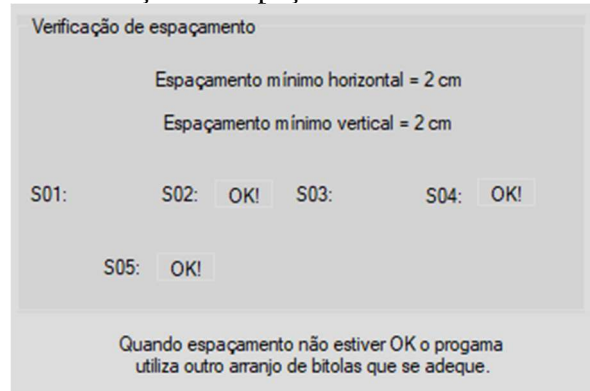
Parâmetros	Resultados obtidos pelo Aplicativo	Resultados obtidos por Kemczinski (2015)
M1 (kN.m)	46,90	45,20
M2 (kN.m)	29,82	29,80
M3 (kN.m)	56,42	53,60
M4 (kN.m)	15,68	15,10
M5 (kN.m)	6,86	7,20
$V_{\text{máx}}$ (kN)	74,10	73,40
A_{s1} (cm ²)	3,39	3,23
A_{s2} (cm ²)	2,05	2,04
A_{s3} (cm ²)	4,20	3,94
A_{s4} (cm ²)	1,04	0,99
A_{s5} (cm ²)	0,72	0,72
A_{sw} (cm ² /m)	2,92	2,85

Fonte: Autoria própria (2019).

espaçamento mínimo dentro da seção, partindo do princípio de que se o espaçamento for insuficiente na primeira camada, as barras sobressalentes serão colocadas em outra camada, de forma que os espaçamentos longitudinal e agora transversal sejam respeitados.

Esses dados de análise são evidenciados na aba de dimensionamento, onde há a verificação do espaçamento e a consideração a ser feita com o resultado obtido, como mostra a Figura 34.

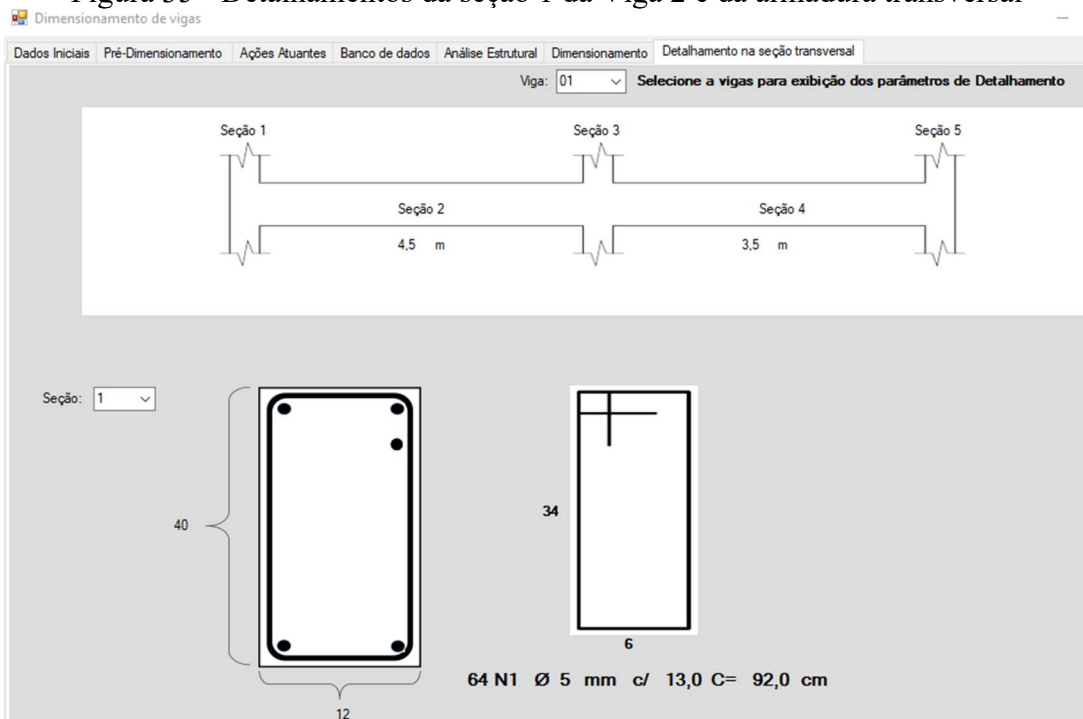
Figura 34 - Verificação do espaçamento entre barras longitudinais



