



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



RAY PAUL COTACALLAPA TURPO

**SOFTWARE DE AUXÍLIO NO ENSINO PARA
DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE
CONCRETO ARMADO**

Uberlândia, 2020

RAY PAUL COTACALLAPA TURPO

**SOFTWARE DE AUXÍLIO NO ENSINO PARA
DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE
CONCRETO ARMADO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Estruturas

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Dos Santos

Uberlândia, (2020)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

T957s Turpo, Ray Paul Cotacallapa, 1989-
2020 Software de auxílio no ensino para dimensionamento de elementos
estruturais de concreto armado [recurso eletrônico] / Ray Paul
Cotacallapa Turpo. - 2020.

Orientador: Antonio Carlos dos Santos.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.3037>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

1. Engenharia civil. I. Santos, Antonio Carlos dos, 1968-, (Orient.).
II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil. III. Título.

CDU: 624



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia Civil				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 257, PPGE				
Data:	14 de agosto de 2020	Hora de início:	09 :05 h	Hora de encerramento:	11:10h
Matrícula do Discente:	11812ECV010				
Nome do Discente:	Ray Paul Cotacallapa Turpo				
Título do Trabalho:	Software de auxílio no ensino para dimensionamento de elementos estruturais de concreto armado				
Área de concentração:	Estruturas e Construção civil				
Linha de pesquisa:	Estruturas				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Recuperação e reforço de elementos estruturais				

Reuniu-se, em sessão pública pela plataforma Conferência Web (MConf) provida pela Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, assim composta pelos Professores Doutores: Arquimedes Diógenes Ciloni – FECIV/UFU, Thiago Henrique Omena – UFT e Antonio Carlos Dos Santos – FECIV/UFU orientador do candidato.

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Antonio Carlos Dos Santos, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Antônio Carlos dos Santos, Professor(a) do Magistério Superior**, em 14/08/2020, às 11:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Arquimedes Diogenes Ciloni, Professor(a) do Magistério Superior**, em 14/08/2020, às 11:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Thiago Henrique Omena, Usuário Externo**, em 21/08/2020, às 12:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2158846** e o código CRC **9114AE75**.

AGRADECIMENTOS

A Deus e minha família, pelo apoio incondicional, compreensão e incentivo.

Ao orientador Antonio Carlos Dos Santos e coorientador Arquimedes Diógenes Ciloni, pela sua paciência, dedicação, amizade e pela indispensável orientação no decorrer deste trabalho.

A meus amigos, bolsistas; Luis e Alex pelo apoio e amizade sincera nesse período de dedicação.

A minha amiga Rafaeli pelo apoio, companheirismo e compreensão.

Aos meus amigos e também aos meus colegas de pós-graduação pelo apoio.

À Universidade Federal de Uberlândia e à Faculdade de Engenharia Civil, pelo apoio necessário da pesquisa.

Aos demais professores da FECIV, pelos valiosos ensinamentos que me foram transmitidos durante o curso de pós-graduação.

À Organização dos Estados Americanos (OEA) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento da pesquisa.

Ao povo de Brasil, corajoso e alegre.

RESUMO

Neste trabalho, apresenta-se o desenvolvimento de software de auxílio para o dimensionamento de elementos de concreto armado conforme a NBR 6118:2014, utilizando a linguagem de programação C# e Xamarin, a fim de melhorar o processo ensino-aprendizagem. Considerando que o ensino de concreto armado é importante na formação do engenheiro Civil. Além disso, os computadores e celulares são recursos para promover a transferência de informação e facilitar o processo de construção do conhecimento. O software foi desenvolvido tanto para uso no computador e celular, para tópicos de dimensionamento em concreto armado de vigas de flexão normal simples, dimensionamento ao cisalhamento e dimensionamento de pilares. As características do software são: apresentar um resumo dos resultados e um roteiro de cálculo detalhado.

Palavras-chave: Software educativo. Concreto armado. App.

ABSTRACT

In this work, the development of assistive software for the design of reinforced concrete elements according to NBR 6118: 2014 is presented, using the programming language C # and Xamarin, in order to improve the teaching-learning process. Considering that the teaching of reinforced concrete is important in the training of the Civil engineer. In addition, computers and cell phones are resources to promote the transfer of information and facilitate the process of building knowledge. The software was developed for both computer and mobile use, for reinforced concrete design topics for simple normal bending beams, shear design and column design. The software features are: to present a summary of the results and a detailed calculation guide.

Keywords: Educational software. Reinforced concrete. App.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Interação aluno-computador mediado por um software tipo tutorial.....	22
Figura 2.2 – Interação na situação de programação.	23
Figura 2.3 - As 55 ferramentas catalogadas.	26
Figura 2.4 - Jogo computacional sobre forças internas.	27
Figura 2.5 - Viga de concreto protendido com tensões e deformações.	28
Figura 2.6: Exemplo de simulação no <i>software EasyStatics</i>	28
Figura 2.7 - Janela de dimensionamento ao momento fletor.....	29
Figura 2.8: Apresentação do aplicativo para cálculo de vigas de seção retangular.....	30
Figura 2.9: Tela principal onde os dados são inseridos para dimensionamento de pilares.	30
Figura 2.10: Dados de entrada da viga no Excel.	31
Figura 2.11: Interface do aplicativo.....	32
Figura 2.12: Tela principal para dimensionamento de FNS.....	33
Figura 2.13 - Programa desenvolvido em Visual Studio C# 2017.	33
Figura 2.14 - Tela de entrada de dados do programa.	34
Figura 2.15: O ambiente de software e a aquisição do momento de curvatura são mostrados.....	35
Figura 2.16: Janela ao se inicializar o programa.	36
Figura 2.17: Tela com lista de elementos que podem ser analisados e dimensionados.	37
Figura 2.18: Telas do CApps.....	37
Figura 2.19: Tela principal do aplicativo de subdivisões propostas para dimensionamento de viga, pilar, laje e fundação.....	38
Figura 3.1: Fluxograma para dimensionamento de viga retangular.	40
Figura 3.2: Tela principal do programa SEDim – FU.	41
Figura 3.3: Tela para dimensionamento da viga retangular.	41
Figura 3.4: Resultados de números de barras, camadas, área de aço efetivo e possibilidade de recalcular a viga retangular.....	43
Figura 3.5: Dados da viga retangular.	43
Figura 3.6: Informações sobre o programa.....	44
Figura 3.7: Alternativas de barras longitudinais da viga retangular.....	45
Figura 3.8: Abas do software SEDim-FU para celular.....	46
Figura 3.9: Tela principal do programa SEDim – FS.....	46
Figura 3.10: Fluxograma para dimensionamento de viga retangular.	47
Figura 3.11: Tela para dimensionamento da viga retangular.	48

Figura 3.12: Dados do relatório.....	49
Figura 3.13: Abas do software SEDim-FS para celular	50
Figura 3.14: Fluxograma para dimensionamento ao cisalhamento.	51
Figura 3.15: Tela principal do programa SEDim – C.	52
Figura 3.16: Tela para dimensionamento da viga retangular.	52
Figura 3.17: Relatório.....	54
Figura 3.18: Detalhamento da armadura transversal.	55
Figura 3.19: Abas do software SEDim-C para celular	56
Figura 3.20: Tela principal do programa SEDim – P.	56
Figura 3.21: Fluxograma para dimensionamento de pilares.....	57
Figura 3.22: Tela para dimensionamento de pilares.....	58
Figura 3.23: Verificação dos resultados.	59
Figura 3.24: Diagramas de interação.....	60
Figura 3.25: Envoltoria do momento resistente.....	61
Figura 3.26: Abas do software SEDim-P para celular	62
Figura A.1: Fluxograma para dimensionamento de viga retangular no estado limite último. .	69
Figura B.1 - Resultados de números de barras, camadas, área de aço efetivo e possibilidade de recalcular a viga retangular.....	73
Figura B.2: Resultados de números de barras, camadas, área de aço efetivo e possibilidade de recalcular a viga retangular.....	79
Figura B.3: Tela para dimensionamento da viga retangular.....	85
Figura B.4: Tela para dimensionamento da viga retangular.....	93
Figura B.5: Tela para dimensionamento de pilares.	100

LISTA DE TABELAS

Tabela B.1 – Exemplo dimensionamento de viga de flexão normal simples.....	73
Tabela B.2– Comparação dos resultados da apostila de Bastos com o programa SEDim-FU.	73
Tabela B.3 – Exemplo dimensionamento de viga T de flexão normal simples.	79
Tabela B.4 – Comparação dos resultados da apostila de Bastos com o programa SEDim-FU.	79
Tabela B.5 – Comparação dos resultados da apostila de Campos com o programa SEDim-FS.	85
Tabela B.6 – Comparação dos resultados da apostila de Bastos com o programa SEDim-C..	93
Tabela B.7 – Exemplo dimensionamento de pilar.....	100
Tabela B.6 – Comparação dos resultados da apostila de Bastos com o programa SEDim-P.	100

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS.....	12
	1.1.1 <i>Objetivo Geral</i>	12
	1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	12
1.2	JUSTIFICATIVA.....	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1	TECNOLOGIA	12
	2.1.1 <i>Tecnologia educativa</i>	13
2.2	TEORIAS DE APRENDIZAGEM	14
	2.2.1 <i>Behaviorista ou Comportamentalista</i>	15
	2.2.2 <i>Cognitivista</i>	15
	2.2.3 <i>Humanista</i>	16
2.3	TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E DA COMUNICAÇÃO (TIC).....	16
2.4	MODALIDADES DE APRENDIZAGEM BASEADAS EM TIC	18
	2.4.1 <i>Modalidade e-learning</i>	18
	2.4.2 <i>Modalidade b-learning</i>	19
	2.4.3 <i>Modalidade m-learning</i>	20
2.5	USO DE SOFTWARE E APLICATIVO.....	21
	2.5.1 <i>Tutoriais</i>	21
	2.5.2 <i>Programação</i>	22
	2.5.3 <i>Interfaces Web</i>	23
	2.5.4 <i>Simulação e modelagem</i>	23
	2.5.5 <i>Aplicativos moveis voltados para educação</i>	24
	2.5.6 <i>Material educacional multimídia</i>	24
2.6	EXPERIÊNCIA DE NOVAS TECNOLOGIAS PARA ENSINO	25
	2.6.1 <i>Experiências de uso de tecnologia para o ensino na área de estruturas</i>	25
	2.6.2 <i>Programas desenvolvidos para dimensionamento de elementos de concreto armado para uso em computadores</i>	26
	2.6.3 <i>Programas desenvolvidos para dimensionamento de elementos de concreto armado para uso em celulares</i>	36

3	DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE DE ENSINO	38
3.1	VIGAS RETANGULARES E VIGAS T NO ESTADO LIMITE ÚLTIMO (SEDIM-FU).....	39
3.1.1	<i>Viga Retangular (SEDim – FNS - ELU) para Computador.....</i>	<i>41</i>
3.1.2	<i>Viga Retangular (SEDim – FU) para Celular</i>	<i>46</i>
3.2	VIGAS RETANGULARES NO ESTADO LIMITE DE SERVIÇO (SEDIM-FS). 46	
3.2.1	<i>Viga Retangular (SEDim – FS) para Computador</i>	<i>47</i>
3.2.2	<i>Viga Retangular (SEDim – FS) para Celular</i>	<i>50</i>
3.3	DIMENSIONAMENTO AO CISALHAMENTO (SEDIM-C).....	50
3.3.1	<i>Retangular (SEDim - C) para Computador</i>	<i>52</i>
3.3.2	<i>Viga Retangular (SEDim - C) para Celular.....</i>	<i>55</i>
3.4	DIMENSIONAMENTO DE PILARES (SEDIM-P).....	56
3.4.1	<i>SEDim – P para Computador</i>	<i>58</i>
3.4.2	<i>SEDim – P para Celular</i>	<i>61</i>
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	62
4.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
4.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	62
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
	APENDICE A – FLUXOGRAMAS.....	69
	APENDICE B – EXEMPLOS DE COMPARAÇÃO E RELATORIOS	73
B.1.	EXEMPLO COM SEDIM-FU (VIGA RETANGULAR).....	73
B.2.	EXEMPLO COM SEDIM-FU (VIGA T).....	79
B.3.	EXEMPLO COM SEDIM-FS	85
B.4.	EXEMPLO COM SEDIM-C	93
B.5.	EXEMPLO COM SEDIM-P.....	100

1 INTRODUÇÃO

O processo ensino-aprendizagem auxiliado pelo computador tornou-se importante nos últimos anos, pois permite avançar no mesmo ritmo que os requisitos de tecnologia e trabalho. De acordo com a área de estudo e progresso tecnológico, as metodologias são modificadas e adaptadas, desenvolvendo novos métodos e técnicas como demonstração, modelo de jogo, modelo narrativo, realidade virtual, animação, *e-books*, educação a distância. As vantagens de uma educação assistida pelo computador são: economia de papel, uma ferramenta de computador fácil de copiar, distribuir e a possibilidade de compartilhar novas ideias e métodos (CINGI, 2013).

Nos últimos anos o uso massivo de tecnologia bem como o uso de softwares e aplicativos móveis, tornaram-se uma parte essencial na vida de professores e estudantes, isto porque estas tecnologias educacionais possibilitaram a automatização dos processos de dimensionamento na área de Engenharia Civil. Em virtude do domínio de dimensionamento de concreto armado ser um assunto essencial para formação do engenheiro civil, foram desenvolvidos vários softwares educacionais que auxiliam no processo ensino-aprendizagem de concreto armado, entretanto, o que se observa é que muitos destes softwares não apresentam o relatório de cálculo detalhado (com passo a passo) advindo destes dimensionamentos hipotéticos, fato este de extrema importância para o estudante que busca aperfeiçoar o conhecimento adquirido em sala de aula.

Para melhorar o processo de ensino-aprendizagem de forma consistente com o uso de tecnologias atuais, neste trabalho desenvolveu-se uma ferramenta didática (*software*) para o dimensionamento de concreto armado, tanto para computadores e celulares, que gere resultados de um determinado dimensionamento e mostre um relatório passo a passo do procedimento de cálculo. Nos primeiros capítulos, são apresentadas informações sobre os conceitos de tecnologias e teorias de aprendizagem, seguidos da experiência do uso de software educacional desenvolvidos, para descrever finalmente o desenvolvimento da ferramenta educacional baseada na linguagem de Programação C # e Xamarin.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 *Objetivo Geral*

O objetivo deste trabalho é desenvolver um software educativo multiplataforma que auxilie no processo ensino-aprendizagem na disciplina de concreto armado na Engenharia Civil de modo que seja possível o usuário obter resultados e sua rotina de cálculo com relatório atendendo a normativa NBT NBR 6118:2014.

1.1.2 *Objetivos específicos*

- A. Apresentar as teorias e modalidades de aprendizagem principais e o uso de softwares e aplicativos moveis no contexto educacional.
- B. Identificar os softwares e aplicativos moveis educativos desenvolvidos para dimensionamento de concreto armado
- C. Desenvolver softwares educativos multiplataforma para o dimensionamento de elementos de concreto armado e elaboração de um relatório de cálculo passo a passo, de forma didática, nos seguintes tópicos: Vigas Flexão Normal Simples Estado Limite Último (SEDim-FU), Vigas Flexão Normal Simples Estado Limite de Serviço (SEDim-FS), Cisalhamento (SEDim-C) e Pilares (SEDim-P).

1.2 JUSTIFICATIVA

Para melhorar o processo de ensino aprendizagem na disciplina de concreto armado, especificamente no dimensionamento de vigas e pilares, existem softwares para computadores e aplicativos moveis como “PCalc”, “6118Tool”, “FNS” que dimensionam elementos estruturais apresentando os resultados, mas não mostram um relatório de cálculo detalhado, sendo o processo de *feedback* do aluno menos eficiente, por que não tem retorno do processo de cálculo. Por esse motivo neste trabalho foram desenvolvidos os softwares e aplicativos moveis para dimensionamento, com uma rotina de cálculo detalhada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TECNOLOGIA

A origem da tecnologia é tão antiga quanto a vida do homem na terra, afeta a vida em muitos aspectos, mas o conceito de tecnologia é mais recente. O conceito de tecnologia começou a ser

estabelecido em 1977, na Universidade de Göttingen, na Alemanha, na qual é descrita uma curiosa união entre sabedoria rica e conhecimento técnico (ORTEGA; VICENTE; PÉREZ, 1989). A definição de “tecnologia” de acordo com o dicionário é uma teoria ou análise organizada das técnicas, procedimentos, métodos, regras, âmbitos ou campos da ação humana. Oliver (2016) define que a tecnologia pode ser entendida em termos de artefatos, conhecimentos, atividades ou valores ou como um conjunto de conhecimentos, que permite a criação de artefatos ou processos.

A história mostra que a tecnologia é mais antiga do que a ciência, uma das tecnologias mais primitivas conhecidas é a fabricação de ferramentas de pedra a milhões de anos atrás. É possível estabelecer uma classificação de tecnologias como: tecnologias artesanais, tradicionais, baseadas na ciência, evolutivas e não evolutivas. (CEGARRA, 2004).

2.1.1 *Tecnologia educativa*

As raízes da tecnologia educacional estão na formação militar norte-americana da década de 1940, mas na década de 1980 foi reivindicada graças à popularidade dos equipamentos de informática. A tecnologia educacional utiliza meios de ensino e aprendizagem que podem ser tradicionais como os livros, ferramentas oferecidas pelas TIC (Tecnologias de Informação e Comunicação) (MOREIRA, 2008).

De acordo com sua etimologia, a tecnologia vem do *techne* que significa arte e *logos* estudo; educação que vem de *educere*, o que significa guia ou extrato. O conceito de tecnologia na educação é a formação em ciência, tecnologia, pesquisa e ética. A origem da tecnologia na educação é difícil de encontrar (MOREIRA, 2008).

A tecnologia educacional é definida como auxílio ao processo de ensino-aprendizagem, com base em meios e programas físicos para uma melhor assimilação da aprendizagem (PAZ, 2017), relacionada diretamente à solução de problemas educacionais ou que guardam relação entre eles, para que a tecnologia atue no campo educacional, ela deve fazê-lo primeiro no processo de aprendizagem, ligando teorias, metodologias, instrumentos (ferramentas tecnológicas), meios, estratégias, procedimentos e programas ao conteúdo da aprendizagem (LÓPEZ, 2016).

O uso de ferramentas tecnológicas em sala de aula, utilizando softwares, permite aos alunos um grande impacto de compreensão e geração de percepções concretas no processo lógico de pensar (UGLIALORO, MUSCIA, 2012). A verdadeira função das ferramentas tecnológicas não

deveria ser ensinar, mas deveria ser uma articulação em que o professor é um organizador. Atualmente a execução de ferramentas e tecnologias em um computador não requer conhecimento de programação por parte dos alunos, os resultados oferecidos pelos dispositivos tecnológicos são acompanhados por recursos de animação e simulação de imagens (GIORDAN, GOIS, 2009).

Além do uso dos computadores, nos últimos anos o surgimento e evolução dos telefones inteligentes trouxe um uso quase indispensável na maioria da população, e com ela novas formas e modalidades de ensino-aprendizagem. Na última década, o número de linhas móveis aumentou, de acordo com a *International Telecommunications Unit* (ITU) em 2015 havia mais de 7000 milhões de usuários no mundo (BRIZ-PONCE et al., 2017).

Com o avanço da tecnologia, novas formas de ensinar, aprender e obter informações também surgem, mas também traz alguns problemas, porque geralmente primeiro se faz o uso da tecnologia e depois preocupa-se com as teorias e modalidades de aprendizagem.

2.2 TEORIAS DE APRENDIZAGEM

De modo geral as teorias de aprendizagem se preocupam com relação entre o aluno e professor, o conteúdo a ser aprendido e como se dá o processo de ensino-aprendizagem (GOMES, 2017) para que a educação seja prazerosa e traga assimilação e progresso o professor deve estar preparado como um mediador (LOPES, 2013).

Existem diversas teorias que visam explicar o processo de aprendizagem pelos indivíduos, algumas teorias são: teoria behaviorista de Skinner, teoria das hierarquias de aprendizagem de Gagné, teoria de ensino de Bruner, teoria do desenvolvimento cognitivo de Piaget, teoria sócio-histórica de Vygotsky, pedagogia libertadora de Paulo Freire, teoria dos construtos pessoais de Kelly, teoria de aprendizagem significativa de Ausubel, teoria de educação de Novak, teoria de ensino de Gowin, teoria dos modelos mentais de Jhonson-Laird. Não existe uma teoria específica para todos os objetivos, mas sim, uma teoria adequada a cada tipo de objetivo (MARQUES, 2013).

As principais filosofias subjacentes das teorias de aprendizagem, são a behaviorista ou comportamentalista, a cognitivista e a humanista. (MARQUES, 2013).

2.2.1 Behaviorista ou Comportamentalista

A visão do mundo behaviorista ou também chamada comportamentalista está nos comportamentos observáveis e mensuráveis do sujeito e nas respostas aos estímulos externos. (MARQUES, 2013).

As várias teorias comportamentalistas abarcam desde o simples condicionamento clássico de Pavlov até o elaborado condicionamento operante de Skinner que são dos mais proeminentes psicólogos comportamentalistas. O comportamentalista Watson criou a teoria do reflexo condicionado, e entende que todas as formas de comportamento podem ser aprendidas, outro psicólogo Thorndike formulou as leis da aprendizagem que contribuíram para as bases da tecnologia educativa. Skinner e Thorndike acreditavam que a recompensa era o fator mais importante no processo de aprendizagem. A abordagem da instrução programada no uso do computador tem como base o pensamento de Skinner (DA SILVA, 2004).

Nos últimos anos o software tem como objetivo levar ao aluno a fazer escolhas e descobrir um conceito. No caso de errar, o software permite a revisão do material que não foi compreendido, conhecido como EAC (Ensino Assistido por Computador) (DA SILVA, 2004).

2.2.2 Cognitivista

A filosofia cognitivista, *“ênfatisa aquilo que é ignorado pela visão behaviorista, o ato de conhecer, como o ser humano conhece o mundo”*. Para os cognitivistas, o foco deveria estar nos processos mentais superiores (percepção, resolução de problemas, tomadas de decisões, processamento de informação, compreensão). (MARQUES, 2013, p. 3).

A revisão bibliográfica permitiu verificar a existência de um vasto número de teorias que se enquadram na corrente cognitivista (construtivismo, pós modernismo, entre outros). O desenvolvimento cognitivo remete para um processo mental pelo qual o conhecimento é adquirido, armazenado e recuperado para resolver problemas (DA SILVA, 2004).

Os psicólogos cognitivistas, Piaget em particular, encaram a aprendizagem como um processo dinâmico no qual os alunos constroem o seu próprio conhecimento ao interagir com o mundo. Assim como o Bruner lembra que os professores devem ajudar a promover condições que permitam ao aluno perceber a estrutura de um determinado conhecimento dessa maneira a aprendizagem é, mas duradoura e o processo de esquecimento é muito mais lento. Os princípios

fundamentais de Bruner são: motivação, estrutura, sequência e reforço analisado (DA SILVA, 2004).

A teorias construtivista constituem o paradigma de referência para desenvolver os ambientes de ajuda das TIC e favorecer a sua integração na sala de aula. Na perspectiva de Vygotsky, o professor é parte ativa que permite a construção do conhecimento e o aluno aprende aquilo que a sociedade produz, com os valores, a linguagem e o próprio conhecimento. (DA SILVA, 2004).

2.2.3 *Humanista*

A filosofia humanista vê o ser que aprende primordialmente como pessoa, o importante é a autorrealização da pessoa, seu crescimento pessoal. Não tem sentido falar do comportamento ou cognição sem considerar o domínio afetivo, as pessoas pensam, sentem e fazem coisas integradamente (MARQUES, 2013).

A teoria humanista foi uma das precursoras das discussões que hoje se entendem essa necessidade de perceber a pessoa como um todo, com a integração dos conhecimentos e a congruência para superação do dualismo, do saber prático e o saber teórico. Segundo a teoria desenvolvida por Carl Roger, a aprendizagem só faz realmente sentido quando se constrói de forma a fazer sentido para o aluno, só assim o aprender se torna consciente e congruente (MATIAS, 2019).

De todas as teorias apresentadas seria interessante desenvolver atividades de ensino e estratégias a partir delas, com objetivos próprios, de acordo a realidade de cada lugar, para melhorar o processo de ensino-aprendizagem com ajuda das TIC.

2.3 TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E DA COMUNICAÇÃO (TIC)

As TIC (Tecnologias de Informação e Comunicação) são definidas como um conjunto de processos e produtos derivados de novas ferramentas (hardware e software) que podem promover o aprendizado e o desenvolvimento das pessoas (PUELLO, 2015).

Falar hoje de informação e comunicação está ligado ao uso massivo das TIC em todas as dimensões do nosso cotidiano (CABERO *et. al.*, 2016). As TICs são um conjunto de tecnologias que permitem o acesso, produção, processamento e comunicação de informações apresentadas de diferentes maneiras (CÓZAR-GUTIÉRREZ, 2016). Desta forma, as TICs podem ser

consideradas como tecnologias que permitem a transmissão de informações a qualquer hora e lugar através de elementos eletrônicos.

Embora as definições sejam muitas neste trabalho, entende-se as TIC como ferramentas tecnológicas digitais que facilitam a comunicação e informação, além disso são caracterizadas pela diversidade de funções que podem desempenhar, desde o armazenamento de informações até a interação com o usuário (GRANDE; CANYON; CANTÃO, 2016).

Desde meados do século passado, contribuições científicas começaram a enriquecer as TIC como computadores pessoais em 1975 e a Internet e a Web em meados dos anos 90. Esses grandes marcos são os iniciadores da revolução das TIC. Nos fundamentos da revolução digital, distinguem-se três áreas principais: eletrônica, que são componentes eletrônicos, digitalização, que é a representação da informação e telecomunicações que servem para interconectar as duas anteriores (HERNÁNDEZ, 2018).

Algumas das características fundamentais das TIC são: imaterialidade da informação, interconexão, interatividade entre o sujeito e a máquina, instantaneidade, qualidade de imagem, som e penetração nos diversos setores da sociedade (CABERO et, al., 2016). Uma característica em que há consenso entre os autores sobre as TIC é a eliminação das barreiras espaço-temporais. Sendo uma característica importante no desenvolvimento de software educativo.

As TIC estão causando mudanças profundas na sociedade. Os impactos da revolução tecnológica são sentidos por indivíduos, empresas e instituições educacionais. O uso da informática na educação tem suas raízes no ensino através de máquinas e a ideia foi usada pelo Dr. Sidney Pressey em 1924, que inventou uma máquina para corrigir múltiplos testes alternativos. Em 1950, B.F. Skinner propôs uma máquina para ensinar sob o conceito de instrução programada, que é uma forma autodidata de ensino, do mais simples ao mais complexo. Com a chegada do computador nos anos 60, o material foi desenvolvido com mais flexibilidade (BELHOT, 1997).

As TIC, quando aplicadas em contexto educativo, podem servir para estabelecer inovações pedagógicas e fornece novas maneiras de interagir com a informação e a realidade; o uso de ferramentas é fundamentalmente percebido como facilitador e transmissor de informações e recursos educacionais para os alunos, podendo obter aprendizagem audiovisual, multimídia e hipertextual (CABERO, 2015).

As novas tecnologias aumentam a produtividade e a qualidade da transmissão de conhecimento, por exemplo, a multimídia, hipertexto e Inteligência artificial. O uso de hipertexto é uma solução tecnológica para organizar o acesso à informação, já a multimídia significa "vários meios" que podem ser uma combinação de texto, gráficos, som, animação, imagens e vídeo transmitidos pelo computador. (BELHOT, 1997).

As estratégias de ensino desempenham um papel importante, a experiência sugere que se pode ter uma maior compreensão dos fenômenos físicos por meio de simulações que oferecem representações visuais, dinâmicas e idealizadas. Alguns estudos também observaram que as simulações permitem o desenvolvimento de questões e justificativas nos alunos, embora dependa muito do bom ensino do professor em sala de aula e do uso correto dessa ferramenta tecnológica (SARABANDO, 2014).

A integração das TIC no ensino universitário promove o desenvolvimento de ambientes eficazes de aprendizagem; as TIC podem ser amplamente classificadas em ferramentas como: Ferramentas de informação como multimídia, ferramentas de comunicação como plataformas educativas, ferramentas de ensino-aprendizagem como videogames e ferramentas de criação como realidade aumentada (HERNÁNDEZ, 2018). Todas essas ferramentas fortaleceram o ensino presencial e trouxeram novas modalidades de aprendizagem no contexto educativo, como o ensino semipresencial e ensino a distância com ajuda da internet, favorecendo significativamente a produção do conhecimento.

2.4 MODALIDADES DE APRENDIZAGEM BASEADAS EM TIC

Existem diferentes modalidades de aprendizagem, como as presenciais, semipresenciais e distância. Cada uma dessas modalidades podem ser utilizadas em conjunto com as TIC para melhorar o processo de ensino-aprendizagem.

2.4.1 Modalidade *e-learning*

É a aprendizagem à distância através do uso de tecnologias. Este termo apareceu em 1997 e surgiu de uma evolução da educação a distância. Pose-se definir o *e-learning* como o processo de aprendizagem que requer equipamentos de informática e conexão com a rede informática mundial chamada *World Wide Web*. O *e-learning* leva uma nova forma de ensino, onde a aprendizagem ocorre no momento e lugar mais motivador para os alunos, adaptando-se ao seu ritmo e estilo. (MORENO, 2015).

Com o uso em massa da Internet, na maior parte do mundo é possível acessá-la e obter informações de qualquer dispositivo, por isso, em vários países o ensino está sendo implementado com a ajuda da internet, como por exemplo no país da Turquia, do ponto de vista da lei da educação, o ensino superior deve ser acessível com base no mérito, atualmente a modalidade de educação presencial não é suficiente, a educação a distância foi implementada desde 1960 e a educação superior foi fundada em 1983, com sistemas como o rádio e a *TELE School*. Embora a educação a distância possa ser praticada por meio de correspondência, vídeo, CD-ROM, fax, teleconferência, *e-learning*, ela é usada principalmente nos dias de hoje (CAKMAK, 2014).

2.4.2 Modalidade *b-learning*

B-learning ou *blended learning* refere-se à aprendizagem mista ou aprendizagem presencial com aprendizagem on-line com uma base metodológica. Como síntese, o *b-learning* pode ser caracterizado como: combinação entre presença e virtualidade, metodologia em que o professor é um guia e onde a aprendizagem é onipresente. (MORENO, 2015)

A aula invertida é uma modalidade de aprendizagem em que o conteúdo é estudado pelos alunos antes de ir para as salas de aula. A inversão ocorre quando o aluno estuda todo o material que foi entregue antes da aula, agilizando o aprendizado do conteúdo. A ideia de uma sala invertida foi proposta por Lage, Platt e Treglia (2000), concebida como "*blended learning*". As regras básicas são: atividades de sala de aula para questionamento, resolução de exemplos e aplicação do material estudado online; os alunos recebem feedback imediatamente; avaliações sobre o material on-line são feitas; material de sala de aula e online são bem estruturados e planejados (VALENTE, 2014).

Na Universidade de Harvard e no MIT (*Instituto de Tecnologia de Massachusetts*), por exemplo, foi introduzido o método Instrução de Pares (PI), no qual o aluno estuda o conteúdo antes da aula presencial. Na sequência, o aluno responde a perguntas por meio do *Learning Management System* (LMS). Esta metodologia de ensino permite que os alunos tenham uma melhor compreensão conceitual em comparação com a classe presencial tradicional (VALENTE, 2014).

2.4.3 Modalidade *m-learning*

Quando se fala de *m-learning*, é feita referência ao *e-learning* e *b-learning*. O termo *m-learning* é jovem aparecendo pela primeira vez no final dos anos 90. Muitos autores determinam que o *m-learning* é realmente *e-learning* com o uso de dispositivos móveis, enquanto outros o consideram como um subgrupo de *e-learning*.

M-learning pode ser definido como *e-learning* usando dispositivos móveis, o que ajuda a aprendizagem do aluno. A fim de avaliar este processo de aprendizagem em alunos com *M-learning* tools, foi feita uma metodologia composta por duas fases: a primeira, que está na discussão formal (conceito *m-learning*, objeto de estudo e procedimento de estudo) e na segunda fase de pesquisa (gênero e corpo docente, conhecimento de *m-learning* e percepção de *m-learning*) (SARRAB, 2015).

Embora o *m-learning* seja bastante recente, nos EUA está sendo aplicado com sucesso para o ensino-aprendizagem em estudos universitários. Também na Espanha há um projeto de 2005 para o início da implementação do *m-learning* na educação. Uma das chaves para a integração das TIC é a combinação das diferentes modalidades, dependendo do contexto educacional (MORENO, 2015).

Atualmente celulares e *tablets* são os mais utilizados, seu acesso à Internet ultrapassa os computadores. Esses dispositivos ajudaram estudantes e profissionais em educação. Instituições de ensino superior tomaram iniciativas para oferecer serviços por causa de sua flexibilidade para aprender em qualquer hora e lugar. Os dispositivos móveis também podem ser usados para desenvolver um aplicativo de ensino não complexo, porque a plataforma e a linguagem de programação são limitadas. As linguagens de programação, como Fator, são concisas e de menor sintaxe, em que o tempo e o esforço são reduzidos em comparação com outros, como Java, outra plataforma como App.cat e Sencha Touch tem recursos de entrada de texto, arrastar e soltar, textos, imagens, animações, áudios, vídeos e campos interativos, *m-learning* para os alunos permite ler conteúdo e fazer avaliações. Portanto, os aplicativos devem funcionar na maioria dos sistemas operacionais (CHARY, 2014).

É importante quantificar os resultados do ensino usando as TIC, para ver o uso favorável de tecnologias, que em alguns casos podem ser prejudiciais. Realizar estudos com grupos de trabalho em cada modalidade e dispositivo usado, nos dará uma ideia melhor de usá-los. O *m-learning* pode ser usado na educação de diferentes maneiras, tanto sem ou com uso da internet.

