

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CAMPUS MACAÉ
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JOÃO VÍTOR SANTOS DE JESUS

DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO WEB PARA CÁLCULO DE VIGAS
DE CONCRETO ARMADO

MACAÉ
2021

JOÃO VÍTOR SANTOS DE JESUS

DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO WEB PARA CÁLCULO DE VIGAS
DE CONCRETO ARMADO

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado a Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Profa. Janaina Sant'Anna Gomide Gomes

Co-orientador: Prof. Esdras Pereira de Oliveira

MACAÉ

2021

CIP - Catalogação na Publicação

J58d Jesus, João Vítor Santos de
Desenvolvimento de um programa em python para
cálculo de vigas de concreto armado / João Vítor
Santos de Jesus. -- Rio de Janeiro, 2021.
66 f.

Orientadora: Janaina Sant'Anna Gomide Gomes.
Coorientador: Esdras Pedreira de Oliveira.
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campus
Macaé Professor Aloísio Teixeira, Bacharel em
Engenharia Civil, 2021.

1. Programa. 2. Python. 3. Viga. 4. Concreto. 5.
Armado. I. Gomes, Janaina Sant'Anna Gomide, orient.
II. Oliveira, Esdras Pedreira de, coorient. III.
Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sua irresistível Graça, que me impulsiona a viver para sua glória.

A Julia Godiho a quem eu escolhi como família, que esteve ao meu lado ao longo da graduação. Se alguma coerência há neste trabalho, se deve, em grande parte, à ela.

A Profa. Dra. Janaína Gomide e Prof. Dr. Esdras que pacientemente me mostraram o caminho para o desenvolvimento do trabalho. Obrigada pela paciência, incentivo, pela força e principalmente carinho.

A todos os professores que me acompanharam durante a graduação, em especial a Profa. Juliana Trindade e Thais Rocha, por suas aulas que motivaram a trabalhar no tema deste trabalho.

*"Não há um único centímetro quadrado,
em todos os domínios de nossa
existência, sobre os quais Cristo, que é
soberano sobre tudo, não clame: É meu!"*

Abraham Kuyper

RESUMO

O cálculo estrutural é uma etapa fundamental no projeto de edificações onde se definem os esforços solicitantes, dimensões e o detalhamento das peças estruturais como vigas, pilares e lajes. A definição dos parâmetros, assim como as considerações e equações utilizadas no dimensionamento de estruturas de concreto são especificados na NBR 6118/2014 - "Projeto de estruturas de concreto - Procedimento". O Desenvolvimento de software e programas que buscam automatizar etapas da produção de engenharia civil são fundamentais para a modernização do setor da construção. O objetivo deste trabalho foi elaborar um programa com interface gráfica amigável capaz de fazer os cálculos necessários e de gerar documentos técnicos úteis aos engenheiros projetistas e estudantes de engenharia civil. Foi desenvolvido uma aplicação Web nomeada ReCon. Um programa implementado em Python para o dimensionamento à flexão e ao cisalhamento de vigas de concreto armado, gerando também um desenho esquemático de detalhamento da seção transversal. Alinhado às normas brasileiras, ReCon é um software livre e foi pensado para também funcionar como uma ferramenta educacional. Desse modo, estudantes de Engenharia Civil podem usar o ReCon para resolver exercícios, verificar as respostas corretas e compreender como os cálculos foram feitos. Quando os usuários iniciam o ReCon eles veem na tela inicial a opção de iniciar um projeto e, em uma segunda tela, os parâmetros podem ser informados ou modificados. A janela seguinte apresenta um relatório que inclui a armação e as dimensões necessárias para a viga em questão. A implementação do ReCon foi separada em partes para facilitar sua manutenção e compreensão uma vez que a proposta é de uma aplicação open-source. Cada uma das partes se encontra em um arquivo, estes são invocados em um código central, essa estrutura permite um fluxo de informação dentro do programa. Os resultados obtidos pelo ReCon foram comparados com exercícios resolvidos em uma literatura de referência em concreto armado. Essa comparação mostrou excelentes resultados que provaram a eficiência do programa. Além disso, estudantes de engenharia civil usaram o ReCon com o objetivo de comparar as experiências obtidas resolvendo exercícios usando este programa com o que eles costumam fazer manualmente em sala de aula. Esses usuários avaliaram o programa, respondendo a um questionário sobre a interface e sobre o ReCon como uma ferramenta educacional a ser adicionada às aulas.

Palavras-chave: Aplicação. Web. Viga. Concreto Armado. Dimensionamento à Flexão. Dimensionamento ao Cisalhamento.

ABSTRACT

Has been common in Civil Engineering the utilization of programs for making structural analysis. Structural analysis is a fundamental step in buildings project where internal forces, dimensions and structural members design are defined, such as beams, columns and slabs. The used parameters, as well as the considerations and equations used in the design are specified at the NBR 6118/2014 – “Design of concrete structures — Procedure”. This work aims to elaborate a program with graphical interface friendly capable of making the necessary calculations and generating meaningful technical documents for the design engineers. Has developed a web application named ReCon, a python program for bending and shear design of reinforced concrete beams and also generating a schematic drawing of detail of the cross section. Aligned with brazilian standards, ReCon is a open-source and was designed also to be used as an educational tool. Thus, students of Civil Engineering can use Recon to solve some exercises, check the correct answer and understand how the calculus was made. When users start in ReCon they will see the option to start a project and, in the second window, parameters could be informed or modified. The next window will give a report that includes rebar and correct dimension that need to be used about his beams. The implementation of ReCon has been separated into parts to facilitate its maintenance and its comprehension as it is an open-source. Each of its part is found in a file and invoked in a central code, this structure which allows an information flow within the program. The achievements obtained by ReCon have been compared to some examples of already solved exercises in the current reference literature about reinforced concrete. This comparison has shown excellent results which prove this program efficiency. Moreover, students of civil engineering have used ReCon in order to compare theirs experience solving exercises using this program to what they usually do in class. They evaluate the program, answering a questionnaire about the interface and about ReCon as educational tool to add in class.

Keywords: Application. Web. Beams. Reinforced Concrete. Bending Design. Shear Design.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Distribuição de probabilidade da resistência do concreto à compressão. Fonte: Aguiar et al. (2018)	20
Figura 2 – Disposição do corpo-de-prova. Fonte: 7222 (1994)	20
Figura 3 – Diagrama tensão-deformação do concreto na compressão. Fonte: adaptado da NBR 6118 (2014)	22
Figura 4 – Diagrama tensão-deformação simplificado. Fonte: NBR 6118 (2014)	23
Figura 5 – Distribuição de esforços na seção, em cada Estádio. Fonte: adaptado de Araújo (2014), Bastos (2014)	24
Figura 6 – Domínios de estado-limite último de uma seção transversal. Fonte: adaptado da NBR 6118 (2014)	25
Figura 7 – Seção transversal. Fonte: ReCon	27
Figura 8 – Padrão observado do surgimento de fissuras.	30
Figura 9 – Exemplo esquemático da seção transversal e as dimensões do detalhamento.	32
Figura 10 – Fluxo do processo de software. Figura adaptada de Pressman Roger e Maxim (2016), Royce (1970)	35
Figura 11 – Fluxograma de cálculos dentro do ReCon.	39
Figura 12 – Representação gráfica do algoritmo para dimensionamento à flexão elaborado.	41
Figura 13 – Representação gráfica do algoritmo elaborado para dimensionamento ao cisalhamento.	42
Figura 14 – Saída Padrão em PYTHON, C e Java, respectivamente. Fonte: Silva e Silva (2019)	43
Figura 15 – Arquitetura do sistema.	44
Figura 16 – Mapa do site e arquivos PYTHON.	44
Figura 17 – Interface Gráfica do ReCon. Em (a) a <i>home page</i> e em (b) menu de opções.	46
Figura 18 – Interface Gráfica do ReCon. Em (a) a página de um exemplo e em (b) parte da página dos resultados.	47
Figura 19 – Interface Gráfica do ReCon. Em (a) o local de escolha do diâmetro das barras e em (b) seção transversal gerada.	47
Figura 20 – Exemplo da responsividade do site.	48
Figura 21 – Exemplo de <i>tooltips</i>	49
Figura 22 – Interface Gráfica do ReCon. Em (a) um dos resultados do problema de teste a) (b) um dos resultados do problema de teste b).	51
Figura 23 – Um dos resultados do problema de teste h)	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores dos coeficientes de ponderação das ações	26
Tabela 2 – Valores dos coeficientes de minoração das resistências	26
Tabela 3 – Requisitos não funcionais do sistema.	38
Tabela 4 – Requisitos funcionais do sistema.	39
Tabela 5 – Problemas para teste do dimensionamento à flexão. Fonte: (ARAÚJO, 2014)	50
Tabela 6 – Problemas para teste do dimensionamento ao cisalhamento. Fonte: (ARAÚJO, 2014)	50
Tabela 7 – Comparação entre resultados das informações de saída do ReCon e do livro de referência (ARAÚJO, 2014).	50
Tabela 8 – Comparação entre resultados das informações de saída do ReCon e do livro de referência (ARAÚJO, 2014).	51