Fonte: Autoria própria (2019).

Com essas considerações definidas o aplicativo gera o detalhamento, apresentado na Figura 35.

Figura 35 - Detalhamentos da seção 1 da Viga 2 e da armadura transversal



Fonte: Autoria própria (2019).

A seção 1 foi escolhida para análise e comparação, levando em conta que a mesma não passa na verificação do espaçamento com três bitolas de 12,5 mm na mesma camada. O aplicativo, como evidenciado anteriormente corrige esse problema readequando as bitolas em outro arranjo, respeitando os espaçamentos longitudinal e transversal mutuamente.

Os resultados obtidos para comparação dos parâmetros calculados do detalhamento são descritos pela Tabela 6.

Tabela 6 - Resultados obtidos para parâmetros de detalhamento

Parâmetros	Resultados obtidos pelo Aplicativo	Resultados obtidos por Kemczinski (2015)	Resultados obtidos pelo Eberick
Quantidade de estribos	64	Não definido	47
Ø (mm)	5,0	5,0	5,0
Espaçamento (cm)	13	13	21
Comprimento (cm)	92	92	92

Fonte: Autoria própria (2019).

Uma justificativa para o número de estribos apresentar um valor maior que o calculado, e consequentemente o espaçamento, no *software* comercial é o método de cálculo utilizado pelo referido programa, que se torna mais sofisticado e a favor da economia, se distanciando dos resultados obtidos pelo aplicativo aqui estudado.

Quando comparados ao método aplicado por Kemczinski (2015), que se assemelha ao utilizado pelo aplicativo, os valores de espaçamento se tornam iguais, comprovando novamente a validação do programa.

A Tabela 7 evidencia os resultados relacionados a definição de qual bitola melhor se adequa às áreas de aço calculadas, o número de bitolas e sua distribuição entre camadas na seção transversal, para aplicativo, Kemczinski (2015) e Eberick.

Tabela 7 – Bitolas e distribuições resultantes de cada seção da Viga 2

Seção	Resultados obtidos pelo Aplicativo	Resultados obtidos por Kemczinski (2015)	Resultados obtidos pelo Eberick
S1	3 Ø 12,5 mm	3 Ø 12,5 mm	3 Ø 12,5 mm
S2	2 Ø 12,5 mm	2 Ø 12,5 mm	2 Ø 12,5 mm
S3	4 Ø 12,5 mm	2 Ø 12,5 mm + 2 Ø 10,0 mm	2 Ø 12,5 mm + 2 Ø 10,0 mm
S4	2 Ø 10,0 mm	2 Ø 10,0 mm	2 Ø 8,0 mm
S5	2 Ø 8,0 mm	2 Ø 8,0 mm	1 Ø 8,0 mm

Fonte: Autoria própria (2019).