O *m-learning* pode ser apresentado de 3 maneiras diferentes, envolvendo diferentes estratégias de aprendizagem: Recuperação de informação, coleta e análise de informação e comunicação, interação e colaboração em rede. O *m-learning* foi definido como qualquer tipo de aprendizagem em que o aluno não está em um local fixo. Atualmente, o aprendizado móvel é visto como um meio de manter as pessoas em contato e com as fontes de informação, bem como a capacidade de qualquer pessoa de usar a tecnologia de rede móvel para acessar informações ou armazená-las, independentemente de sua localização física. Os principais benefícios do *m-learning* são: portabilidade, conectividade, acesso flexível, proximidade da comunicação, participação e experiências de aprendizagem ativa (COBO, 2009).

2.5 USO DE SOFTWARE E APLICATIVO

De acordo com Alencar (2015) o software educativo é todo software que tem por objetivo principal o ensino-aprendizagem, ou seja, é aquele que possui fins pedagógicos. Os softwares que não possuem inicialmente o objetivo de educar, mas que são explorados em situações de aprendizagem, chamamos de softwares educacionais.

As características da interface de um software variam de acordo com a abordagem pedagógica. Um software educacional que possui feedback de certo ou errado, possui uma orientação behaviorista. Porém, um software com fundamentação pedagógica construtivista trabalha para que o sujeito construa seu conhecimento (ALENCAR, 2015).

As práticas em educação profissional podem incluir diferentes softwares educativos, a fim de mobilizar técnicas de aprendizagem a partir de simuladores ou jogos, todas as possibilidades dependerão do tipo de software a ser selecionado. Os softwares podem ser classificados em diversos tipos: tutoriais, simulação, modelagem, linguagem de programação, jogos e interface web (ALENCAR, 2015). As vezes os bons softwares têm vários tipos ao mesmo tempo para otimizar a aprendizagem do aluno.

2.5.1 Tutoriais

Os tutoriais caracterizam-se por transmitir informações pedagogicamente organizadas. A informação é definida e organizada previamente para depois apresentar ao aluno, assim o computador assume o papel de uma máquina de ensinar, onde o aluno escolhe a informação que deseja aprender (VIEIRA, 2015).

Os tutoriais são informações definidas e organizadas que estão disponíveis ao aprendiz. A Figura 2.1 mostra a interação entre ele e o computador consiste na leitura da informação fornecida. Ele pode até estar processando a informação fornecida, para verificar se a informação foi processada é necessário apresentar ao aprendiz situações problema, onde ele é obrigado a usar as informações fornecidas. A limitação do tutorial está na capacidade de verificar se a informação foi processada, por tanto se houve o não construção de conhecimento, ainda tem que ser feita pelo professor. Cabe ao professor interagir com o aluno para criar condições para que o aluno possa utilizar a informação corretamente pra resolução de problemas (VALENTE, 1999).

Figura 2.1 – Interação aluno-computador mediado por um software tipo tutorial.



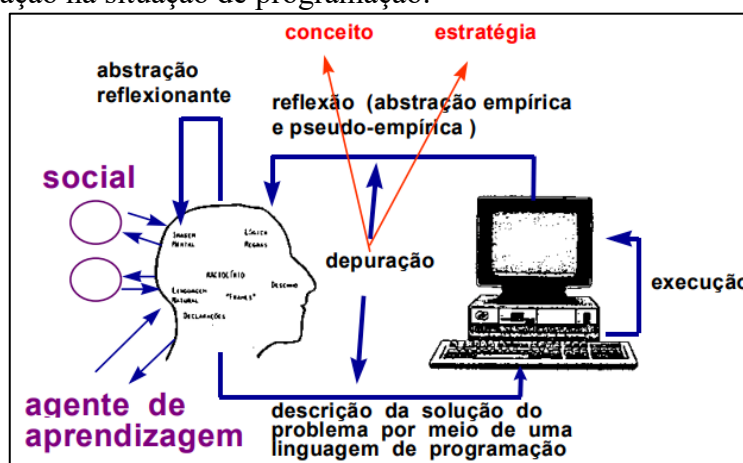
Fonte: Valente (1999).

2.5.2 Programação

As linguagens de programação permitem que os alunos e professores criem seus próprios programas. Ao programar exige ao programador processe a informação e transforme em conhecimento, onde representa a ideia de programação, conceitos e estratégias envolvidas. A programação permite a realização do ciclo descrição-execução-reflexão-depuração-descrição. O processo ajuda o programador a encontrar seus erros e ao professor a compreender o processo das estratégias do programador (ALENCAR, 2015 e VALENTE, 1999).

Quando o aluno programa uma ferramenta, pode ser para resolver problemas. O programa desenvolvido utiliza conceitos, estratégias e um estilo de resolução de problemas. A Figura 2.2 apresenta a interação na situação de programação. Por tanto, a realização de um programa exige ao aluno transforme a informação em conhecimento. Além disso, o aluno está inserido em ambiente social e cultural constituído por colegas e comunidade em que vive, ele pode usar estes fatores e buscar problemas a serem resolvido (VALENTE, 1999).

Figura 2.2 – Interação na situação de programação.



Fonte: Valente (1999).

2.5.3 Interfaces Web

Através da Web, o aluno pode refletir sobre conceitos, socializar resoluções de problemas, enquanto o professor poderá criar ambientes de aprendizagem online. A internet e as redes sociais propiciam praticas colaborativas, recebimento de feedback dos colegas e comunidade da instituição de ensino (ALENCAR, 2015).

2.5.4 Simulação e modelagem

São os softwares que permitem a modelagem de um determinado fenômeno (físicos, químicos, mecânicos, ambientais, sociais, culturais). O usuário poderá alterar certos parâmetros e observar o comportamento do fenômeno. Portanto, para que a aprendizagem se processe, é necessário que se propicie um ambiente onde o aprendiz deve envolver-se com o fenômeno. A intervenção do professor será não deixar que o aprendiz acredite que o mundo real pode ser simplificado e controlado da mesma maneira que os programas de simulação (ALENCAR, 2015).

A modelagem consiste em a criação pelo aluno de um modelo do fenômeno, que utiliza recursos de um sistema computacional para implementá-lo. Uma vez implementado, o usuário da simulação, cabe a alteração de certos parâmetros e a observação do comportamento do fenômeno. Portanto a diferença entre o software de simulação e o de modelagem está em que, no caso da simulação o modelo é fornecido ao aluno. No caso da modelagem, é o aluno quem escolhe o modelo desenvolve e implementa no computador. No caso da simulação pode ser fechada semelhante a um tutorial onde alguns parâmetros podem ser alterados ou simulação aberta que é mais semelhante na programação, onde o aluno deve-se envolver no fenômeno,

elaborando uma serie de hipóteses e ideais que deverão ser validadas por intermédio do processo de simulação no computador (VALENTE, 1999 e VIEIRA, 2015).

2.5.5 *Aplicativos moveis voltados para educação*

O ensino e aprendizagem apoiado em dispositivos moveis se constituiu em uma nova modalidade nos processos pedagógicos, a chamada “aprendizagem móvel” ou *m-learning*, que é uma modalidade de ensino que pode ser usada em diferentes situações como um complemento de experiências em sala de aula, até como parte fundamental de contextos de aprendizagem tradicional. O professor tem a possibilidade de ensinar aos alunos por meio de videoaula, jogos educativos, pesquisa em buscadores, entre outros, por meio da interação entre sujeitos, tecnologias e ambientes. O professor bem preparado é o fator mais importante, pois devera planejar qual dispositivo, aplicativo, conteúdo e nível de ensino deverá recorrer para atingir tais objetivos (DOS SANTOS; GIACOMAZZO, 2019).

2.5.6 *Material educacional multimídia*

O uso de multimídia é semelhante ao tutorial, oferece combinações com textos, imagens, sons, o aluno escolhe as opções oferecidas pelo software. Depois da escolha, o computador apresenta a informação disponível onde o aluno pode refletir, porem o software não oferece a oportunidade de compreender e aplicar de modo significativo a informação (VIEIRA, 2015)

Para o desenvolvimento de material educacional multimídia, os objetivos educacionais devem ser levados em consideração, o desenvolvimento de todas as dimensões do indivíduo deve ser incentivado, e o usuário deve oferecer interatividade e controle para se tornar o protagonista de seu aprendizado (MARCO, 2016).

De acordo com os avanços tecnológicos, as características que os produtos educacionais multimídia devem atender são: possuir instruções claras e precisas, ter um assistente de instalação, necessitar de pouca memória para executar o programa, possuir compatibilidade com várias plataformas, ter requisitos de exibição padronizados e principalmente possuir adaptabilidade de tela padronizada (MARCO, 2016).

O processo de ensino-aprendizagem deve promover a capacidade intelectual e desenvolver estruturas mentais e habilidades cognitivas. Todos os produtos multimídia devem exigir boa qualidade técnica e um design consistente (MARCO, 2016).

Os tipos de mídia e materiais didáticos são: mídia manipulada, mídia impressa, mídia audiovisual, mídia de áudio e mídia digital. A concepção, utilização e avaliação dos meios de ensino exige 5 grandes tarefas ou fases que são: Desenho de planejamento material, Desenvolvimento de componentes e dimensões, experimentação de material em contextos reais, revisão e retrabalho, produção e divulgação (MOREIRA, 2008).

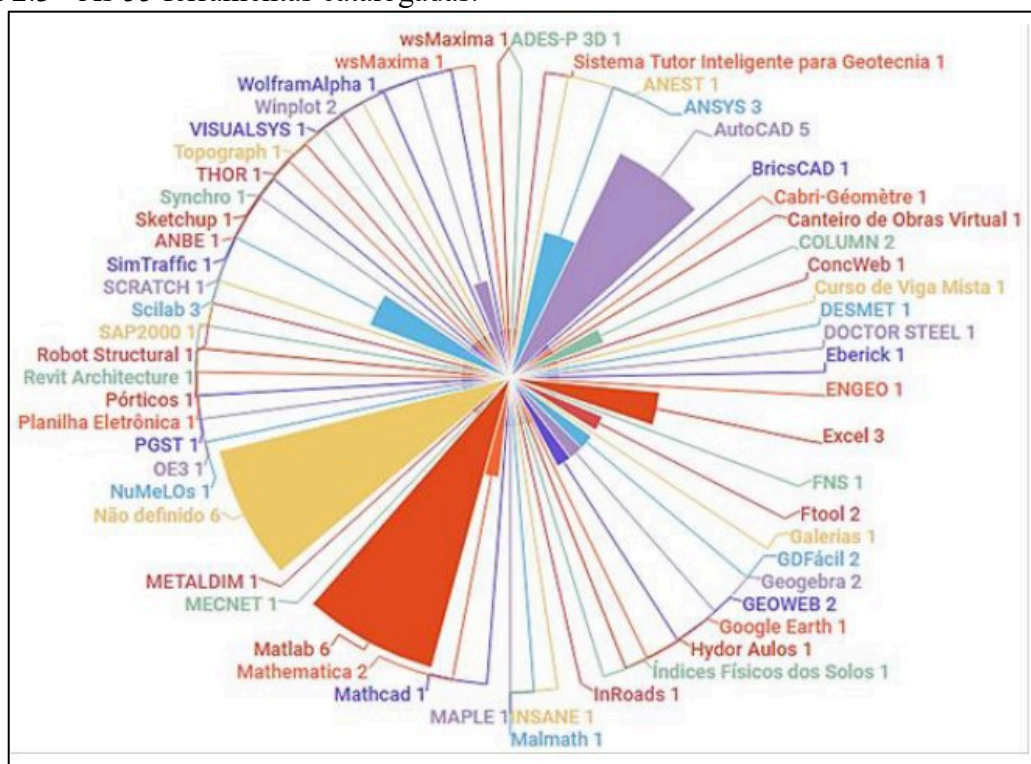
Os programas de escritório podem ser utilizados em diferentes propostas pedagógicas. Projetos que envolvam as tecnologias de audiovisuais em produção de documentários, editor de textos. Inclusive trabalhar com temas interdisciplinares (ALENCAR, 2015). O professor pode utilizar os softwares de escritório como reforço dos conteúdos em sala de aula.

2.6 EXPERIÊNCIA DE NOVAS TECNOLOGIAS PARA ENSINO

2.6.1 *Experiências de uso de tecnologia para o ensino na área de estruturas.*

Com base na literatura foi possível realizar o mapeamento sistemático do uso de software para o atendimento educacional em cursos de engenharia civil no Brasil, com base em diversos congressos e revistas, foi possível identificar 55 softwares distintos, sendo os mais recorrentes o Matlab, Excel, Scilab, Ftool, GDFácil, tendo aplicação nas áreas de: Cálculo, Estruturas, Estruturas Metálicas. Assim verificou-se que 50% das ferramentas educacionais desenvolvidas utilizam interfaces gráficas 2D (imagens e outros elementos bidimensionais), e apenas algumas utilizam imagens 3D. Entre as deficiências que podem ser identificadas está o fato de que tecnologias como realidade virtual e aumentada raramente são usadas, assim como o uso de dispositivos móveis. A figura 2,3 mostra as 55 ferramentas educacionais desenvolvidas (PASSOS; VENEGA; ROCHA, 2017).

Figura 2.3 - As 55 ferramentas catalogadas.



Fonte: Passos; Venega; Rocha, (2010).

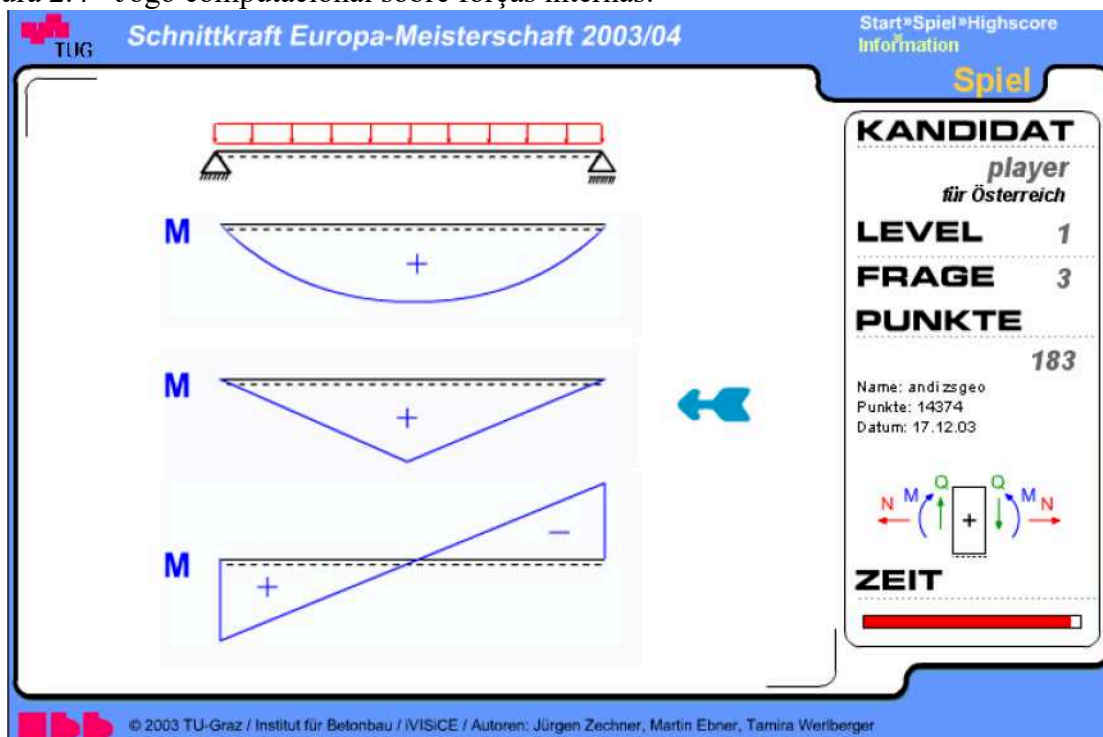
2.6.2 Programas desenvolvidos para dimensionamento de elementos de concreto armado para uso em computadores.

Recursos multimídia têm ajudado alunos e professores a melhorar o aprendizado de maneira mais fácil, rápida e eficiente. Assis (2002) desenvolve na escola politécnica da universidade de São Paulo (USP), o material didático em formato multimídia para o ensino no curso de concreto armado e protendido. As ferramentas desenvolvidas foram: animações utilizando o *software Macromedia Flash* para os tópicos do modelo constitutivo de aço e concreto, domínios de deformação, modelo resistente à flexão, modelos resistentes à flexão, modelos oblíquos e diagramas de interação. *Applets* desenvolvidos em *Java* que são executados em páginas da *Web*, com os mesmos tópicos que para animação. Os hipertextos criados para fornecer uma importante fonte de informação na internet, no entendimento da flexão simples, desenvolvida com os softwares *Flash*, *Dremweaver*, *Fireworks* e *Corel DRAW*. Além disso, foram produzidos vídeos sobre concreto protendido para melhorar o entendimento e a compreensão. Finalmente, recursos multimídia foram utilizados e avaliados em sala de aula, isso foi feito no estudo sobre os aplicativos desenvolvidos na USP (ASSIS, 2002).

O projeto iVISiCE desde 2001, tem apoiado o ensino em engenharia civil na Universidade Tecnológica de Graz, devido ao fato de que os alunos têm que adquirir uma compreensão

intuitiva do comportamento estrutural sobre três aspectos importantes definidos, onde a comunicação é um processo social entre professores e alunos em que devesse ter discussão e perguntas; a visualização consiste em várias animações e visualizações; a interação é envolver os alunos em alguma atividade. A figura 2.4 traz um exemplo, que é um jogo de computador onde os alunos podem aplicar seus conhecimentos sobre forças internas (EBNER; WALDER 2007).

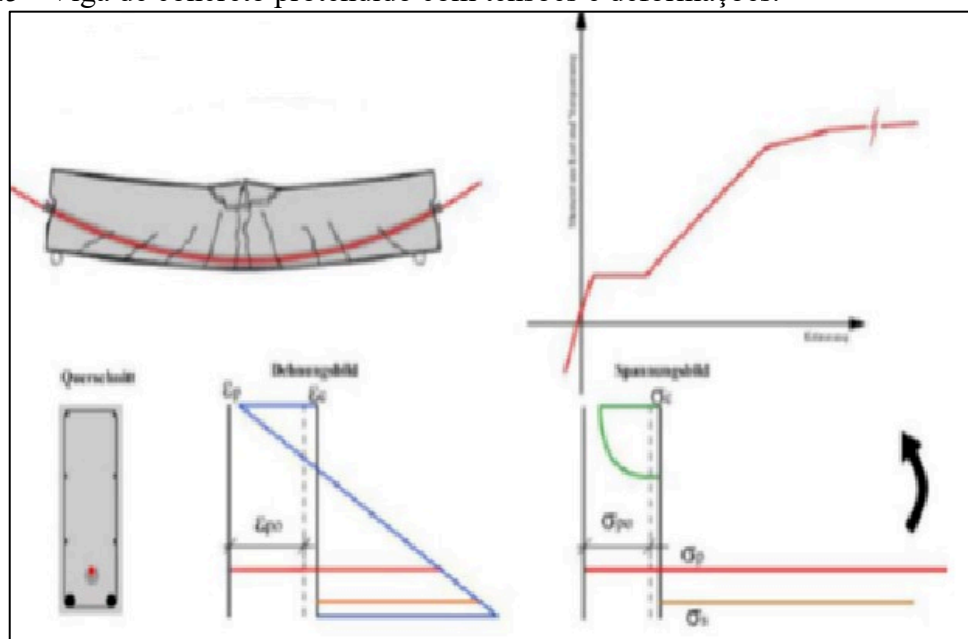
Figura 2.4 - Jogo computacional sobre forças internas.



Fonte: Ebner; Walder (2007).

As iniciativas e projetos nacionais e internacionais começaram a ajudar no processo de ensino e aprendizagem. A Universidade Tecnológica de Graz, na Áustria, tem experiência no uso de ferramentas multimídia e na internet no ensino superior. O objetivo é ampliar o aprendizado obtido em sala de aula com novas possibilidades que são globalmente acessíveis, utilizando ferramentas de apoio. A Figura 2.5 mostra um exemplo da aplicação de uma ferramenta de suporte na área de estruturas de concreto, especificamente uma viga de concreto protendido com tensões e deformações (EBNER; WALDER 2007).

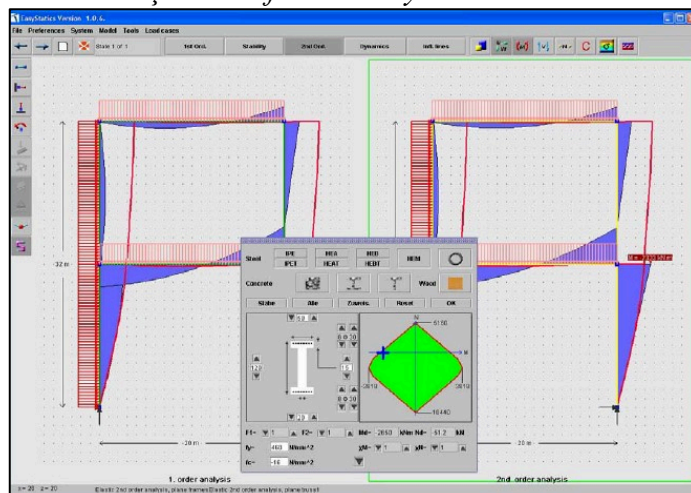
Figura 2.5 - Viga de concreto protendido com tensões e deformações.



Fonte: Ebner; Walder (2007).

Ao analisar as disciplinas de resistência de materiais e análise estrutural na faculdade de engenharia civil, percebe-se que nada mudou nos últimos 50 anos. Os métodos de aprendizado mais conservadores foram substituídos pelo uso de métodos computacionais, cujos algoritmos e equações matemáticas trazem rapidamente a resposta ao problema. Apesar da rapidez das respostas, muitos estudantes não entendem o procedimento matemático gerado pelo algoritmo computacional. Um exemplo é o *software EasyStatics*, que é um simulador didático estático desenvolvido na ETH, Zurique. O *software* pode ser utilizado intuitivamente e oferece simulação estática em tempo real, utilizando a teoria de cálculo de estabilidade, autovalores e plasticidade (ver Figura 2.6) (EBNER; WALDER, 2007).

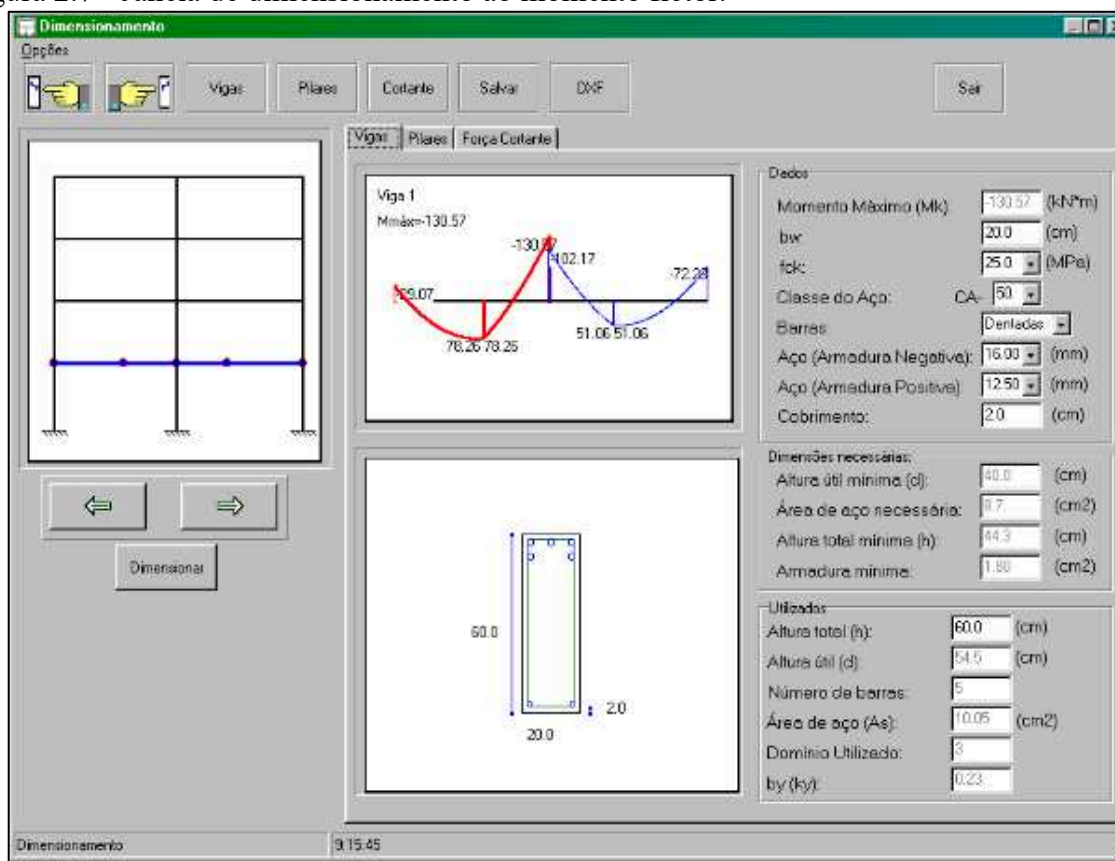
Figura 2.6: Exemplo de simulação no *software EasyStatics*.



Fonte: Ebner; Walder (2007).

Para suprir a necessidade do desenvolvimento de um programa computacional avançado, foi criado o programa chamado DTool, para o processo de aprendizagem em disciplinas que envolvam a análise estrutural, o dimensionamento e o detalhamento de pórticos planos de concreto armado, de acordo com a NBR 6118:2001. O programa DTool foi feito com o compilador Borland C++ Builder 5.0. No programa se mostra um pórtico sendo analisado que permite a observação da estrutura deslocada, na segunda janela é responsável pela visualização dos esforços atuantes no pórtico, a terceira janela está dividida em três partes que são dimensionamento de vigas ao momento fletor, dimensionamento de pilares a flexão normal composta e dimensionamento da armadura transversal. (LINDQUIST; DE PAIVA, 2008). A Figura 2.7 mostra a janela de dimensionamento ao momento fletor.

Figura 2.7 - Janela de dimensionamento ao momento fletor.



Fonte: Lindquist; De Paiva (2008).

Com a finalidade de complementar o ensino no curso de engenharia Civil da UNESP, em Bauru/SP, foram desenvolvidos cinco programas computacionais de apoio no ensino das disciplinas de concreto armado, especificamente no dimensionamento se seções submetidas a flexão simples, ao esforço cortante e a torção, segundo a formulação contida na NBR 6118/03,

esses aplicativos facilitam ao aluno a explorar e visualizar a imediata influência das variáveis. (FACCIO; BASTOS, 2007). A Figura 2.8 apresenta o aplicativo de cálculo de vigas.

Figura 2.8: Apresentação do aplicativo para cálculo de vigas de seção retangular.

NBR 6118/03 - Flexão Simples - Dimensionamento de Seções Retangulares

Seção Transversal da Viga

Ilustração para M⁺

Dados Geométricos

h = 30 cm
b_w = 19 cm
d = 26 cm
d' = 3 cm

RESULTADOS

Momento Fletor de Cálculo:
M_d = 7000 kN.cm

Limites da Linha Neutra:
x_{2lim} = 6.76 cm x_{3lim} = 16.37 cm

Posição da Linha Neutra:
x = 22.10 cm Domínio: 4

Áreas de Armadura:
A_s = 7.52 cm² A'_s = 2.00 cm²

Deformações no Concreto e na Armadura:
ε_{cd} = 3.50 ‰ ε_{sd} = 3.50 ‰

DIAGRAMA DE DEFORMAÇÕES

Concreto:
f_{ck} = 20 MPa γ_c = 1.4

Aço:
CA-25 CA-50 CA-60 γ_s = 1.15

Momento Fletor Solicitante:
M_k = 5000 kN.cm γ_f = 1.4

A seção transversal é de apoio ou de ligação com outros elementos estruturais? ☒ Sim ☐ Não

Executar

MEMÓRIA DE CÁLCULO:

1) x_{2lim} = 0.26d = 6.76 cm x_{3lim} = 0.63d = 16.37 cm
2) x/d = 0.85 > 0.5
Como resultou x/d > 0.5, uma solução é colocar armadura dupla, com x = 0.5d!
M1d = 0.68 b_w x f_{cd}(d - 0.4x) = 4991 kN.cm
M2d = M_d - M1d = 2009 kN.cm
3) A_s = A_{s1} + A_{s2} → A_{s1} = M1d/[σ_{sd}(d - 0.4x)] = 5.51 A_s = 7.52 cm²
A_{s2} = M2d/[σ_{sd}(d - d')] = 2.00 A'_s = 2.00 cm²
A's = M2d/[σ'_sd'(d - d')] = 2.00

Lidiane Faccio - UNESP/Bauru

Fonte: Faccio; Bastos (2007).

Além dos 5 aplicativos desenvolvidos na UNESP, se pode agregar o programa para dimensionamento de pilares com índice de esbeltes máximo de 90, segundo o método aproximado do pilar padrão pela NBR 6118/03. (TARDIVO; BASTOS 2007). A Figura 2.9 mostra a tela principal do programa.

Figura 2.9: Tela principal onde os dados são inseridos para dimensionamento de pilares.

Dimensionamento de Pilar em Concreto Armado

Pilar com seção retangular, seção e armadura constante ao longo da altura, utilizando o método do Pilar Padrão com Curvatura Aproximada

Antes de iniciar o uso do aplicativo clique no botão ao lado Caso a unidade não seja "kN" e "cm" utilizar o botão ao lado

Preencha os quadros em branco com os dados de entrada

- Força Normal: ? N_k = 1110 kN

- Dimensões do Pilar: ? h_x = 20 cm h_y = 70 cm

- Comprimento do Pilar: ? ℓ = 280 cm

- Classes do Concreto e do Aço: C 20 CA- 50

- Distância: ? d' = 4 cm

- Coeficientes de Segurança: γ_c = 1.4 ? γ_s = 1.15 ? γ_f = 1.4 ?

- Vínculos na Base e no Topo: ?
☒ Apoio S. - Apoio S. ☐ Engaste P. - Apoio S.
☐ Engaste P. - Livre ☐ Engaste P. - Engaste P.

Figura para definição dos dados de entrada

- Momentos na Base e no Topo do pilar: ?
M_{base,x} = 2170 kN.cm M_{base,y} = 0 kN.cm
M_{topo,x} = -2170 kN.cm M_{topo,y} = 0 kN.cm

Desenvolvido por FABRICIO G. TARDIVO

Fonte: Tardivo; Bastos (2007).

Em virtude da automatização, foi desenvolvido uma rotina computacional junto ao programa Excel em conjunto com SciLab para dimensionamento de vigas de concreto armado para calcular a armadura longitudinal e transversal, ainda na janela principal do programa Microsoft Office Excel é possível observar se são atendidos a normativas da ABNT NBR 6118:2014. O programa permite identificar erros e propõe uma forma de corrigi-lo. (FERNANDES; CORREIA; OLIVEIRA, 2017). A Figura 2.10 mostra a tela principal do programa.

Figura 2.10: Dados de entrada da viga no Excel.

DIMENSIONAMENTO DE VIGAS

DADOS DA VIGA	
bw (cm)	
h (cm)	
d (cm)	
c (cm)	
fck (MPa)	
CA 1 (kN/cm²)	
Øe (mm)	
CA 2 (kN/cm²)	

ANÁLISE DA VIGA	
Mk (kN.m)	
Vk (kN)	

LEGENDA (ENTRADA)	
bw	Base da viga
h	Altura da viga
c	Cobrimento de concreto
d	Altura útil
CA 1	Aço da armadura longitudinal
fck	Resistência a compressão do concreto
Øe	Diâmetro do estribo
CA 2	Aço do estribo
Mk	Momento fletor
Vk	Força cortante
Preencher somente células nesta cor	

Fonte: Fernandes; Correia; Oliveira (2017).

Os recursos computacionais e multimídia vem sendo usado para o auxílio do ensino da engenharia. Assim para tornar as matérias mais atraente foi desenvolvido um aplicativo em Java para o estudo da Flexão Normal Simples (FNS) que atende a norma NBR 6118:2014, para que aluno pudesse ter mais facilidade em seu uso o aplicativo possui apenas uma janela, na qual a sua esquerda tem a entrada de dados e em sua direita a saída de dados e resultado. Além o aplicativo possui e botões auxiliares para definir o tipo de entrada de dados, outro para dar o valor de d e um terceiro para definir x_{lim} da linha neutra. (VIRGOLINO; NETO 2016). A Figura 2.11 apresenta a interface do aplicativo.

Figura 2.11: Interface do aplicativo.

FNS
Flexão Normal Simples

Dimensionamento Seções Retangulares

Geometria

b (cm): 30.00
h (cm): 60.00
d (cm): 54.00 (0,9.h)
d' (cm): 6.00 (0,1.h)

Limites

x_{lim} (cm): 24.30 (x34, 0,45.d)

Material

Concreto: C20 γc: 1.40
fck (MPa): 30.00 fcd (MPa): 14.29
Aço: CA-50 γs: 1.15
fyk (MPa): 500.00 fyd (MPa): 434.78

Tensão-Deformação do Concreto

Diagrama: Retângulo simplificado

Esforços

Mk (kN.m): 200.00 γf: 1.40
Md (kN.m): 280.00

Dimensionamento

SEÇÃO

0.80 x/d: 0.390
21.09 cm
14.13 cm²

DEFORMAÇÃO

εcu: 3.50‰ εc2: 2.00‰ εcu: 3.50‰
2.07‰ along.