LISTA DE SÍMBOLOS

f_{ck}	Resistência característica do concreto à compressão aos 28 dias
f_{cd}	Resistência de projeto do concreto à compressão aos 28 dias
$f_{ct,sp}$	Resistência à tração indireta do concreto
$f_{ct,f}$	Resistência à tração do concreto na flexão
f_{ct}	Resistência à tração direta do concreto
$f_{ct,m}$	Resistência média à tração do concreto
$f_{ctk,inf}$	Resistência à tração característica inferior do concreto
$f_{ctk,sup}$	Resistência à tração característica superior do concreto
E_{cs}	Módulo de elasticidade secante do concreto
E_{ci}	Módulo de elasticidade tangente inicial do concreto
f_{yk}	Resistência característica de escoamento do aço
f_{yd}	Resistência de projeto de escoamento do aço
f_{ywk}	Resistência característica de escoamento do aço da armadura transversal
f_{ywd}	Resistência de projeto de escoamento do aço da armadura transversal
M_k	Momento solicitante característico
M_d	Momento solicitante de projeto
M_{sdlim}	Momento máximo suportado por armadura simples
V_k	Força cortante solicitante característica
V_{sd}	Força cortante solicitante de cálculo
V_c	Parcela de força cortante resistida por mecanismos complementares
V_{c0}	Valor de referência para V_c , quando $\theta = 45^\circ$
V_{rd2}	Força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína das diagonais comprimidas de concreto

α_E	Parâmetro em função da natureza do agregado
α_c	Parâmetro de redução da resistência do concreto na compressão
α	Ângulo de inclinação dos estribos da armadura transversal
ϵ_u	Deformação específica do concreto
ϵ_{yd}	Deformação específica do aço no escoamento
γ_c	Coefficiente de minoração do esforço resistente do concreto
γ_s	Coefficiente de minoração do esforço resistente do aço
γ_f	Coefficiente de majoração dos esforços solicitante
λ	relação entre a profundidade y do diagrama retangular de compressão equivalente e a profundidade efetiva x da linha neutra
θ	Ângulo de inclinação das diagonais de compressão em relação ao eixo longitudinal do elemento estrutural
ϕ	Diâmetro da armadura longitudinal
ϕ_t	Diâmetro da armadura transversal
c	Cobrimento da armadura em relação à face do elemento
b_{si}	Espaço horizontal disponível na seção
n_{lim}	Limite da condição de ductilidade
b	Largura ou base da seção transversal
h	Altura da seção transversal
d	Altura útil da seção transversal
d'	Distância entre o centro de gravidade da armadura comprimida até o bordo mais comprimido da seção
d''	Distância entre o centro de gravidade da armadura tracionada até o bordo mais tracionado da seção
x	Posição da linha neutra em relação a borda comprimida
W_0	Módulo de resistência da seção transversal bruta de concreto, relativo à fibra mais tracionada
$a_{h,min}$	Espaçamento mínimo entre faces das barras na direção horizontal

$a_{v,min}$	Espaçamento mínimo entre faces das barras na direção vertical
D_{max}	Dimensão máxima característica do agregado graúdo
nb_{max}	Número máximo de barras por camada
A_s	Área da seção transversal do aço resistente à tração
A'_s	Área da seção transversal do aço resistente à compressão
A_{smin}	Área da seção transversal mínima do aço
A_{sw}	Área da seção transversal do aço resistente ao cortante
A_{swmin}	Área da seção transversal mínima do aço resistente ao cortante
$A_{s,pele}$	Área de aço da armadura de pele

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	13
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	Objetivo Geral	15
1.2.2	Objetivos Específicos	15
1.3	MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA	15
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	TRABALHOS RELACIONADOS	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1	CONCRETO	19
3.1.1	Resistência à Compressão	19
3.1.2	Resistência à Tração	20
3.1.3	Diagrama Tensão-Deformação	21
3.1.4	Módulo de Elasticidade	22
3.2	AÇO	23
3.3	DIMENSIONAMENTO DE CONCRETO ARMADO	24
3.3.1	Estádios de Deformação	24
3.3.2	Domínios de Deformação	25
3.3.3	Hipóteses Básicas do Dimensionamento	26
3.3.4	Dimensionamento à Flexão	27
3.3.5	Dimensionamento ao Cisalhamento	29
3.4	DETALHAMENTO DA SEÇÃO TRANSVERSAL	31
3.4.1	Armadura Longitudinal	31
3.4.2	Armadura de Pele	32
3.4.3	Armadura Transversal	33
3.5	ENGENHARIA DE SOFTWARE	33
3.5.1	Processo de Software	33
3.5.2	Engenharia de Requisitos	35
3.5.3	Projeto de Arquitetura	36
3.5.4	Projeto de Interface do Usuário	36
3.5.5	Projeto de WebApps	37
3.5.6	Estratégias e Teste de Software	37
4	RECON	38

4.1	COMUNICAÇÃO E PLANEJAMENTO	38
4.2	PROJETO	39
4.2.1	Algoritmos	39
4.2.1.1	Algoritmo de dimensionamento à flexão	40
4.2.1.2	Algoritmo de dimensionamento ao cortante	41
4.2.2	Tipo de Sistema	42
4.3	CONSTRUÇÃO DO RECON	43
4.3.1	Bibliotecas PYTHON	43
4.3.2	Componentes da Arquitetura	43
4.3.3	Interface da Aplicação	46
5	RESULTADOS	50
5.1	VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL	50
5.2	AVALIAÇÃO DO USUÁRIO	52
6	CONCLUSÃO	54
6.1	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	54
6.2	PROPOSTAS DE MELHORIAS	54
	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A tendência da programação e utilização de softwares no desenvolvimento de procedimentos para automatizar cálculos e análises de processos industriais é cada vez mais presente no dia a dia da indústria e dos engenheiros (PRESSMAN ROGER E MAXIM, 2016). De acordo com o trabalho proposto em Coelho (2016) o advento da internet e os constantes avanços tecnológicos criam um novo ambiente propício à evolução na indústria. Isso significa que novas tecnologias são cada vez mais acessíveis, com um menor custo, possibilitando a aplicação em diferentes áreas, da medicina à cosmologia. Uma nova etapa, denominada Indústria 4.0, é citada em Büchi, Cugno e Castagnoli (2020) como: “fábrica inteligente” e “fábrica do futuro”. Um tipo de indústria que se utiliza do que há de mais moderno para simplificar e melhorar a eficiência de seus processos produtivos visando a melhora dos resultados.

A indústria da construção civil apresenta um conglomerado de insumos e serviços muito diversos, que abrange outros setores, como siderurgia, mineração, automação, energia entre outros, e tem como insumos um leque muito diverso, de areia e materiais pétreos à fios de cobre. Os desafios em um setor tão heterogêneo são enormes. Um desses desafios é o fato de os projetos não serem replicáveis, em outras indústrias a principal característica é a padronização do produto. Porém, na construção civil cada projeto tem suas singularidades, de modo que dificilmente haverá dois projetos idênticos, como evidenciado em Filha, Costa e Rocha (2010).

Dentre os métodos construtivos mais difundidos na construção civil, o destaque está para os métodos envolvendo concreto armado, que vêm sendo amplamente utilizados no Brasil desde sua introdução no mercado brasileiro há mais de um século (SANTOS, 2008). O concreto armado mostrou ser um material versátil, durável e de boa resistência a um preço acessível, características essas que o popularizaram. Muito embora novas metodologias mostrem bom potencial, para fins construtivos o concreto não requer grande aparato tecnológico e mão de obra especializada. Por se tratar de um dos materiais mais populares da construção civil, avanços tecnológicos aplicados podem causar impacto considerável em toda a indústria e sua cadeia de suprimentos.

Nesse contexto, os programas que buscam automatizar etapas da produção de engenharia civil são fundamentais para a modernização do setor da construção (KOVÁCS; FERREIRA; SANTOS, 1994), visando um modelo de indústria da construção civil 4.0. Há por exemplo softwares de desenho computacional, *computer aided design*, comumente conhecidos pela sigla CAD. Tais programas mostraram-se ferramentas extremamente útil na economia de tempo e na facilidade de correção e pequenos ajustes nos desenhos, se

comparado à metodologia de desenhos manuais empregados no passado. Softwares CAD como Solidworks¹ e AutoCAD² destacam-se dos demais no mercado. Embora o AutoCAD e similares tenham facilitado e muito o desenvolvimento de projetos, vale salientar que os desenhos ali contidos são interpretados pelo programa apenas como concatenação de linhas e figuras geométricas distribuídos em camadas. Talvez seja essa uma das maiores diferenças em relação aos programas mais modernos, que implementam a metodologia BIM (*Building Information Modeling*), onde os desenhos não são o principal produto, mas sim a informação construtiva que dá origem ao desenho. Como salientado em Costa, Figueiredo e Ribeiro (2015), ferramentas BIM buscam integrar todo o processo de produção da engenharia civil em um só modelo. Outra diferença bastante relevante está no fato de todos os elementos do modelo no sistema BIM serem parametrizados, assim, uma alteração no modelo gráfico reflete em uma alteração dinâmica e automática em todos os desenhos, vistas, cortes, tabelas e quantitativos de material associados.

Há também softwares que auxiliam na elaboração de projetos de estruturas como TQS³, Eberick⁴ e SAP2000⁵, onde é possível criar e gerir modelos em 3D de estruturas. Ambos são capazes de traduzir as informações de dimensionamento e detalhamento em desenhos 2D e 3D aos moldes da metodologia BIM. A integração da análise estrutural ao dimensionamento, tendo como objetivo memoriais de cálculo e desenhos gerados de forma automática são o foco de programas voltados às necessidades de engenheiros estruturais. No universo das ferramentas de cálculo estrutural, TQS, Eberick e SAP2000 têm foco comercial, são voltados ao cotidiano profissional de engenharia. Por essa razão são ferramentas cuja importância justifica os valores de investimento para aquisição dos programas.