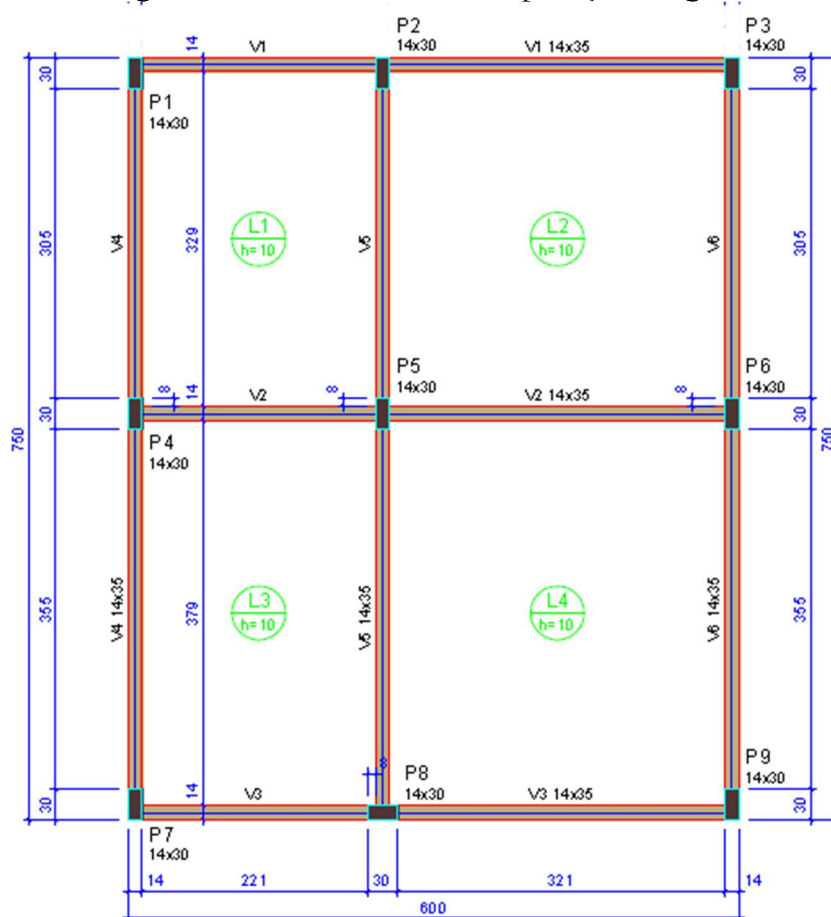
Baseando-se no fato de que o aplicativo desenvolvido possui entrada de dados para escolha de bitolas para apenas um diâmetro, justifica-se a divergência no resultado da seção três evidenciada pela Tabela 7, onde temos a definição de dois diâmetros de bitolas diferentes para duas camadas de distribuição, apresentados pelo autor e pelo *software* comercial.

Vale ressaltar que, em relação ao número de bitolas, só há divergência quando comparado ao resultado do *Eberick*, mais especificamente na seção cinco. Essa divergência se dá pelo fato, já explanado anteriormente, de que o método de cálculo utilizado pelo referido programa seja melhor otimizado, em relação a economia.

4.3 APLICAÇÃO INTEGRADA PARA ESTRUTURA DE UM PAVIMENTO TIPO

Prosseguindo com as aplicações, foi realizado o lançamento de uma estrutura completa com auxílio de um aplicativo adjacente de cálculo estrutural desenvolvido para lajes maciças. A estrutura estudada é apresentada pela Figura 36, e possui em sua composição quatro lajes maciças, seis vigas e nove pilares.

Figura 36 - Planta de fôrma da aplicação integrada



Fonte: Autoria própria (2019).

Com os dados lançados no aplicativo de dimensionamento de lajes obteve-se as reações das lajes nas vigas, já majoradas. Esses parâmetros mostrados na Tabela 8 foram analisados de forma a possibilitar a escolha da viga mais solicitada para entrada de dados no aplicativo aqui estudado.

Tabela 8 – Reações das lajes nas vigas

Reação das lajes nas vigas	L1	L2	L3	L4
Apoio em x (kN/m)	4,34	4,72	4,61	5,34
Engaste em x (kN/m)	7,51	8,18	8,00	9,23
Apoio em y (kN/m)	3,31	4,72	3,31	4,72
Engaste em y (kN/m)	5,74	8,18	5,74	8,18

Fonte: Autoria própria (2019).

A partir da análise desses dados foi possível definir a viga mais solicitada da estrutura, representada pela Viga 5, que já possui dados de geometria definidos em planta, tornando possível o lançamento da estrutura no aplicativo de forma a realizar o dimensionamento e o detalhamento da viga em questão. Essa entrada de dados é mostrada pela Figura 37 e em detalhe na Figura 38.