TENSÃO RESULTANTES

0.85.fcd = 12.14 MPa
614.50 kN
45.57 cm
434.78 MPa
614.50 kN
M_{Rd}: 280.00 kN.m

Resultados

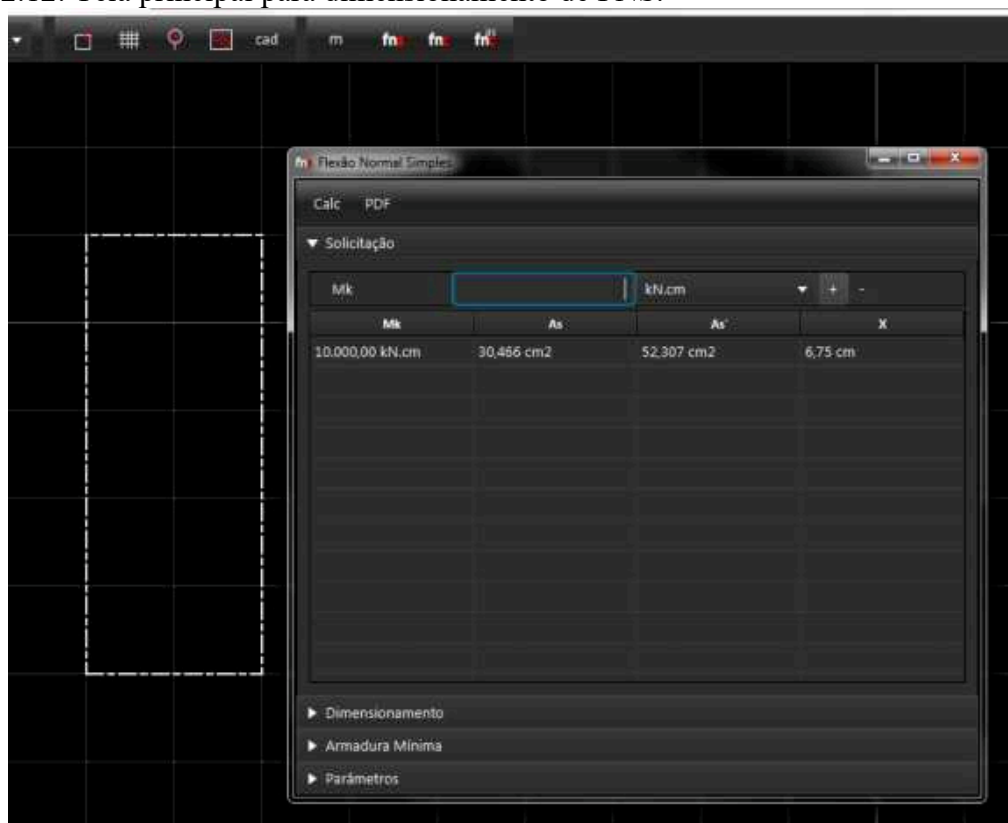
Domínio: 3 x/d: 0.390 ecd (cm): 3.50 ‰ xLN (cm): 21.09 cm Rcd (kN): 614.50 kN
x23 (cm): 14.00 cm x23/d: 0.259 esd (cm): 5.46 ‰ As (cm²): 14.13 cm² Rsd (kN): 614.50 kN
x34 (cm): 33.93 cm x34/d: 0.628

Desenvolvido por PELLEGRINO NETO, J. e COUTO, L. F. M. Segundo NBR 6118:2014 Versão: 2.0.5

Fonte: Virgolino; Neto (2016).

Para ajudar os engenheiros a resolverem as atividades com modelagem menos complexa, foi desenvolvido a ferramenta chamada Torney para análise e dimensionamento de estruturas de concreto armado de seção retangular e T submetidas a Flexão Normal Simples (FNS), Flexão Normal Composta (FNC) e Flexão Normal Composta com Armadura Simétrica (FNCAS). A linguagem escolhida foi Java por ser orientada a objeto, gratuita, o Torney foi programado no ambiente de desenvolvimento integrado Eclipse. Optou-se desenvolver uma plataforma CAD por ela ser frequentemente utilizada em software de engenharia, para dimensionamento do fluxo adotado ao desenhar a seção retangular ou T, atribuição de material a seção, escolher tipo de dimensionamento, configurar os parâmetros e adicionar as solicitações características de cálculo. (DA SILVA, 2016). A seguir na Figura 2.12 onde observa-se a tela principal do programa.

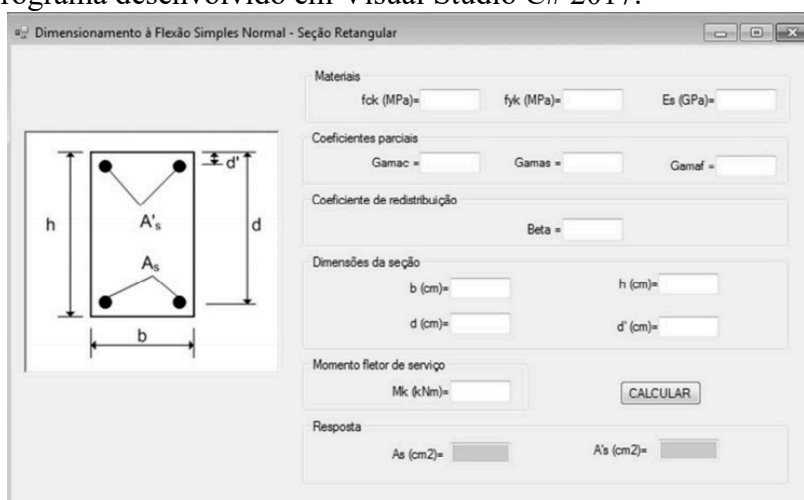
Figura 2.12: Tela principal para dimensionamento de FNS.



Fonte: Da Silva (2016).

Na Universidade Federal do Rio Grande, foram desenvolvidos códigos para dimensionamento e verificação de seções de concreto armado nas linguagens de programação Fortran 90, *Visual Basic* 2017 e *visual C #* 2017. O objetivo foi apresentar uma sequência de programação simples para resolver problemas de dimensionamento de vigas retangulares, vigas T, tensão de cisalhamento, flexão com compressão, flexão com torção e tração (ARAÚJO, 2018). A Figura 2.13 mostra a tela do programa na linguagem C#.

Figura 2.13 - Programa desenvolvido em Visual Studio C# 2017.



Fonte: Araújo (2018).

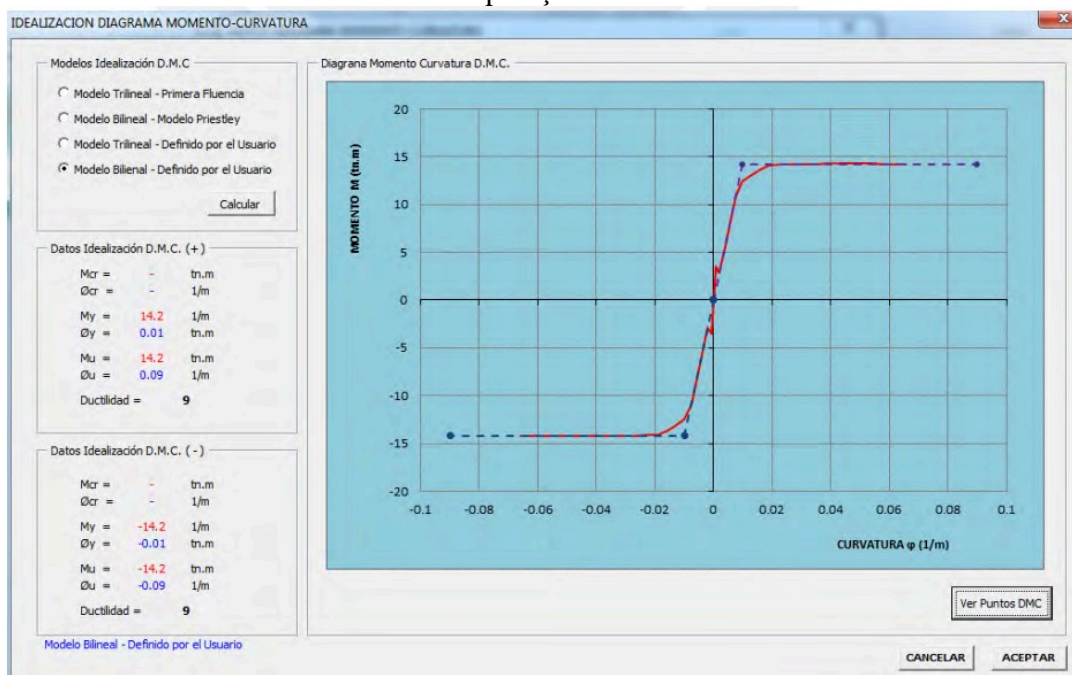
Uma ferramenta didática foi desenvolvida na linguagem de programação Java que tem como objetivo dimensionar um pilar de seção retangular bi apoiado submetido a flexão composta oblíqua atendendo a norma NBR 6118:2014. Observa-se na descrição do programa a separação em entrada de dados como dimensões do pilar, comprimento equivalente nas direções x e y, força normal, diagrama de momentos e propriedades mecânica do concreto e aço. O programa realiza a verificação dos cálculos e de acordo com o arranjo de armadura escolhida pelo usuário dimensiona a taxa de armadura, finalmente faz um detalhamento das armaduras verificando se os estribos de travamento estão adequados, em caso de inadequação, as barras não travadas ficam com a cor vermelha. (COLOMBO; ASSIS; BITTERN COURT, 2011). A Figura 2.14 mostra a tela de entrada de dados do programa.

Figura 2.14 - Tela de entrada de dados do programa.

Fonte: Colombo; Assis; Bitterncourt (2011).

Para analisar o comportamento complexo da estrutura, foi desenvolvido um software educacional chamado (AMAP 2D) usado para automatizar a análise não linear de pushover estático, com a linguagem de programação Visual Basic. O software educacional permite desenvolver diagramas de curvatura de momento para determinar a ductilidade das seções. Na Figura 2.15, mostra a tela do software para o cálculo do momento de curvatura, o ambiente de software e o diagrama de curvatura de momento (DE LA CRUZ, 2018).

Figura 2.15: O ambiente de software e a aquisição do momento de curvatura são mostrados.



Fonte: De la Cruz (2018).

Com o software Visual Studio é uma guia com assistência em tempo real independente da linguagem C#, VB, C++, JavaScript ou Python, a utilização do Visual Studio tem a possibilidade de depurar o código e exibe uma lista com os erros existentes, o software também exibe opções que podem ser utilizadas para solução dos erros. Com ajuda do software Visual Studio 2017, foi desenvolvido um programa para dimensionamento de lajes maciças em concreto armado conforme a normativa ABNT NBR 6118:2014. A interface do programa está dividida em abas, sendo: Dados da Laje, Carregamento, Esforços, Armadura Positiva, Armadura Negativa, Ancoragem e Relatório. (COSTA *et al.*, 2018). A Figura 2.16 apresenta a janela do programa.

Figura 2.16: Janela ao se inicializar o programa.

Fonte: Costa *et al.* (2018).

2.6.3 Programas desenvolvidos para dimensionamento de elementos de concreto armado para uso em celulares.

Adotou-se a linguagem Java por sua ampla utilização na programação orientada a objetos, linguagem aberta estável, adaptação do código a uma grande variedade de dispositivos e sistemas. Devido as vantagens do programa foi desenvolvido um software para análise de esforços e deslocamentos de pórticos planos, dimensionamento e detalhamento de lajes maciças, vigas contínuas e pilares em concreto armado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O software foi desenvolvido para utilização em celulares Android coma ferramenta Android Studio. Na tela principal tem os três tipos de elementos que podem ser analisados e dimensionados (DURINGAN; PORTELLA, 2017). A Figura 2.17 mostra a tela do aplicativo.

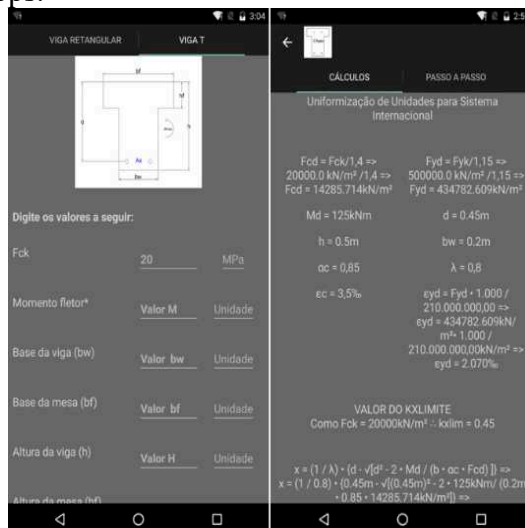
Figura 2.17: Tela com lista de elementos que podem ser analisados e dimensionados.



Fonte: Duringan; Portella (2017).

Na busca de métodos didáticos para auxiliar o ensino de dimensionamento de vigas de concreto armado nas universidades brasileiras, Salsa et al (2018) propôs o desenvolvimento de um aplicativo de dimensionamento de vigas de qualquer classe de concreto para que auxiliasse a comunidade acadêmica, a primeira aba do aplicativo apresenta o dimensionamento e resumo dos cálculos e em outra aba apresenta uma explicação de cada variável, como são determinadas e onde se encontra na norma, atendendo a normativa ABNT NBR 6118:2014. O Aplicativo chamado CApps foi desenvolvido utilizando a ferramenta *Xamarin Platform* que desenvolve em linguagem de programação C# da IDE (*Integrated Development Environment*) Microsoft Visual Studio 2015, para produzir aplicativos multiplataforma para dispositivos móveis. A Figura 6 mostra as telas do aplicativo (SALSA. et al, 2018). A Figura 2.18 mostra as telas e abas do aplicativo.

Figura 2.18: Telas do CApps.



Fonte: Salsa (2018).

A incorporação de tecnologia no ensino na engenharia foi se tornando algo muito comum, há pouco menos de 20 anos surgiu o conceito de Mobile Learning ou M-Learning, que é a incorporação de tecnologia conectada com o uso de dispositivos móveis. Por esse motivo se desenvolveu uma ferramenta para auxílio ao ensino de elementos de concreto armado chamada “6118 Tool” atendendo a norma ABNT NBR 6118:2014. Para desenvolver o aplicativo foi escolhida a ferramenta online Thunkable que é capaz de gerar os códigos de programação tanto para IOS quanto para Android simultaneamente. O conteúdo do aplicativo é limitado a Verificação dos estados limites para seção retangular, dimensionamento de laje maciça sobre viga, pilar, laje e fundação. (COSMO, 2019). A Figura 2.19 mostra a tela com as propostas dos aplicativos.

Figura 2.19: Tela principal do aplicativo de subdivisões propostas para dimensionamento de viga, pilar, laje e fundação.



Fonte: Cosmo (2019).

3 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE DE ENSINO

O principal objetivo de um software educativo é facilitar o processo de ensino-aprendizagem. Para desenvolver um software existem várias linguagens de programação no mundo, dentro das quais a linguagem C# orientada a objetos foi escolhida porque é uma linguagem orientado a objetos com as características das linguagens C++, Java, Visual Basic. A linguagem C# pode ser utilizado com o programa Xamarin para desenvolver aplicativos moveis multiplataforma, utilizando 70 % do código fonte que foi utilizado para desenvolver o programa para computador, de modo que o resultado é um programa bastante simples, visual e didático.

De todas as teorias de aprendizagem apresentadas no trabalho o software desenvolvido o esta dentro da teoria comportamentalista de aprendizagem, porque os dados serão inserido pelo aluno e terá um retorno dos resultados do software como um processo de estímulo resposta.

A linguagem de programação C# da família Microsoft em sua versão do Visual Studio Community 2019 para programas de computadores e Xamarin 2019 para celulares com plataforma Android ou IOS.

Todos os programas desenvolvidos no presente trabalho apresentam características similares que são: uma janela principal na qual clicando na figura do elemento estrutural se podem acessar na janela de dimensionamento, na primeira aba da janela mostra ingresso de dados e clicando “Resolver” se mostra um resumo dos resultados além disso se um dado fosse ingressado errado ou não atendesse os requerimentos na normativa o software vai exibir uma janela com o erro, na segunda aba mostra uma explicação detalhada passo a passo do procedimento de cálculo com explicação do procedimento e citando os itens da norma NBR 6118:2014, sendo o diferencial com relação dos outros softwares de dimensionamento disponíveis, e na terceira aba apresenta as informações gerais.

Os softwares de auxílio no ensino para dimensionamento de concreto armado são os seguintes:

- Vigas Flexão Normal Simples Estado Limite Último (SEDim-FU)
- Vigas Flexão Normal Simples Estado Limite de Serviço (SEDim-FS)
- Cisalhamento (SEDim-C)
- Pilares (SEDim-P)

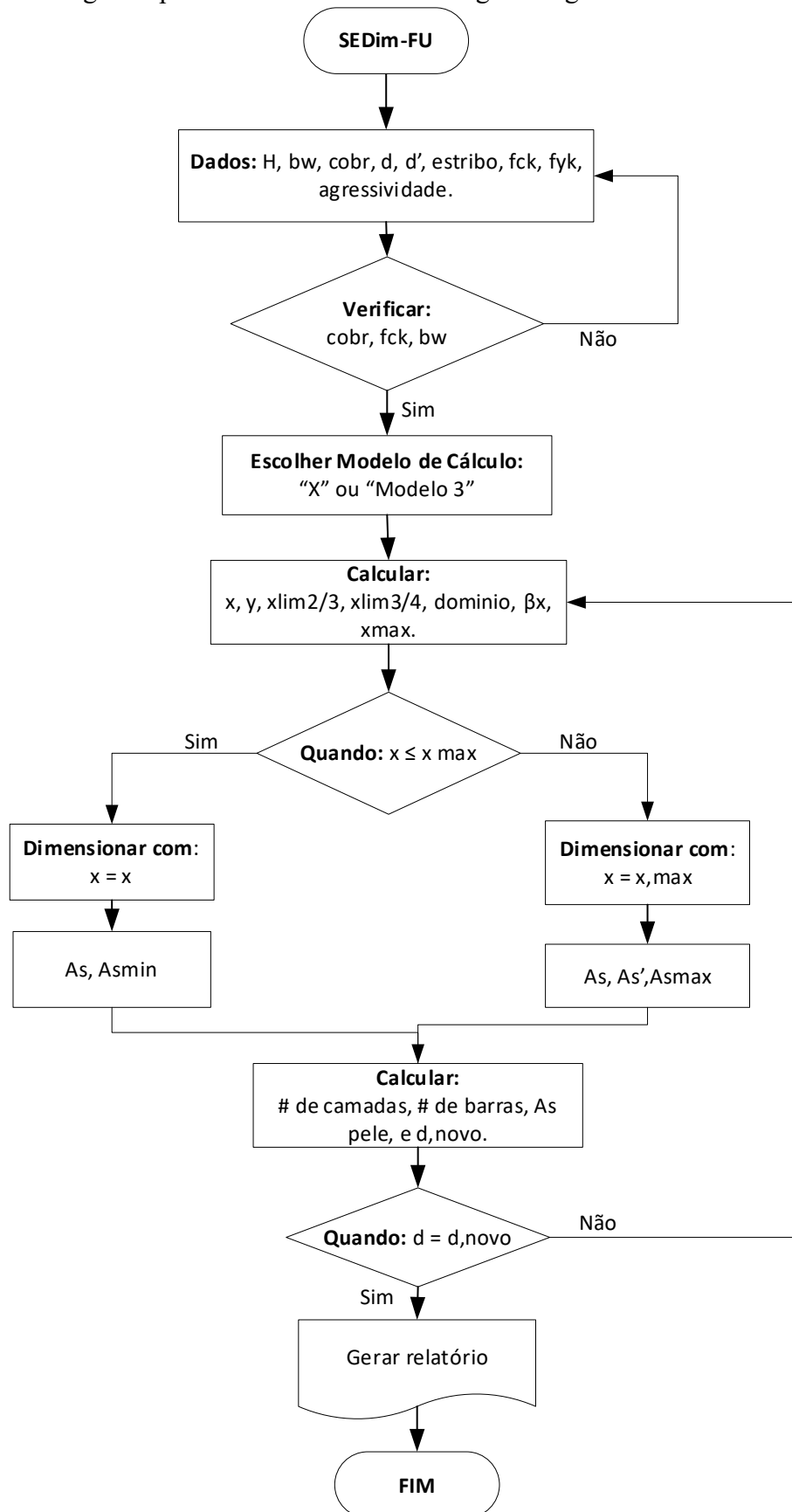
3.1 VIGAS RETANGULARES E VIGAS T NO ESTADO LIMITE ÚLTIMO (SEDim-FU).

O software foi desenvolvido para computadores assim como para celulares atendendo a normativa ABNT NBR 6118:2014, para dimensionamento de vigas de seção retangular e T com qualquer classe de concreto de C20¹ até C90. Respeitando todos os requerimentos da normativa como cobrimentos mínimos, classe de concreto e largura mínima.

O software calcula número de camadas, área de aço efetivo, número de barras de acordo com o tamanho de bitola escolhido, altura útil calculada em função do número de camadas e tamanho da bitola. Com essa nova altura útil clicando no botão “Recalcular” se atualizam todos os valores calculados.

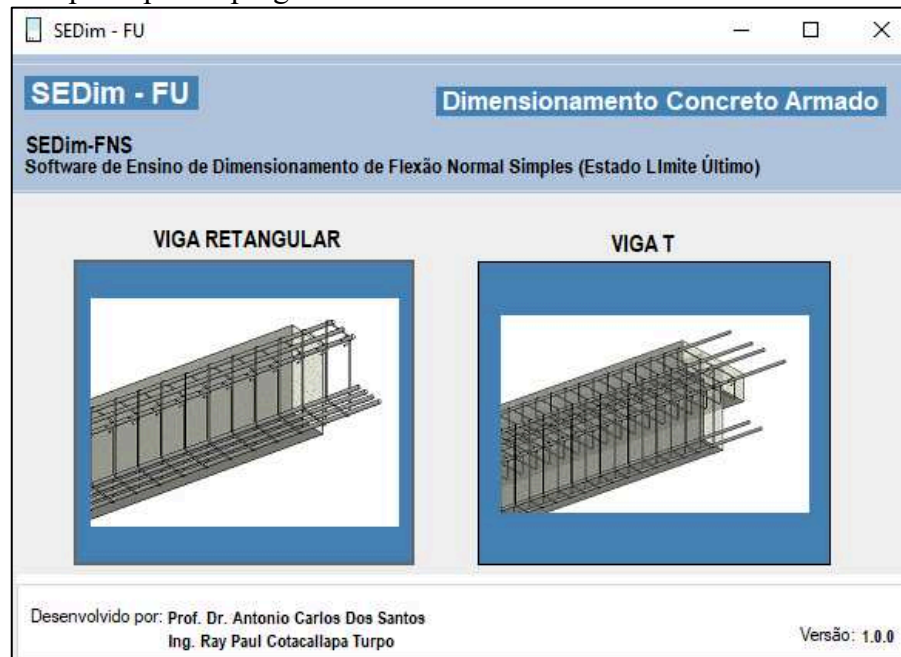
¹ O programa irá corretamente avisar que o cobrimento mínimo deve ser 2,5 cm, entretanto, a mesma norma admite uma redução de 5 mm quando houver um controle adequado de qualidade e limites rígidos de tolerância da variabilidade das medidas durante a execução.

Figura 3.1: Fluxograma para dimensionamento de viga retangular.



Fonte: O autor(2020).

Figura 3.2: Tela principal do programa SEDim – FU.

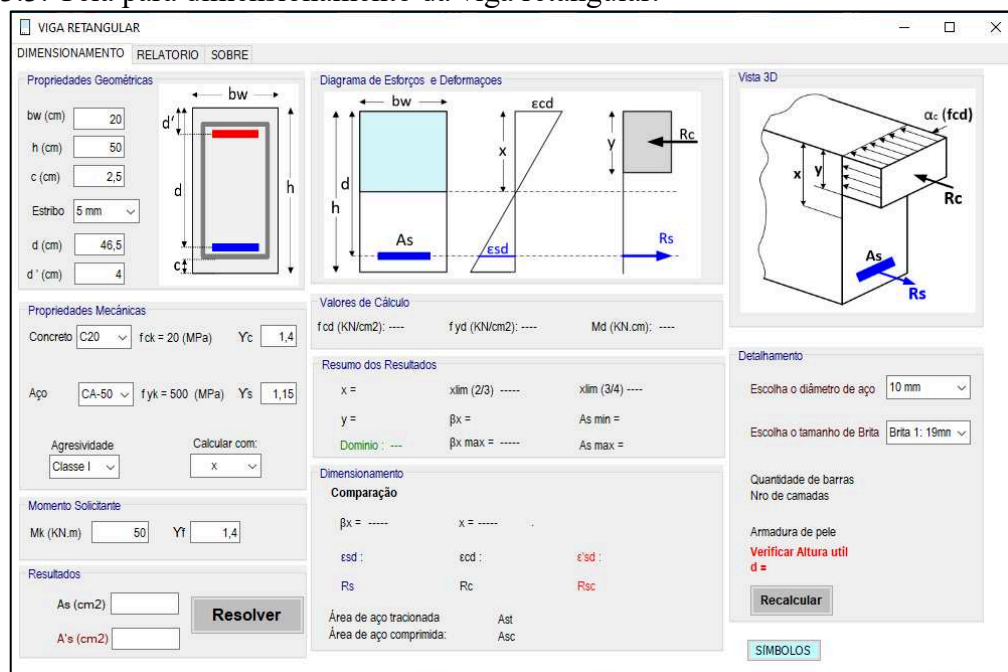


Fonte: O autor.

3.1.1 Viga Retangular (SEDim – FNS - ELU) para Computador

A Figura 3.3 da tela de Viga Retangular três abas são exibidas: o primeiro é o dimensionamento de viga retangular para dimensionamento, o segundo mostra um relatório passo a passo do procedimento de cálculo e o terceiro mostra as informações gerais sobre o software. De acordo com a NBR 6118: 2014.

Figura 3.3: Tela para dimensionamento da viga retangular.



Fonte: Autor (2020).

3.1.1.1 Aba de Dimensionamento

A Figura 3.4 mostra a todas as caixas da aba dimensionamento.

Caixa de propriedades geométricas, neste campo se pode inserir as propriedades geométricas da viga, o cálculo da altura útil (d) é automático com base nos valores de h , c , estribo e um valor de barras longitudinais de 10 mm padrão em uma camada.

Caixa de propriedades mecânicas: Nesta seção deve-se escolher a classe de concreto e aço com seus coeficientes de resistência, Além de escolher a classe de agressividade e dimensionar de acordo com a NBR "x" ou dimensionar somente dentro do domínio 3 "Domínio 3".

Caixa de momento solicitante e resultados, nesta seção deve-se inserir o momento solicitante e o coeficiente de ponderação que aumenta o momento. Ao Clicar no botão "Resolver" mostra o aço de tração e abaixo área aço de compressão.

Caixa Diagramas e valores de cálculo, nesta seção, depois de clicar no botão Resolver, ele mostra o tipo de imagem de tensão de acordo com o tipo de reforço necessário, os valores dos cálculos de resistência e momento solicitante são mostrados.

Caixa Resumo dos Resultados, mostra o domínio em que o feixe está localizado, os limites de ductilidade estabelecidos pelo padrão, também mostra a altura da linha neutra.

Caixa Dimensionamento, indica primeiro se é um reforço simples ou reforço duplo, além é determinado o coeficiente correto de ductilidade associado à altura útil, o texto colorido azul ele mostra a deformação e resistência à tração do aço e preto a força de deformação e compressão no concreto. Finalmente, a área de aço de compressão e a área de aço de tração são apresentadas.

Caixa Detalhamento, nesta seção é possível escolher o diâmetro das barras de aço e o tamanho das pedras e eles irão alterar automaticamente os resultados de número de barras, número de camadas, área efetiva de aço e verificar se requer uma armadura de pele, finalmente recalcular a altura útil de acordo com os resultados anteriores, para que com o botão "Recalcular" faça um novo dimensionamento. Para ajudar você também vê um botão chamado "SIMBOLOS" que mostra o nome dos vários símbolos para uma melhor compreensão.

Figura 3.4: Resultados de números de barras, camadas, área de aço efetivo e possibilidade de recalcular a viga retangular.

The screenshot displays the 'VIGA RETANGULAR' software interface, which is divided into several sections for input, calculation, and results.

- Propriedades Geométricas:**
 - bw (cm): 20
 - h (cm): 50
 - c (cm): 2
 - Estribo: 5 mm
 - d (cm): 47
 - d' (cm): 4
- Propriedades Mecânicas:**
 - Concreto: C20, fck = 20 (MPa), Yc: 1.4
 - Aço: CA-50, fyk = 500 (MPa), Ys: 1.15
 - Agresividade: Classe I
- Momento Solicitante:**
 - Mk (kN.m): 100, Yt: 1.4
- Diagrama de Esforços e Deformações:** A diagram showing the internal forces and strains within the beam cross-section.
- Valores de Cálculo:**
 - fcd (kN/cm²): 1.43, fyd (kN/cm²): 43.48, Md (kN.cm): 14,000.00
- Resumo dos Resultados:**
 - x = 18.13 cm, xlim (2/3) = 12.19 cm, xlim (3/4) = 29.53 cm
 - y = 14.50 cm, βx (x/d) = 0.39, Asmin = 1.50 cm², βx max = 0.45, Asmáx = 40.00 cm²
 - Domínio: 3
- Dimensionamento:**
 - βx < βx max É UMA VIGA COM ARMADURA SIMPLES
 - βx = 0.386, x = 18.13 cm
 - esd = 5.57 ‰, esd = 3.50 ‰
 - Rs = 352.21 kN, Rc = 352.21 kN
 - Área de aço tracionada: As = 8.10 cm²
 - Área de aço comprimida: 0.00
- Vista 3D:** A 3D perspective view of the beam cross-section showing the reinforcement layout.
- Detalhamento:**
 - Escolha o diâmetro de aço: 20 mm
 - Escolha o tamanho de Brita: Brita 1: 19mm
 - 3 barras
 - Nº camadas: 1
 - As efetivo = 9.42 cm²
 - Armadura de pele = Não precisa
 - Calcular com altura útil de: d = 46.5 cm
 - Recalcular button
- Resultados:**
 - As (cm²): 8.10
 - A's (cm²): 0.00
 - Resolver button
- SIMBOLOS:** A button to view the symbols used in the software.

Fonte: Autor (2020).

3.1.1.2 Aba do Relatório

Ele é mostrado no arquivo PDF que pode ser salvo como um arquivo, onde todo o procedimento é apresentado passo a passo e os dados iniciais inseridos na guia de dimensionamento (Figura 3.5).

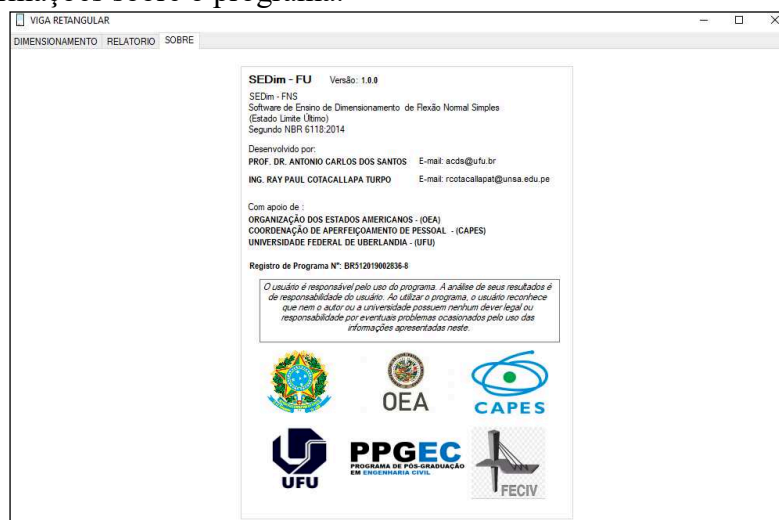
Figura 3.5: Dados da viga retangular.

The screenshot displays the 'RELATÓRIO' (Report) screen of the 'VIGA RETANGULAR' software. It shows the following information:

- Header:** SEDim - FU v1.0.0, RELATÓRIO, and the UFU logo.
- DADOS:**
 - bw (cm) = 20: Largura da seção
 - h (cm) = 50: Altura total
 - c (cm) = 2: Cobrimento nominal
 - d (cm) = 47: Altura útil
 - dc (cm) = 4: Altura útil do aço em compressão
 - fck (kN / cm²) = 2.00: Resistência do concreto
 - fyk (kN / cm²) = 50.00: Resistência do aço
 - Mk (kN.cm) = 10,000.00: Momento característico

Fonte: Autor (2020).

Figura 3.6: Informações sobre o programa.



Fonte: Autor (2020).

1º Passo: Os valores de cálculo das resistências de concreto e aço são mostrados, bem como o momento solicitante com seus respectivos coeficientes. Além disso, os gráficos de tensão são mostrados para calcular as deformações de acordo com a classe de concreto e aço.

2º Passo: Esta seção mostra o cálculo da altura útil com base no número de camadas e no tamanho da brita, caso o recálculo não foi executado, a altura útil é calculada supondo que eles sejam uma camada com barras longitudinais 10 mm.

3º Passo: Esta seção mostra o cálculo da altura da linha neutra com a fórmula apresentada.

4º Passo: O valor máximo da altura da linha neutra permitido pela NBR 6118: 2014 é calculado para verificar se a viga é necessária para colocar reforço de aço duplo (Figura 29).

5º Passo: Nesta seção os limites dos domínios são calculados em função das deformações da altura do aço, concreto e linha neutra, consequentemente o domínio e o valor da altura da linha neutra "x" são determinados de acordo com o modelo de cálculo escolhido. "X" ou "Domínio 3". Finalmente, o parâmetro " βx " é calculado, que é a divisão de x/d (Figura 30).

6º Passo: Sabendo o valor da altura neutra, se pode calcular as deformações no aço e no concreto final.

7º Passo: calculado o valor da altura da linha neutra, é possível calcular a área de aço de tração, neste caso é uma viga com reforço simples.

8º Passo: Calcula-se a área máxima e mínima de aço que pode ser utilizada de acordo com a NBR 6118: 2014.

9º Passo: O domínio no qual a viga está é verificado, neste caso particular, é uma viga com reforço simples, porque o valor da altura da linha neutra é menor que o máximo permitido pela ductilidade da normativa.

10º Passo: As áreas de aço calculadas em tração e compressão são mostradas, verificando se as áreas são maiores ou iguais à área mínima de aço de acordo com a NBR 6118: 2014.

11º Passo: Esta etapa mostra as alternativas de barras longitudinais que podem ser usadas, a melhor alternativa será onde a área de aço é menor (Figura 23).

Figura 3.7: Alternativas de barras longitudinais da viga retangular.