É da soma dos avanços tecnológicos que alteram as formas como pensamos projetos e dos desafios da construção civil, que nasceu a ideia de uma aplicação que pudesse modelar informações, gerando um detalhamento da seção transversal parametrizado, além de um passo-a-passo dos cálculos executados com base em um procedimento de cálculo consolidado da NBR 6118 (2014).

Os principais softwares no mercado que propõem auxiliar no dimensionamento e detalhamento de estruturas, são pagos, o que limita o acesso a alunos e professores. Em alguns casos os dimensionamentos são realizados por tabelas ou programas desenvolvidas pelos próprios profissionais e alunos, embora nesses casos o relatório de execução dos cálculos, comumente chamada de memória de cálculo, sejam produzidos de forma manual. Nesse trabalho é proposto o ReCon que visa o auxílio de engenheiros e projetistas no dimensionamento à flexão e ao cisalhamento e detalhamento da seção transversal. Além disso,

¹ <https://www.solidworks.com/pt-br>

² <https://www.autodesk.com.br/products/autocad/overview>

³ <https://www.tqs.com.br/products>

⁴ <https://altoqi.com.br/eberick/>

⁵ <https://multiplus.com/software/sap2000/index.html>

com o memorial de cálculo, o software proposto pode ser utilizado nas aulas dos cursos de graduação em Engenharia, auxiliando a verificação de exercícios em sala de aula.

O ReCon é um aplicativo Web que tem diversas vantagens como: ser executável em qualquer dispositivo com acesso a internet, não requerer grande capacidade computacional, simples apresentação dos dados, não requer assinatura ou pagamento de tarifas para o funcionamento pleno, não requer pré-instalação de qualquer *plugging*.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é propor a construção de uma aplicação intuitiva, de interface que seja amigável, em linguagem PYTHON, capaz de funcionar como uma ferramenta educacional e útil à profissionais de engenharia no dimensionamento de vigas de concreto armado.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Escrever algoritmo que represente os procedimentos de cálculo necessários;
- Implementar os algoritmos criados na linguagem PYTHON;
- Desenvolver plataforma Web de simples apresentação, com interface visualmente agradável e responsiva;
- Avaliar a capacidade da plataforma no auxílio didático.

1.3 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

A motivação para a realização desse trabalho está em disponibilizar uma ferramenta simples, útil e gratuita para alunos e professores, tornando o processo de aprendizado mais dinâmico e eficiente.

O trabalho é relevante do ponto de vista prático, pois explora o desenvolvimento de uma aplicação *open source* com o uso de conceitos importantes da metodologia BIM, como a parametrização dos elementos gráficos. Também propõe o dimensionamento de vigas de concreto armado, disponibilizando uma memória de cálculo útil a engenheiros projetistas e arquitetos.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No Capítulo 1 é apresentada a problemática referente ao contexto brasileiro de projetos de construção civil, motivações, objetivos e justificativas do desenvolvimento deste trabalho.

No Capítulo 2 são descritos alguns trabalhos acadêmicos que tenham alguma relação com este trabalho.

No Capítulo 3 são detalhadas as equações, premissas e hipóteses matemáticas necessárias ao dimensionamento e detalhamento de uma viga de concreto.

As ferramentas computacionais utilizadas, a explicação dos algoritmos na linguagem de programação PYTHON, bem como a divisão necessária à organização do programa são apresentados no Capítulo 4.

No Capítulo 5 são apresentados a validação dos resultados e a avaliação dos usuários.

No Capítulo 6 são feitas as considerações finais do trabalho, bem como a discussão dos resultados e a proposição de melhorias.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

Antes de iniciar o desenvolvimento de uma nova aplicação, é importante verificar a existência de aplicações similares. Nessa seção serão apresentadas essas aplicações e também serão evidenciadas as diferenças entre essas aplicações e o **ReCon**. No estudo dos trabalhos relacionados foi também mapeada a necessidade do público-alvo (majoritariamente estudantes de engenharia), e dessa forma implementar algo que destacasse o **ReCon** das outras alternativas existentes.

De acordo com Melo e Carvalho (2014) a disponibilidade aos dispositivos móveis tem alterado a forma como consumimos, produzimos e compartilhamos conhecimento. Neste sentido, desenvolver aplicativos que auxiliem alunos e professores no desenvolvimento das atividades acadêmicas, seja melhorando a interação e integração entre as partes, ou através de ferramentas educacionais que facilitem o entendimento do conteúdo, serão de grande importância em um mundo repleto de informações, onde revoluções tecnológicas se amontoam.

No trabalho apresentado em Salsa (2018) um aplicativo didático foi criado, com o objetivo de auxiliar os alunos na compreensão do procedimento de dimensionamento à flexão em estruturas de concreto armado, mais especificamente de vigas de concreto armado de seção transversal retangular ou "T". O aplicativo desenvolvido foi avaliado por alunos e professores com o objetivo de compreender se as funções do aplicativo atendiam as necessidades dos potenciais usuários, isto é, o auxílio a comunidade acadêmica, e também coletar as sugestões para as futuras atualizações e melhorias.

O trabalho desenvolvido em Sales (2019) visou a rapidez e praticidade da execução de aplicativos em dispositivos móveis. Como essa característica singular, os *mobiles* podem ajudar na simplificação de rotinas no dimensionamento de ciclos Rankine. Estes ciclos são de grande importância na modelagem de sistemas de geração de energia ou na análise do potencial energético. Um dos objetivos do autor foi automatizar um procedimento ordinário da engenharia mecânica.

Com foco em análise de estruturas, o programa Ftool, permite ao usuário a manipulação de modelos estruturais bidimensionais, a visualização dos resultados dos esforços, deslocamentos sofridos e reações de apoio. O artigo Martha (2002) define o programa como um "[...] sistema gráfico interativo para ensino de comportamento estrutural [...]". Ftool¹ é outro exemplo de uma ferramenta útil ao ambiente profissional tanto quanto à academia, capaz de automatizar em certa medida o processo de dimensionamento estrutural. Os dados de saída são exatamente os resultados finais da etapa de análise estrutural, onde são calculados os esforços internos solicitantes e deslocamentos da estrutura modelada.

¹ <https://www.ftool.com.br/Ftool/>

Outro trabalho acadêmico relevante é o apresentado em Vannier (2018), que detalha as metodologias e abordagens utilizadas no desenvolvimento de uma aplicação para o dimensionamento de vigas de concreto armado e protendido de acordo com a NBR 6118 (2014). Visando auxiliar, estudantes de graduação em engenharia e arquitetura no processo de verificação dos resultados de exercícios, tal verificação com frequência é feita de forma manual como descritor por Pacheco (2018).

Tendo em vista a presença cada vez mais intensa e continua dos dispositivos eletrônicos portáteis, *gadgets*, inclusive em sala de aula (MELO; CARVALHO, 2014), é interessante que o **ReCon** assim como alguns dos trabalhos citados permita o acesso a partir de diferentes dispositivos. A exibição do passo-a-passo dos cálculos realizado ao longo do dimensionamento como evidenciado em Salsa (2018), permite um aumento considerável na utilidade marginal do **ReCon**, ou seja, tornaria o uso mais recorrente e mais útil para alunos, professores e profissionais da área assim como em Sales (2019).

Embora o **ReCon** não tenha por objetivo o cálculo dos esforços na análise estrutural, como é o caso do Ftool (MARTHA, 2002), ele tem como dado de entrada algumas das saída da análise estruturas, especificamente os esforços máximos os quais a viga está submetida. O que significa que o Ftool e o **ReCon** são similares no sentido educacional e complementares quando se trata da pratica de projetos de engenharia.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

O concreto armado pode ser classificado como um material compósito, tendo o concreto como *matriz* e a armadura em aço como a *fibra ou reforço*. Em um compósito cada material deve contribuir com suas características que somadas resultam em um ganho de desempenho e eficiência do material. Nesse sentido, o concreto tem como principais características sua resistência a compressão, baixo preço em comparação ao aço, longa durabilidade, resistência ao fogo e à vibrações. O aço por sua vez possui grande resistência tanto à tração quanto à compressão permitindo a composição de peças esbeltas, além de possuir boa ductilidade. Como compósito, aço e concreto agem de forma complementar, o concreto protege a fragilidade química do aço enquanto o aço supre a pouca resistência à tração do concreto, e fornece a ductilidade requerida pelos critérios da NBR 6118 (2014).

3.1 CONCRETO

3.1.1 Resistência à Compressão

No Brasil a resistência à compressão do concreto é determinada através de ensaios realizados com corpos-de-prova (CP) cilíndricos moldados conforme a NBR 5738 (2003). Os ensaios são realizados através da compressão do cilindro na direção longitudinal conforme o procedimento da NBR 5739 (2018). Tal ensaio é considerado destrutivo, onde há ruptura ainda que interna da estrutura do concreto.

A falta de homogeneidade e a variação no grau de adensamento do concreto não permitem a determinação com precisão da resistência do concreto. Sendo assim, é possível concluir que a resistência do concreto é uma variável aleatória, logo, deve-se recorrer a teoria das probabilidades para uma análise racional dos resultados.

A resistência característica à compressão, f_{ck} , medida aos 28 dias, é o valor tal que existe uma probabilidade de 5% de obter-se resistências inferiores à mesma em um determinado lote de amostragens como demonstrado na Figura 1.