Figura 37 - Entrada de dados da Viga 5

Dados de Entrada do Material

Fck: 25 MPa

Fyk: 500 MPa

Es: 24 GPa

Dados de Entrada da Geometria

N° de Vigas: 1

As vigas possuem base padrão? ☒ Sim ☐ Não

b = 14 cm

Ok

BITOLAS

C. Agressividade: 2 ϕ_i : 10.0 mm

Cobrimento: 3 cm ϕ_t : 5.0 mm

COMPRIMENTO DOS TRAMOS

N° de Tramos

Tramo 1: 3.93 m

Tramo 2: 3.35 m

Tramo 3: 0 m

Concepção Estrutural Padrão

V01

b = 14 cm L = 7.28 m

Salvar

Preencha todos os dados e siga para o Pré-dimensionamento após salvá-los

Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 38- Detalhe da entrada de dados da Viga 5

Dados de Entrada da Geometria

Nº de Vigas:

As vigas possuem base padrão? ☒ Sim ☐ Não

C. Agressividade: ϕ_l : mm

b= cm Cobrimento: cm ϕ_t : mm

BITOLAS

COMPRIENTO DOS TRAMOS

		Nº de Tramos	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
V01	b= 14 cm L= 7.28 m	2	3.93 m	3.35 m	0 m

Fonte: Autoria própria (2019).

Como a altura da viga já é pré-definida em 35 cm, o valor definido pelo pré-dimensionamento é substituído, e posteriormente feito o cálculo do parâmetro de altura útil, demonstrado pela Figura 39.

Figura 39 - Pré-dimensionamento da Viga 5

V01

h: cm

ϕ_l : mm

ϕ_t : mm

c: cm

Altura Útil (d): cm

Fonte: Autoria própria (2019).

Prosseguindo no aplicativo é feita a entrada de dados dos carregamentos das lajes na viga, ressaltando que as cargas entram na aba de ações atuantes como características, ou seja, é retirada a majoração dos dados de carregamentos fornecidos pelo aplicativo de dimensionamento de lajes.

Figura 40 - Ações atuantes definidas para Viga 5

Dados Iniciais | Pré-Dimensionamento | **Ações Atuantes** | Banco de dados | Análise Estrutural | Dimensionamento | Detalhamento na seção transversal

Selecione as vigas para inserir os dados de Ações Atuantes Viga: 01 N° de Tramos : 2 **Recomenda-se o uso da NBR 6120 como material de apoio!**

Cargas Permanentes:

☒ Carga das lajes

Peso Próprio: 1,225 kN/m

☒ Tramo 1 ☒ Tramo 2 ☐ Tramo 3

Revestimento: 0 kN/m

Tramo 1 ☐ Com carga pontual

Tramo 2 ☐ Com carga pontual

Alvenaria: 4,91 kN/m

Carga da laje na viga: 12,31 kN/m

Carga da laje na viga: 11,21 kN/m

Cargas Variáveis:

Carga Acidental: 0 kN/m

Total: 0 kN/m

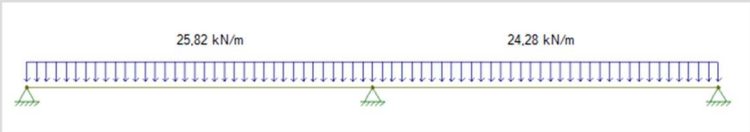
Total: 18,45 kN/m

Total: 17,34 kN/m

Combinação de Ações Máximas:

Solicitação Tramo 1: 25,82 kN/m

Solicitação Tramo 2: 24,28 kN/m



Calcular Calcule as Ações Atuantes de cada viga e confira no Banco de Dados

Fonte: Autoria própria (2019).

A análise estrutural é realizada a partir da entrada de dados dos pilares definidos pela planta de fôrma, considerando que a estrutura consiste no primeiro nível de um pavimento tipo. Esses dados podem ser visualizados na Figura 41. O resultado da análise estrutural é apresentado na Figura 42.