11º PASSO: ALTERNATIVAS DE BARRAS:				
DIÂMETRO (mm)	Nº BARRAS	Nº CAMADAS	As efetivo (cm ²)	TAXA DE AÇO (%)
8	17	4	8.50	0.85
10	11	3	8.69	0.87
12,5	7	2	8.61	0.86
16	5	2	10.05	1.01
20	3	1	9.42	0.94
*Colocar mínimo duas barras para montagem				

Fonte: Autor (2020).

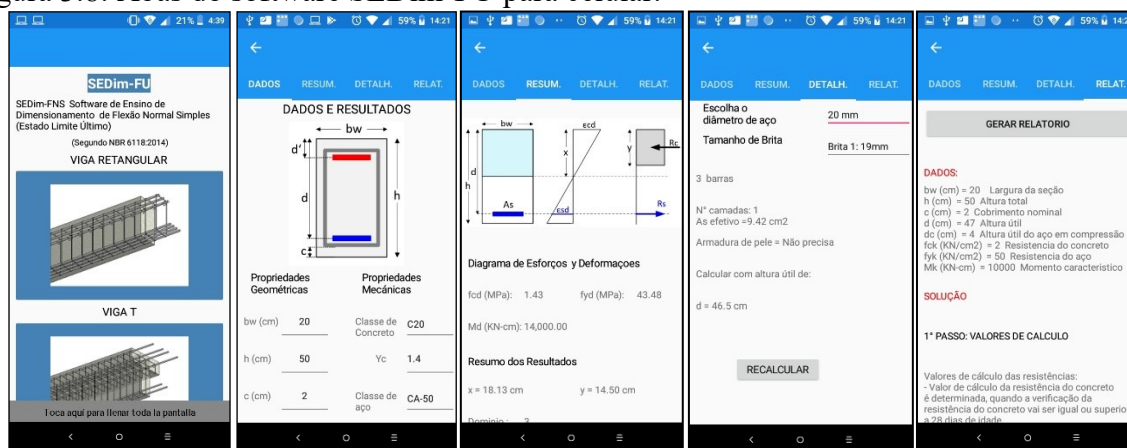
12º Paso: No caso em que a viga não necessite de reforço de compressão, deve ser colocado um reforço de montagem longitudinal com um diâmetro mínimo de 10 mm, devido à colocação de estribos e armado da viga.

13º Passo: Ao final, verifica-se a necessidade de colocar uma armadura de pele, que é calculada de acordo com a norma NBR 6118: 2014.

3.1.2 Viga Retangular (SEDIm – FU) para Celular

Para versão do celular todos cálculos e gráficos são iguais que na versão do computador, com exceção de que na versão do celular se apresentam 4 abas e não é possível obter o relatório no formato pdf.

Figura 3.8: Abas do software SEDIm-FU para celular.

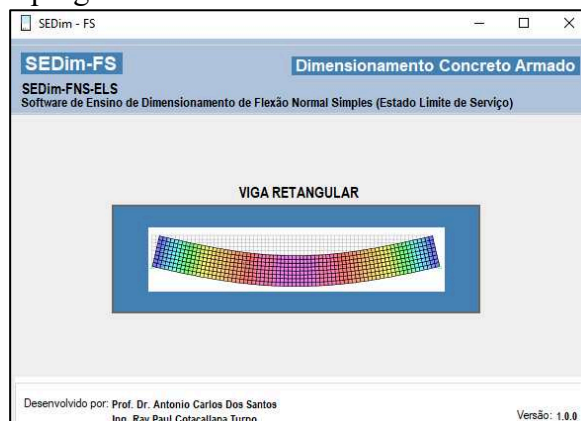


Fonte: Autor (2020).

3.2 VIGAS RETANGULARES NO ESTADO LIMITE DE SERVIÇO (SEDIm-FS).

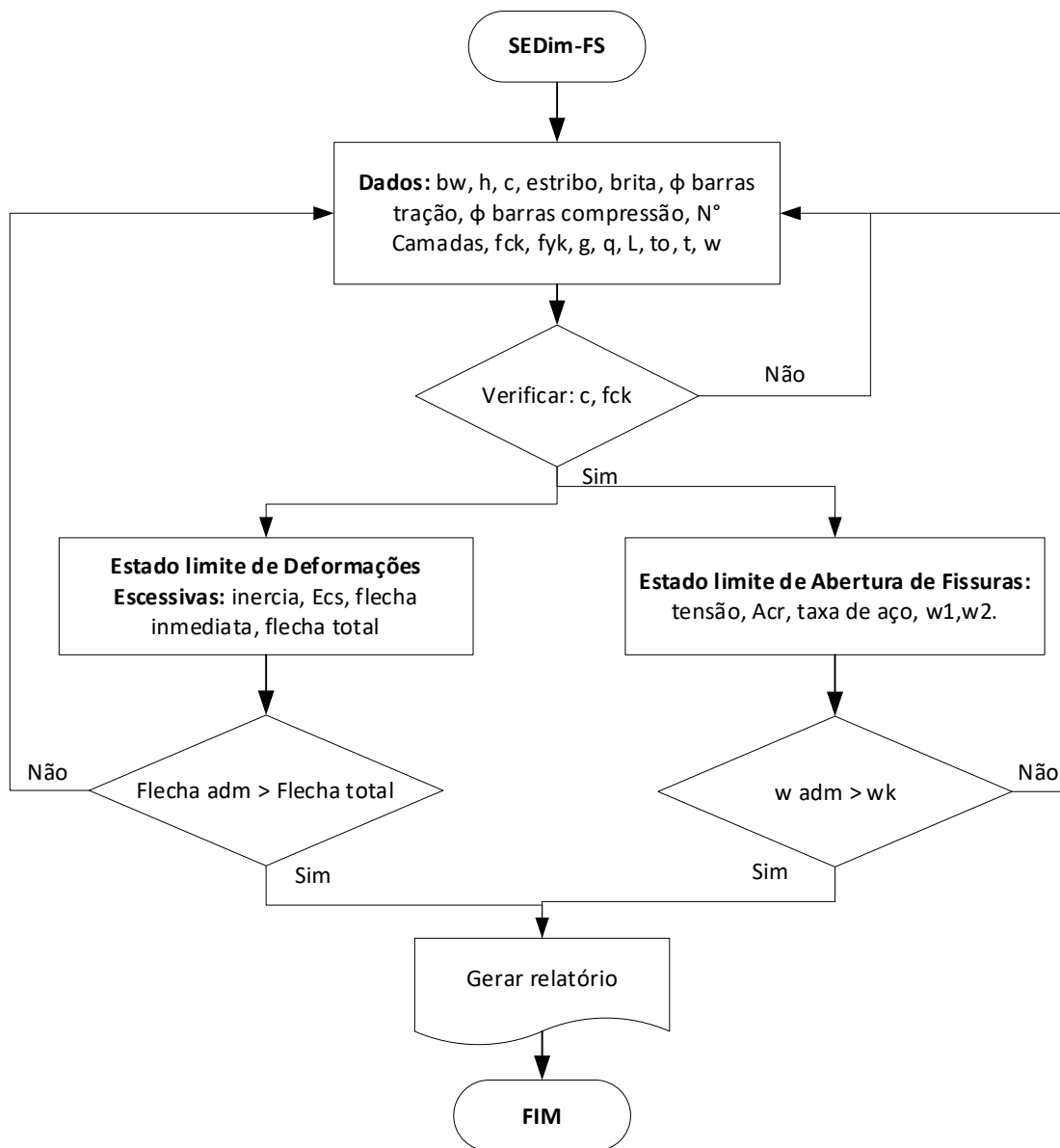
O software foi desenvolvido para computadores assim como para celulares atendendo a normativa ABNT NBR 6118:2014, para dimensionamento de vigas de seção retangular com qualquer classe de concreto de C20 até C90 (Figura 26). O software faz duas verificações que são o estado limite de deformações excessivas e abertura de fissura, no ingresso de dados tem a possibilidades de ingressar até 4 camadas para aço em tração e aço em compressão. A Figura 3.9 mostra a tela principal do programa.

Figura 3.9: Tela principal do programa SEDIm – FS.



Fonte: Autor (2020).

Figura 3.10: Fluxograma para dimensionamento de viga retangular.



3.2.1 Viga Retangular (SEDim – FS) para Computador

3.2.1.1 Aba de Dimensionamento

A Figura 3.11 mostra a tela de Viga Retangular onde três abas são exibidas: o primeiro é o dimensionamento de viga retangular para dimensionamento, o segundo mostra um relatório passo a passo do procedimento de cálculo e o terceiro mostra as informações gerais sobre o software. De acordo com a NBR 6118: 2014.

Figura 3.11: Tela para dimensionamento da viga retangular.

VIGA RETANGULAR

DIMENSIONAMENTO RELATORIO SOBRE

Propriedades Geométricas

bw (cm) 25
h (cm) 45
c (cm) 2.5
Estribo 6.3 mm
Brita 19mm

ØBarra 12.5 mm
#Camadas 2
Barras nas camadas 1° 5 2° 2 3° 0 4° 0

As = 8.61 cm²
d (cm) 40.32

ØBarra 6.3 mm
#Camadas 1
Barras nas camadas 1° 2 2° 0 3° 0 4° 0

A's = 0.62 cm²
d' (cm) 3.45

Propriedades Mecânicas

Concreto C20 f_{ck} = 20 (MPa)
Aço CA-50 f_{yk} = 500 (MPa)

Vão e cargas da viga biapoiada

g (KN/m) 15
q (KN/m) 10
L (m) 5

Critérios

t₀ (meses) 2 t (meses) 70 w (mm) 0.4 mm
Agress. Ambient. I

Resolver **SÍMBOLOS**

Valores de Cálculo

f_{ck} = 2.00 KN/cm² f_{yk} = 50.00 KN/cm²

Estado Limite de Deformações Excessivas

inercia I₁ = 189,843.75 cm⁴ inercia I₂ = 75,276.14 cm⁴
inercia Eq. = 89,370.10 cm⁴
Ecs = 2,128.74 KN/cm² α_e = 1.00
Flecha imediata = 0.770 cm
Flecha total = 1.64 cm < Flecha adm. = 2.00 cm OK!

Estado Limite de Abertura das Fissuras

σ_s = 21.38 KN/cm²
A_{cr} = 409.50 cm²
p_r = 2.10 %
w_k = 0.131 mm < w adm = 0.4 mm OK!

Fonte: Autor (2020).

Caixa de propriedades geométricas, neste campo se pode inserir as propriedades geométricas da viga, diâmetro de aço, número de barras em cada camada. As barras em tração que estão de cor azul e barras em compressão que são de cor vermelho. O cálculo de área de aço e altura útil são automáticas.

Caixa de propriedades mecânicas: Nesta seção deve-se escolher a classe de concreto e aço, além de escolher a classe de agressividade.

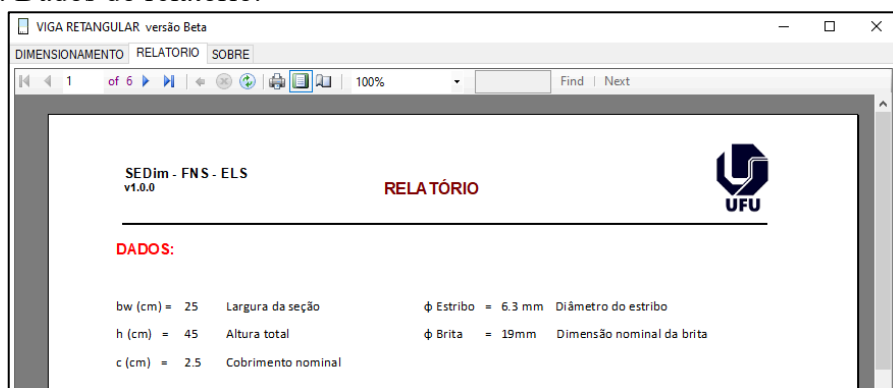
Caixa de vão de cargas da viga bi apoiada, nesta seção deve-se inserir as cargas permanentes, cargas variáveis, vão da viga, tempo “t₀” onde começa a atuar as cargas, tempo “t” na qual serão calculados a flecha máxima, e abertura de fissura limite de acordo com agressividade do ambiente.

Caixa de resultados ao clicar “Resolver” são apresentados os valores de cálculo do concreto e aço. Além são feitas duas verificações de estado limite de deformações excessivas e estado limite de abertura de fissuras.

3.2.1.2 Aba do Relatório

A Figura 3.12 apresenta o início do relatório onde se visualizam os dados inseridos na aba de dimensionamento.

Figura 3.12: Dados do relatório.



Fonte: Autor (2020).

Para verificação do estado limite de flechas os passos são:

O primeiro passo se determina os valores de cálculo como carga e momento de serviço além de apresentar as formulas para cálculo da altura útil.

O segundo passo se calcula o momento resistente e se faz uma comparação com o momento de serviço para saber se a viga está fissurada.

O terceiro passo onde se calcula o momento de inercia da seção fissura no estágio II, primeiro é calculado altura da linha neutra com esse valor e utilizando a formula de Branson é calculado a inercia equivalente.

O calculo de flecha imediata onde todos os valores necesarios para calcular a flecha devem ser inseridos em KN e metros, finalmente o programa mostra a flecha em metros e seu equivalente em centimetros. O cálculo da flecha diferida, refere-se ao cálculo da flecha gerada ao longo do tempo, neste caso em especifico foram 70 meses.

Para verificação do estado limite de abertura de fissuras os passos são:

O primeiro passo calcula-se a área de concreto crítica e a taxa de armadura relacionado com A_{cr} . No segundo passo são calculados a carga e momento fletor de combinação frequente.

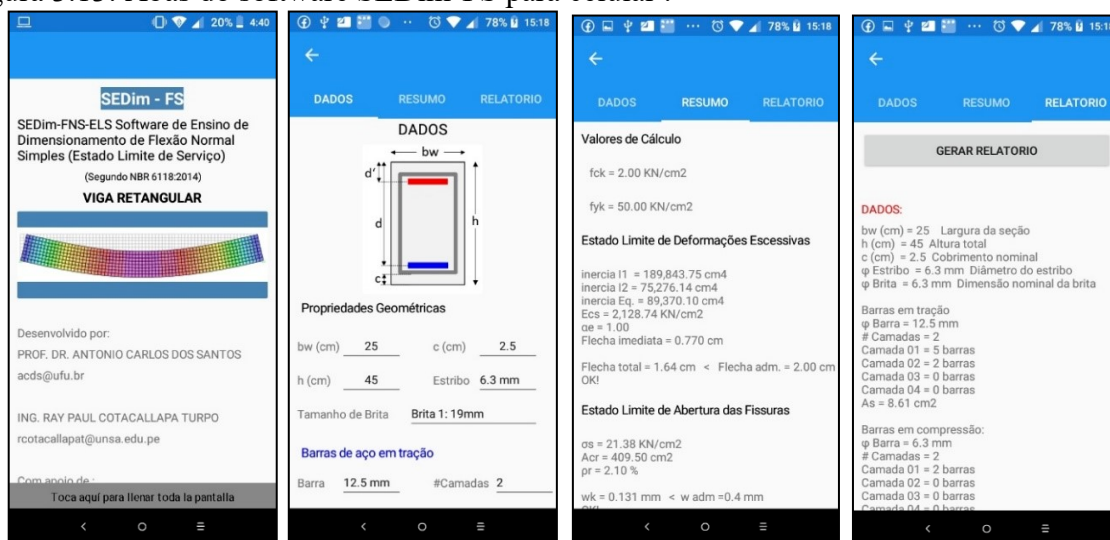
O cálculo de tensão aproximada das barras de aço que estão submetidas a tração.

O cálculo da abertura da fissura gerada na viga, de acordo com a norma NBR 6118:2014, são utilizadas duas formulas, para calcular o valor de “wk”, para depois escolher o máximo valor entre eles. Finalmente se faz uma comparação com a abertura limite “wadm”, se sair “INACEITAVEL” deve-se modificar as dimensões da viga ou melhorar as propriedades do concreto.

3.2.2 Viga Retangular (SEDim – FS) para Celular

Para versão do celular todos cálculos e gráficos são iguais que na versão do computador, com exceção de que na versão do celular não é possível obter o relatório no formato pdf. A Figura 3.13 apresenta todas as telas do aplicativo.

Figura 3.13: Abas do software SEDim-FS para celular .



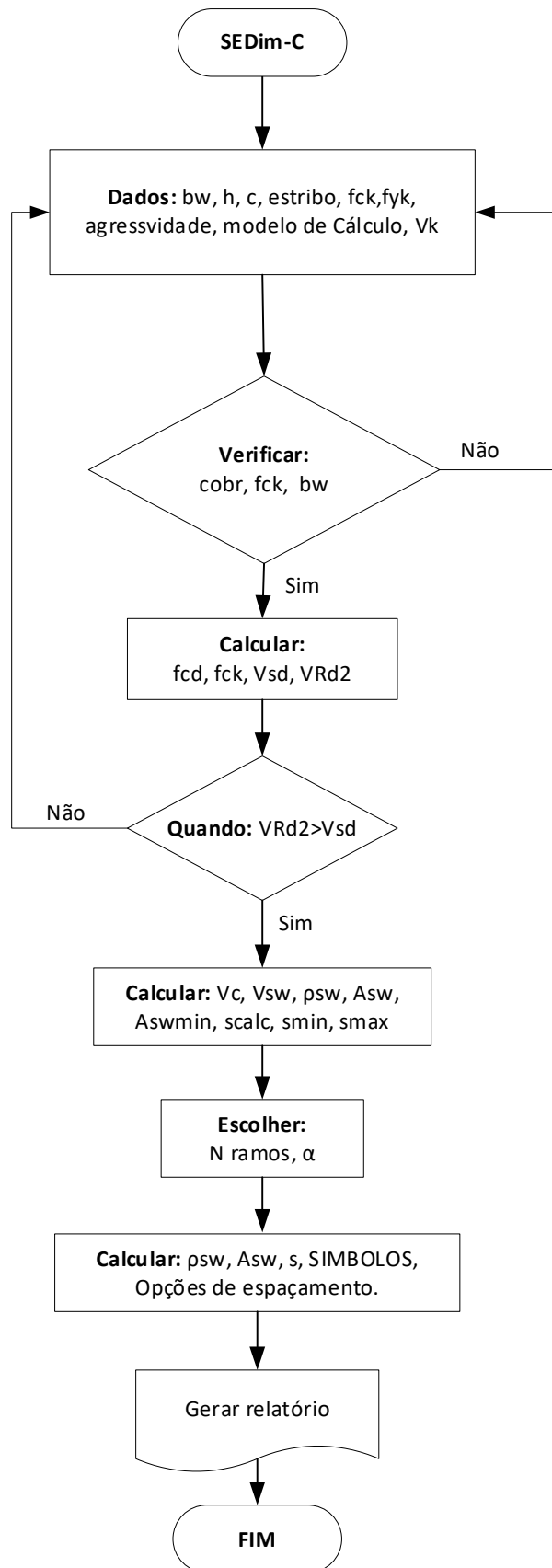
Fonte: Autor (2020).

3.3 DIMENSIONAMENTO AO CISALHAMENTO (SEDim-C).

O software foi desenvolvido para computadores assim como para celulares atendendo a normativa ABNT NBR 6118:2014, para dimensionamento de vigas de seção retangular com qualquer classe de concreto de C20 até C90 (Figura 3.15).

O software tem as possibilidades de escolher o modelo de cálculo para cisalhamento “Modelo I” e “Modelo II”, definir o ângulo de inclinação do estribo, definir número de ramos dos estribos até 4 ramos e com botão “Opções de espaçamento” visualizar o comprimento e espaçamento com vários tamanhos de diâmetro de estribo. A Figura 3.14 apresenta o fluxograma do programa.

Figura 3.14: Fluxograma para dimensionamento ao cisalhamento.



Fonte: O autor.

Figura 3.15: Tela principal do programa SEDim – C.



Fonte: Autor (2020).

3.3.1 Retangular (SEDim - C) para Computador

3.3.1.1.1 Aba de Dimensionamento

A Figura 3.16 mostra a tela de Viga Retangular onde três abas são exibidas: o primeiro é o dimensionamento de viga retangular para dimensionamento ao cisalhamento, o segundo mostra um relatório passo a passo do procedimento de cálculo e o terceiro mostra as informações gerais sobre o software. De acordo com a NBR 6118: 2014.

Figura 3.16: Tela para dimensionamento da viga retangular.

Fonte: Autor (2020).

Caixa de propriedades geométricas, neste campo se pode inserir as propriedades geométricas da viga, largura da viga “bw”, altura da viga “h”, cobrimento “c”, diâmetro do estribo “Estribo”, e altura útil “d” é calculada automaticamente com os dados anteriores supondo uma camada de aço longitudinal de 10mm de diâmetro. Além de ter a possibilidade de inserir um valor de “d” qualquer pelo usuário.

Caixa de propriedades mecânicas, neste campo se pode inserir a classe de concreto de C20 até C90, a classe de aço, os coeficientes de ponderação do concreto e aço, agressividade do ambiente, tem-se a possibilidade de calcular com o modelo de Cálculo I “Modelo I” ou Modelo de cálculo II “Modelo II”.

Caixa de cortante solicitante, neste campo deve-se inserir o valor do cortante característico e seu coeficiente de ponderação. Além se mostra o botão Resolver que ao clicar o programa dimensiona e mostra todos os resultados e elabora o relatório.

Caixa de cortante solicitante e valores de cálculo, neste campo se mostra o modelo de treliça utilizado, quando mudar os valores de alfa ou teta o gráfico também vai mudar mostrando esses ângulos na caixa. Na parte inferior se observam os valores de cálculo das tensões para o concreto e aço em unidades de KN/cm².

Caixa de resumo dos resultados, nessa seção está dividida em duas partes a primeira apresenta a verificação do esmagamento da biela de concreto onde se calcula o cortante solicitante V_{sd} e cortante resistente V_{Rd2} da biela de compressão de acordo com o modelo de cálculo, para depois fazer uma comparação se dar OK significa que o cortante resistente é maior que o solicitante caso contrário deve-se mudar as dimensões da viga. Na segunda parte da caixa apresenta a o cortante resistido pelo concreto V_c e o cortante que será resistido pelos estribos V_{sw} , caso o valor de V_{sw} der negativo, deve-se dispor apenas armadura transversal mínima.

Caixa de taxa, área e espaçamento de estribo, nessa seção se apresenta o estribo utilizado, a taxa de área de aço transversal calculado “ ρ_{sw} , α ”, taxa de aço transversal mínimo, área de aço transversal calculado “ A_{sw} ”, área de aço transversal mínimo, espaçamento de estribos calculado “ $s (A_{sw})$ ”, espaçamento de estribos mínimo “ $s (A_{smin})$ ” e espaçamento máximo de estribos “ s_{max} ”.

Caixa de seção transversal, nessa seção pode-se escolher o número de ramos do estribo que são de 2 ramos até quatro ramos.

Caixa de detalhamento, nessa seção pode-se escolher a inclinação da armadura transversal e em automático todos os cálculos serão atualizados. Mostra a taxa de aço final dos estribos ρ_{sw} , área de aço final dos estribos A_{sw} , espaçamento final dos estribos, apresenta um botão “SIMBOLOS” que ao clicar mostra a descrição de todos os símbolos utilizados e finalmente um botão “Opções de espaçamento” que ao clicar apresenta opções com diferentes diâmetros de estribos com seu espaçamento y comprimento.

3.3.1.2 Aba do Relatório

A Figura 3.17 apresenta o início do relatório onde se visualizam os dados inseridos na aba de dimensionamento.

Figura 3.17: Relatório.



Fonte: Autor (2020).

O primeiro passo que são os valores de cálculo das resistências do concreto e aço assim como o valor de cortante solicitante.

O segundo passo que é o cálculo da altura útil com uso da formula apresentada no relatório.

O terceiro passo apresenta as formulas necessárias para a verificação do estado limite último, que serão calculadas nos próximos passos.

O quarto passo que é a verificação diagonal do concreto de acordo com o modelo de cálculo escolhido, a verificação é feita em termo de forças e em termos de tensões.

O quinto passo que o cálculo da armadura transversal onde se apresentam as formulas e se calcula o cortante que deverá ser resistido pelos estribos. O cálculo da taxa de armadura principal que será utilizada para o cálculo da armadura transversal. O cálculo da área e espaçamento de armadura transversal, além disso são apresentados o número de ramos utilizado nos cálculos assim como o diâmetro de estribo escolhido.

O cálculo da quantidade mínima de estribos por metro de comprimento de viga, se armadura mínima fosse maior que a armadura calcula, deve-se dispor armadura mínima.

O espaçamento mínimo longitudinal entre estribos, se determina dependendo do tamanho da agulha do vibrador.

O cálculo do espaçamento máximo longitudinal dos estribos que depende do cortante solicitante “Vd” e do cortante resistente da biela comprimida “VRd”.

A Figura 3.18 apresenta o cálculo do detalhamento da armadura transversal, se apresenta o espaçamento efetivo e com a formula desenvolvida pelo autor é calculado o comprimento do estribo.

Figura 3.18: Detalhamento da armadura transversal.

6.4 Detalhamento da armadura transversal

Finalmente respeitando os espaçamentos máximos entre estribos deve-se dispor a armadura da seguinte maneira:

Comprimento do estribo $C = (h - 2c) \cdot 2 + (bw - 2c) \cdot 2 + 5\phi_t \cdot 2(n-1) + (h - 2c)(n-2)$

Onde: n: Número de ramos
 ϕ_t : Diâmetro do estribo

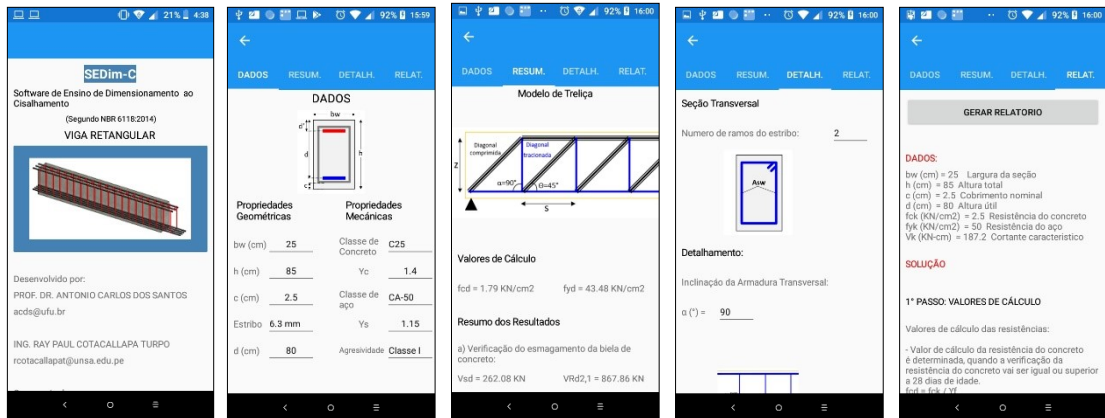
$\phi \ 6.3 \text{ mm} \quad c \ / \ 9 \text{ cm} \quad C = 206 \text{ cm}$

Fonte: Autor (2020).

3.3.2 Viga Retangular (SEDim - C) para Celular

Na versão do celular todos cálculos e gráficos são iguais que na versão do computador, com exceção de que na versão do celular não são gerados os diagramas de interação, apenas se mostram figuras referenciais, além disso se apresentam 4 abas e não é possível obter o relatório no formato pdf. A figura 3.19 apresenta todas as abas do aplicativo

Figura 3.19: Abas do software SEDim-C para celular .



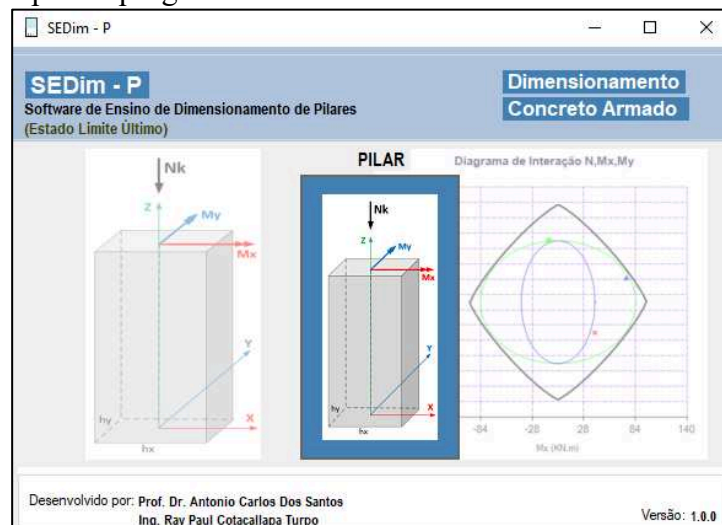
Fonte: Autor (2020).

3.4 DIMENSIONAMENTO DE PILARES (SEDim-P).

O software foi desenvolvido para computadores assim como para celulares atendendo a normativa ABNT NBR 6118:2014, para dimensionamento de vigas de seção retangular com qualquer classe de concreto de C20 até C90 (Figura 36).

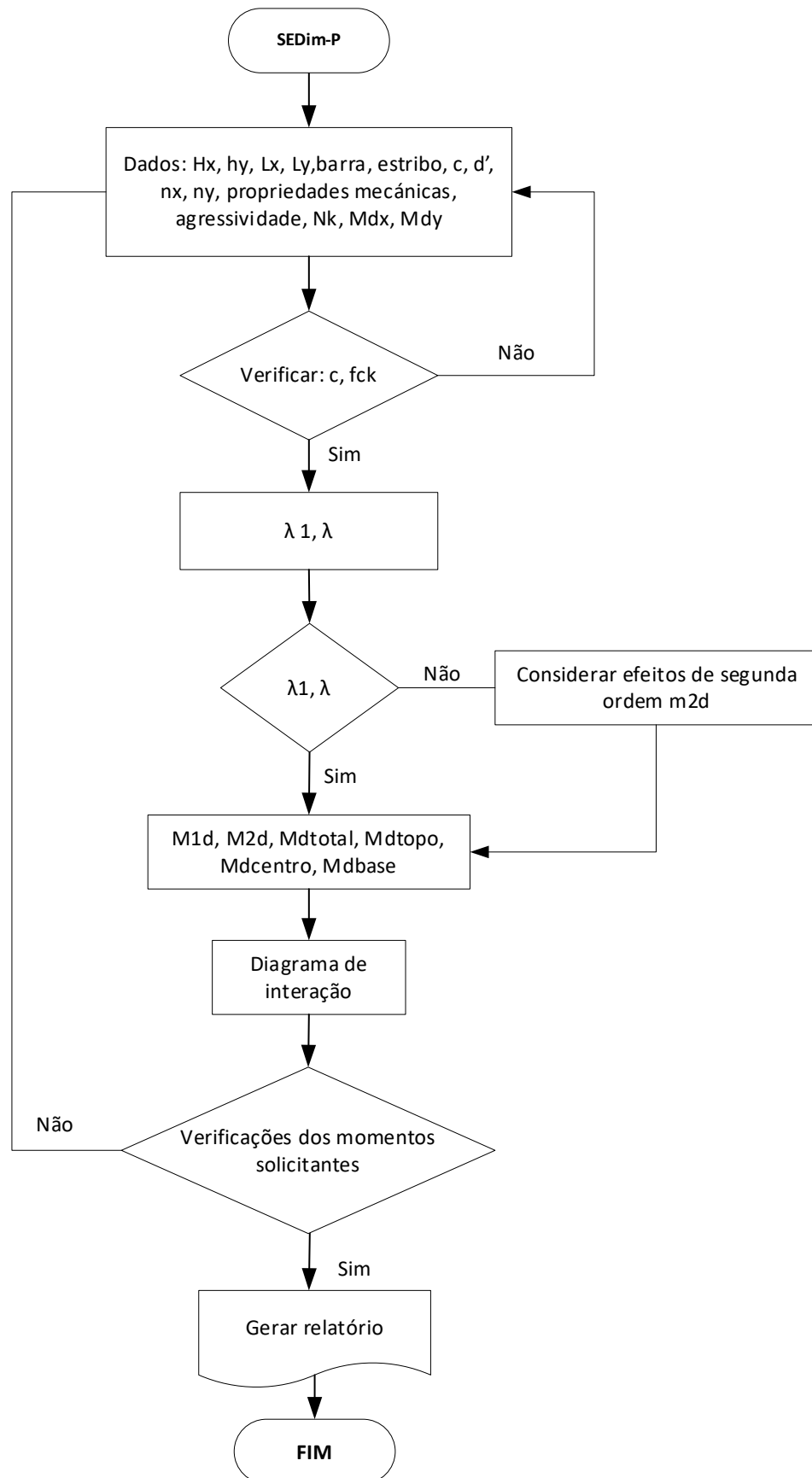
O software apresenta opções para escolher diferentes tipos de apoio assim como fazer um análise de momentos fletores em ambas direções além de calcular 3 diagramas de interação “Mx vs P”, “MY vs P” e “Mx vs My” neste último diagrama calcula as envoltórias de primer ordem e segundo ordem além dos momentos solicitantes no topo, centro e base do pilar, se os momentos solicitantes não são atendidos o programa sugere incrementar a área de aço ou as dimensões do pilar. A Figura 3.20 mostra a tela principal do programa para computador.

Figura 3.20: Tela principal do programa SEDim – P.



Fonte: Autor (2020).

Figura 3.21: Fluxograma para dimensionamento de pilares.