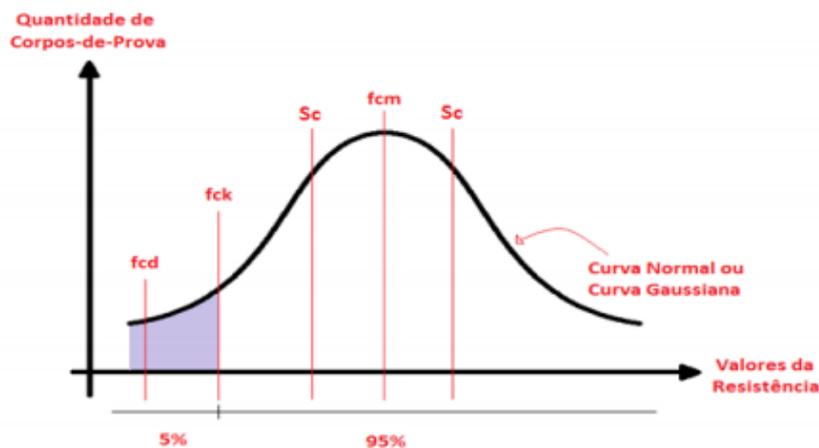


Figura 1 – Distribuição de probabilidade da resistência do concreto à compressão. Fonte: Aguiar et al. (2018)

Na revisão realizada em 2014 foram incluídos na NBR 6118 (2014) procedimentos acerca dos concreto de resistência entre a 50 e 90 MPa, denominados "Concretos do grupo II", conforme classificação da NBR 8953 (2015). Foram determinados pela NBR 6118 (2014) alterações em alguns parâmetros de cálculo que diferem o dimensionamento de vigas com esse tipo de material em relação às vigas compostas por "Concretos do grupo I", com resistência característica entre 20 e 50 MPa.

3.1.2 Resistência à Tração

A resistência do concreto ao esforço de tração pode ser determinado por ensaios laboratoriais. Existem dois métodos consagrados e normatizados para a determinação da resistência à tração, o método da tração na flexão e o método da tração indireta.

A resistência à tração indireta, $f_{ct,sp}$, é normatizada pela NBR 7222 (1994) que prescreve a metodologia do ensaio de compressão diametral (na direção do diâmetro) de um corpo de prova cilíndricos, como representado pela Figura 2.

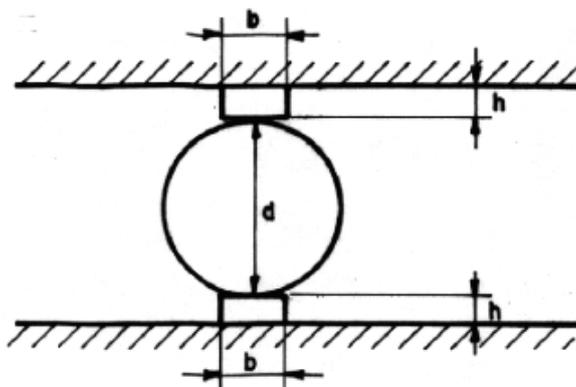


Figura 2 – Disposição do corpo-de-prova. Fonte: 7222 (1994)

Já a resistência à tração na flexão, $f_{ct,f}$, é determinada pela norma NBR 12142 (2010) que descreve a metodologia do ensaio de flexão de corpos de prova de seção retangular.

A resistência à tração direta pode ser determinada a partir da resistência à tração indireta, $f_{ct} = 0,90 \cdot f_{ct,sp}$, ou por meio da resistência à tração na flexão $f_{ct} = 0,70 \cdot f_{ct,f}$.

Na ausência de ensaios, é permitido o cálculo do valor médio ou característico a partir da resistência a compressão, Equação 3.1.

$$f_{ct,m} = \begin{cases} 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3} \Rightarrow f_{ck} \leq 50MPa \\ 2,12 \cdot \ln(1 + 0,11 \cdot f_{ck}) \Rightarrow 90 \geq f_{ck} > 50MPa \end{cases} \quad (3.1)$$

A partir do tratamento estatístico similar ao executado para o calculo da resistência à compressão, é possível calcular a resistência à tração característica inferior, $f_{ctk,inf}$, a partir da Equação 3.2, onde há apenas 5% de probabilidade de obter-se valores de resistência menores que ela. É igualmente possível calcular de forma análoga a resistência à tração característica superior, $f_{ctk,sup}$, como na Equação 3.3, onde 5% das ocorrências da amostragem irá superar o $f_{ctk,sup}$.

$$f_{ctk,inf} = 0,70 \cdot f_{ct,m}. \quad (3.2)$$

$$f_{ctk,sup} = 1,30 \cdot f_{ct,m}. \quad (3.3)$$

3.1.3 Diagrama Tensão-Deformação

Varias são as fontes de deformação do concreto. A retração volumétrica proveniente das reações químicas, por exemplo, podem interferir radicalmente na qualidade do concreto.

Para o correto dimensionamento das estruturas é necessário determinar as deformações as quais o concreto armado está submetido, dados os carregamentos.

Em Resistência dos Materiais uma das principais leis que norteiam os estudos teóricos é a Lei de Hooke, que recebe o nome do físico Inglês Robert Hooke. Hooke conseguiu demonstrar que as deformações são proporcionais às tensões, Equação 3.4, quando a resposta do material ao esforço exercido pode ser representado por esta equação, diz-se que o material tem comportamento "elástico" ou "linear".

$$\sigma = E \cdot \epsilon. \quad (3.4)$$

Cada material tem suas especificidades, por esta razão este axioma não é sempre válido. Por vezes o gráfico *tensão x deformação*, de um material pode apresentar comportamentos diferentes, para diferentes intensidades de carregamento, hora apresentando comportamento elástico, hora não-elástico (não-linear). O diagrama tensão-deformação

do concreto apresenta um formato parábola-retângulo, como representado no gráfico da Figura 3.

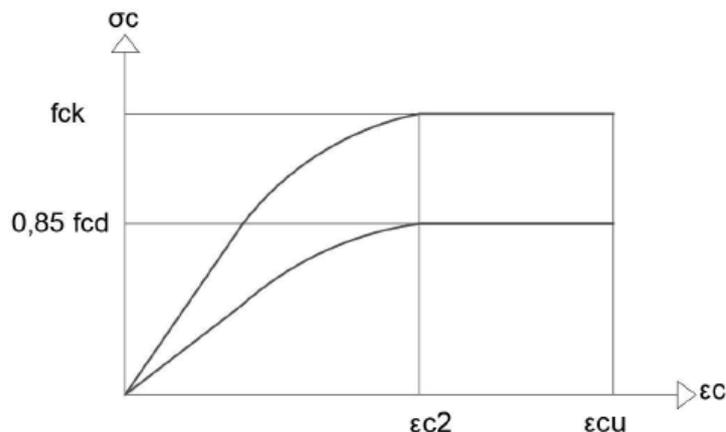


Figura 3 – Diagrama tensão-deformação do concreto na compressão. Fonte: adaptado da NBR 6118 (2014)

3.1.4 Módulo de Elasticidade

De acordo com a Lei de Hooke materiais que possuem comportamento elástico, se deformaram como uma mola, de forma proporcional às tensões aplicadas. Os ensaios laboratoriais mostram que o concreto possui comportamento não-elástico, como pode ser observado na Figura 3.

Matematicamente o módulo de elasticidade pode ser definido como a derivada, taxa de variação da curva tensão-deformação. Com a curva apresentada na Figura 3 teria-se infinitos valores para o módulo de elasticidade, para cada ponto da curva. Por simplicidade e na ausência de ensaios, a norma brasileira permite estimar o valor a partir da Equação 3.5 e Equação 3.6.

É possível estabelecer uma reta secante, e uma reta tangente no ponto inicial que permita aproximar o trecho parabólico do gráfico à uma reta com inclinação definida. A inclinação dessas retas é precisamente a constante de proporcionalidade que relaciona tensão e deformação. A inclinação da reta secante é denominado Módulo de Elasticidade Secante (E_{cs}) como na Equação 3.7. A inclinação da reta tangente é denominada Módulo de Elasticidade Inicial (E_{ci}), Equação 3.5 para concreto estrutural do grupo I e Equação 3.6 para concreto estrutural do grupo II.

$$E_{ci} = \alpha_E \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}}. \quad (3.5)$$

$$E_{ci} = 21,5 \cdot 10^3 \cdot \alpha_E \cdot \sqrt[3]{\frac{f_{ck}}{10} + 1,25}. \quad (3.6)$$

onde, α_E depende do mineral predominante no agregado graúdo utilizado.

- $\alpha_E = 1,2$ para basalto e diabásio;
- $\alpha_E = 1,0$ para granito e gnaisse;
- $\alpha_E = 0,9$ para calcário;
- $\alpha_E = 0,7$ para arenito.

$$E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci}. \quad (3.7)$$

onde, $\alpha_i = 0,80 + 0,20 \cdot \frac{f_{ck}}{80} \leq 1$.

3.2 AÇO

A NBR 7480 (2007) é responsável por estabelecer requisitos para o aço utilizado em estruturas de concreto armado. Acerca das características, a norma permite que as barras utilizadas sejam de três tipos: lisa, entalhada e nervurada. Em contraposição ao concreto, o aço apresenta maior ductilidade, ou seja, maior deformabilidade antes da ruptura. O item 17.3.5 da NBR 6118 (2014) descreve que a ruptura frágil das seções transversais, no momento do surgimento das primeiras fissuras, deve ser evitada. Para tanto, é fundamental definir qual a quantidade aço longitudinal necessária para conferir ductilidade a estrutura.