Figura 41 - Entrada de dados dos pilares na análise estrutural

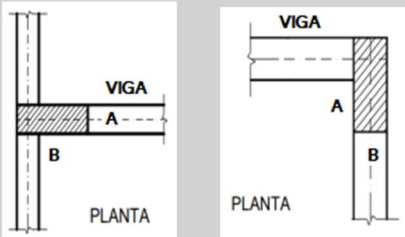
Dados de Pilares

Viga: 01 N° de Pavimentos: 02

	P1	P2	P3
B:	0,14	0,30	0,30
A:	0,30	0,14	0,14
Lsup:	3,00	3,00	3,00
Linf:	3,00	3,00	3,00

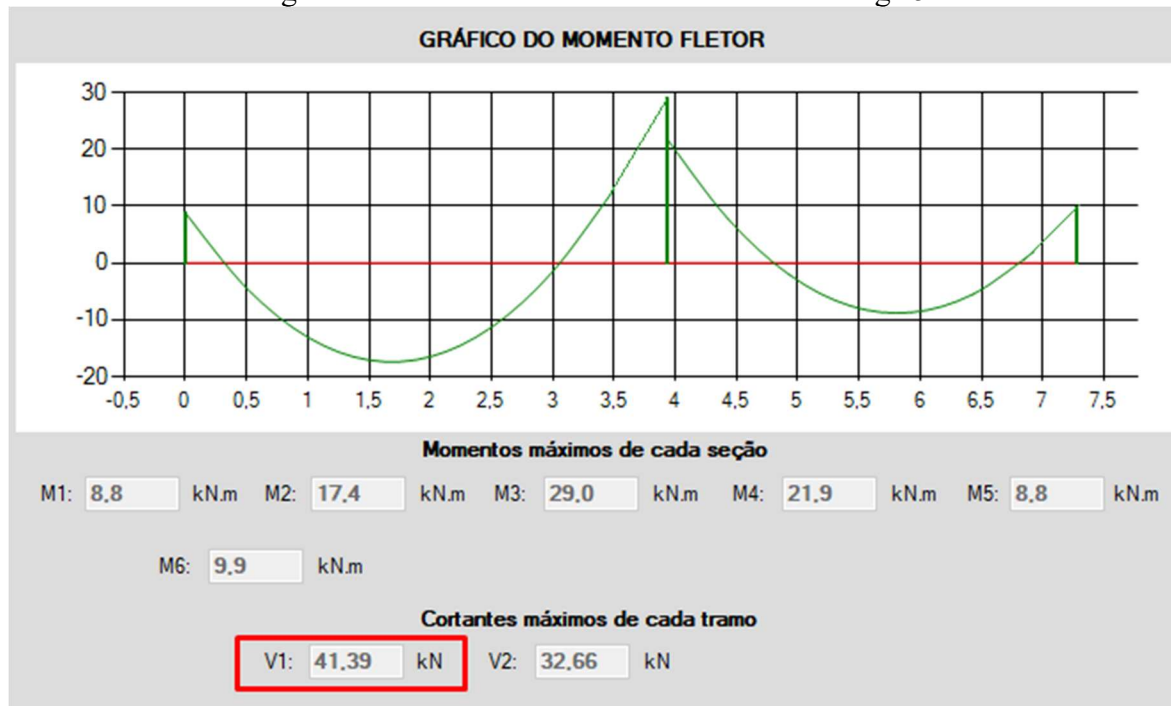
Salvar dados

Representação dos pilares



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 42 - Resultado da análise estrutural da Viga 5



Fonte: Autoria própria (2019).

Como destacado na Figura 42, o esforço cortante utilizado para dimensionamento transversal é o maior entre os dois apresentados. Com os parâmetros de momentos fletores e esforço cortante máximo definidos é possível seguir para o dimensionamento longitudinal, mostrado na Figura 43 e dimensionamento transversal representado pela Figura 44.