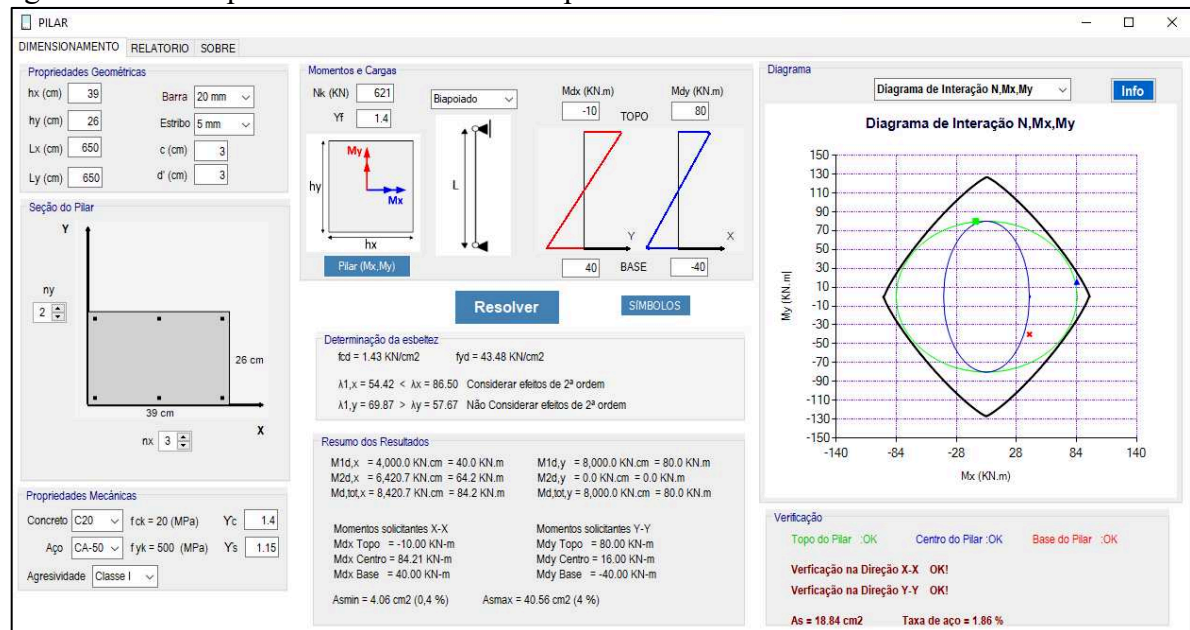
Fonte: O autor.

3.4.1 SEDim – P para Computador

3.4.1.1 Aba de Dimensionamento

A Figura 3.22 mostra a tela de viga retangular onde três abas são exibidas: o primeiro é o dimensionamento de pilares, o segundo mostra um relatório passo a passo do procedimento de cálculo e o terceiro mostra as informações gerais sobre o software. De acordo com a NBR 6118: 2014.

Figura 3.22: Tela para dimensionamento de pilares.



Fonte: Autor (2020).

3.4.1.2 Aba de Dimensionamento

Caixa de propriedades geométricas, neste campo se pode inserir as propriedades geométricas da viga, dimensões pilar nas duas direções “ h_x ” e “ h_y ”, altura do pilar nas duas direções “ L_x ” e “ L_y ”, diâmetro da barra longitudinal “Barra”, diâmetro do estribo “Estribo”, cobrimento c e altura útil “ d ”.

Caixa seção do pilar, neste campo deve-se inserir o número de barra em cada direção, o número mínimo de barras são duas.

Caixa propriedades mecânicas, neste campo deve-se inserir a classe de concreto de C20 até C90, a classe de aço, os coeficientes de ponderação do concreto e aço e agressividade do ambiente.

Caixa momentos e cargas, neste campo deve-se inserir a carga característica “Nk”, seu coeficiente de ponderação “Yf”, o tipo de apoio do pilar, os momentos solicitantes nas direções “Mdx” e “Mdy”. Os gráficos são atualizados automaticamente, finalmente ao clicar o botão “Resolver” são gerados os resultados e o relatório, ao clicar botão “SIMBOLOS” mostra todos os símbolos utilizados com a descrição.

Caixa determinação de esbeltes, nesta seção são calculados os valores de esbeltes para ser comparados a fim de saber se devem ser considerados os efeitos de segunda ordem.

Caixa resumo de resultados, nesta seção são apresentados os momentos solicitantes de primer ordem M1d, o momento solicitante de segunda ordem “M2d”, o momento total “Md, tot” para as duas direções.

Caixa Diagrama, nesta seção é mostrada as envoltórias dos momentos nas duas direções. A envoltória azul é dos momentos da primeira ordem, a envoltória de cor verde é de segunda ordem e a envoltória de cor preto é o momento resistente. Além disso são apresentados os momentos solicitantes como pontos tanto na base, do centro e topo do pilar. Para atender os requerimentos da norma tudo deve estar dentro na envoltória resistente de cor preto.

Caixa verificação, nesta seção é mostrada as verificações para os momentos solicitantes no topo, centro e base do pilar. Verificações na direção X e Y e finalmente é apresentado a área de aço adotado.

3.4.1.3 Aba do Relatório

A Figura 3.23 mostra o início do relatório como os dados necessários para o dimensionamento do pilar.

Figura 3.23: Verificação dos resultados.

SEDim - P

v1.0.0

RELATÓRIO



DADOS:

h_x (cm) = 20	Dimensão X do pilar	N_k (kN) = 820	Esforço normal
h_y (cm) = 50	Dimensão Y do pilar	$M_{d,A,x}$ (kN.m) = 20	Momento X no topo
L_x (cm) = 280	Altura X do pilar	$M_{d,B,x}$ (kN.m) = -20	Momento X na base
L_y (cm) = 280	Altura Y do pilar	$M_{d,A,y}$ (kN.m) = 17	Momento Y no topo
c (cm) = 2.5	Cobrimento nominal	$M_{d,B,y}$ (kN.m) = -17	Momento Y na base
d' (cm) = 3	Altura útil		

Fonte: Autor (2020).

O primeiro passo que são os valores de cálculo para o concreto, aço e força axial atuante no pilar.

O segundo passo que é o cálculo do índice de esbeltes do pilar.

O terceiro passo onde mostra o procedimento para cálculo dos momentos mínimos que devem ser atendidos no pilar.

O quarto passo onde mostra o procedimento para cálculo da esbeltes limite do pilar, se essa esbeltes limite fosse menor que a esbeltes do pilar deve-se considerar os efeitos de segunda ordem.

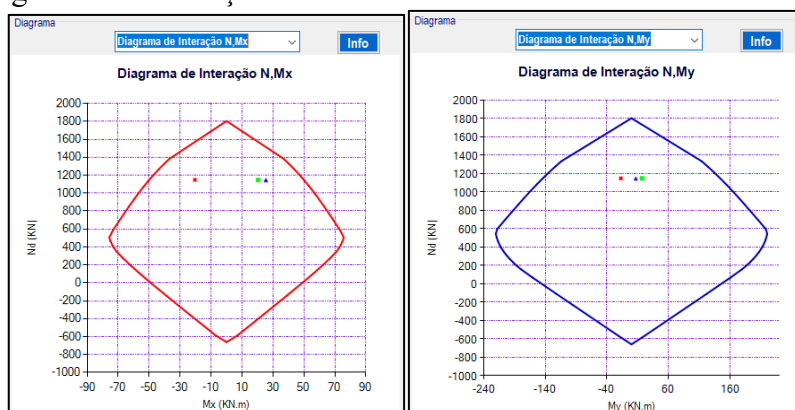
O quinto passo onde mostra o procedimento para cálculo momento de segunda ordem pelo método do pilar padrão com curvatura aproximada, são apresentadas todas as formulas necessárias para o cálculo.

O sexto passo onde mostra o procedimento para cálculo do momento solicitante no topo, centro e base do pilar. Para o momento do topo ou base somente serão considerados o máximo entre o momento de primeira ordem e momento mínimo, mas para o momento solicitante do centro deve-se utilizar as formulas apresentadas no relatório.

Os diagramas de interação foram calculados utilizando o arranjo da armadura do pilar e fazendo equilíbrio de forças e momentos, variando altura da linha neutra se conseguiu determinar uma serie de pontos que ao ser unidos forma a curva de interação.

A Figura 3.24 apresenta os diagramas de interação de momento versus carga axial, gerados pelo programa.

Figura 3.24: Diagramas de interação.

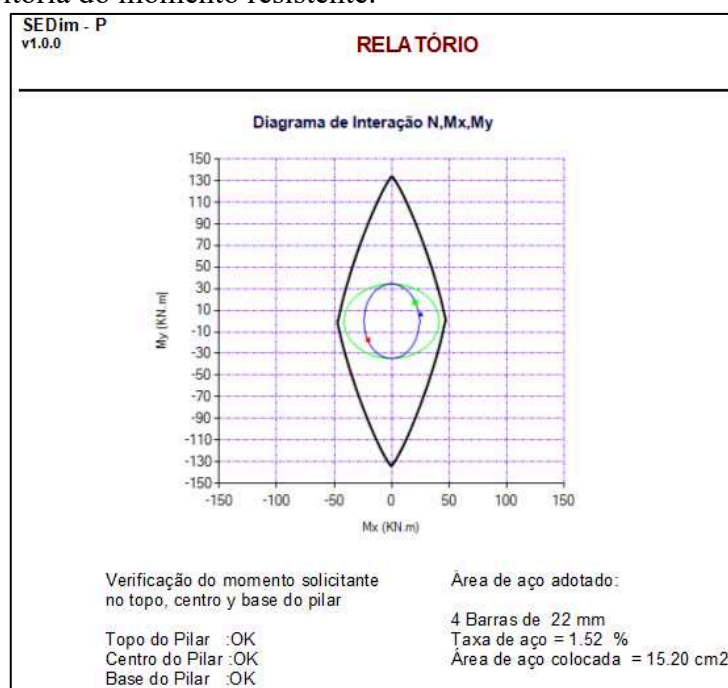


Fonte: Autor (2020).

A envoltória do momento resistente, a formula para gerar o gráfico da elipse com coeficiente diferente a 2 que depende da forma do pilar é apresentada no relatório.

A Figura 3.25 apresenta todas as envoltórias dos momentos para depois verificar se atende os momentos solicitante neste caso todos os valores são atendidos “OK”. Finalmente são apresentados o número de barras utilizados com seu respectivo diâmetro, a taxa e área de aço adotado.

Figura 3.25: Envoltoria do momento resistente.

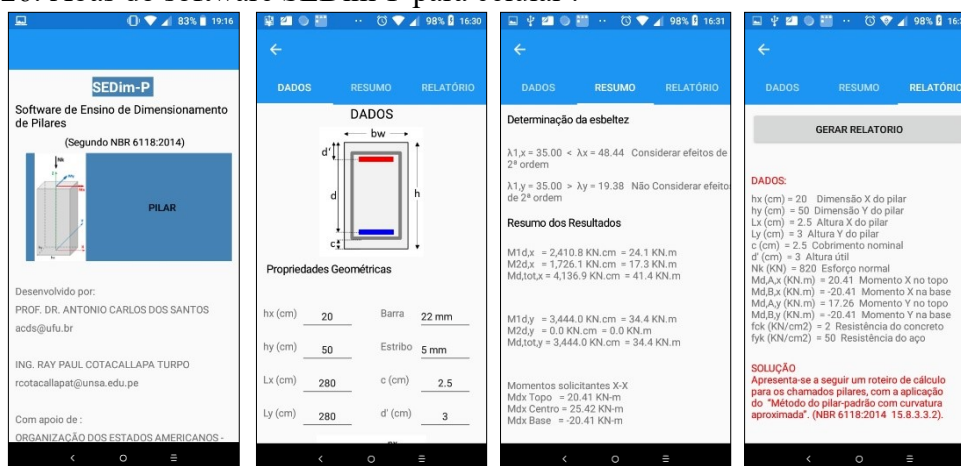


Fonte: Autor (2020).

3.4.2 SEDim – P para Celular

No caso do software desenvolvido para pilares a diferença com a versão do computador é que não gera os diagramas de interação, apenas mostra um gráfico referencial. Porém, atende todos os cálculos como na versão do computador. A Figura 3.26 mostra todas a abas do aplicativo.

Figura 3.26: Abas do software SEDim-P para celular .



Fonte: Autor (2020).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

4.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de software desenvolvido desde o ponto de vista pedagógico para uso em computador e celular, que são utilizados para auxiliar ao aluno a construir o conhecimento e compreender o dimensionamento, representa uma chance para transformar a educação, resultando um aluno com capacidade crítica.

Os softwares desenvolvidos para computadores e celulares na linguagem de programação C # e Xamarin, responde apropriadamente à resolução de problemas para: vigas submetidas a flexão normal simples, cisalhamento e pilares. Todos os softwares elaboram um relatório do procedimento de cálculo passo a passo.

Os programas SEDim-FU, SEDim-FS, SEDim-C e SEDim-P estão disponibilizados neste site:

<<https://raypct.wixsite.com/sedim>>

4.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

São feitas as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- Implementar no software a análise estrutural para depois obter os valores da análise e dimensionar os elementos estruturais;
- Implementar no software a possibilidade de elaborar desenhos dos elementos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR Marlene; SANTOS Tatiana. **Informática Educativa**. Licenciatura em educação profissional científica e tecnológica. Fortaleza: UAB/IFCE, 2015.

ARAUJO, José Milton de. **Programas para dimensionamento e verificação de concreto armado**. Rio Grande: Dunas: Dunas. 2014.

ASSIS, W. S. Utilização de recursos multimídia no ensino de concreto armado e protendido. Tese (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 6118: Projetos de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro. 2014, 238 p.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Dimensionamento de vigas de concreto armado à força cortante**. São Paulo: UNESP, 2017.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Flexão normal simples-vigas**. São Paulo: UNESP, 2019.

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

BELHOT, R. V. **Reflexões e propostas sobre o “ensinar engenharia” para o século XXI**. 116 f. Tese, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

BIJKER, W. E. ¿Cómo y por qué es importante la tecnología? p. 19–53, 2005. Disponível em: <<https://ridaa.unq.edu.ar/bitstream/handle/20.500.11807/578/02-R2005v11n21.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 8 mar. 2019.

BRIZ-PONCE, L. et al. Learning with mobile technologies–Students’ behavior. **Computers in Human Behavior**, Salamanca, ELSEVIER, v. 72, n 1, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.05.027>

BUENO, Suely; KIMURA, Alio. **ABNT NBR 6118:2014 Comentários e Exemplos de Aplicação**. 1a ed. São Paulo: IBRACON, 2015.

CABERO Julio Almenara. Reflexiones educativas sobre las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). **Tecnología, Ciencia y Educación**, n.1, p. 19-27, 2015.

CABERO, Julio Almenara et al. **Realidad Aumentada y Educación**. Octaedro. Barcelona, 2016.

CAKMAK, E.; YILMAZ, S. M. E-learning from the Perspective of Right to Education. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 116, n. 1 p. 426-430, 2014.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.234>

CAMPOS, Américo Filho. **Estados Limites de Serviço em Estruturas de Concreto Armado**. Porto Alegre: UFRGS, 2014.

CAÑIZÁLEZ, P. C. T.; BELTRÁN, J. K. C. Tecnología educativa y su papel en el logro de los fines de la educación. **Educere**, v. 21, n. 68, p. 31-40, 2017.

CEGARRA, J. S. **Metodología de la Investigación Científica y Tecnológica**. Madrid, Díaz de Santos, 2004.

CHARY, V. R. TELEMÓDE – A Proposal towards Technology Enhanced Learning, Engineered with MOBILE DEVICES. **Procedia Computer Science**, v. 34, n. 1, p. 583-586, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.07.076>

CINGI, C. C. Computer Aided Education. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 103, n. 1, p. 220-229, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.329>

COBO, J. The Information Technologies Concept, Benchmarking of ICT Definitions in the Knowledge Society. *Zer: Revista de Estudios de Comunicación*, México, v. 14, n 17, set. 2009.

COLOMBO, A. B.; ASSIS, W. S.; BITTENCOURT, T. N. Uma ferramenta didática para o dimensionamento e detalhamento de pilares de concreto armado. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 4, n. 3, p. 481-500, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952011000300007>

COSMO R. P. **6118 Tool: um aplicativo para o projeto de estruturas de concreto no conceito “mobile learning”**. Tese (Graduação) - Universidade Federal do Espírito Santo, 2019.

COSMO R. P. **6118 TOOL: Um aplicativo para o projeto de estruturas de concreto no conceito “mobile learning”**. Tese (Graduação) – Universidade Federal do Espírito Santo, 2019.

COSTA L. A. et, al. Elaboração de um software de dimensionamento para laje de concreto armado conforme a NBR 6118: **XIII SIMEC Simpósio de Mecânica Computacional**, 2014.

COSTA, L. A.; HERNADORENA C. H.; MOURA M. W.; REAL M. V. **Elaboração de um software de dimensionamento para laje de concreto armado conforme a NBR 6118: 2014**. In: XIII SIMMEC Simpósio de Mecânica Computacional. Vitória, 2018.

CÓZAR-GUTIÉRREZ, R. et al. Conocimiento y Uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) según el Estilo de Aprendizaje de los Futuros Maestros. **Formación universitaria**, v. 9, n. 6, p. 105-118, 2016. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062016000600010>

DA SILVA, B. C. Desenvolvimento de software para dimensionamento de seções de concreto armado retangulares e T submetidas à flexão normal simples e composta. Tese (Graduação) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.

DE AQUINO V. R. D. **Programa para dimensionamento de reforço à flexão e ao cisalhamento de vigas de concreto armado**. 2004. Tese (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

DE ARAÚJO J. M. Programa para dimensionamento e verificação de concreto armado, 1.ed. Rio Grande: **Dunas**, 2018.

DE LA CRUZ, J. **Software educativo para la automatización del análisis no lineal estático pushover en estructuras de concreto armado**. Tese (Mestrado) – Pontificia Universidad Católica del Peru. 2018.

DOS SANTOS D. M.; GIACOMAZZO G. F. Dispositivos Móveis Na Educação: Reflexões A Partir De Pesquisas No Contexto Escolar. **Revista Saberes Pedagógicos**, v. 3, n. 2, p. 277-303, 2019. <https://doi.org/10.18616/rsp.v3i2.5107>

DURIGAN G.; PORTELLA, R. W. **Desenvolvimento de aplicativo para dimensionamento de elementos em concreto armado**. Tese (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

EBNER, M.; WALDER, U. E-Learning in Civil Engineering – Six Years of Experience at Graz University of Technology. **Bringing ITC Knowledge to work**, v. 1, n. 1, p.749-754, 2007.

FACCIO L.; BASTOS P. S. B. Desenvolvimento de Material Multimídia para Dimensionamento de Vigas à Flexão Simples, ao Esforço Cortante e à Torção: **XXXV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia – COBENGE 2007**

FACCIO L.; BASTOS P.S.S. **Desenvolvimento de material multimídia para dimensionamento de vigas a flexão simples, ao esforço cortante e a torção**. In: XXXV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia COBENGE, 2007.

FERNANDES A. V. B.; CORREA V. C.; OLIVEIRA C. G. Programa computacional para o dimensionamento de vigas retangulares de concreto armado conforme a NBR 6118: 2014. **Ciências exatas e tecnológicas, Aracaju**, v. 4, n. 1, p. 35-52, março 2017.

FREITAS J. A. **Desenvolvimento de aplicativo computacional para cálculo da armadura à flexão de vigas**. Tese (Graduação) – Centro Universitário Luterano de Palmas, 2017.

GARRONI E. L. **Atualização da ferramenta computacional para cálculo, verificação e detalhamento de seções transversais de concreto armado submetidas à flexão normal (uni) de acordo com a nbr 6118: 2014** Tese (Graduação) - Centro Universitário do Sul de Minas - UNIS/MG, 2014.

GIORDAN, M.; GOIS, J. Entornos virtuales de aprendizaje en química: una revisión de la literatura. *Educación química*, México, UNAM, v. 20, n 3, 2009. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30030-2](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30030-2)

GOMES, S. C. **Teorias de aprendizagem em matemática: um estudo comparativo à luz da Teoria da Objetificação**. Tese (Mestrado) -. Universidade Tecnológica Rio Grande do Norte, 2016.

GRANDE, M., CAÑON, R., e CANTÓN, I. Tecnologías de la Información y la Comunicación: Evolución del Concepto y Características. **Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica**. Guadalajara, IJERI, v. 1, n. 1, maio. 2016.

GUERRERO M, A. J. Moodle como herramienta educativa en el proceso de enseñanza-aprendizaje del alumnado de Formación Profesional Básica de la Ciudad Autónoma de Ceuta. 2016.

HAMITI, M.; REKA, B. Teaching with Technology. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 46, n. 1, p. 1171-1176, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.05.269>

HERNÁNDEZ M. E. H. **La integración de las TIC como vía para optimizar el proceso enseñanza-aprendizaje en la educación superior en Colombia**, Tese (Doutorado) - Universidad de Alicante, 2018.

JIMÉNEZ-SAAVEDRA, S. A. Tecnología educativa: campos de formación y perfil diferencial. *Revista iberoamericana de educación superior*, v. 5, n 14, 2014. [https://doi.org/10.1016/S2007-2872\(14\)70304-X](https://doi.org/10.1016/S2007-2872(14)70304-X)

LINDQUIST, M.; DE PAIVA J. B. **Aplicativo windows para análise e dimensionamento de pórticos planos em concreto armado**. *Cadernos de Engenharia de Estruturas*, São Carlos, v. 10, n. 43, p. 123-145, 2008.

LOPES, F. J. et al. **Teorias da aprendizagem construtivistas: uma proposta de ensino utilizando ambientes virtuais de ensino aprendizagem para propor uma abordagem construtivista no ensino presencial**. Tese (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica – São Paulo, 2013.

LÓPEZ J. C. M. **La tecnología educativa interdisciplinaridad curricular en los estudiantes de sexto, séptimo, octavo, noveno y décimo años de educación básica de la Unidad Educativa Suizo**, Tese (Mestrado) - Universidad Técnica de Ambato, 2016.

MANSILLA, D. S., MUSCIA, G. C. UGLIAROLO, E. A. Campus Virtual y Facebook en el ámbito universitario ¿Enemigos o aliados en los procesos de enseñanza y aprendizaje? *Educación química*, Buenos Aires, ISSNE v. 24, n 2, 2013. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(13\)72470-4](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72470-4)

MARCO F. J. V. **Influencia de los multimedia (TIC-TAC) en el proceso enseñanza/aprendizaje**, Tese (Doutorado) - Universidad Politécnica de Cataluña. 2016.

MARQUES, N. L. R. **Teorias de Aprendizagem. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense Campus Pelotas–Visconde da Graça Coordenadoria de Cursos Superiores**, 2013.

MERINO, C., et al. Realidad aumentada para el diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje en química. *Educación química*, Valparaíso, Creative Commons, v. 26, n 2, Nov., 2015. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.04.004>

MEŽA, S.; TURK, Ž.; DOLENC, M. Measuring the potential of augmented reality in civil engineering. **Advances in Engineering Software**, v. 90, n. 1, p. 1-10, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2015.06.005>

MOREIRA, M. A. Manuel. **Introducción a la tecnología educativa: manual electrónico**. Santa Cruz de Tenerife, Creative Commons, 2008.

MORENO G. A. J. **Moodle como herramienta educativa en el proceso de enseñanza-aprendizaje del alumnado de Formación Profesional Básica de la Ciudad Autónoma de Ceuta. 445 f.** Tese (Doutorado) - Departamento de Didáctica, Organización Escolar y Didácticas Especiales, Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2015.

MOSA, A. M. et al. An Educational Knowledge-based System for Civil Engineering Students in Cement Concrete Construction Problems. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 102, n. 1, p. 311-319, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.745>

NETO J. P.; DO COUTO L. F. M. **Aplicativo educacional para o dimensionamento de concreto armado**. In: XXXVII Iberian Latin American Congress in Computational Methods in Engineering. Brasília, 2016.

OLIVER, M. What is technology. **Wiley handbook of learning technology**, p. 35-57, 2016. <https://doi.org/10.1002/9781118736494.ch3>

ORTEGA, J.; VICENTE e PEREZ. **Conceptos Generales de la Tecnología**, p. 1–59, 1989. Disponível em: < http://edii.uclm.es/~jmlova/Archivos/IIA/Archivos/IIA_Tecnologia.pdf>. Acesso em: 5 Jan. 2019.

PASSOS, D. S.; VENEGA, V. S.; ROCHA, R. L. Softwares para suporte no ensino de engenharia civil: Um mapeamento sistemático dos seus usos nas instituições brasileiras. **CEREUS**, Brasil v. 9, n. 4, p. 2-18, Ago./Dez., 2017. <https://doi.org/10.18605/2175-7275/cereus.v9nep2-18>

PAZ, L. G. A.; VERA, P. R. B. Una aproximación teórico conceptual a la tecnología educativa. **Dominio de las Ciencias**, v. 3, n. 3, p. 657-675, 2017.

PUELLO J. J. J. **Estudio sobre los estándares TIC en educación en los futuros docentes de la Facultad de Educación de la Universidad Complutense de Madrid**. Tese (Doutorado) - Universidad Complutense de Madrid. 2015.

RACANICCHI, R.; DE SOUZA, E. F.; ALBERTINI, M. M. Análise dos procedimentos para o dimensionamento de vigas de concreto armado: uma ferramenta de ensino. **XIII Congresso brasileiro de Ensino de Engenharia**, 2005.

RODRIGUES, G. C.; DIAS, R. C. O.; MENDES, C. J. Automatização do dimensionamento de vigas em seção “T” em concreto armado submetidas à flexão simples. **Revista Eletrônica Organizações e Sociedade**, v. 7, n. 7, p. 5-22, 2018. <https://doi.org/10.29031/ros.v7i7.348>

SALINAS, P. et al; The Development of a Didactic Prototype for the Learning of Mathematics Through Augmented Reality. **Procedia Computer Science**, v. 25, n. 1, p. 62-70, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.11.008>

SALSA, T.; FELTRIN, C. F.; MULLER, M. F.; MEIRA, F. E.; HUBER, N. H. M. Aplicativo didático de dimensionamento de armaduras em estruturas de concreto armado. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, n. 10, 2018.

SAMPAIO, A. Z. et al. Virtual Reality Applied on Civil Engineering Education: Construction Activity Supported on Interactive Models. **International Journal of Engineering Education**, v. 29, n. 6, p. 1331-1347, 2013.

SARABANDO, C.; CRAVINO, J. P.; SOARES, Armando A. Contribution of a Computer Simulation to Students’ Learning of the Physics Concepts of Weight and Mass. **Procedia Technology**, v. 13, n. 1, p. 112-121, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.02.015>

SARRAB, M. M-learning in Education: Omani Undergraduate Students Perspective. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 176, n. 1, p. 834-839, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.547>

SILVA, Leonardo Martins. **Programa computacional para análise e verificação de seções de concreto armado e protendido com flexão oblíqua composta**. Tese (Mestrado) - Universidad Federal de São Carlos, 2015.

SMITH, J.W. Using computers to teach structural analysis. **Computers and Education**, v. 1, n. 1, p. 101-105, 1984. [https://doi.org/10.1016/0360-1315\(84\)90058-7](https://doi.org/10.1016/0360-1315(84)90058-7)

TARDIVO F.G.; BASTOS P. S. B. Desenvolvimento de recursos multimídia para cálculo e detalhamento de pilares de concreto armado. **XXXV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia – COBENGE 2007**

UGLIAROLO, E. A., MUSCIA, G. C. Utilización de tecnología multimedia para la enseñanza de estereoquímica en el ámbito universitario. *Educación química*, Buenos Aires, SSNE, v. 23, n. 1, 2012. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30091-5](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30091-5)

VALENTE, J. A. Análise dos diferentes tipos de softwares usados na Educação. In. VALENTE, JA (org.). **O computador na sociedade do conhecimento**. Campinas: NIED/UNICAMP, 1999.

VALENTE, J.A. Blended Learning e as Mudanças no Ensino Superior: a proposta da sala de aula invertida. **Educar em Revista (Impresso)**, Curitiba, UFPR, v. Especial 4, n. 1, 2014. <https://doi.org/10.1590/0104-4060.38645>

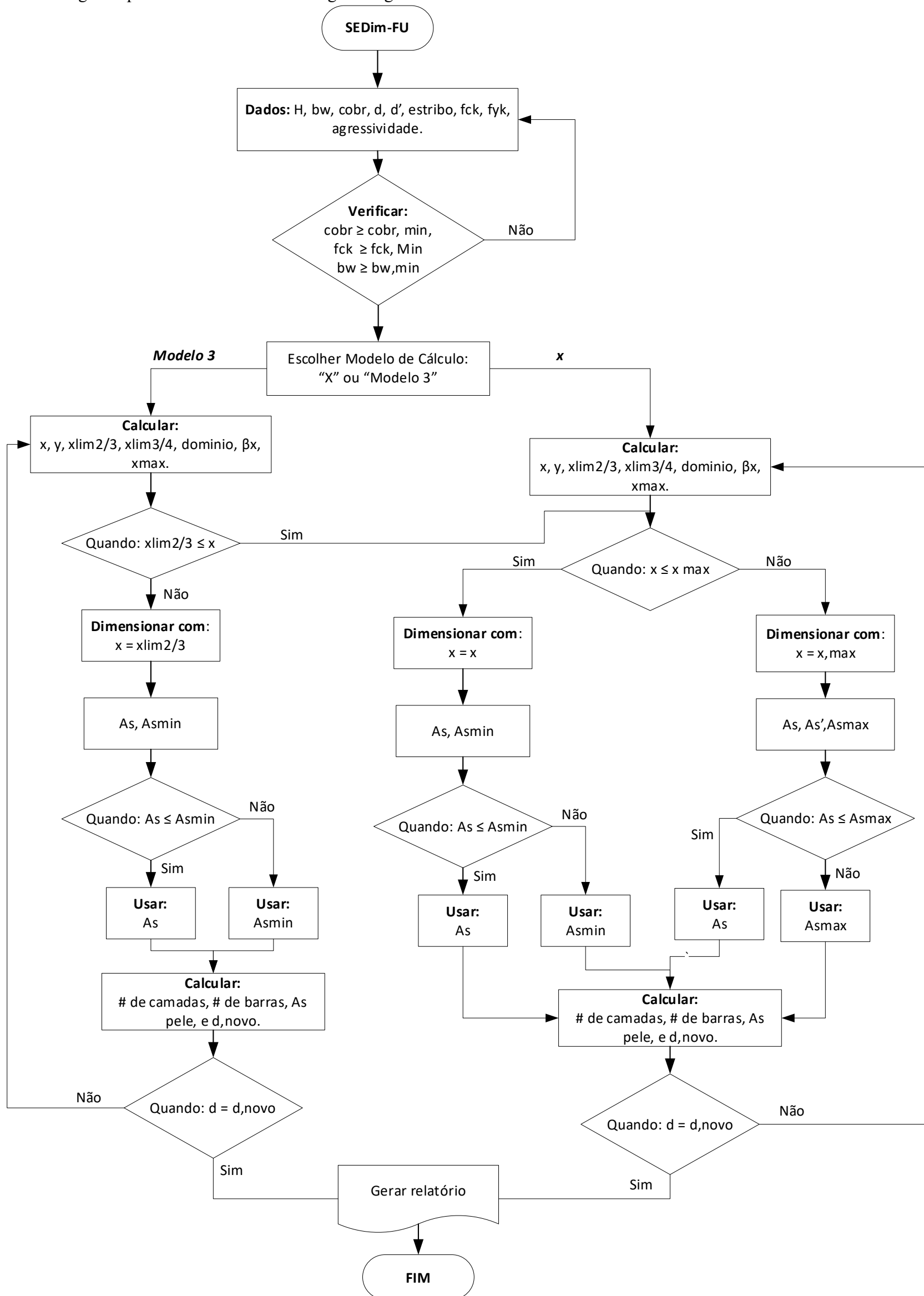
VIANA, R. D. A. **Programa para dimensionamento de reforço à flexão e ao cisalhamento de vigas de concreto armado**. Tese (Graduação) –Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2004.

VIEIRA, F. M. S. Classificação de softwares educacionais. **Mídias na Educação**, v. 12, n. 1, p. 1-3, 2015.

VIRGOLINO P. M.; NETO J. P. Desenvolvimento de aplicativos para o ensino de estruturas de concreto, Mauá, 2016. Disponível em: < <https://maua.br/files/032015/desenvolvimento-de-aplicativos-para-o-ensino-de-estruturas-de-concreto.pdf>>. Acesso em: 17 maio. 2020.

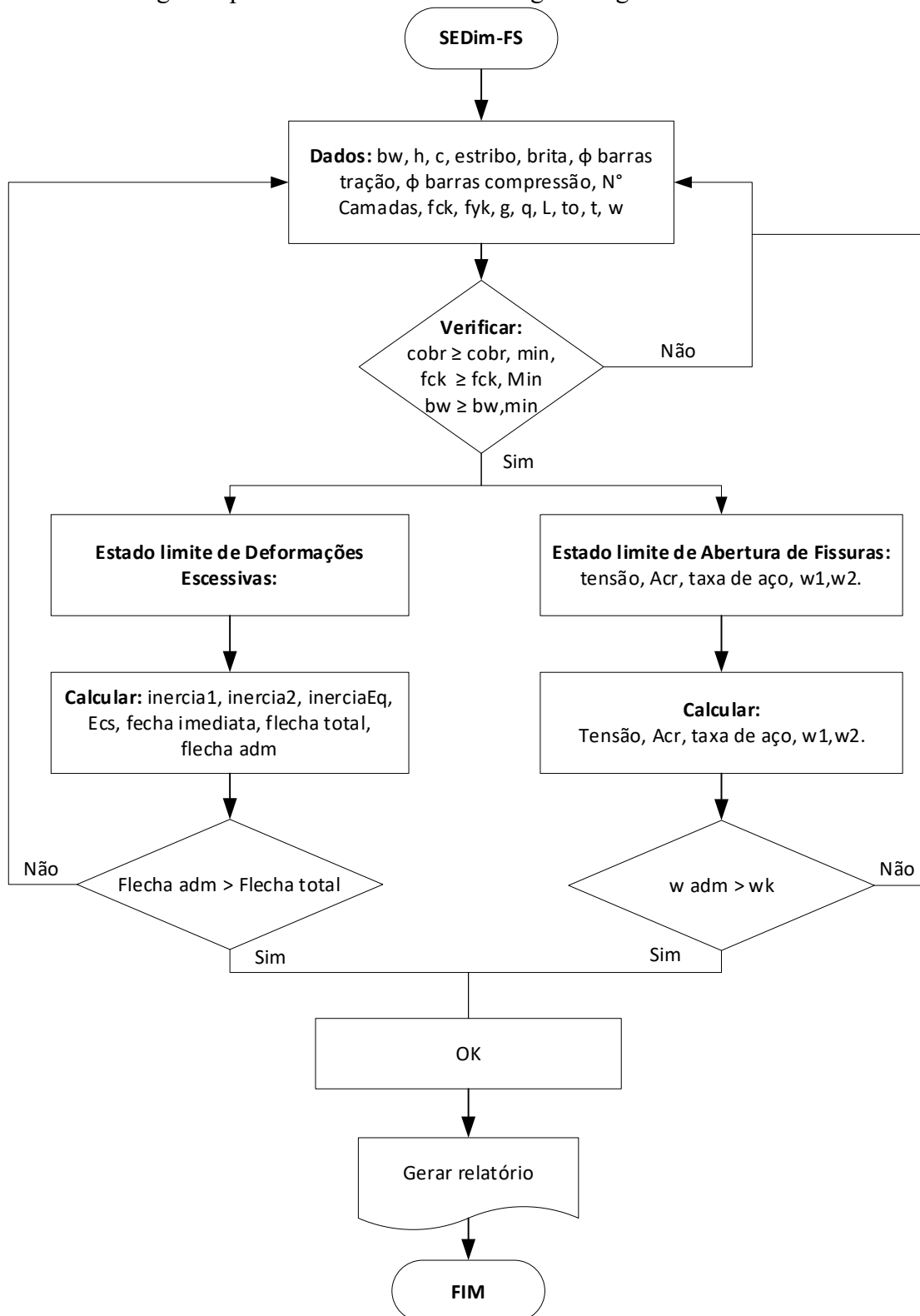
APENDICE A – FLUXOGRAMAS

Figura A.1: Fluxograma para dimensionamento de viga retangular no estado limite último.