A armadura pode ser classificada a partir de sua resistência característica de escoamento (f_{yk}). As categorias normatizadas pela NBR 7480 (2007) são CA-25, CA-50 e CA-60. O gráfico tensão deformação do aço estrutural apresenta um patamar, denominado patamar de escoamento, Figura 5, um trecho em que o material continua a deformar-se mesmo sem acréscimo de tensão.

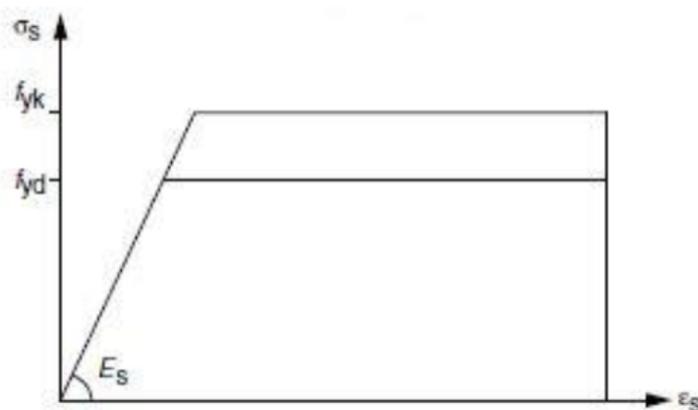


Figura 4 – Diagrama tensão-deformação simplificado. Fonte: NBR 6118 (2014)

3.3 DIMENSIONAMENTO DE CONCRETO ARMADO

3.3.1 Estádios de Deformação

De acordo com IBRACON (2015), as diretrizes da NBR 6118 (2014) estão associadas a uma vida útil de projeto de 50 anos. Para garantir a vida útil mínima da norma é necessário garantir a integridade do concreto. A classe de agressividade ambiental, que determina o cobrimento mínimo, está diretamente ligado à vida útil. Por outro lado, um dos mecanismos utilizados para o aumento da vida útil, é mitigar a fissuração, favorecer a boa aderência e promover a solidarização entre o concreto e a armação.

As fissuras no concreto são micro rupturas que surgem no momento em que as tensões de tração igualam e superam a resistência à tração do concreto. Segundo Bastos (2014) essa resistência é aproximadamente na ordem de grandeza de 10% da resistência à compressão. Os Estádios de deformação de uma determinada seção transversal podem ser mais facilmente observados a partir do grau de fissuração do concreto.

No Estádio I a tensão solicitante à tração no concreto é menor do que a tensão resistente à tração, portanto não há o surgimento de fissuras, a distribuição das tensões ao longo da seção transversal obedece à Resistência dos Materiais como descrito por (LEONHARDT; MONNIG, 1982). No momento em que as tensões de tração na flexão se igualam ou superam a tensão resistente, inicia-se a fissuração do concreto na zona tracionada, esse estágio é denominado Estádio I_a .

No Estádio II a viga submetida à flexão apresenta trechos fissurados e trechos não fissurados. A presença de fissuras indica que o concreto na zona fissurada já não tem qualquer capacidade de resistir ao esforço de tração, pois já houve uma separação física, uma quebra na estrutura cristalina do material, ainda que microscópica. Nesse Estádio a tensão resistente à tração fica plenamente a cargo das barras de aço longitudinais.

No Estádio III as fissuras que surgiram no Estádio anterior se propagam e avançam até a região da linha neutra da seção, passando por ela e atingindo em parte a região comprimida da seção. Nesse momento, para efeitos de cálculo, considera-se que o concreto da zona comprimida está deformado de modo que a distribuição dos esforços já não é mais linear.

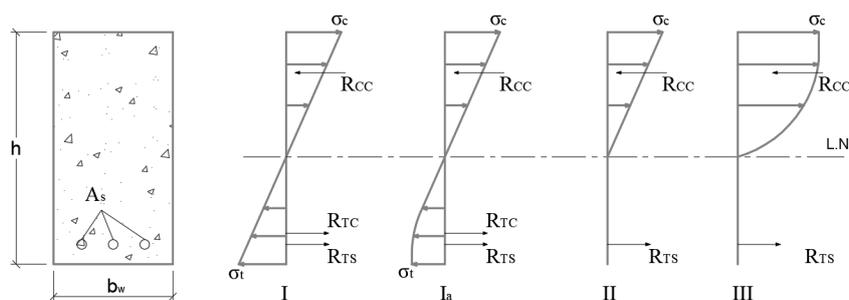


Figura 5 – Distribuição de esforços na seção, em cada Estádio. Fonte: adaptado de Araújo (2014), Bastos (2014)

3.3.2 Domínios de Deformação

Quando analisa-se um elemento estrutural em concreto armado, é importante saber como os dois materiais comportar-se-ão juntos. Para tanto é necessário conhecer o domínio de deformação. A partir do domínio de deformação é possível saber quais as deformações específicas de cada material.

A linha neutra da seção transversal é o ponto de inflexão dos esforços na seção, indicando um limiar que separa a parcela comprimida e a parcela tracionada da seção. Nessa linha, a seção não experimenta nem compressão nem tração. A posição da linha neutra determinará em qual domínio de deformação a seção se encontra, na Figura 6 podem ser vistos os domínios de deformação. A parcela comprimida da seção irá evidentemente sofrer um encurtamento enquanto a zona tracionada experimentará alongamento.

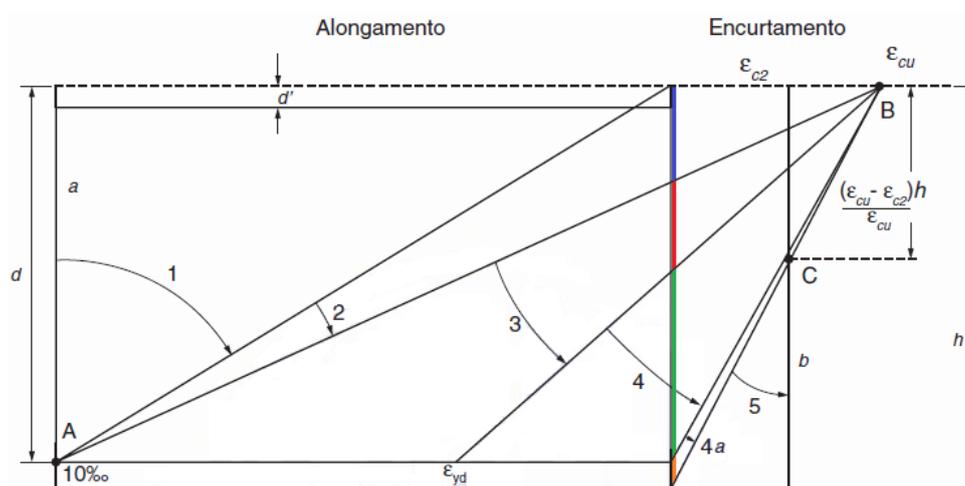


Figura 6 – Domínios de estado-limite último de uma seção transversal. Fonte: adaptado da NBR 6118 (2014)

No domínio 1, a seção experimenta apenas o esforço de tração, sem qualquer compressão, porém uma tração não uniforme. Para que uma seção esteja nesse domínio a linha neutra terá posição igual a zero ou negativa.

No domínio 2, a deformação sofrida pelo aço é máxima, igual a 10‰, e a deformação sentida pela parcela comprimida do concreto estará entre 0 e a deformação máxima do concreto ϵ_u . Uma seção que esteja nesse domínio, terá a linha neutra no trecho azul da Figura 6.

No domínio 3, a deformação no aço estará entre a deformação máxima, e a deformação de escoamento ϵ_{yd} . No concreto a deformação será máxima. Neste domínio a linha neutra estará no trecho em vermelho da Figura 6.

No domínio 4, a seção terá a armadura tracionada experimentando deformação menor do que a deformação de escoamento. No concreto a deformação será máxima. Neste domínio, a linha neutra estará no trecho em verde da Figura 6.

No domínio 4a, a seção estará submetida a flexão composta, apresentando armaduras comprimidas, ou seja, linha neutra abaixo do eixo da armadura tracionada. No concreto, a deformação será máxima. A seção que esteja neste domínio terá linha neutra no trecho em laranja da Figura 6.

No domínio 5, a seção estará sujeita a compressão não uniforme, sem tração, com um valor de linha neutra maior do que a altura da seção.

3.3.3 Hipóteses Básicas do Dimensionamento

O dimensionamento das seções transversais é feito no ELU (Estado Limite Último), que consiste em encontrar os esforços resistentes (E_R) que superem os esforços solicitantes (E_S), satisfazendo assim a Equação 3.8. O dimensionamento no ELU é feito levando em consideração que a viga se encontra no Estádio 3.

$$E_S \leq E_R \quad (3.8)$$

Para garantir que a Equação 3.8 seja satisfeita, os fatores parciais de segurança atuam majorando os esforços solicitantes e minorando as resistências. Eles têm por objetivo conferir certo grau de segurança à estrutura e computar as incertezas associadas às variáveis envolvidas no dimensionamento. Os fatores parciais de segurança γ_c para o concreto, γ_s para o aço e γ_f para as solicitações podem ser encontrados nas tabelas 11.1 e 12.1 da NBR 6118 (2014), apresentadas aqui respectivamente nas Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1 – Valores dos coeficientes de ponderação das ações

Combinações de ações	Ações							
	Permanentes		Variáveis		Protensão		Recalques de apoio e retração	
	(g)		(q)		(p)			
	D	F	G	T	D	F	D	F
Normais	1,4	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
Especiais ou de construção	1,3	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	1,2	0
Excepcionais	1,2	1,0	1,0	0	1,2	0,9	0	0

onde, D é desfavorável, F é favorável, G representa as cargas variáveis em geral e T é a temperatura.
Para as cargas permanentes de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especialmente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.