Figura 43 - Dimensionamento longitudinal da Viga 5

Dimensionamento Longitudinal

Selecione a bitola adequada para cada seção

S01	As: 0,9453831	ϕ_i : 8,0 mm	Asnom: 0,500 :m ²
	N° de Bitolas : 2	bitolas de 8,0 mm	Asef: 1,00 cm ²
S02	As: 1,9299499	ϕ_i : 8,0 mm	Asnom: 0,500 :m ²
	N° de Bitolas : 4	bitolas de 8,0 mm	Asef: 2,00 cm ²
S03	As: 3,3980153	ϕ_i : 12,5 mm	Asnom: 1,250 :m ²
	N° de Bitolas : 3	bitolas de 12,5 mm	Asef: 3,75 cm ²
S04	As: 0,9445750	ϕ_i : 8,0 mm	Asnom: 0,500 :m ²
	N° de Bitolas : 2	bitolas de 8,0 mm	Asef: 1,00 cm ²
S05	As: 1,0614306	ϕ_i : 8,0 mm	Asnom: 0,500 :m ²
	N° de Bitolas : 3	bitolas de 8,0 mm	Asef: 1,50 cm ²

Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 44 - Dimensionamento transversal da Viga 5

Dimensionamento Transversal

As: 2,024 cm²/m ϕ_t : 5,0 mm Asnom: 0,196 cm²

N° de Bitolas : 6 bitolas de 5,0 mm Asef: 1,176 cm²

Fonte: Autoria própria (2019).

A Figura 43 destaca a seção três como a com maior área de aço calculada, dessa forma define-se essa seção para demonstração do detalhamento da armadura longitudinal na seção transversal. A verificação de espaçamento, assim como a consideração do aplicativo caso o arranjo de bitolas escolhidas não seja adequado para apenas uma camada é mostrada na Figura 45.

Figura 45 - Verificações do espaçamento da Viga 5

Verificação de espaçamento

Espaçamento mínimo horizontal = 2 cm

Espaçamento mínimo vertical = 2 cm

S01: OK! S02: S03: S04: OK!

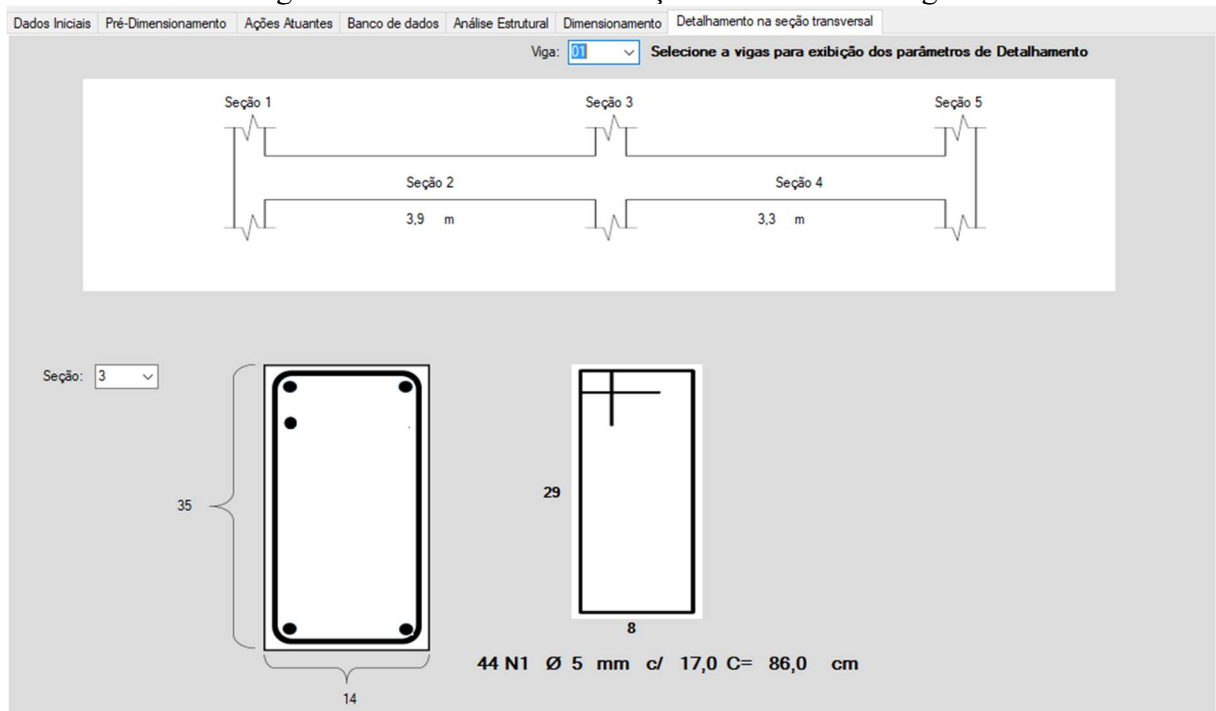
S05: OK!