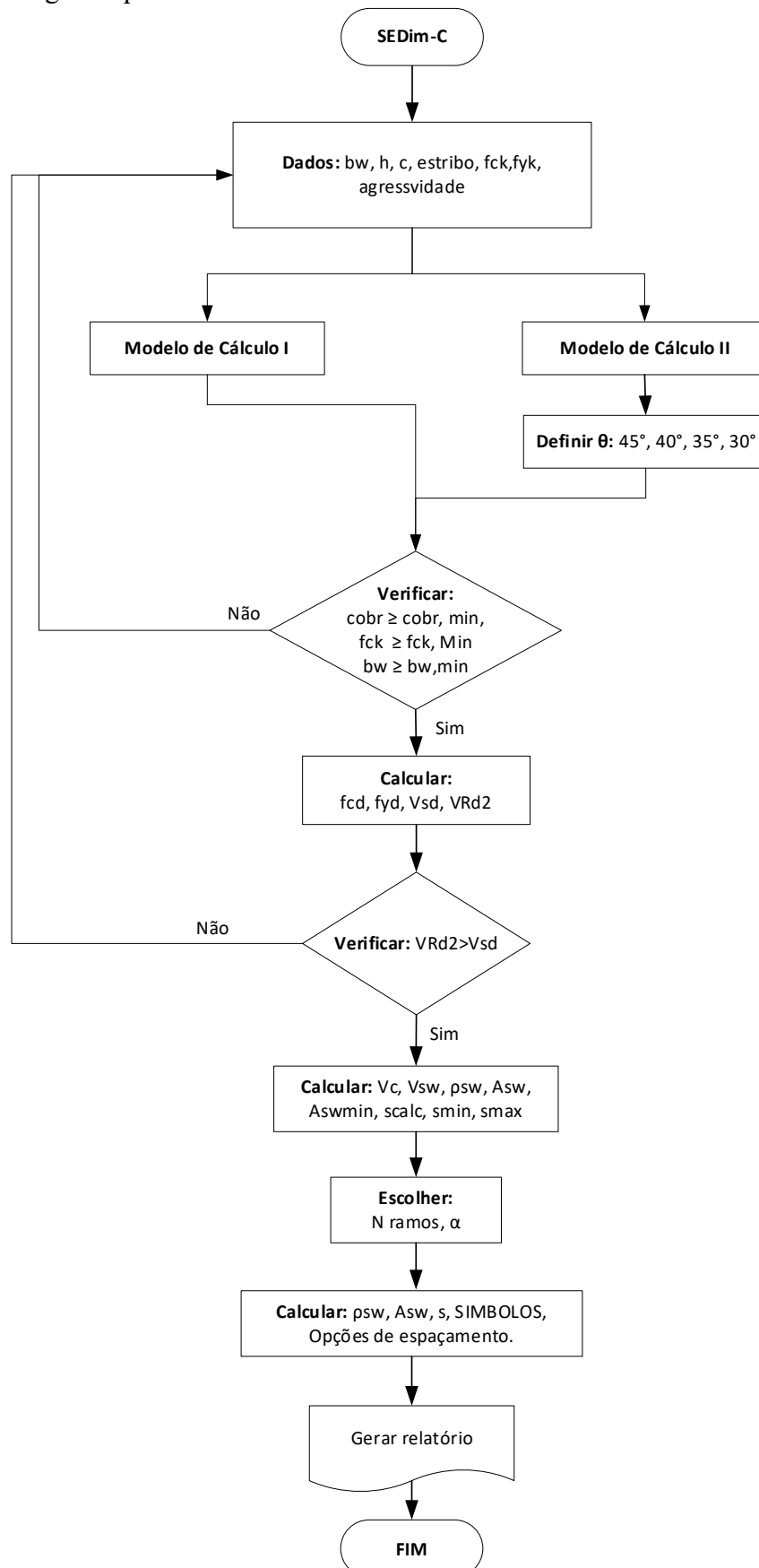
Fonte: O autor(2020).

Figura A.2: Fluxograma para dimensionamento de viga retangular no estado limite de serviço.



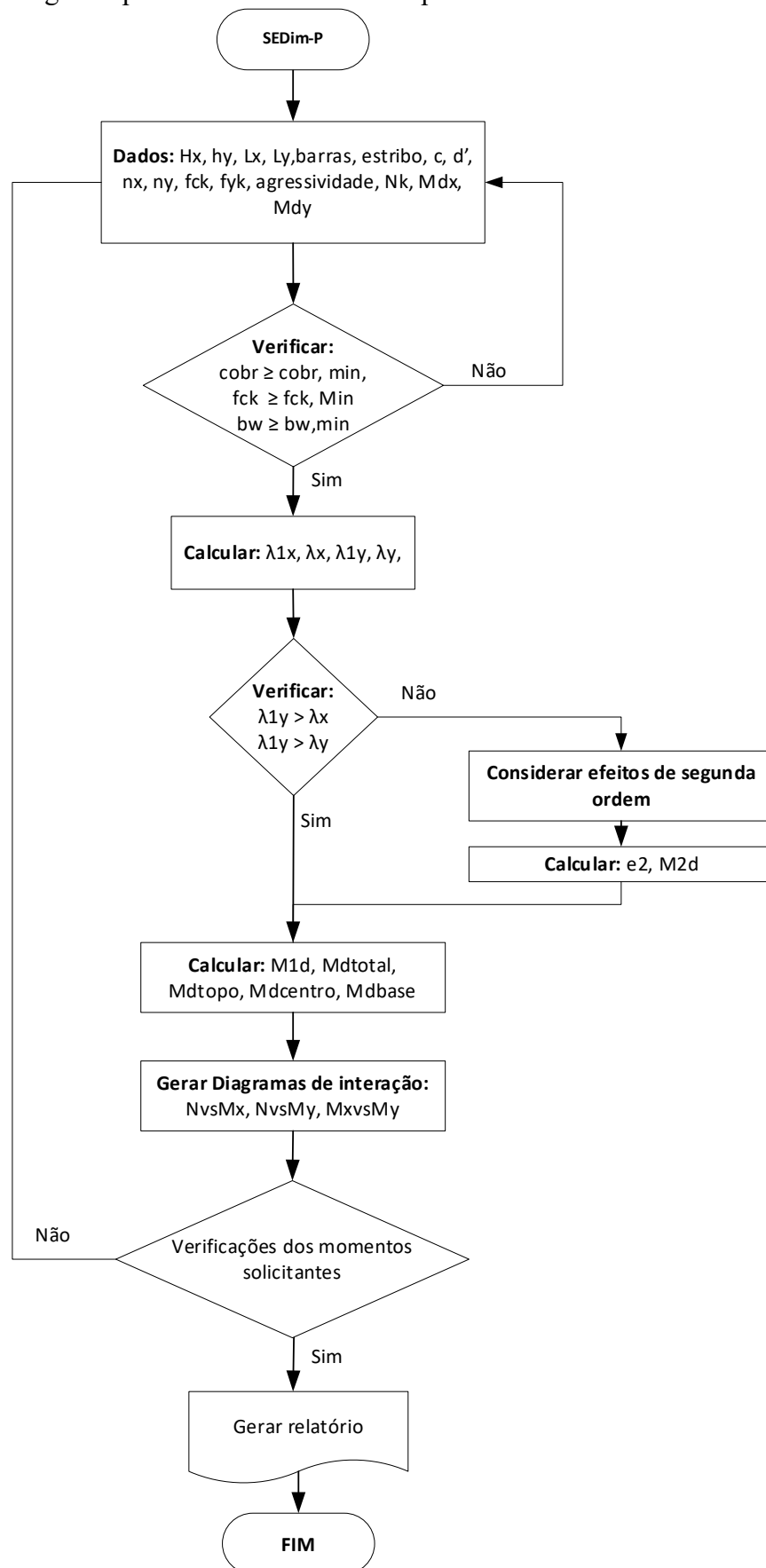
Fonte: O autor.

Figura A.3: Fluxograma para dimensionamento ao cisalhamento.



Fonte: O autor.

Figura A.4: Fluxograma para dimensionamento de pilares.



Fonte: O autor.

APENDICE B – EXEMPLOS DE COMPARAÇÃO E RELATORIOS

B.1. EXEMPLO COM SEDim-FU (VIGA RETANGULAR)

Como exemplo de comparação será feito com o exemplo apresentado na apostila (Flexão Normal Simples – Vigas) de (Bastos, 2019) da página 17 para calcular a área de armadura longitudinal de flexão. São conhecidos:

Tabela B.1 – Exemplo dimensionamento de viga de flexão normal simples.

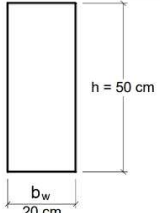
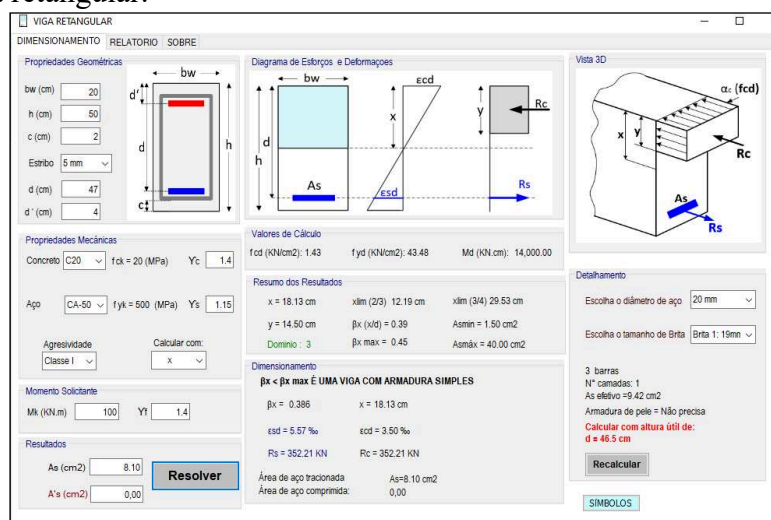
Mk,máx = + 10.000 kN.cm	concreto C20 (fck = 20 MPa, Grupo I)	
h = 50 cm	aço CA-50	
bw = 20 cm	c = 2,0 cm (cobrimento nominal)	
d = 47 cm (altura útil)		
$\gamma_c = \gamma_f = 1,4$	$\phi_t = 5$ mm (diâmetro do estribo)	
$\gamma_s = 1,15$	concreto com brita 1 (dmáx = 19 mm), sem brita 2	

Figura B.2 - Resultados de números de barras, camadas, área de aço efetivo e possibilidade de recalcular a viga retangular.



Fonte: Autor (2020).

Tabela B.2– Comparação dos resultados da apostila de Bastos com o programa SEDim-FU.

Parâmetros	Apostila Bastos, 2019	Programa SEDim-FU
Md (KN.cm)	14.000	14.000
x2lim (cm)	12,2	12,19
x3lim (cm)	29,6	29,53
x (cm)	18,1	18,13
As (cm2)	8,10	8,10
As, min	1,50	1,50
As (efetivo)	16 ϕ 8 mm \rightarrow 8,00 cm2; 10 ϕ 10 mm \rightarrow 8,00 cm2; 7 ϕ 12,5 mm \rightarrow 8,75 cm2; 4 ϕ 16 mm \rightarrow 8,00 cm2; 3 ϕ 20 mm \rightarrow 9,45 cm2.	17 ϕ 8 mm \rightarrow 8,50 cm2; 11 ϕ 10 mm \rightarrow 8,69 cm2; 7 ϕ 12,5 mm \rightarrow 8,61 cm2; 5 ϕ 16 mm \rightarrow 10,61 cm2; 3 ϕ 20 mm \rightarrow 9,42 cm2.

Fonte: Autor (2020).

DADOS:

b_w (cm) = 20	Largura da seção	f_{ck} (KN / cm ²) = 2,00	Resistencia do concreto
h (cm) = 50	Altura total	f_{yk} (KN / cm ²) = 50,00	Resistencia do aço
c (cm) = 2	Cobrimento nominal	M_k (KN.cm) = 10,000.00	Momento característico
d (cm) = 47	Altura útil		
d_c (cm) = 4	Altura útil do aço em compressão		

SOLUÇÃO**1º PASSO: VALORES DE CÁLCULO**

Valores de cálculo das resistências:

- O Valor de cálculo da resistência do concreto é determinado, considerando que a verificação da resistência do concreto será igual ou superior a 28 dias de idade, por:

$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_f$, onde:

γ_f : Coeficiente da resistência do concreto no Estado Limite Ultimo (NBR 6118:2014, item 12.4.1).

- O Valor de cálculo da resistência do aço é determinado:

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$, onde:

γ_s : Coeficiente da resistência do aço no Estado Limite Ultimo (NBR 6118:2014, item 12.4.1).

$$f_{cd} = 2 / 1.4 = 1.43 \text{ KN/cm}^2$$

$$f_{yd} = 50 / 1.15 = 43.48 \text{ KN/cm}^2$$

Valores de cálculo das ações:

- As ações classificam-se, de acordo com a NBR 6118-2014 em: Permanentes, variáveis e excepcionais. Os valores de cálculo das ações são obtidos, para as várias combinações, a partir dos valores representativos, multiplicando-os pelos respectivos coeficientes de ponderação, (ver NBR 6118:2014, item 11.7).

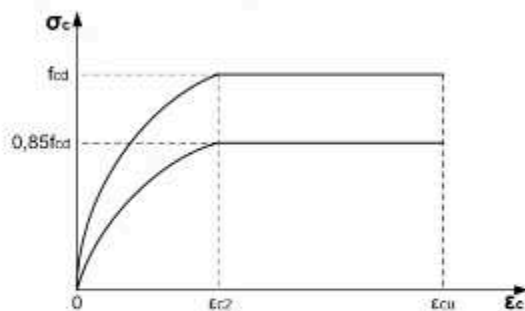
$M_d = \gamma_f (M_k)$, onde:

γ_f : Coeficiente de ponderação que majora os esforços solicitantes.

$$M_d = 10000 (1.4) = 14,000.00 \text{ KN.cm}$$

Diagramas tensão-deformação do concreto e de aço (NBR 6118:2014 item 8.2.10.1 e item 8.3.6):

Diagrama tensão-deformação do concreto



— para concretos de classes até C50:

$$\epsilon_{c2} = 2,0 \text{ ‰};$$

$$\epsilon_{cu} = 3,5 \text{ ‰}$$

— para concretos de classes C55 até C90:

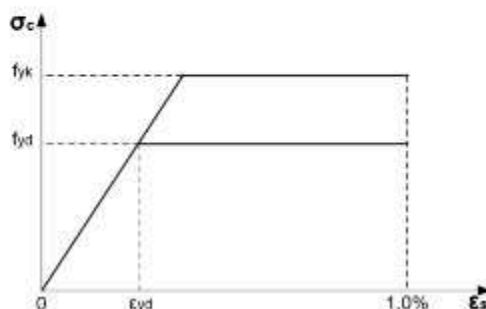
$$\epsilon_{c2} = 2,0 \text{ ‰} + 0,085 \text{ ‰} \cdot (f_{ck} - 50)^{0,53};$$

$$\epsilon_{cu} = 2,6 \text{ ‰} + 35 \text{ ‰} \cdot [(90 - f_{ck})/100]^4$$

$$\epsilon_{c2} = 2.00 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{cu} = 3.50 \text{ ‰}$$

Diagrama tensão-deformação do aço



Aço	ε _{yd} (%)
CA - 20	0,104
CA - 50	0,207
CA - 60	0,248

No caso deste exemplo, tem-se:

$$\epsilon_{yd} = 2.07 \text{ ‰}$$

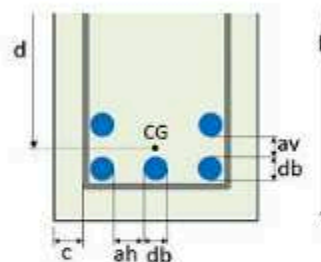
2º PASSO: CÁLCULO DA ALTURA ÚTIL (d):

A altura útil d , considerada da fibra mais comprimida até o centro de gravidade da armadura longitudinal tracionada:

n_c = Quantidade de camadas (cm)
 a_v = Espaçamento Livre vertical (cm)
 $dbri$ = Diâmetro da brita (cm)

$$d = h - c - \phi \text{ de estribo} - \frac{(n_c - 1)a_v + (n_c)dbri}{2}$$

$$d = 47.00 \text{ cm}$$



3º PASSO: CÁLCULO DA LINHA NEUTRA (x):

Distância da borda mais comprimida do concreto ao ponto que tem deformação e tensão nulas. Para cálculo de "x" (profundidade da linha neutra), se utiliza a fórmula:

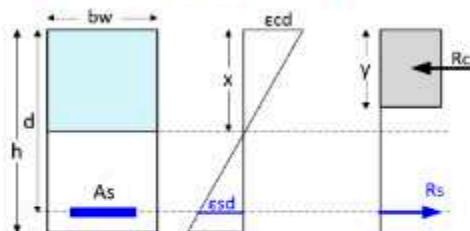
A distribuição de tensões no concreto é feita de acordo com o diagrama parábola-retângulo, definido em NBR item 8.2.10.1, com tensão de pico igual a $0,85 f_{cd}$, com f_{cd} definido em item 12.3.3. Esse diagrama pode ser substituído pelo retângulo de profundidade $y = \lambda x$, onde o valor do parâmetro λ pode ser tomada igual a: (NBR 6118:2014, item 17.2.2 e.)

$$\lambda = 0,8; \text{ para } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa};$$

$$\lambda = 0,8 - (f_{ck} - 50)/400; \text{ para } f_{ck} > 50 \text{ MPa}.$$

$$\alpha_c = 0,85; \text{ para } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa};$$

$$\alpha_c = 0,85 [1,0 - (f_{ck} - 50) / 200]; \text{ para } f_{ck} > 50 \text{ MPa}.$$



$$x = \frac{d}{\lambda} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 M d}{(b d^2 \alpha_c f_{cd})}} \right]$$

$$\alpha_c = 0.85; \lambda = 0.80$$

$$x = 18.13 \text{ cm}$$

$$y = x (\lambda) = 18.13 (0.80) = 14.50 \text{ cm}$$

4º PASSO: VERIFICAÇÃO DA DUTILIDADE:

A ABNT NBR 6118:2014, item 14.6.4.3 permite o uso apenas parte do domínio 3 quanto menor for x/d ; maior será a ductilidade da viga, a qual está em função da posição da linha neutra no estado limite último; de acordo com a normativa, os valores máximos de $(\beta x = x/d)$ dependem da classe de concreto.

Quando $(f_{ck} \leq 50)$ $\beta_{xmax} = 0.45$;
Quando $(f_{ck} > 50)$ $\beta_{xmax} = 0.35$;
 $x_{max} = \beta_{xmax} (d)$

$$x_{max} = \beta_{xmax} (d) = 0.45 (47.00) = 21.15 \text{ cm}$$

5º PASSO: DETERMINAÇÃO DOS DOMÍNIOS:

Os domínios representam as diversas possibilidades de ruína da seção; a cada par de deformações específicas de cálculo ϵ_{cd} e ϵ_{sd} corresponde um esforço normal, se houver, e um momento fletor atuante na seção (NBR 6118:2014 8.2.10.1 Figura 17.1, 8.2, item 17.2.2, alínea a>).

Domínio 2: Onde a deformação do aço é fixa de 0.01, e a deformação do concreto varia entre zero e ϵ_{cu} .
semelhança: $\epsilon_{cd}/x = 10 / (d - x)$

Domínio 3: Onde a deformação do concreto é ϵ_{cu} , e a deformação do aço varia entre ϵ_{yd} e 0.01.
semelhança: $\epsilon_{cu}/x = \epsilon_{sd} / (d - x)$

Domínio 4: Onde a deformação do concreto é fixa de 0.0035, e a deformação do aço varia entre ϵ_{yd} e 0.
semelhança: $\epsilon_{cu}/x = \epsilon_{sd} / (d - x)$

$$\begin{aligned} x_{Lim23} &= \epsilon_{cu} \cdot d / (\epsilon_{cu} + 10) & x_{Lim23} &= 12.19 \text{ cm} \\ x_{Lim34} &= \epsilon_{cd} \cdot d / (\epsilon_{cu} + \epsilon_{sd}) & x_{Lim34} &= 29.53 \text{ cm} \end{aligned}$$

Quando: $x < x_{Lim23}$ Estamos no Domínio 2
Quando: $x_{Lim34} \geq x \geq x_{Lim23}$ Estamos no Domínio 3
Quando: $x \geq x_{Lim34}$ Estamos no Domínio 4

Portanto, estamos no domínio: 3

Verificamos que o valor de x seja menor ao limite da ductilidade

$$x = 18.13 \text{ cm}$$

"CÁLCULO DO PARÂMETRO βx :

Relação entre a posição da linha neutra e a altura útil (x/d) (NBR 6118:2014, item 17.2.3); nas vigas é necessário garantir boas condições de ductilidade respeitando os limites da posição da linha neutra (x/d) dados em (NBR 6118:2014, item 14.6.4.3). Onde $\beta x = x/d$:

$$\beta x = 0.39$$

6º PASSO: CÁLCULO DAS DEFORMAÇÕES:

Calculamos as deformações no concreto e no aço. Para deformação específica de encurtamento de concreto na ruptura:

$$\begin{aligned} \text{Quando } (\beta x > x_{23}): \quad \epsilon_s &= \frac{\epsilon_{cu} (d - x)}{x} \\ \text{Quando } (\beta x \leq x_{23}): \quad \epsilon_s &= 0.01; \quad \epsilon_{cd} = \frac{0.01 x}{(d - x)} \\ \epsilon_{cd} &= 3.50 \text{ ‰} \\ \epsilon_{sd} &= 5.57 \text{ ‰} \end{aligned}$$



7º PASSO: CALCULO DO ÁREA DE AÇO.

Com o valor de x encontrado, é possível calcular a área de aço necessária. Calculamos a área de aço:

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd}(d - y/2)} \quad A_s = 8.10 \text{ cm}^2$$

8º PASSO: CALCULO DE AÇO MÍNIMO E MÁXIMO:

- Verificação de armadura mínima de tração de acordo com (NBR 6118-2014, item 17.3.5.2.1), é para evitar a ruptura frágil das seções transversais.

A armadura mínima de tração se calcula respeitando a taxa mínima absoluta de 0,15 % da área de concreto:

$$M_{d,min} = 0,8 W_o f_{ctk,sup}$$

- Verificação de armadura máxima de acordo com (NBR 6118-2014, item 17.3.5.2.4). A soma das armaduras de tração e compressão não deve ser maior que 4 % da área de concreto (NBR 6118-2014, item 17.3.5.2.4).

$$A_s \text{ max} = 0,04 \cdot b_w \cdot h$$

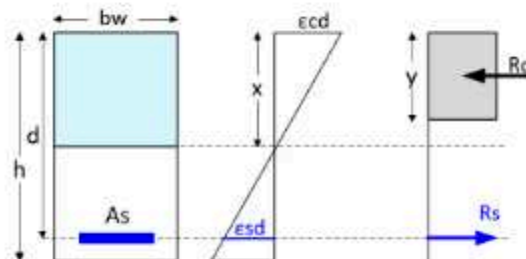
$$A_s \text{ min} = 1.50 \text{ cm}^2$$

$$A_s \text{ max} = 40.00 \text{ cm}^2$$

9º PASSO: VERIFICAÇÃO DO DOMÍNIO:

Estamos no caso: $x < x(\text{max})$

Dimensionamos como VIGA COM ARMADURA SIMPLES. Como a área de aço é maior que o mínimo vamos colocar a área de aço calculado:

**10º PASSO: CALCULO DE AREA DE AÇO FINAL:**

A área de aço tracionada é: $A_s = 8.10 \text{ cm}^2$ (Colocamos área de aço calculado)

A área de aço comprimida é: $A'_s = \text{Desnecessária}$

11° PASSO: ALTERNATIVAS DE BARRAS:

DIÂMETRO (mm)	N° BARRAS	N° CAMADAS	As efetivo (cm ²)	TAXA DE AÇO (%)
8	17	4	8.50	0.85
10	11	3	8.69	0.87
12,5	7	2	8.61	0.86
16	5	2	10.05	1.01
20	3	1	9.42	0.94

*Colocar mínimo duas barras para montagem

12° PASSO: ARMADURA DE MONTAGEM:

No caso de não ter armadura na parte superior ou inferior requerida, devido que não tem momento fletor, será necessário colocar uma armadura de montagem de 2 barras de 10mm de diâmetro, por motivos de montagem da viga.

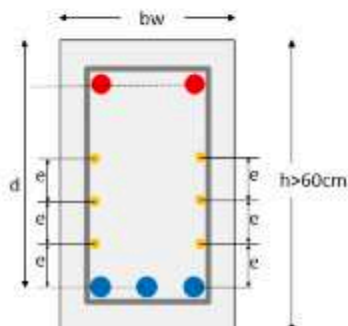
13° PASSO: ARMADURA DE PELE:

Mínima armadura lateral deve ser 0,10 % $A_{c,alma}$ em cada face da alma da viga e composta por barras de CA-50 ou CA-60, com espaçamento não maior que (20 cm, $d/3$ e 15ϕ) (NBR 6118:2014, item 17.3.5.2.3; item 18.3.5)

Em vigas com altura igual ou inferior a 60 cm, pode ser dispensada a utilização da armadura de pele.

$A_{s\text{ pele}} = 0,001 b_w h$ (Em cada face da alma)

$A_{s\text{ pele}} = 1,00 \text{ cm}^2$ neste caso como $h < 60 \text{ cm}$ não colocamos armadura de pele



B.2. EXEMPLO COM SEDim-FU (VIGA T)

Como exemplo de comparação será feito com o exemplo apresentado na apostila (Flexão Normal Simples – Vigas) de (Bastos, 2019) da página 56 para calcular a área de armadura longitudinal de flexão. São conhecidos:

Tabela B.3 – Exemplo dimensionamento de viga T de flexão normal simples.

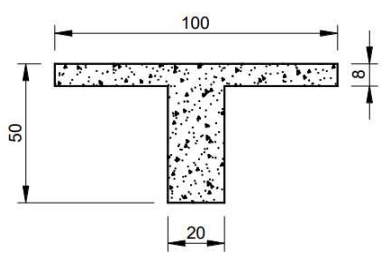
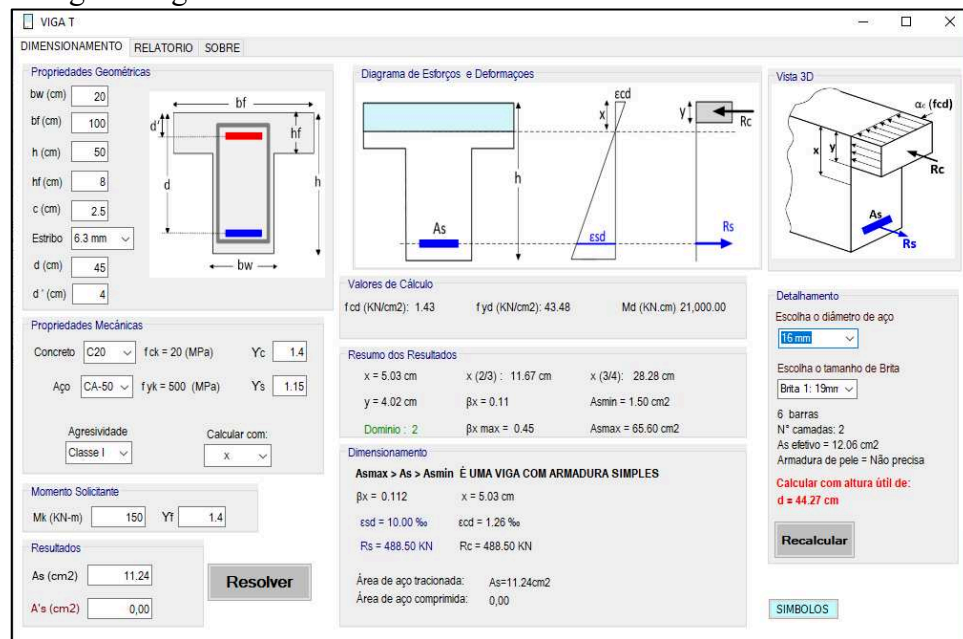
Mk,máx = + 15.000 kN.cm	concreto C20 ($f_{ck} = 20$ MPa, Grupo I)	
h = 50 cm	aço CA-50	
bw = 20 cm	c = 2,5 cm (cobrimento nominal)	
d = 45 cm (altura útil)		
$\gamma_c = \gamma_f = 1,4$	$\phi_t = 6,3$ mm (diâmetro do estribo)	
$\gamma_s = 1,15$	concreto com brita 1 ($d_{máx} = 19$ mm), sem brita 2	

Figura B.3: Resultados de números de barras, camadas, área de aço efetivo e possibilidade de recalcular a viga retangular.



Fonte: Autor (2020).

Tabela B.4 – Comparação dos resultados da apostila de Bastos com o programa SEDim-FU.

Parâmetros	Apostila Bastos, 2019	Programa SEDim-FU
Md (KN.cm)	21.000	21.000
x2lim (cm)	11,7	11,67
x3lim (cm)	28,4	28,28
x (cm)	5,0	5,03
As (cm2)	11,23	11,24
As, min	1,50	1,50
As, max		65.60
As (efetivo)	16 ϕ 16 mm \rightarrow 12,00 cm2	6 ϕ 16 mm \rightarrow 12,06 cm2

Fonte: Autor (2020).

DADOS:

h (cm) = 50	Altura total	f_{ck} (KN / cm ²) = 2.00	Resistencia do concreto
h_f (cm) = 8	Altura da mesa	f_{yk} (KN / cm ²) = 50.00	Resistencia do aço
b_f (cm) = 100	Largura colaborante	M_k (KN.cm) = 15,000.00	Momento característico
b_w (cm) = 20	Largura da seção		
c (cm) = 2.5	Cobrimento nominal		
d (cm) = 45	Altura útil		
d_c (cm) = 4	Altura útil do aço em compressão		

SOLUÇÃO**1º PASSO: VALORES DE CÁLCULO**

Valores de cálculo das resistências:

- O Valor de cálculo da resistência do concreto é determinado, considerando que a verificação da resistência do concreto será igual ou superior a 28 dias de idade, por:

$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_f$, onde:

γ_f : Coeficiente da resistência do concreto no Estado Limite Último (NBR 6118:2014, item 12.4.1).

- O Valor de cálculo da resistência do aço é determinado:

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$, onde:

γ_s : Coeficiente da resistência do aço no Estado Limite Último (NBR 6118:2014, item 12.4.1).

$$f_{cd} = 2 / 1.4 = 1.43 \text{ KN/cm}^2$$

$$f_{yd} = 50 / 1.15 = 43.48 \text{ KN/cm}^2$$

Valores de cálculo das ações:

- As ações classificam-se, de acordo com a NBR 6118-2014 em: Permanentes, variáveis e excepcionais. Os valores de cálculo das ações são obtidos, para as várias combinações, a partir dos valores representativos, multiplicando-os pelos respectivos coeficientes de ponderação, (ver NBR 6118:2014, item 11.7).