Tabela 2 – Valores dos coeficientes de minoração das resistências

Combinações	Concreto	Aço
	γ_c	γ_s
Normais	1,4	1,15
Especiais ou de construção	1,2	1,15
Excepcionais	1,2	1,0

As resistências e solicitações de projeto (ou de cálculo) que são utilizados ao longo do procedimento de dimensionamento são calculados da seguinte forma:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}, \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_c}, \quad M_d = M_k \cdot \gamma_f \quad (3.9)$$

onde, M_k é o momento solicitante característico, que é obtido a partir da análise da estrutura.

No item 17.2.2 da NBR 6118 (2014) são estabelecidas as hipóteses básicas para o dimensionamento, são elas:

- a) a seção transversal se manterá plana;
- b) a tensão de tração resistente normal do concreto na flexão é desprezada;
- c) a tensão de compressão no concreto pode ser homogeneizada pela correção na altura da linha neutra;
- d) todas as barras aderem perfeitamente ao concreto, ou seja, a deformação nas barras é a mesma que no concreto em torno das barras.

3.3.4 Dimensionamento à Flexão

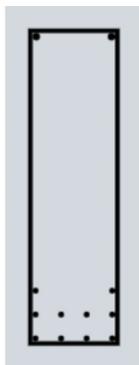


Figura 7 – Seção transversal. Fonte: ReCon

A flexão simples é aquela provocada por um carregamento perpendicular ao eixo longitudinal do elemento na ausência de qualquer carregamento axial (paralelo) ao eixo longitudinal da peça.

As variáveis para o dimensionamento à flexão e ao cisalhamento são:

- os esforços solicitantes provocados pelo carregamento atuante;
- a classe do concreto que será utilizada no projeto;
- o tipo de aço e sua respectiva resistência característica de escoamento;
- os fatores parciais de segurança.

O momento máximo que a viga submetida ao esforço de flexão simples consegue absorver utilizando armadura simples, ou seja, apenas com armadura que resista ao esforço de tração, é dado pela Equação 3.10. Onde, λ é o parâmetro para a correção da posição da linha neutra, dado pela Equação 3.11; α_c é o parâmetro de redução da resistência do concreto na compressão, dado pela Equação 3.12; n_{lim} é o critério de ductilidade (0,45 para $f_{ck} \leq 50MPa$ e 0,35 para $f_{ck} > 50MPa$); b_w é a largura da seção transversal da viga. A altura útil d é a distância entre o centro de gravidade da armadura tracionada e a borda mais comprimida, comumente convencionam-se para os cálculos iniciais $d = 0,9 \cdot h$.

$$M_{sdlim} = \lambda \cdot \alpha_c \cdot n_{lim} \cdot d^2 \cdot b_w \cdot f_{cd} \cdot \left(1 - \frac{\lambda \cdot n_{lim}}{2}\right) \quad (3.10)$$

$$\lambda = \begin{cases} 0,80 \Rightarrow f_{ck} \leq 50MPa \\ 0,80 - \frac{(f_{ck} - 50)}{400} \Rightarrow f_{ck} > 50MPa \end{cases} \quad (f_{ck} \text{ em MPa}) \quad (3.11)$$

$$\alpha_c = \begin{cases} 0,85 \Rightarrow f_{ck} \leq 50MPa \\ 0,85 \cdot \left[1 - \frac{(f_{ck} - 50)}{200}\right] \Rightarrow f_{ck} > 50MPa \end{cases} \quad (f_{ck} \text{ em MPa}) \quad (3.12)$$

A NBR 6118 (2014) determina o critério de ductilidade para garantir que houvesse uma deformação satisfatória nos elementos estruturais, evitando assim a possibilidade da ruptura frágil (abruptas). Para satisfazer o critério de ductilidade é necessário que a altura da linha neutra x do projeto de uma viga satisfaça a Equação 3.13.

$$n_{lim} \cdot d \geq x \quad (3.13)$$

Caso o momento solicitante de dimensionamento (M_{sd}) seja menor ou igual ao momento solicitante limite (M_{sdlim}) o dimensionamento pode ser feito utilizando armadura simples, caso contrário o dimensionamento é feito considerando armadura dupla.

A posição da linha neutra, que irá determinar o domínio de deformação da seção, por sua vez é dada pela Equação 3.14.

$$x = \frac{d}{\lambda} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2M_{sd}}{b_w \cdot d^2 \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}}}\right) \quad (3.14)$$

Para vigas armadas com armadura simples a área de aço é dada pela Equação 3.15.

$$A_s = \frac{M_{sd}}{f_{yd} \left(d - \frac{\lambda}{2}x\right)} \quad (3.15)$$

Vigas armadas com armadura dupla a área de aço tracionada A_s e comprimida A'_s são dadas pela Equação 3.16 e Equação 3.17, respectivamente.

$$A_s = \frac{1}{f_{yd}} \cdot \left(\frac{M_{sdlim}}{\left(d - \frac{\lambda}{2}x\right)} + \frac{M_{sd} - M_{sdlim}}{(d - d')} \right) \quad (3.16)$$

$$A'_s = \frac{M_{sd} - M_{sdlim}}{\sigma'_{sd}(d - d')} \quad (3.17)$$

onde, d' é a distância do bordo comprimido ao centro de gravidade da armadura comprimida, comumente igual a 10 % da altura total h da seção transversal, d'' é a distância do bordo tracionado ao centro de gravidade da armadura tracionada e σ'_{sd} é o esforço resistente à compressão de dimensionamento na armadura comprimida, dado pela Equação 3.18.

$$\sigma'_{sd} \leq \begin{cases} E \cdot \epsilon_u \cdot \frac{(n_{lim}d - d')}{n_{lim}d} \\ f_{yd} \end{cases} \quad (3.18)$$

Há ainda a verificação da taxa de armadura tracionada mínima. A armadura mínima pode ser determinada do dimensionamento da seção transversal a um momento fletor mínimo ($M_{d,min}$) conforme a Equação 3.19.

$$M_{d,min} = 0,80W_0 \cdot f_{ctk,sup} = 0,80 \frac{b_w h^2}{6} f_{ctk,sup} \quad (3.19)$$

onde, W_0 é o módulo de resistência da seção transversal bruta de concreto, relativo à fibra mais tracionada.

Por fim, a soma das áreas de aço comprimida e tracionada não pode exceder o valor de 4 % da área de concreto da seção transversal.

3.3.5 Dimensionamento ao Cisalhamento

A teoria adotada para calcular a armadura transversal é baseada no aparecimento de fissuras ao longo da viga. Essas fissuras surgem devido ao carregamento e possuem um determinado ângulo em relação ao eixo longitudinal Figura 8. A NBR 6118 (2014) possibilita a utilização de dois modelos para o dimensionamento ao cisalhamento: modelo de cálculo I e modelo de cálculo II.

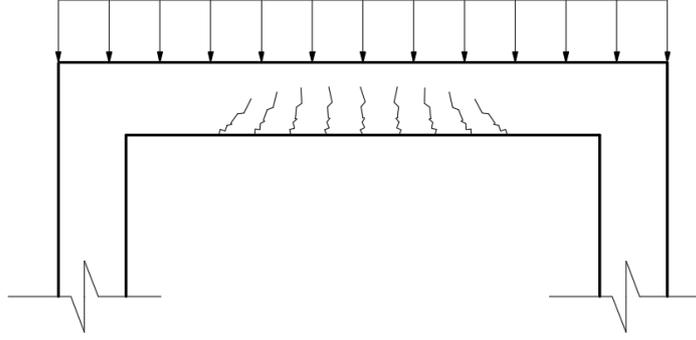


Figura 8 – Padrão observado do surgimento de fissuras.

A diferença entre esses dois modelos de cálculo consiste na adoção do ângulo da biela comprimida de concreto θ , as equações relacionadas a esse ângulo e o cálculo da força cortante resistida por mecanismos complementares ao modelo de treliça.

O cortante resistente de cálculo relativo à ruína da biela comprimida de concreto, para ambos os modelos, é determinado pela Equação 3.20.

$$V_{rd2} = 0,60 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \frac{f_{ck}}{\gamma_c} b_w 0,90d \cdot (\cotan(\theta) + \cotan(\alpha)) \cdot \text{sen}^2\theta \quad (3.20)$$

(f_{ck} em MPa)

onde, α é a inclinação do estribo e θ o ângulo de inclinação da biela, igual a 45° caso seja utilizado o modelo de cálculo I e um valor entre 30° e 45° caso seja utilizado o modelo II. Caso o cortante solicitante de dimensionamento V_{sd} seja maior que V_{rd2} as dimensões da seção transversal devem ser aumentadas, caso contrário pode-se proceder o dimensionamento calculando-se a área do estribo.