Quando espaçamento não estiver OK o programa utiliza outro arranjo de bitolas que se adequa.

Fonte: Autoria própria (2019).

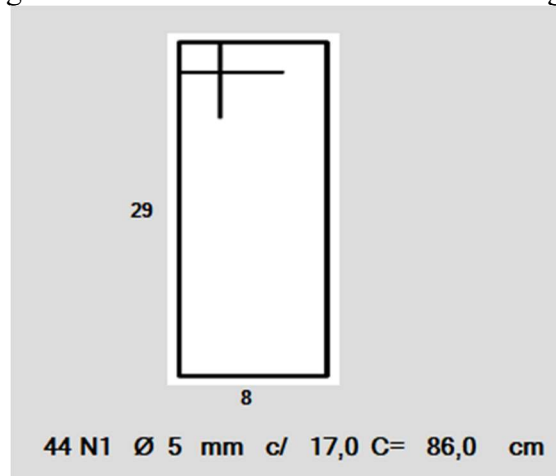
Por fim, com todas considerações feitas e bitolas definidas o detalhamento é gerado, como mostrado na Figura 46, com detalhamento transversal definido na Figura 47 e resumo de resultados apresentados na Tabela 9.

Figura 46 - Detalhamento na seção transversal da Viga 5



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 47 - Detalhamento dos estribos da Viga 5



Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 9 - Tabela resumo do detalhamento da armadura longitudinal da Viga 5

Seção	S1	S2	S3	S4	S5
Área de aço (cm ²)	0,945	1,930	3,398	0,945	1,061
Nº de bitolas	2 Ø 8,0 mm	4 Ø 8,0 mm	3 Ø 12,5 mm	2 Ø 8,0 mm	3 Ø 8,0 mm

Fonte: Autoria própria (2019).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

Neste referido trabalho foram abordados aspectos referentes ao que se diz respeito do dimensionamento de vigas de concreto armado e seu detalhamento na seção transversal, implementados em um *software*. O aplicativo foi programado em linguagem C++, com interface estabelecida por *My Form* gerados pelo programa computacional *Visual Studio*, divididos em abas de fluxo de metodologia de procedimentos com interfaces explicativas, proporcionando ao usuário certa facilidade na interpretação dos resultados obtidos.

O programa segue os preceitos da ABNT NBR 6118:2014 para dimensionamento e detalhamento de vigas, assim como indicações de literatura, garantindo assim resultados válidos para estruturas que neles serão dimensionadas e padronizando seus dados de saída para que qualquer usuário com conhecimento na área possa interpretar os resultados obtidos pelo *software*. Tais dados são dispostos de forma que o usuário possa seguir um roteiro de cálculo, partindo desde o pré-dimensionamento, para a inserção de ações atuantes precedidas pela ABNT NBR 6120:1980, análise estrutural calculada utilizando-se o método da viga melhorada (utilizando método dos deslocamentos), dimensionamento e detalhamento.