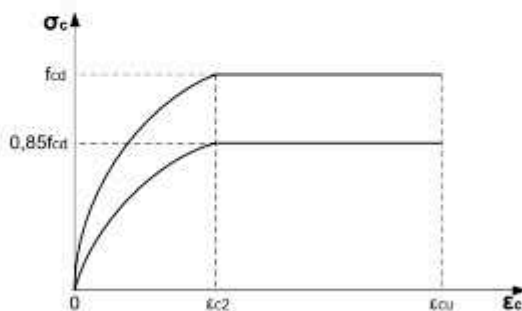
$M_d = \gamma_f (M_k)$, onde:

γ_f : Coeficiente de ponderação que majora os esforços solicitantes.

$$M_d = 15000 (1.4) = 21,000.00 \text{ KN.cm}$$

Diagramas tensão-deformação do concreto e aço (NBR 6118:2014 8.2.10.1 e 8.3.6):

Diagrama tensão-deformação do concreto



— para concretos de classes até C50:

$$\epsilon_{c2} = 2,0 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{cu} = 3,5 \text{ ‰}$$

— para concretos de classes C55 até C90:

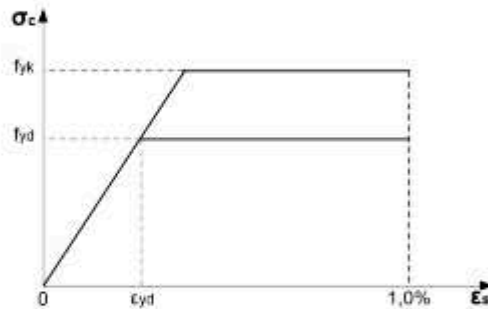
$$\epsilon_{c2} = 2,0 \text{ ‰} + 0,085 \text{ ‰} \cdot (f_{ck} - 50)^{0,53};$$

$$\epsilon_{cu} = 2,6 \text{ ‰} + 35 \text{ ‰} \cdot [(90 - f_{ck})/100]^4$$

$$\epsilon_{c2} = 2,00 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{cu} = 3,50 \text{ ‰}$$

Diagrama tensão-deformação do concreto



Aço	ϵ_{yd} (%)
CA - 20	0,104
CA - 50	0,207
CA - 60	0,248

No caso deste exemplo, tem-se:

$$\epsilon_{yd} = 2.07 \text{ ‰}$$

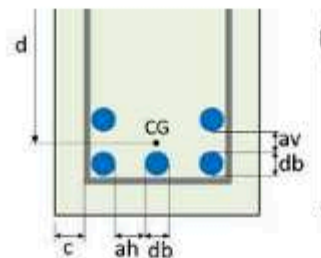
2º PASSO: CÁLCULO DA ALTURA ÚTIL (d):

A altura útil d , considerada da fibra mais comprimida até o centro de gravidade da armadura longitudinal tracionada:

n_c = Quantidade de camadas (cm)
 a_v = Espaçamento Livre vertical (cm)
 d_b = Diâmetro da bita (cm)

$$d = h - c - \phi \text{ de estribo} - \frac{(n_c - 1)a_v + (n_c)d_{bri}}{2}$$

$$d = 45.00 \text{ cm}$$

**3º PASSO: CÁLCULO DA LINHA NEUTRA (x):**

Distância da borda mais comprimida do concreto ao ponto que tem deformação e tensão nulas. Para cálculo de "x" (profundidade da linha neutra, consideramos como se fosse uma viga rectangular):

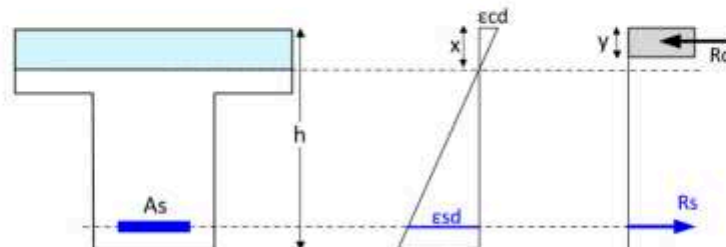
A distribuição de tensões no concreto é feita de acordo com o diagrama parábola-retângulo, definido em NBR 8.2.10.1, com tensão de pico igual a $0,85 f_{cd}$, com f_{cd} definido em 12.3.3. Esse diagrama pode ser substituído pelo retângulo de profundidade $y = \lambda x$, onde o valor do parâmetro λ pode ser tomado igual a: (NBR 6118:2014 17.2.2 e.)

$$\lambda = 0,8; \quad \text{para } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa};$$

$$\lambda = 0,8 - (f_{ck} - 50)/400; \quad \text{para } f_{ck} > 50 \text{ MPa}.$$

$$\alpha_c = 0,85; \quad \text{para } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa};$$

$$\alpha_c = 0,85 [1,0 - (f_{ck} - 50) / 200]; \quad \text{para } f_{ck} > 50 \text{ MPa}.$$



$$x = \frac{d}{\lambda} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 M d}{(b f d^2 \alpha c f c d)}} \right]$$

$$\alpha c = 0.85 ; \lambda = 0.80$$

$$x = 5.03 \text{ cm}$$

$$y = x (\lambda) = 5.03 (0.80) = 4.02 \text{ cm}$$

Onde: $y \leq h_f$

Dimensionamos como viga retangular

4º PASSO: VERIFICAÇÃO DA DUTILIDADE:

A ABNT NBR 6118:2014, item 14.6.4.3 permite o uso apenas parte do domínio 3 quanto menor for x/d ; maior será a ductilidade da viga, a qual está em função da posição da linha neutra no estado limite último; de acordo com a normativa, os valores máximos de ($\beta x = x/d$) dependem da classe de concreto.

Quando ($f_{ck} \leq 50$)

$\beta_{x\max} = 0.45;$

Quando ($f_{ck} > 50$)

$\beta_{x\max} = 0.35;$

$x_{\max} = \beta_{x\max} (d)$

$$x_{\max} = 20.25 \text{ cm}$$

5º PASSO: DETERMINAÇÃO DOS DOMÍNIOS:

Os domínios representam as diversas possibilidades de ruína da seção; a cada par de deformações específicas de cálculo ϵ_{cd} e ϵ_{sd} corresponde um esforço normal, se houver, e um momento fletor atuante na seção (NBR 6118:2014 8.2.10.1 Figura 17.1, 8.2, item 17.2.2, alínea a>).

Domínio 2: Onde a deformação do aço é fixa de 0.01, e a deformação do concreto varia entre zero e ϵ_{cu} .
semelhança: $\epsilon_{cd}/x = 0.01/(d-x)$.

Domínio 3: Onde a deformação do concreto é ϵ_{cu} , e a deformação do aço varia entre ϵ_{yd} e 0.01.
semelhança: $\epsilon_{cu}/x = \epsilon_{sd}/(d-x)$

Domínio 4: Onde a deformação do concreto é fixa de 0.0035, e a deformação do aço varia entre ϵ_{yd} e 0.
semelhança: $\epsilon_{cu}/x = \epsilon_{sd}/(d-x)$

$$x_{\text{Lim}23} = \epsilon_{cd} \cdot d / (\epsilon_{cd} + 0.01)$$

$$x_{\text{Lim}23} = 11.67 \text{ cm}$$

$$x_{\text{Lim}34} = \epsilon_{cd} \cdot d / (\epsilon_{cd} + \epsilon_{sd})$$

$$x_{\text{Lim}34} = 28.28 \text{ cm}$$

Quando: $x < x_{\text{Lim}23}$ Estamos no Domínio 2

Quando: $x_{\text{Lim}34} \geq x \geq x_{\text{Lim}23}$ Estamos no Domínio 3

Quando: $x \geq x_{\text{Lim}34}$ Estamos no Domínio 4

Portanto, estamos no domínio: 2

Verificamos que o valor de x seja menor ao limite da ductilidade

$$x = 5.03 \text{ cm}$$

*CÁLCULO DO PARÂMETRO βx :

Relação entre a posição da linha neutra e a altura útil (x/d) (NBR 6118:2014, item 17.2.3), nas vigas é necessário garantir boas condições de ductilidade respeitando os limites da posição da linha neutra (x/d) dados em (NBR 6118:2014, item 14.6.4.3). Onde $\beta x = x/d$:

$$\beta x = 0.11$$

6º PASSO: CÁLCULO DAS DEFORMAÇÕES:

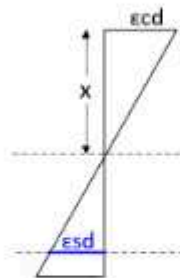
Calculamos as deformações no concreto e no aço. Para deformação específica de encurtamento de concreto na ruptura:

$$\text{Quando } (\beta x > x_{23}); \quad \epsilon_s = \frac{\epsilon_{cu} (d - x)}{x}$$

$$\text{Quando } (\beta x \leq x_{23}); \quad \epsilon_s = 0,01; \quad \epsilon_{cd} = \frac{0,01 x}{(d-x)}$$

$$\epsilon_{cd} = 1,26 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{sd} = 10,00 \text{ ‰}$$

**7º PASSO: CÁLCULO DE AÇO MÍNIMO E MÁXIMO:**

- Verificação de armadura mínima de tração de acordo com (NBR 6118-2014, item 17.3.5.2.1), é para evitar a ruptura frágil das seções transversais.

A armadura mínima de tração se calcula respeitando a taxa mínima absoluta de 0,15 % da área de concreto:

$$M_{d,min} = 0,8 W_o f_{ctk,sup}$$

- Verificação de armadura máxima de acordo com (NBR 6118-2014, item 17.3.5.2.4). A soma das armaduras de tração e compressão não deve ser maior que 4 % da área de concreto (NBR 6118-2014, item 17.3.5.2.4).

$$A_s \text{ max} = 0,04 \cdot b_w \cdot h$$

$$A_s \text{ min} = 1,50 \text{ cm}^2$$

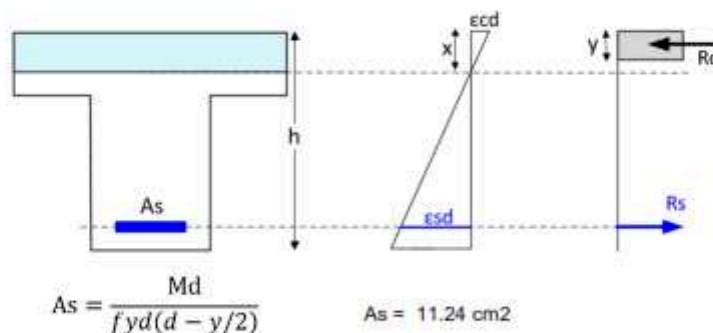
$$A_s \text{ max} = 65,60 \text{ cm}^2$$

8º PASSO: CÁLCULO DO ÁREA DE AÇO.

Com o valor de x encontrado, é possível calcular a área de aço necessária. Calculamos a área de aço:

Estamos no caso: $x < x(\text{max})$

Dimensionamos como VIGA COM ARMADURA SIMPLES e considerando VIGA RETANGULAR.



9º PASSO: CÁLCULO DE ÁREA DE AÇO FINAL:

A área de aço tracionada é: $A_s = 11.24 \text{ cm}^2$ (Colocamos área de aço calculado)
 A área de aço comprimida é: $A'_s =$ Desnecessária

10º PASSO: ALTERNATIVAS DE BARRAS:

DIÂMETRO (mm)	Nº BARRAS	Nº CAMADAS	A_s efetivo (cm ²)	TAXA DE AÇO (%)
8	23	5	11.50	1.15
10	15	4	11.85	1.19
12,5	10	3	12.30	1.23
16	6	2	12.06	1.21
20	4	2	12.56	1.26

*Colocar mínimo duas barras para montagem

11º PASSO: ARMADURA DE MONTAGEM:

No caso de não ter armadura na parte superior ou inferior requerida, devido que não tem momento fletor, será necessário colocar uma armadura de montagem de 2 barras de 10mm de diâmetro, por motivos de montagem da viga.

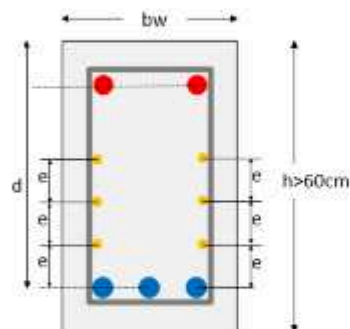
12º PASSO: ARMADURA DE PELE:

Mínima armadura lateral deve ser 0,10 % A_c , alma em cada face da alma da viga e composta por barras de CA-50 ou CA-60, com espaçamento não maior que (20 cm, $d/3$ e 15 ϕ) (NBR 6118:2014, item 17.3.5.2.3; item 18.3.5)

Em vigas com altura igual ou inferior a 60 cm, pode ser dispensada a utilização da armadura de pele.

$A_s \text{ pele} = 0,001 b_w h$ (Em cada face da alma)

$A_s \text{ pele} = 1,00 \text{ cm}^2$ neste caso como $h < 60 \text{ cm}$ não colocamos armadura de pele



B.3. EXEMPLO COM SEDim-FS

Exemplo de comparação será feito com o exemplo apresentado na apostila (Estado limite de serviço em estruturas de concreto armado) de (Campos, 2014) da página 18 para viga simplesmente apoiada com vão de 5 m, submetida a uma carga uma viga simplesmente apoiada com vão de 5 m, submetida a uma carga uniformemente distribuída $p=25$ kN/m. Estima-se que 60% desta carga é de natureza permanente e 40%, variável. A seção transversal da viga é retangular com $b_w=25$ cm e $h=45$ cm. A armadura longitudinal inferior é composta por 7 barras de 12,5 mm (5 na primeira camada e 2 na segunda) e a superior por 2 barra de 6,3 mm. A armadura transversal é composta por estribos de 6,3 mm de diâmetro. O concreto é o C20 (agregado granito) e o aço é CA50. O cobrimento da armadura é de 2,5 cm. A verificação deve ser realizada para a situação de aceitabilidade sensorial (deslocamentos visíveis em elementos estruturais). Considerar que a carga seja aplicada 2 meses após a concretagem.

Figura B.4: Tela para dimensionamento da viga retangular.

Fonte: Autor (2020).

Tabela B.5 – Comparação dos resultados da apostila de Campos com o programa SEDim-FS.

Parâmetros	Apostila Campos, 2014	Programa SEDim-FS
Verificação do estado limite de deformações excessivas em uma viga		
As tração (cm²)	8,59	8,61
As comprimida (cm²)	0,624	0,62
d (cm)	40,32	40,32
d' (cm)	3,445	3,45

Mr (KN.cm)	8,10	8,10
Ieq (cm4)	1,50	1,50
x (cm)	13,36	12,93
Flecha de curta duração	0,722	0,77
Flecha de longa duração	1,534	1,64
Flecha admissível	2,0	2,0
Verificação do estado limite de abertura das fissuras em uma viga		
Pd, ser (KN/m)	19,0	19,0
Md,ser (KN.m)	59,38	59,38
Tensão na armadura (KN/cm2)	19,66	21,38
Acr (cm2)	409,50	409,50
w1 (mm)	0,098	0,131
w2 (mm)	0,111	0,106
w adm (mm)	0,4	0,4

Fonte: Autor (2020).

DADOS:

b_w (cm) = 25 Largura da seção
 h (cm) = 45 Altura total
 c (cm) = 2.5 Cobrimento nominal

ϕ Estribo = 6.3 mm Diâmetro do estribo
 ϕ Brita = 19mm Dimensão nominal da brita

Barras em tração:

ϕ Barra = 12.5 mm
 # Camadas = 2
 Camada 01 = 5 barras
 Camada 02 = 2 barras
 Camada 03 = 0 barras
 Camada 04 = 0 barras
 $A_s = 8.61 \text{ cm}^2$

Barras em compressão:

ϕ Barra = 6.3 mm
 # Camadas = 2
 Camada 01 = 2 barras
 Camada 02 = 0 barras
 Camada 03 = 0 barras
 Camada 04 = 0 barras
 $A'_s = 0.62 \text{ cm}^2$

f_{ck} (KN / cm²) = 2.00 Resistência característica do concreto
 f_{yk} (KN / cm²) = 50.00 Resistência característica do aço

SOLUÇÃO**Estado Limite de deformações excessivas (ELS-DEF)****1º PASSO: VALORES DE CÁLCULO**

Valores de cálculo das resistências:

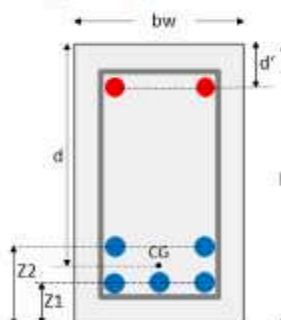
$f_{ck} = 2.00 \text{ KN/cm}^2$

$f_{yk} = 50 \text{ KN/cm}^2$

Cálculo de valores de d e d' :

$$d = h - \frac{\sum A_i z_i}{\sum A_i}$$

$$d' = \frac{\sum A'_i z'_i}{\sum A'_i}$$



Carga permanente: $g = 15.00 \text{ KN/m}$

Carga variável: $q = 10.00 \text{ KN/m}$

Carga de serviço: $P_{d,serv} = g + 0,3 q = 18.00 \text{ KN/m}$

Momento de serviço: $M_{d,serv} = P_{d,serv} \cdot L^2 / 8 = 56.25 \text{ KN.m}$

2º PASSO: CÁLCULO DO MOMENTO DE FISSURAÇÃO (M_r)

"Nos estados-limites de serviço as estruturas trabalham parcialmente no estágio I e parcialmente no estágio II. A separação entre esses dois comportamentos é definida pelo momento de fissuração. Esse momento pode ser calculado pela seguinte expressão aproximada:" (ver NBR 6118:2014 17.3.1):

$$M_r = \frac{\alpha f_{ct} I_c}{y_t}$$

Onde:

α é o fator que correlaciona aproximadamente a resistência à tração na flexão com a resistência à tração direta (1,5 para seções retangulares).

y_t é a distância do centro de gravidade da seção à fibra mais tracionada.

I_c é o momento de inércia da seção bruta de concreto.

f_{ct} é a resistência à tração direta do concreto

$$f_{ct} = f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{2/3} = 2.21 \text{ MPa} \quad \text{Para: } f_{ck} \text{ (MPa)}$$

$$f_{ct} = 0.22 \text{ KN/cm}^2$$

$$\alpha = 1.50 \quad (1,5 \text{ para seções retangulares})$$

$$I_c = b h^3 / 12 = 189,843.75 \text{ cm}^4$$

$$y_t = h/2 = 22.50 \text{ cm}$$

$$M_r = 2,797.56 \text{ KN.cm} = 27.98 \text{ KN.m}$$

Como $M_{d,serv} > M_r$, a seção mais solicitada da viga encontra-se no estágio II e a viga está fissurada.

3º PASSO: CÁLCULO DO MOMENTO DE INÉRCIA EQUIVALENTE (I_{eq})

"Para uma avaliação aproximada da flecha imediata em vigas, pode-se utilizar a expressão de rigidez equivalente dada a seguir", (ver NBR 6118:2014 17.3.2.1.1):

O procedimento descrito por Branson para o cálculo da inércia equivalente, utiliza o valor médio da inércia entre o estágio I e estágio II puro. A expressão para o cálculo da inércia equivalente apresenta-se a seguir:

$$I_{eq} = \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 I_1 + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 \right] I_2 \leq I_c$$

Onde:

$I_1 = I_c$ é o momento de inércia da seção bruta de concreto;

I_2 é o momento de inércia da seção fissurada de concreto no estágio II;

M_a é o momento fletor na seção crítica do vão considerado;

M_r é o momento de fissuração do elemento estrutural.

Para o cálculo do momento de inércia da seção fissurada de concreto no estágio II, é necessário calcular altura da linha neutra no estágio II:

$$M_{s, LN} = b X_2 \frac{X_2^2}{2} - (\alpha e - 1) A_s (d - X_2) = 0$$

$$b \frac{X_2^3}{2} - (\alpha e - 1) A_s X_2 - (\alpha e - 1) A_s d = 0$$

A Relação entre os módulos de deformação do aço e do concreto: $\alpha e = E_s / E_{cs}$

O Módulo de elasticidade do aço é adotado no valor de: $E_s = 21000 \text{ MPa}$

O módulo de deformação secante pode ser obtido: $E_{cs} = \alpha_i E_{ci}$

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0$$

Pode-se estimar o valor do módulo de elasticidade inicial usando as expressões a seguir:

$$E_{ci} = \alpha E 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad \text{para } f_{ck} \text{ de } 20 \text{ MPa a } 50 \text{ MPa}$$

$$E_{ci} = 21,5 \cdot 10^3 \alpha E 5600 \left(\frac{f_{ck}}{10} + 1,25 \right)^{1/3} \quad \text{para } f_{ck} \text{ de } 55 \text{ MPa a } 90 \text{ MPa}$$

Sendo:

$\alpha E = 1,2$ para basalto e diabásio; $\alpha E = 1,0$ para granito e gnaiss;

$\alpha E = 0,9$ para calcário; $\alpha E = 0,7$ para arenito;

$$\alpha E = 1,00 \quad \alpha_i = 0,85$$

$$E_{ci} = 25,043.96 \text{ MPa}$$

$$E_{cs} = 21,287.37 \text{ MPa} = 2,128.74 \text{ KN/cm}^2$$

$$\alpha e = E_s / E_{cs} = 9.87$$

Voltando na expressão, para calcular altura da linha neutra no estágio II:

$$M_{s, LN} = b X_2 \frac{X_2^2}{2} - (\alpha e - 1) A_s (d - X_2) = 0$$

$$b \frac{X_2^3}{2} - (\alpha e - 1) A_s X_2 - (\alpha e - 1) A_s d = 0$$

Assim, o cálculo do momento de inércia no estágio II (Seção fissurada) é feito da seguinte forma:

$$I_2 = b \frac{X_2^3}{3} - (\alpha e - 1) A_s (d - X_2)^2$$

$$12,50 (X_2)^2 + 76,33 (X_2) + -3,077,53 = 0$$

$$X_2 = 12,93 \text{ cm (Altura da linha neutra no estágio II)}$$

$$A_s = 8,61 \text{ cm}^2$$

$$I_2 = 108,439,86 \text{ cm}^4 \text{ (Inercia da seção fissurada no estágio II)}$$

$$M_r = 27,98 \text{ KN.m}$$

$$M_a = 56,25 \text{ KN.m}$$

$$I_{eq} = 89,370,10 \text{ cm}^4 \text{ (Inercia equivalente)}$$

4º PASSO: CÁLCULO DE FLECHA IMEDIATA (a_i)

Calcula-se a flecha imediata da peça a partir das formulações que derivam da teoria da resistência dos materiais. A flecha imediata é obtida com a expressão:

$$a_i = \frac{5}{384} \frac{p L^4}{E I}$$

$$p = P_{d, \text{serv}} = 18,00 \text{ KN/m}$$

$$L = 5,00 \text{ m}$$

$$E = E_{cs} = 2,128,74 \text{ KN/cm}^2 = 21,287,367,15 \text{ KN/m}^2$$

$$I = I_{eq} = 89,370,10 \text{ cm}^4 = 0,000893701 \text{ m}^4$$

$$EI = 19,024,54 \text{ KN.m}^2$$

$$a_i = 0,0077 \text{ m} = 0,77 \text{ cm}$$

5º PASSO: CÁLCULO DE FLECHA DIFERIDA NO TEMPO (a_f)

"A flecha adicional diferida, decorrente das cargas de longa duração em função da fluência, pode ser calculada de maneira aproximada pela multiplicação da flecha imediata pelo fator α_f dado pela expressão", (ver NBR 6118:2014 17.3.2.1.2):

$$a_f = a_i (\alpha_f)$$

$$\alpha f = \frac{\Delta \xi}{1 + 50 \rho'} \quad \rho' = \frac{A_s'}{b d}$$

Onde

ξ é um coeficiente função do tempo

$$\Delta \xi = \xi(t) - \xi(t_0)$$

$$\xi(t) = 0,68 (0,996^t) (t^{0,32}) \text{ para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t_0) = 0.84 \quad \xi(t) = 2.00 \quad \Delta \xi = 1.16$$

$$\rho' = 0.00062 \quad \alpha f = 1.12 \quad a f = 0.87 \text{ cm}$$

6º PASSO: FLECHA TOTAL (at)

$$\text{Flecha total: } a_t = a_i + a_f = 1.64 \text{ cm}$$

Flecha limite para aceitabilidade visual:

$$a_{\text{lim}} = l/250 = 2.00 \text{ cm}$$

Não há necessidade de contraflecha, pois $a_t < a_{\text{lim}}$ (a flecha total é menor do que a flecha limite.)

Estado Limite de abertura de fissuras (ELS - W)

Dados:

$$\eta = 2,25 \text{ para barras nervuradas CA - 50}$$

$$E_s = 210000 \text{ Mpa} = 21000 \text{ KN/cm}^2$$

1º PASSO: TAXA DE ARMADURA (ρ_{ri})

Área de concreto junto à armadura tracionada (A_{cri}):

$$A_{cri} = b_w (\text{cobrimento} + \phi_{\text{estribo}} + e_v (\# \text{camadas} - 1)) + \phi_{\text{barra}} (\# \text{camadas} + 7)$$

$$A_{cri} = 409.50 \text{ cm}^2$$

$$\text{Taxa de armadura: } \rho_{ri} = A_s / A_{cri} = 0.0210 = 2.10 \%$$

2º PASSO: MOMENTO FLETOR DE COMBINAÇÃO FREQUENTE ($M_{d,freq}$)

$$P_{d,freq.} = g + 0,4 q = 19.00 \text{ KN/m}$$

$$M_{d,freq} = P_{d,freq} (L^2) / 8 = 59.38 \text{ KN.m}$$

3° PASSO: CÁLCULO APROXIMADO DE TENSÃO DE TRAÇÃO (σ_s)

Pode-se calcular a tensão na armadura longitudinal tracionada, pode-se calcular aproximadamente pela equação:

$$\sigma_s = \frac{Md, freq}{0,80 d A_s}$$

$$Md, freq = 59.38 \text{ KN/m} = 5,937.50 \text{ KN/cm}$$

$$\sigma_s = Md, freq / (0,80 d A_s) = 5,937.50 / (0,80) (40.32) (8.61)$$

$$\sigma_s = 21.38 \text{ KN/cm}^2$$

4° PASSO: VERIFICAÇÃO DA FISSURAÇÃO (w_k)

O valor característico da abertura de fissuras, w_k , determinado para cada parte da região de envolvimento é o menor valor entre os obtidos pelas expressões a seguir, ver (NBR 6118:2014 17.3.3.2):

$$w_k \leq \begin{cases} w1 = \frac{\phi_i \sigma_s 3 \sigma}{12,5 \eta E_s f_{ctm}} \\ w2 = \frac{\phi_i \sigma_s}{12,5 \eta E_s} \left(\frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right) \end{cases}$$

$$w1 = 0.0131 \text{ cm}$$

$$w2 = 0.0106 \text{ cm}$$

Obtém-se, portanto:

$$w_k = 0.0131 \text{ cm} = 0.13 \text{ mm}$$

$$w_{adm} = 0,4 \text{ mm} > w_k = 0.13 \text{ mm} \implies \text{OK}$$

B.4. EXEMPLO COM SEDim-C

Exemplo de comparação será feito com o exemplo apresentado na apostila (Dimensionamento de vigas de concreto armado à força cortante) de (Bastos, 2017) da página 48 para calcular e detalhar a armadura transversal composta por estribos verticais para as forças cortantes máximas da viga esquematizada na Figura 5.40. São conhecidos: C25, CA-50, $\gamma_s = 1,15$, $c = 2,5$ cm, $\gamma_c = \gamma_f = 1,4$, $d = 80$ cm.

Figura B.5: Tela para dimensionamento da viga retangular.

The screenshot shows the SEDim-C software interface for rectangular beam design. The window is titled "VIGA RETANGULAR" and has three tabs: "DIMENSIONAMENTO", "RELATORIO", and "SOBRE". The "DIMENSIONAMENTO" tab is active, displaying various input fields and calculation results.

Propriedades Geométricas:

- bw (cm): 25
- h (cm): 85
- c (cm): 2.5
- Estribo: 6.3 mm
- d (cm): 80

Propriedades Mecânicas:

- Concreto: C25, $f_{tk} = 25$ MPa, $Y_c = 1.4$
- Aço: CA-50, $f_{yk} = 500$ (MPa), $Y_s = 1.15$
- Agressividade: Classe I
- Modelo de Cálculo: Modelo I
- Inclinação da Diagonal de Compressão θ (*): 45

Cortante Solicitante:

- Vk (kN): 187.2
- $Y_t = 1.4$

Modelo de Trelça:

Diagram showing the truss model with diagonal compression and tension, angles $\alpha = 90^\circ$ and $\theta = 45^\circ$, and spacing s .

Seção Transversal:

Diagram showing the cross-section with the number of stirrups (2) and the area A_{sw} .

Valores de Cálculo:

- $f_{td} = 1.79$ kN/cm²
- $f_{yd} = 43.48$ kN/cm²

Resumo dos Resultados:

- a) Verificação do esmagamento da biela de concreto:
 - $V_{sd} = 262.08$ kN
 - $VR_{d2,1} = 867.86$ kN
 - $V_{sd} \leq VR_{d2,1}$...OK!
- b) Força resistida estribos: ($V_{sw} = V_{sd} - V_c$)
 - $V_c = 153.90$ kN
 - $V_{sw} = 108.18$ kN

Taxa, área e espaçamento de estribo:

- Estribo: ϕ 6.3 mm
- $p_{sw, \alpha} = 0.00138$
- $p_{sw, min} = 0.00103$
- $A_{sw} = 3.46$ cm²/m
- $A_{sw, min} = 2.56$ cm²/m
- $s (A_{sw}) = 18.54$ cm
- $s (A_{sw, min}) = 24.95$ cm
- s máx. = 30.00 cm

Detalhamento:

- Inclinação da Armadura Transversal:
 - α (*) = 90
- Taxa de aço final: $p_{sw, \alpha} = 0.00138$
- Área de aço final: $A_{sw} = 3.46$ cm²/m
- Espaçamento final: ϕ 6.3 mm c / 19 cm

Buttons: Resolver, SIMBOLOS, Opções de Espaçamento.

Fonte: Autor (2020).

Tabela B.6 – Comparação dos resultados da apostila de Bastos com o programa SEDim-C.

Parâmetros	Apostila Bastos, 2017	Programa SEDim-C
Modelo de Cálculo I		
Vsd (KN)	262,10	262,1
VRd2 (KN)	867,9	867,86
As,min (cm2)	2,56	2,58
Vc (KN)	153,9	153,9
Vsw (KN)	108,2	108,18
Asw (cm2)	3,45	3,46
s (estribo 2 ϕ 5 mm) (cm)	11,6	11,0
s (estribo 2 ϕ 6,3 mm) (cm)	18,0	19,0

Fonte: Autor (2020).

**DADOS:**

b_w (cm) = 25	Largura da seção	f_{ck} (KN/cm ²) = 2.50	Resistencia do concreto
h (cm) = 85	Altura total	f_{yk} (KN/cm ²) = 50.00	Resistencia do aço
c (cm) = 2.5	Cobrimento nominal	V_k (KN) = 187.20	Força Cortante característica
d (cm) = 80	Altura útil		

SOLUÇÃO: MODELO DE CÁLCULO I

"O modelo I admite diagonais de compressão inclinadas de $\theta = 45^\circ$ em relação ao eixo longitudinal do elemento estrutural e admite ainda que a parcela complementar V_c tenha valor constante, independentemente de V_{sd} " (NBR 6118:2014 17.4.2.2).

1º PASSO: VALORES DE CÁLCULO

Valores de cálculo das resistências:

- Valor de cálculo da resistência do concreto é determinada, quando a verificação da resistência do concreto vai ser igual ou superior a 28 dias de idade.

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_f$$

γ_f : Coeficiente de ponderação da resistência do concreto no Estado Limite Último (ver NBR 6118:2014 12.4.1).

- Valor de cálculo da resistência do aço é determinada:

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$$

γ_s : Coeficiente de ponderação da resistência do aço no Estado Limite Último (ver NBR 6118:2014 12.4.1).

$$f_{cd} = 2.5 / 1.4 = 1.79 \text{ KN/cm}^2 \quad f_{yd} = 50 / 1.15 = 43.48 \text{ KN/cm}^2$$

Valores de cálculo das ações:

- As ações classificam-se, de acordo com a NBR 6118-2014 em: Permanentes, variáveis e excepcionais. Os valores de cálculo das ações são obtidos, para as várias combinações, a partir dos valores representativos, multiplicando-os pelos respectivos coeficientes de ponderação, (ver NBR 6118:2014 11.7).

$$V_{sd} = \gamma_f (V_k)$$

γ_f : Coeficiente de ponderação que majora os esforços solicitantes.

$$V_{sd} = 187.2 (1.4) = 262.08 \text{ KN}$$

2º PASSO: CÁLCULO DE ALTURA ÚTIL (d):

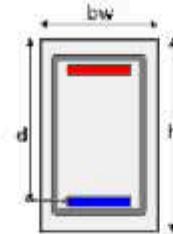
A altura útil é d , considerada a distância da fibra mais comprimida até o centro de gravidade da armadura longitudinal tracionada:

$$d = h - c - \frac{\phi \text{ de aço longitudinal } 10 \text{ mm (assumido)}}{2}$$

h : Altura da viga

c : cobrimento

d = 80.00 cm

**3º PASSO: VERIFICAÇÃO DO ESTADO LIMITE ÚLTIMO.**

"A resistência do elemento estrutural, em uma determinada seção transversal, deve ser considerada satisfatória, quando verificadas simultaneamente as seguintes condições:" (ver NBR 6118:2014 17.4.2.1).

$$V_{Sd} \leq VR_{d2}$$

$$V_{Sd} \leq VR_{d3} = V_c + V_{sw}$$

Onde:

V_{Sd} é a força cortante solicitante de cálculo, na seção.

VR_{d2} é a força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína das diagonais comprimidas de concreto.

$VR_{d3} = V_c + V_{sw}$ é a força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína por tração diagonal, onde V_c é a parcela de força cortante absorvida por mecanismos complementares ao da treliça e V_{sw} a parcela resistida pela armadura transversal.

4º PASSO: VERIFICAÇÃO DA COMPRESSÃO DIAGONAL DO CONCRETO

O modelo I admite diagonais de compressão inclinadas de $\theta = 45^\circ$ em relação ao eixo longitudinal do elemento estrutural e admite ainda que a parcela complementar V_c tenha valor constante, independentemente de V_{Sd} .

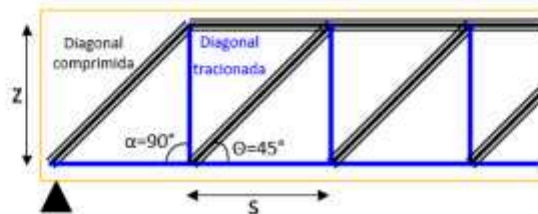
4.1 Verificação em termos de forças:

Para não ocorrer o esmagamento das diagonais comprimidas, deve-se ter: $V_{Sd} \leq VR_{d2} = VR_{d2,I}$

$$VR_{d2} = 0,27 \alpha_v f_{cd} b_w d$$

Onde:

$\alpha_v = (1 - f_{ck} / 250)$ e f_{ck} , expresso em (MPa);



$$\alpha_v = 0.90$$

====>

$$VR_{d2,I} = 867.86 \text{ KN/cm}^2$$

$$V_{Sd} = 262.08 \text{ KN}$$

4.2 Verificação em termos de tensão:

Essa verificação também pode ser feita em função das tensões tangenciais:

$$V_{Sd} / (b_w d) \leq V_{Rd2,l} / (b_w d) \Rightarrow \tau_{Sd} \leq \tau_{Rd2,l}$$

τ_{Sd} = Tensão tangencial solicitante de cálculo.