A área do estribo, por unidade de comprimento, pode ser obtido através da Equação 3.21, onde, A_{sw} é a área de aço necessária do estribo, S é o espaçamento entre os estribos e f_{ywk} é a resistência característica do aço do estribo, limitado a 500 MPa. A parcela do cortante absorvida por mecanismos complementares ao da treliça V_c , é dado pela Equação 3.22 para o modelo de cálculo I.

$$\frac{A_{sw}}{S} = \frac{\gamma_s \cdot (V_{sd} - V_c)}{0,9 \cdot d \cdot f_{ywk} \cdot (\cotan(\theta) + \cotan(\alpha)) \cdot \text{sen}(\alpha)} \quad (3.21)$$

$$V_c = V_{c0} = 0,60 \cdot \left(0,21 \frac{\sqrt{(f_{ck})^2}}{\gamma_c} \right) \cdot b_w d \quad (f_{ck} \text{ em MPa}) \quad (3.22)$$

Para o caso do modelo II se $V_{sd} \leq V_{c0}$, considera-se $V_c = V_{c0}$; se $V_{sd} = V_{rd2}$ considera-se $V_c = 0$; se $V_{c0} < V_{sd} < V_{rd2}$ considera-se a interpolação linear.

Adicionalmente deve-se verificar se a armadura transversal calculada A_{sw} é maior do que a armadura mínima A_{swmin} , determinada pela Equação 3.23.

$$\frac{A_{swmin}}{S} = \frac{0,20 \cdot 0,30 \sqrt[3]{(f_{ck})^2} \cdot 100b_w \cdot \sin(\alpha)}{f_{yw}} \quad (f_{ck} \text{ em MPa}) \quad (3.23)$$

3.4 DETALHAMENTO DA SEÇÃO TRANSVERSAL

3.4.1 Armadura Longitudinal

O detalhamento da seção transversal se inicia com a determinação dos espaçamentos mínimos entre as barras. A seção 18.3.2 da NBR 6118 (2014) determina as condições para a obtenção do mínimo espaçamento entre faces das barras na direção horizontal ($a_{h,min}$) e vertical ($a_{v,min}$). Tais condições foram traduzidas na Equação 3.24 e Equação 3.25, onde D_{max} é o dimensão máxima característica do agregado graúdo.

$$a_{h,min} \geq \begin{cases} 20mm \\ \phi \\ 1,20 \cdot D_{max} \end{cases} \quad (3.24)$$

$$a_{v,min} \geq \begin{cases} 20mm \\ \phi \\ 0,50 \cdot D_{max} \end{cases} \quad (3.25)$$

Uma vez determinada a área de aço necessária, é possível calcular o número de barras necessária, Equação 3.26.

$$nb = \frac{A_s}{A_b} = \frac{A_s}{\frac{\pi \cdot \phi^2}{4}} \quad (3.26)$$

onde, A_b é a área e ϕ é o diâmetro da barra longitudinal.

Com os espaçamentos mínimos e o diâmetro da barra da armadura transversal (ϕ_t) e o cobrimento (c), é possível calcular o espaço disponível (b_{si}) na seção para alocação das barras a partir da Equação 3.27. Por outro lado, o espaço necessário é dado pela Equação 3.28. Igualando as duas equações temos o número máximo de barras por camada em função de parâmetros conhecidos, Equação 3.29.

$$b_{si} = b_w - 2(c + \phi_t) \quad (3.27)$$

$$b_{si} = (nb_{max} \cdot \phi) + (nb_{max} - 1) \cdot a_{h,min} \quad (3.28)$$

$$nb_{max} = \frac{b_w - 2(c + \phi_t) + a_{h,min}}{(\phi + a_{h,min})} \quad (3.29)$$

onde, nb_{max} será um número inteiro arredondado para baixo, de modo que o espaçamento mínimo horizontal seja respeitado.

Se a quantidade de barras, for maior que o número máximo de barras por camada, a armadura longitudinal terá naturalmente mais de uma camada.

As variáveis fundamentais ao detalhamento podem ser vistas na Figura 9.

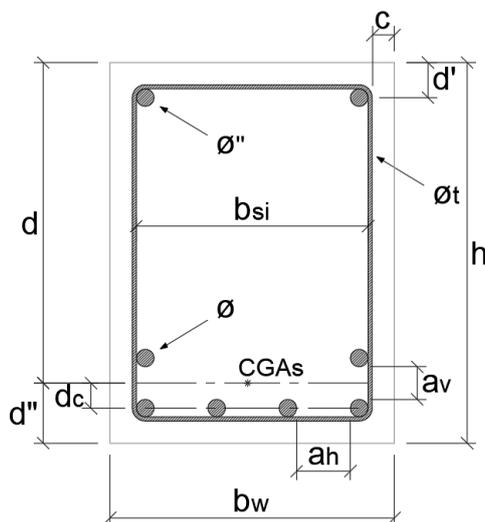


Figura 9 – Exemplo esquemático da seção transversal e as dimensões do detalhamento.

Na disposição das barras da áreas de aço comprimida, o procedimento de verificação dos espaçamentos bem como os cálculos de números de barras e camadas é o mesmo executado para as barras da área de aço tracionada.

3.4.2 Armadura de Pele

Para impedir a propagação das trincas e fissuras de flexão ao longo da seção transversal, a NBR 6118 (2014) preconiza a existência de armadura de pele. Tal armadura deve estar posicionada na lateral da viga, a área de armadura por face $A_{s,pele}$ pode ser calculada conforme a Equação 3.30, não sendo necessária uma área superior a $5\text{cm}^2/\text{m}$ por face. Para vigas com altura igual ou menor que 60 cm, a norma permite que a armadura de pele seja desconsiderada.

$$A_{s,pele} \geq 0,10\%b_w \cdot h \quad (3.30)$$

O espaçamento entre as barras da armadura de pele deve respeitar o critério de espaçamento vertical mínimo entre barras conforme Equação 3.25, não sendo permitido espaçamento superior a 20 cm.

3.4.3 Armadura Transversal

A armadura resistente ao esforço cortante (estribo) deve obedecer um espaçamento máximo determinado pela NBR 6118 (2014) conforme as condições a seguir:

- se $V_d \leq 0,67V_{Rd2}$, então $S_{max} = 0,60d \leq 300mm$;
- se $V_d > 0,67V_{Rd2}$, então $S_{max} = 0,30d \leq 300mm$.

Os estribos devem ser fechados através de um ramo horizontal, envolvendo as barras da armadura longitudinal de tração. O espaçamento transversal entre ramos da armadura esta limitado às seguintes condições:

- se $V_d \leq 0,20V_{Rd2}$, então $S_{t,max} = d \leq 800mm$;
- se $V_d > 0,20V_{Rd2}$, então $S_{t,max} = 0,60d \leq 350mm$.

O espaçamento mínimo entre os estribos deve permitir a passagem do vibrador de concreto, possibilitando o adensamento adequado. A NBR 6118 (2014) não estabelece um valor mínimo, porém Cintra, Fonseca et al. (2013) observaram diâmetros de agulha de vibração entre 20 e 90 mm para a adensamento de concreto em vigas.

O diâmetro da barra de aço resistente ao cortante (ϕ_t) deve obedecer aos limites da Equação 3.31. Para barras lisas a NBR 6118 (2014) determina que o diâmetro não pode superar 12 mm.

$$5mm \leq \phi_t \leq \frac{b_w}{10} \quad (3.31)$$

3.5 ENGENHARIA DE SOFTWARE

Software pode ser caracterizado simultaneamente como produto e veículo de distribuição de produtos, como salientado por Pressman Roger e Maxim (2016). Como produto os softwares permitem a criação, gerenciamento e controle de informações. Como veículo eles permitem a transmissão de produtos diversos, destacando-se a *informação*. Pode-se apenas a título de exemplo pensar em um jornalista que produz conteúdo escrito por meio de um software de escrita/edição/revisão de textos e irá publicar seu conteúdo em uma paginá Web. Nesse exemplo, foi utilizado o produto software de edição de texto, e o produto gerado, o texto, foi transmitido por meio de outro software.

Muito embora o software seja um produto, o seu processo de criação o distingue dos demais. Segundo Pressman Roger e Maxim (2016), é possível se falar na fabricação de um componente de um computador (hardware), porem não há como falar sobre a fabricação de um software, e sim sobre seu desenvolvimento.

3.5.1 Processo de Software

Para o correto desenvolvimento de produtos é importante estabelecer roteiros de execução. Tais roteiros permitem um desenvolvimento com qualidade, além de permitir a

replicabilidade do trabalho. Este roteiro irá determinar a sequência das atividades que devem ser executadas a fim de atingir o ponto desejado, ou seja, um produto, no caso um software, que atenda as necessidades e requisitos do cliente e que consiga cumprir com os objetivos anteriormente estabelecidos.

Para o bom desenvolvimento a determinação de uma modelo de processo irá estabelecer as atividades necessárias. Um modelo genérico em engenharia de software compreende as atividades: comunicação, planejamento, modelagem, construção e entrega.

Antes de iniciar a fabricação de um produto, é vital que o mesmo tenha uma razão de ser, e isso fica claro quando aquele que utilizará o produto se comunica com aquele que o produzirá.

Na etapa de **Comunicação** cliente e contratado irão juntos compreender e coletar as necessidades e objetivos do projeto e determinar o conteúdo e a forma do software, determinando assim o escopo do projeto.

No **Planejamento** o objetivo é traçar um plano claro que defina como o software será construído, quais técnicas serão utilizadas, quais os riscos e impactos, os recursos e insumos necessários à execução do mesmo. Sabendo-se que projetos tem inicio, meio e fim, na fase de planejamento é estabelecido também o fim, na figura dos resultado a serem obtidos, bem como o tempo necessário para tanto.