O aplicativo apresenta resultados satisfatórios, tendo em vista a comparação realizada com um exemplo da literatura, avaliando os parâmetros obtidos de análise estrutural e dimensionamento, atestando assim a validação da ferramenta. Prosseguindo com as validações foi realizada uma aplicação em *software* comercial, para comparação de resultados de detalhamento, os quais se mostraram condizentes, com algumas diferenças devido ao método de cálculo utilizado pelo *Eberick* ser mais sofisticado e otimizado em relação a economia.

Tendo constatado a aplicabilidade do programa desenvolvido, foi realizado o lançamento de uma estrutura completa de forma integrada, utilizando os *softwares* adjacentes de dimensionamento de lajes, detalhamento da armadura longitudinal ao longo da viga e dimensionamento e detalhamento de pilares, obtendo-se assim os resultados completos da estrutura sugerida, caracterizando os aplicativos como eficazes se tratando de aplicações em estruturas usuais.

Como sugestões para trabalhos futuros podem ser feitas melhorias em relação aos cálculos, acrescentando na programação as verificações de Estado Limite de Serviço, estabelecidas pela ABNT NBR 6118:2014, assim como melhorias na parte de automatização gráfica do detalhamento. Outra sugestão é a criação de um relatório em formato de texto, com os parâmetros obtidos durante o cálculo.

Por fim, é factível afirmar a importância do desenvolvimento de novas ferramentas para análise de estruturas de concreto armado, tendo em vista a vasta aplicação desse tipo de estrutura na construção civil. Outro ponto importante de aplicação é a utilização dessas ferramentas como metodologia de ensino em disciplinas voltadas a área de estruturas, levando em conta o fluxo de organização que possibilita um melhor entendimento no procedimento de cálculo e interpretações de resultados.

REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. São Paulo: ABNT, 1980.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 6892-1**: Materiais metálicos — Ensaio de Tração Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado**. v1, 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2010.
- BARBATO, R.L.A. **Vigas de concreto armado**. Apostila – Centro Universitário Central Paulista, São Carlos, 2007. 13p.
- BASTOS, P.S.S. **Dimensionamento de vigas de concreto armado à força cortante**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2015. Notas de aula. 79p.
- BASTOS, P.S.S. **Fundamentos do concreto armado**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2006. Notas de aula. 92p.
- BASTOS, P.S.S. **Vigas de concreto armado**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2017. Notas de aula. 56p.
- CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado Segundo a NBR 6118-2014**. 4. ed. São Carlos: Edufscar, 2014. 415 p.
- CLÍMACO, João Carlos Teatini de Souza. **Estruturas de concreto armado: Fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação**. Brasília: Unb, 2013. 410 p.
- DURIGAN, Giuseppe; PORTELLA, Renan Wunderlich. **Desenvolvimento de aplicativo para dimensionamento de elementos em concreto armado**. 2017. 218 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.
- FERNANDES, Antônio Vitor Barbosa; CORREIA, Vinicius Costa; OLIVEIRA, Cassius Gomes de. PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA O DIMENSIONAMENTO DE VIGAS RETANGULARES DE CONCRETO ARMADO CONFORME A NBR 6118:2014. **Cadernos de Graduação**: Ciências exatas e tecnológicas, Aracajú, v. 4, n. 1, p.35-52, mar. 2017.

KEMCZINSKI, Pedro Gabriel. **Cálculo e detalhamento de estrutura de concreto armado de um edifício residencial**. 2015. 121 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

KLEIN, Ralf. **Dimensionamento por computador de vigas simplesmente apoiadas de concreto protendido pós-tracionadas**. 2002. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

LIBÂNIO, M. Pinheiro et al. Estruturas de Concreto – Capítulo 1. **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios**. São Carlos: Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Estruturas. 2007. p. 1 - 380.

LINDQUIST, Malt On. **Aplicativo *Windows* para análise e dimensionamento de pórticos planos em concreto armado**. 2002. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2002.

MARTHA, L. F. **Análise de Estruturas**. Rio de Janeiro, Editora Campus/Elsevier, 2010. v. 1, 524 p.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. **Dimensionamento Prático de Acordo com a NBR 8800:2008**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. p. 357.