$\tau_{Rd2,l}$ = Tensão tangencial resistente de cálculo (Modelo I).

$$\tau_{Sd} = 0.13 \text{ KN/cm}^2 \quad \tau_{Rd2,l} = 0.43 \text{ KN/cm}^2$$

Neste caso, $V_{Rd2,i} \geq V_{Sd}$ não ocorrerá o esmagamento das bielas de compressão.

PASSO 05: CÁLCULO DA ARMADURA TRANSVERSAL

Parcela de força cortante (V_c) absorvida por mecanismos complementares ao de treliça

$$V_c = 0,6 f_{ctd} b_w d \quad (\text{usar } f_{ctd} \text{ em KN/cm}^2)$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} = \frac{0,7 f_{ct,m}}{\gamma_c} = \frac{0,7 \cdot 0,3 \sqrt{f_{ck}^2}}{\gamma_c} \quad \text{Com } f_{ck} \text{ (MPa)}$$

$$f_{ctd} = 1.28 \text{ MPa} \quad f_{ctd} = 0.13 \text{ KN/cm}^2 \quad \Rightarrow \quad V_c = 153.90 \text{ KN}$$

Parcela de força cortante resistida pela armadura transversal (V_{sw}). Força cortante solicitante a ser resistida pelos estribos:

$$V_{sw} = V_{Sd} - V_c$$

$$V_{sw} = 262.08 \text{ KN} - 153.90 \text{ KN} = 108.18 \text{ KN} \quad \Rightarrow \quad \tau_{sw} = V_{sw} / (b_w d) = 0.054 \text{ KN/cm}^2$$

Se esta força resultar negativa, significa que os mecanismos complementares aos de treliça são suficientes para proporcionar resistência à força cortante solicitante, e deve ser colocada somente a **armadura mínima transversal prescrita pela norma**.

5.1 Taxa da armadura transversal (ρ_{sw})

A taxa de armadura transversal é calculada em função da tensão convencional de cisalhamento de cálculo. A tensão máxima imposta pela norma refere-se ao aço CA-50 ($f_{ywd} = 435 \text{ MPa} = 43,5 \text{ KN/cm}^2$.)

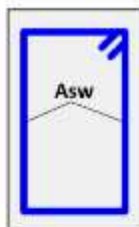
$$\rho_{sw,\alpha} = \frac{1,11 \tau_{sw}}{f_{ywd}} \left(\frac{1}{\sin \alpha (\sin \alpha + \cos \alpha)} \right) \rightarrow \rho_{sw,90} = \frac{1,11 \tau_{sw}}{f_{ywd}}$$

$$\rho_{sw} = 0.00138 \quad \text{Calculado com valor de } \alpha = 90^\circ$$

5.2 Área e espaçamento da armadura transversal (s)

Inclinação dos estribos deve obedecer à condição $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$.

Asw: Área de aço de todos os ramos do estribo ($A_{sw} = \text{Área de aço de um ramo do estribo multiplicado pelo número de ramos "n"} \}$).



Determinação de espaçamento para o estribo escolhido:

$$s = \frac{d \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd}}{1,11 \cdot V_{sw}} (\sin \alpha + \cos \alpha) \longrightarrow s = \frac{d \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd}}{1,11 \cdot V_{sw}} = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot p_{sw, \alpha}}$$

$$A_{sw} = (A_{s \text{ estribo}}) (n) = (0,32) (2,00) = 0,64 \text{ cm}^2$$

$$s = 18,54 \text{ cm} \quad \text{para estribo de } \phi 6,3 \text{ mm}$$

Determinação da armadura transversal (A_{sw}) necessária para $s = 100 \text{ cm}$ de comprimento de viga:

$$A_{sw} = \frac{1,11 \cdot V_{sw} \cdot s}{d \cdot f_{ywd} (\sin \alpha + \cos \alpha)} \longrightarrow \frac{1,11 \cdot V_{sw} \cdot s}{d \cdot f_{ywd}}$$

Área de aço requerido para 1m de comprimento da viga: $A_{sw} = 3,46 \text{ cm}^2/\text{m}$

5.3 Quantidade mínima de estribos

Conforme a NBR 6118 (item 17.4.1.1.1), "Em todos os elementos lineares submetidos à força cortante devem conter armadura transversal mínima constituída por estribos, com taxa geométrica"

$$p_{sw, \min} = \frac{0,2 \cdot f_{ctm}}{f_{ywk}} \quad A_{sw, \min} = \frac{0,2 \cdot f_{ctm} \cdot b_w \cdot s \cdot \sin \alpha}{f_{ywk} \cdot n} \longrightarrow A_{sw, \min} = \frac{0,2 \cdot f_{ctm} \cdot b_w \cdot s}{f_{ywk} \cdot n}$$

$$p_{sw, \min} = 0,00103 \quad A_{sw, \min} = 2,56 \text{ cm}^2/\text{m} \quad s_{\min} = 24,95 \text{ cm}$$

Para $s = 100 \text{ cm}$ de comprimento da viga: $A_{sw} = 3,46 \text{ cm}^2 / \text{m} \geq A_{sw, \min} = 2,56 \text{ cm}^2 / \text{m}$

Portanto, deve-se dispor a armadura calculada, de $3,46 \text{ cm}^2/\text{m}$

6º PASSO: ESPAÇAMENTO MÍNIMO E MÁXIMO ENTRE OS ESTRIBOS

6.1 Espaçamento mínimo longitudinal entre os estribos

"O espaçamento mínimo entre estribos, medido segundo o eixo longitudinal do elemento estrutural, deve ser suficiente para permitir a passagem do vibrador, garantindo um bom adensamento da massa" (NBR 6118, 18.3.3.2).

O diâmetro da barra que constitui o estribo deve ser maior ou igual a 5 mm, sem exceder 1/10 da largura da alma da viga.

$$s_{\min} \geq \phi_{\text{vibr}} + 1 \text{ cm}$$

$$s_{\min} \geq 2,5 \text{ cm} + 1 \text{ cm} = 3,5 \text{ cm} \text{ (Diâmetro da agulha do vibrador de 25 mm)}$$

$$s_{\min} \geq 3,5 \text{ cm} + 1 \text{ cm} = 4,5 \text{ cm} \text{ (Diâmetro da agulha do vibrador de 35 mm)}$$

$$s_{\min} \geq 4,5 \text{ cm} + 1 \text{ cm} = 5,5 \text{ cm} \text{ (Diâmetro da agulha do vibrador de 45 mm)}$$

6.2 Espaçamento máximo longitudinal entre os estribos

A fim de evitar que uma fissura não seja interceptada por pelo menos um estribo, os estribos não devem ter um espaçamento maior que um valor máximo, estabelecido conforme as seguintes condições (Bastos, 2017) (NBR 6118, 18.3.3.2):

$$\text{Se } V_d \leq 0,67 V_{Rd2}, \text{ então } s_{\max} = 0,6 d \leq 300 \text{ mm.}$$

$$\text{Se } V_d > 0,67 V_{Rd2}, \text{ então } s_{\max} = 0,3 d > 200 \text{ mm.}$$

$$V_d = 262.08 \text{ KN} \leq 0,67 V_{Rd2,1} = 581.46 \text{ KN}$$

$$0,6 d = 48.00 \text{ cm} \leq 30 \text{ cm} \quad \text{Portanto: } s_{\max} = 30.00 \text{ cm}$$

6.3 Espaçamento máximo transversal entre os estribos

O espaçamento transversal entre ramos sucessivos da armadura constituída por estribos não pode exceder os seguintes valores:

$$\text{Se } V_d \leq 0,20 V_{Rd2}, \text{ então } s_{t,\max} = d \leq 800 \text{ mm.}$$

$$\text{Se } V_d > 0,20 V_{Rd2}, \text{ então } s_{t,\max} = 0,6 d > 350 \text{ mm.}$$

$$V_d = 262.08 \text{ KN} > 0,2 V_{Rd2,1} = 173.57 \text{ KN}$$

$$0,6 d = 48.00 \text{ cm} > 35 \text{ cm} \quad \text{Portanto: } s_{t,\max} = 35.00 \text{ cm}$$

6.4 Detalhamento da armadura transversal

Finalmente respeitando os espaçamentos máximos entre estribos deve-se dispor a armadura da seguinte maneira:

Comprimento do estribo $C = (h - 2c) 2 + (bw - 2c) 2 + 5 \phi_t 2(n-1) + (h - 2c)(n-2)$

Onde: n: Número de ramos

ϕ_t : Diâmetro do estribo

$$\phi 6.3 \text{ mm } c / 19 \text{ cm } C = 206 \text{ cm}$$

B.5. EXEMPLO COM SEDim-P

Como exemplo de comparação será feito com o exemplo apresentado no livro (ABNT NBR 6118:2014 Comentários e Exemplos de Aplicação) da (IBRACON, 2015) da página 282. São conhecidos:

Tabela B.7 – Exemplo dimensionamento de pilar

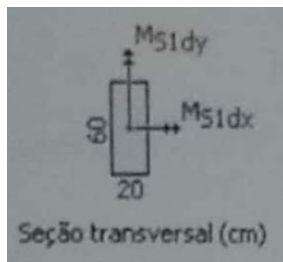
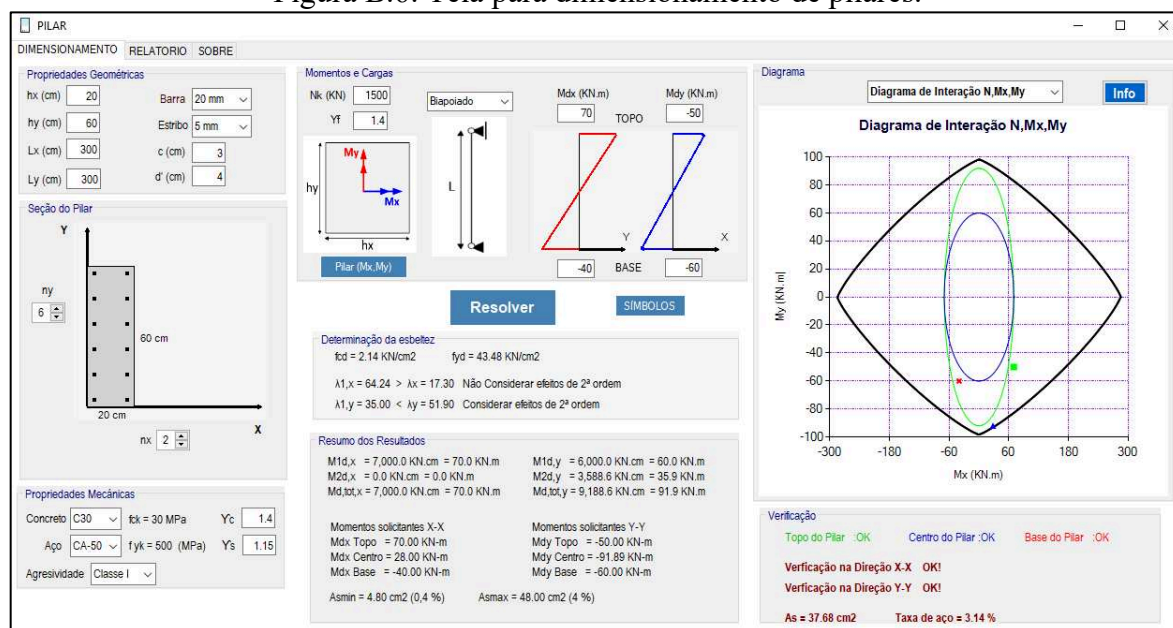
Nk = 1500 KN	$\gamma_c = \gamma_f = 1,4$		
M1d,t,x = 70 KN.m M1d,b,x = -40 KN.m	$\gamma_s = 1,15$		
M1d,t,y = 50 KN.m M1d,b,y = -60 KN.m	Concreto C30		
hx = 20 cm	Aço CA-50		
hy = 60 cm	c = 2,5 cm (cobrimento nominal)		
Lex = 300 cm	Pilar biapoiado		
Ley = 300 cm			

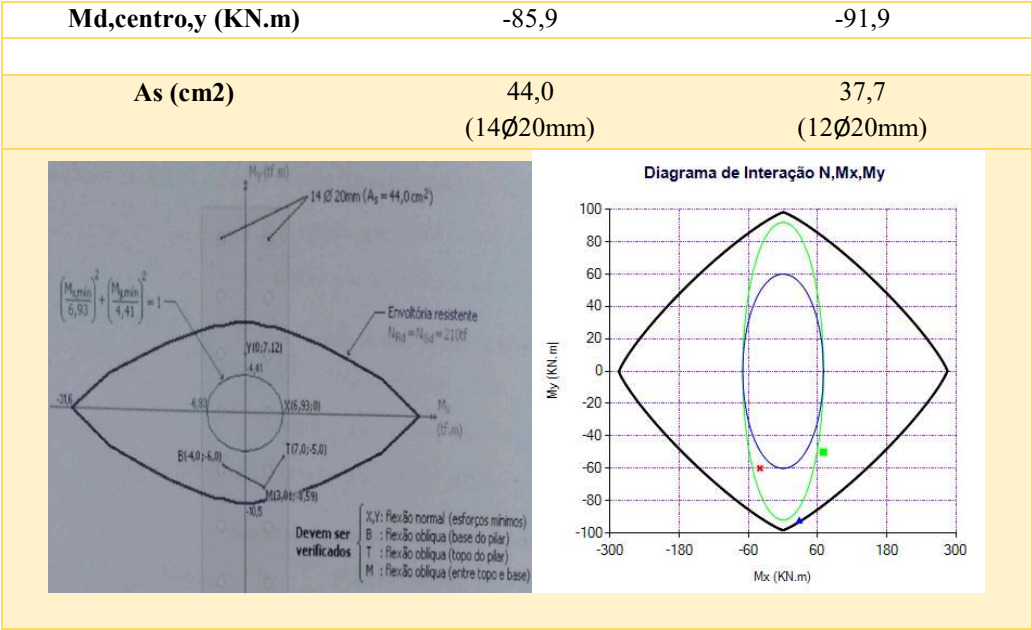
Figura B.6: Tela para dimensionamento de pilares.



Fonte: Autor (2020).

Tabela B.8 – Comparação dos resultados do livro IBRACON com o programa SEDim-P.

Parâmetros	IBRACON, 2015	Programa SEDim-P
λ_x	17,3	48,44
λ_y	52,0	19,38
M1d,min,x (kN.cm)	-	2410,8
M1d,min,y (kN.cm)	-	3440,0
$\lambda_{1,x}$	64,2	35
$\lambda_{1,y}$	35,0	35
Md,topo,x (kN.m)	70,0	70,0
Md,base,x (kN.m)	-40,0	-40,0
Md,centro,x (kN.m)	30,1	28,0
Md,topo,y (kN.m)	-50,0	-50,0
Md,base,y (kN.m)	-60,0	-60,0



Fonte: Autor (2020).

DADOS:

hx (cm) = 20	Dimensão X do pilar	Nk (KN) = 1500	Esforço normal
hy (cm) = 60	Dimensão Y do pilar	Md,t,x (KN.m) = 70	Momento X no topo
Lx (cm) = 300	Altura X do pilar	Md,b,x (KN.m) = -40	Momento X na base
Ly (cm) = 300	Altura Y do pilar	Md,t,y (KN.m) = -50	Momento Y no topo
c (cm) = 3	Cobrimento nominal	Md,b,y (KN.m) = -60	Momento Y na base
d' (cm) = 4	Altura útil		
fck (KN/cm ²) = 3.00	Resistencia característica do concreto		
fyk (KN/cm ²) = 50.00	Resistencia característica do aço		

SOLUÇÃO:

Apresenta-se a seguir um roteiro de cálculo para os chamados pilares, com a aplicação do "Método do pilar-padrão com curvatura aproximada". (NBR 6118:2014 15.8.3.3.2).

1º PASSO: VALORES DE CÁLCULO

Valores de cálculo das resistências:

- Valor de cálculo da resistência do concreto é determinada, quando a verificação da resistência do concreto vai ser igual ou superior a 28 dias de idade.

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_f$$

γ_c : Coeficiente de ponderação da resistência do concreto no Estado Limite Último (ver NBR 6118:2014 12.4.1).

- Valor de cálculo da resistência do aço é determinada:

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$$

γ_s : Coeficiente de ponderação da resistência do aço no Estado Limite Último (ver NBR 6118:2014 12.4.1).

$$f_{cd} = 3 / 1.4 = 2.14 \text{ KN/cm}^2 \quad f_{yd} = 50 / 1.15 = 43.48 \text{ KN/cm}^2$$

Valores de cálculo das ações:

- As ações classificam-se, de acordo com a NBR 6118-2014 em: Permanentes, variáveis e excepcionais. Os valores de cálculo das ações são obtidos, para as várias combinações, a partir dos valores representativos, multiplicando-os pelos respectivos coeficientes de ponderação, (ver NBR 6118:2014 11.7).

$$N_d = N_k (\gamma_f)$$

γ_f : Coeficiente de ponderação que majora os esforços solicitantes.

$$N_d = 1500 (1.4) = 2,100.00 \text{ KN}$$

2º PASSO: ÍNDICE DE ESBELTEZ (λ)

Valores de cálculo das resistências:

O índice de esbeltez é a razão entre o comprimento de flambagem e o raio de giração, nas direções a serem consideradas, (ver NBR 6118:2014 15.8.2):

$$\lambda_x = \frac{3,46 \cdot l_{ex}}{h_x} \quad \lambda_y = \frac{3,46 \cdot l_{ey}}{h_y} \quad , \text{com } l_{e,h} \text{ (cm)}$$

$$\lambda_x = 17.30$$

$$\lambda_y = 51.90$$

3º PASSO: MOMENTO FLETOR MÍNIMO (M_{d,min})

"O efeito das imperfeições locais nos pilares pode ser substituído em estruturas reticuladas pela consideração do momento mínimo de 1ª ordem dado a seguir", (ver NBR 6118:2014 11.3.3.4.3):

$$M_{1d,min} = N_d (1,5 + 0,03 h) \quad , \text{com } h \text{ em cm}$$

$$\text{Dir. X: } M_{1d,min,x} = N_d (1,5 + 0,03 h_y)$$

$$\text{Dir. Y: } M_{1d,min,y} = N_d (1,5 + 0,03 h_x)$$

$$M_{1d,min,x} = 6,930.00 \text{ KN.cm}$$

$$M_{1d,min,y} = 4,410.00 \text{ KN.cm}$$

4º PASSO: ESBELTEZ LIMITE (λ_1)

Os esforços locais de 2ª ordem em elementos isolados podem ser desprezados quando o índice de esbeltez for menor que o valor-limite λ_1 estabelecido, (ver NBR 6118:2014 15.8.2):

$$\lambda_{1,x} = \frac{25 + 12,5 \frac{e_{1x}}{h_y}}{\alpha b_x} \quad \lambda_{1,y} = \frac{25 + 12,5 \frac{e_{1y}}{h_x}}{\alpha b_y} \quad , \text{com } 35 \leq [\lambda_{1,x}; \lambda_{1,y}] \leq 90$$

$$e_{1x} = \frac{M_{1dx}}{N_d} \quad e_{1y} = \frac{M_{1dy}}{N_d} \quad , \text{com } M_{1d}(\text{KN.cm}); N_d(\text{KN}); e_{1x}(\text{cm}); h_x, h_y(\text{cm})$$

O valor de αb deve ser obtido conforme estabelecido a seguir (NBR 6118, 15.8.2):

Para pilares biapoiados sem cargas transversais:

$$\alpha b_x = 0,6 + 0,4 \frac{M_B}{M_A} \geq 0,4$$

Sendo: $0,4 \leq \alpha b \leq 1,0$

MA e MB são os momentos de primeira ordem nas extremidades do pilar.

Para pilares em balanço:

$$\alpha b_x = 0,8 + 0,2 \frac{M_C}{M_A} \geq 0,85$$

Sendo: $0,85 \leq \alpha b \leq 1,0$

MA = Momento de primeira ordem no engaste

MC = Momento de primeira ordem no meio do pilar em balanço

$$h_x = 20.00 \text{ cm}$$

$$e_{1x} = 3.33 \text{ cm}$$

$$\alpha b_x = 0.40$$

$$h_y = 60.00 \text{ cm}$$

$$e_{1y} = 2.86 \text{ cm}$$

$$\alpha b_y = 0.93$$

$$\lambda_{1,x} = 64.24 \quad \implies$$

$$\lambda_{1,x} = 64.24$$

$$\lambda_{1,y} = 28.70 \quad \implies$$

$$\lambda_{1,y} = 35.00$$

$\lambda_{1,x} = 64.24 > \lambda_x = 17.30$ Não Considerar efeitos de 2ª ordem

$\lambda_{1,y} = 35.00 < \lambda_y = 51.90$ Considerar efeitos de 2ª ordem

5º PASSO: MOMENTO DE 2ª ORDEM PELO MÉTODO DO PILAR-PADRÃO COM CURVATURA APROXIMADA

O **Método do Pilar-Padrão com Curvatura Aproximada** pode ser empregado apenas no cálculo de pilares com $\lambda \leq 90$, com seção constante e armadura simétrica e constante ao longo de seu eixo.

A não linearidade geométrica é considerada de forma aproximada, supondo-se que a deformação da barra seja senoidal.

A não linearidade física é considerada através de uma expressão aproximada da curvatura na seção crítica. (ver NBR 6118:2014 15.8.3.3.2).

O momento fletor total máximo no pilar deve ser calculado com a expressão:

$$M_{d,tot} = \alpha b M_{1d,A} + N d \frac{l e^2}{10 r} \geq \begin{cases} M_{1d,A} \\ M_{1d,min} \end{cases}, e M_{1d,A} \geq M_{1d,min}$$

Força normal adimensional:
$$v = \frac{N d}{A_c f_{cd}}$$

Curvatura na direção sujeita a momento fletor de 2ª ordem:

$$\frac{1}{r_x} = \frac{0,005}{h_y(v + 0,05)} \leq \frac{0,005}{h_y} \quad \frac{1}{r_y} = \frac{0,005}{h_x(v + 0,05)} \leq \frac{0,005}{h_x}$$

A excentricidade máxima de 2ª ordem na direção é:
$$e_{2x} = \frac{l e x^2}{10 r_x} \quad e_{2y} = \frac{l e y^2}{10 r_y}$$

Direção X:

$$M_{d,tot,x} = \alpha b_x M_{1d,A,x} + N d \frac{l e x^2}{10 r_x} = \alpha b_x M_{1d,A,x} + N d e_{2x}$$

$$M_{1d,x} = 7.000,0 \text{ KN.cm} = 70,0 \text{ KN.m}$$

$$\alpha b_x = 0,40$$

$$v = 0,82$$

$$1/r_x = 0,005 / (h_x (v + 0,05)) = 0,000063$$

$$e_{2x} = 0,57 \text{ cm}$$

$$M_{2d,x} = N d (e_{2x}) = 0,0 \text{ KN.cm} = 0,0 \text{ KN.m}$$

$$M_{d,tot,x} = 7.000,0 \text{ KN.cm} = 70,0 \text{ KN.m}$$

Direção Y:

$$Md_{tot,y} = aby \ M1d_{A,y} + Nd \frac{Iey^2}{10 \ r_y} = aby \ M1d_{A,y} + Nd \ e2y$$

$$M1d,y = 6,000.0 \text{ KN.cm} = 60.0 \text{ KN.m}$$

$$aby = 0.93$$

$$v = 0.82$$

$$1/r_y = 0,005 / (hy (v+0,05)) = 0.000190$$

$$e2y = 1.71 \text{ cm}$$

$$M2d,y = Nd (e2y) = 3,588.6 \text{ KN.cm} = 35.9 \text{ KN.m}$$

$$Md_{tot,y} = 9,188.6 \text{ KN.cm} = 91.9 \text{ KN.m}$$

6º PASSO: MOMENTO NO TOPO, CENTRO E BASE DO PILAR

Na determinação do máximo momento fletor total no topo A, seção intermediária C e na base do pilar B, tem-se:

a) Seções de extremidade (topo ou base)

$$Md_{tot} \geq \begin{cases} M1d_{A} \\ M1d_{min} \end{cases}$$

b) Seção intermediária (C)

$$Md_{tot} \geq \begin{cases} M1d_{C} + M2d \\ M1d_{min} + M2d \end{cases}$$

Com o momento de 1ª ordem $M1d,C$ avaliado como:

$$M1d,C \geq \begin{cases} 0,6 \ M1d,A + 0,4 \ M1d,B \\ 0,4 \ M1d,A \end{cases}$$

Momentos solicitantes X-X

Mdx Topo = 70.00 KN-m	Ponto verde no diagrama
Mdx Centro = 28.00 KN-m	Ponto azul no diagrama
Mdx Base = -40.00 KN-m	Ponto vermelho no diagrama

Momentos solicitantes Y-Y

Mdy Topo = -50.00 KN-m	Ponto verde no diagrama
Mdy Centro = -91.89 KN-m	Ponto azul no diagrama
Mdy Base = -60.00 KN-m	Ponto vermelho no diagrama

Envoltórias dos momentos resistentes

Para traçar as envoltórias de momento resistente é necessário calcular os diagramas de interação N_d vs M_x e N_d vs M_y .

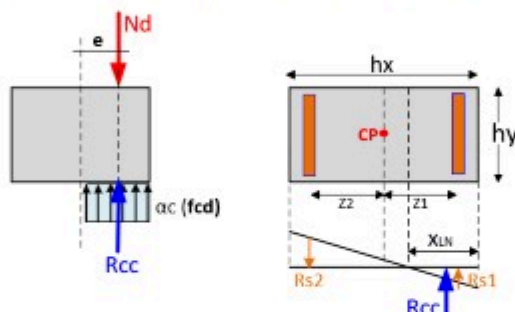
Diagrama de Interação N,Mx:

Conhecendo a armadura, é possível obter os momentos fletores resistentes de cálculo, segundo cada um dos eixos em flexão composta normal de uma seção retangular. O equilíbrio das forças atuantes na seção pode ser feito por meio de duas equações:

$$\Sigma F = 0 \rightarrow N_d - R_{cc} - R_{s1} - R_{s2} = 0$$

$$\Sigma M = 0 \rightarrow M_d - R_{cc}(e) - R_{s1}(Z_1) - R_{s2}(Z_2) = 0$$

Com $e = M/N$ (excentricidade em relação ao CP "Centroide Plástico" da seção)



O valor de R_{cc} pode ser expresso em função de X_{LN} , resultando em:

$$R_{cc} = f_{cd} \alpha_c X_{LN} \lambda h_y$$

Para concretos menores a C50: $R_{cc} = f_{cd} (0,85) X_{LN} (0,8) h_y$

$$N_d = R_{cc} + R_{s1} + R_{s2}$$

Sabendo que R_{cc} pode ser obtido com o diagrama retangular de tensões, é possível expressar M_d por:

$$M_d = R_{cc} (h_x/2 - X_{LN} \lambda/2) + R_{s1} (Z_1) + R_{s2} (Z_2)$$

Para obter o diagrama de interação deve-se modificar o valor de X_{LN} de 0 até o valor de h_x , o valor de N_d máximo ocorre quando não há momento fletor e o valor mínimo ocorre há somente tração, sem momento atuante.

Diagrama de Interação N,Mx

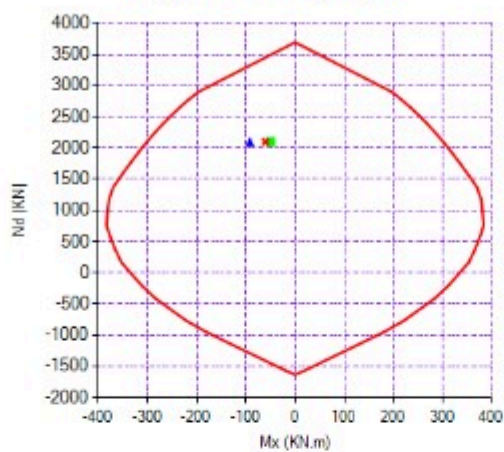
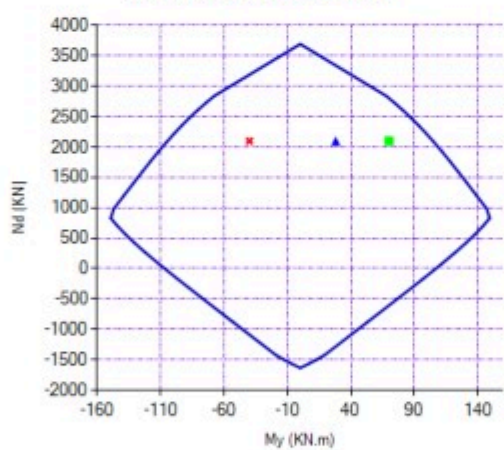
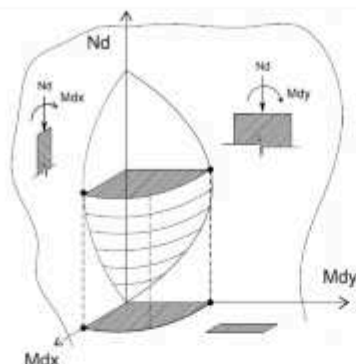


Diagrama de Interação N,My



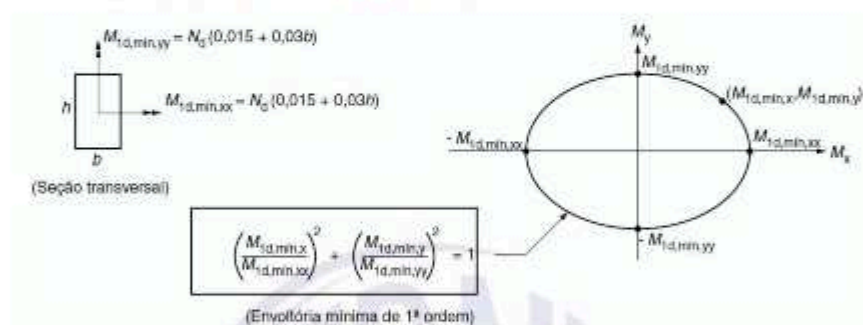
Com os diagramas de interação, pode-se construir uma superfície de interação



Com o valor de N_d conhecido, interceptamos a superfície de interação, resultando num plano chamado envoltória de momento resistente.

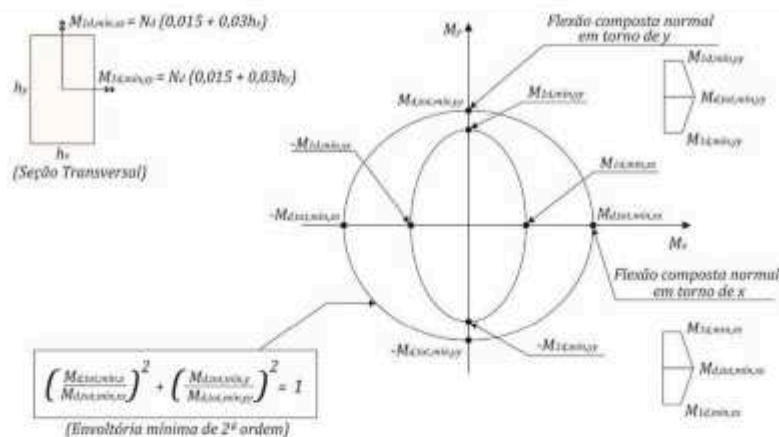
Envoltória mínima de 1ª ordem

"Para pilares de seção retangular, pode-se definir uma envoltória mínima de 1ª ordem, tomada a favor da segurança", NBR (ver 6118:2014 11.3.3.4.3).



Envoltória mínima de 2ª ordem

"Obtém-se uma envoltória resistente que englobe a envoltória mínima com 2ª ordem, cujos momentos totais são calculados a partir dos momentos mínimos de 1ª ordem", ver (6118:2014 15.3.2).



Sendo: $M_{x,ed,xx}$ e $M_{x,ed,yy}$ as componentes em flexão composta normal e
 $M_{x,ed,xx,0}$ e $M_{x,ed,yy,0}$ as componentes em flexão composta oblíqua

$$M_{d,tot,min,xx} = 70.0 \text{ KN.m}$$

$$M_{d,tot,min,yy} = 91.9 \text{ KN.m}$$

Envoltória do momento resistente

A verificação dos momentos solicitantes deve ser feito pela envoltória do momento resistente que deve atender as envoltórias de momento de primeira ordem e segunda ordem, além dos momentos solicitante no topo, centro e base do pilar.

A gráfica da envoltória do momento resistente é possível expressar com:

$\alpha = 1,2$ para pilares retangulares.

$$\left(\frac{M_{sd,x}}{M_{Rd,xx}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{sd,y}}{M_{Rd,yy}} \right)^\alpha \leq 1$$

Onde,

$M_{Rd,xx}$ = Momento fletor resistente na direção X.

$M_{Rd,yy}$ = Momento fletor resistente na direção Y.

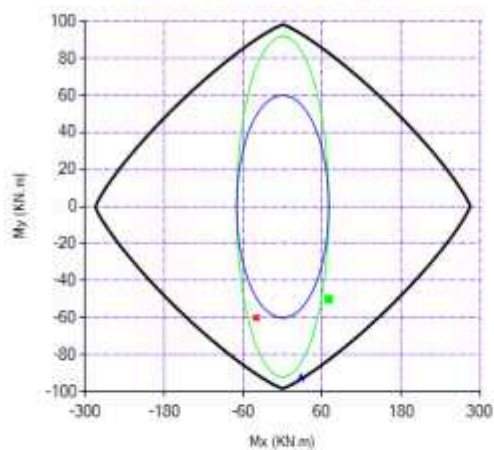
$M_{sd,x}$ = Momento solicitante na direção X.

$M_{sd,y}$ = Momento solicitante na direção Y.

$$M_{Rd,xx} = 284.71 \text{ KN.m}$$

$$M_{Rd,yy} = 98.40 \text{ KN.m}$$

Diagrama de Interação N,Mx,My



Verificação do momento solicitante
no topo, centro y base do pilar

Topo do Pilar :OK
Centro do Pilar :OK
Base do Pilar :OK

Área de aço adotado:

12 Barras de 20 mm
Taxa de aço = 3.14 %
Área de aço colocada = 37.68 cm²