Na atividade de **Projeto** o objetivo é desenvolver um rascunho, algoritmos ou protótipo que permita uma visão ampla do que será de fato construído de forma refinada nas etapas seguintes. Dessa forma o cliente já terá uma afinidade com o produto que será desenvolvido.

A etapa de **Construção** contempla o desenvolvimento dos códigos fontes e das etapas de testes. Os testes possuem a função de garantir a qualidade do software e acontecem enquanto estão sendo feitos os primeiros códigos, passando pelos testes de integração do sistema e o teste com o usuário.

Por fim, na **Entrega** o software é entregue ao cliente, que então julga se o produto final contém os requisitos levantados na primeira etapa.

Um fator importante no desenvolvimento é de que forma as etapas do processo relacionam-se, este aspecto é denominado fluxo de processo e pode apresentar diversas configurações, Pressman Roger e Maxim (2016). Neste trabalho adotou-se o fluxo de processo em cascata. Este tipo de fluxo também é comumente conhecido como ciclo de vida do clássico, proposto por Royce (1970). Na Figura 10 é exemplificada a forma do desenvolvimentos das etapas do processo de software no modelo cascata. De acordo com Pressman Roger e Maxim (2016), a utilização desse tipo de modelo é sugerida quando os requisitos do sistema são facilmente identificáveis e bem definidos. Outro ponto destacado em Pressman Roger e Maxim (2016) é o fato da maioria das organizações entender o fluxo cascata como um processo linear, sem a presença dos "*feedbacks loops*".

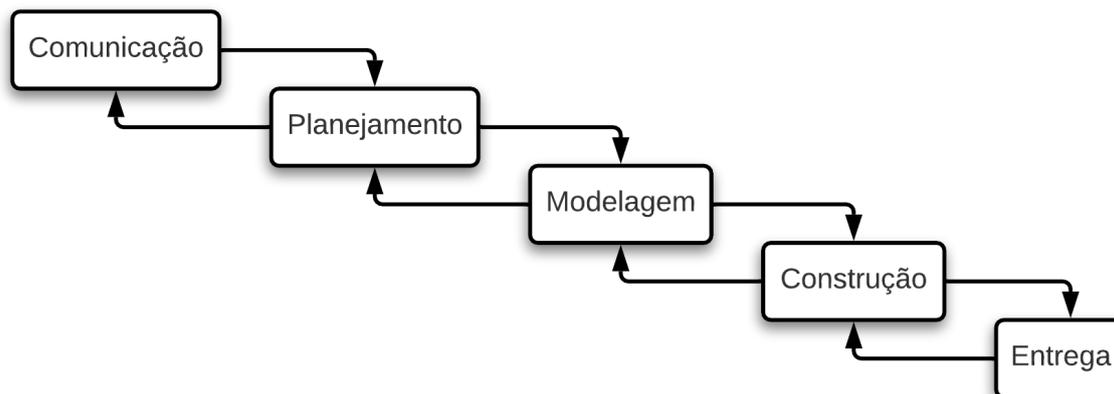


Figura 10 – Fluxo do processo de software. Figura adaptada de Pressman Roger e Maxim (2016), Royce (1970)

3.5.2 Engenharia de Requisitos

A engenharia de requisitos tem como objetivo determinar com clareza as necessidades dos usuários, procurando uma solução exequível no tempo. De acordo com Pressman Roger e Maxim (2016), compreender os requisitos de um problema é uma das tarefas mais difíceis na engenharia de software. A engenharia de requisitos procura ligar a etapa de projeto à construção da aplicação. Ademais, a engenharia de requisitos fornece os meios para se compreender os anseios do cliente, analisar suas necessidades, avaliar a viabilidade, negociar e especificar as soluções.

Os requisitos podem ser diferenciados entre requisitos funcionais e requisitos não funcionais. Os funcionais são aqueles relacionados com as ações e funções executadas pela aplicação, desse modo, é importante que os requisitos funcionais sejam objetivos, pois ambiguidades podem gerar problemas na qualidade do software. Os não funcionais estão associados a como as funcionalidades serão executadas.

As etapas utilizadas pela engenharia de requisito para tornar os requisitos conhecidos são:

1. Concepção: "como os projetos de software geralmente começam?" certamente esta não é uma pergunta de fácil resposta. Porém, em geral boa parte dos projetos começa quando identifica-se uma necessidade, uma demanda. Na concepção, os envolvidos procuram estabelecer a problemática, e os meios e viabilidades das soluções possíveis.
2. Levantamento: esta etapa da engenharia de requisitos consiste em determinar junto ao cliente e/ou usuários quais os objetivos para o sistema ou produto e as funcionalidades que o produto deve ter para alcançar os objetivos

3. **Elaboração:** na elaboração as informações obtidas nas etapas anteriores serão refinadas, gerando modelos de requisitos mais precisos.
4. **Negociação:** nesta etapa cabe aos desenvolvedores analisar se de fato os itens elencados pelo cliente/usuario são exequíveis. Em Pressman Roger e Maxim (2016), o autor argumenta que é comum os clientes pedirem muito além do que pode ser executado, dado os recursos de tempo e capacidade computacional disponíveis. O autor também lembra que frequentemente o cliente não conhece com precisão as próprias necessidades, o que resulta em um *gap* entre os desejos e as reais necessidades do cliente. Portanto, nesse momento é necessário gerenciar os conflitos, de modo a satisfazer em algum nível os desejos dos envolvidos.
5. **Especificação:** na ultima etapa, um documento contendo as especificações, características e requisitos do sistema é produzido.

3.5.3 Projeto de Arquitetura

A arquitetura de um software é a forma pela qual os vários componentes do sistema relacionam-se entre si. A arquitetura de um sistema é a estrutura que abarca os módulos do programa, bancos de dados, as linguagens de programação que serão utilizadas, como deve ser a interface e outros recursos necessários ao funcionamento.

Uma arquitetura de software permite uma comunicação mais fácil entre os *stakeholders* (todas as partes interessadas). A definição da estrutura e sua representação permite a perfeita compreensão do modo de interação entre os componentes como demonstrado em Pressman Roger e Maxim (2016).

3.5.4 Projeto de Interface do Usuário

As aplicações desenvolvidas serão utilizadas pelos usuários e devem ser agradáveis e fáceis de utilizar. De modo a guiar o desenvolvedor na criação de aplicações com boa usabilidade, Pressman apresenta três regras de ouro em Pressman Roger e Maxim (2016):

1. Deixar o usuário no comando;
2. Reduzir a carga de memória do usuário;
3. Tornar a interface consistente.

Deixar o usuário no comando significa em primeiro lugar não forçar o usuário a realizar ações desnecessárias, proporcionando interações flexíveis, que possam ser interrompidas ou desfeitas. Outro ponto relevante atrelado a primeira regra é ocultar os detalhes técnicos do funcionamento interno, pois isso exigiria um conhecimento de outra tecnologia alheia a interface do aplicativo.

Reduzir a carga de memória do usuário significa que sempre que possível o sistema deve lembrar os usuários de informações pertinentes.

Tornar a interface consistente significa que a apresentação e obtenção de informações será consistente. Na prática isso é possível por exemplo usando de mecanismos de entrada restrito a determinado conjunto de caracteres, ou criando ícones gráficos ou títulos que orientem o usuário.

3.5.5 Projeto de WebApps

O projeto de WebApps abrange atividades como estabelecer a percepção e a aparência da WebApp, criar o layout estético da interface do usuário, definir a estrutura geral da arquitetura, desenvolver o conteúdo e as funcionalidades que residem na arquitetura além de planejar a navegação que ocorre ao longo do uso da aplicação, conforme descrito por Pressman Roger e Maxim (2016).

Nesse trabalho foi desenvolvido uma aplicação Web, entendeu-se que este tipo de aplicação atende de forma mais satisfatória os requisitos que serão abordados no Capítulo 4.

3.5.6 Estratégias e Teste de Software

O teste pode ser definido como o conjunto de atividades predefinidas e executadas de forma sistemática com o objetivo de encontrar os erros e inconsistências. O teste visa a correção em o processo de melhoria continua. Muitas são as estratégias de teste, dentre essas, a estratégia mais citada na literatura e escolhida para aplicar nesse trabalho foi a conhecida como "Verificação e validação"(V&V).

A verificação é um tipo de teste no qual inspeciona se o programa implementa adequadamente e corretamente as suas próprias funções. Por exemplo, se os cálculos realizados apresentam resultado correto ou se ao clicar nos botões o retorno é o esperado. Já a validação diz respeito se a aplicação atendeu aos requisitos do cliente, ou seja, se a aplicação implementou todas as funções solicitadas pelo cliente e combinadas na etapa de comunicação e planejamento.

Os testes em aplicações Web são vistos e executados a partir de uma lente de gestão da qualidade. A qualidade deve ser incorporada ao projeto. Portanto, todos os aspectos do projeto devem ser igualmente testados e avaliados. Conteúdo, função, estrutura, usabilidade, navegabilidade, desempenho, compatibilidade, interoperabilidade e segurança, são dimensões que precisam ser testadas e/ou avaliadas como apresentado em Pressman Roger e Maxim (2016).

4 RECON

O desenvolvimento do aplicativo Web **ReCon** seguiu as etapas de comunicação, planejamento, projeto, construção e entrega. Essas etapas foram executadas conforme sugerido no modelo de processo de desenvolvimento apresentado no Capítulo 3 e resumido na Figura 10. Nesse capítulo são apresentados em detalhes o que foi desenvolvido em cada etapa.

4.1 COMUNICAÇÃO E PLANEJAMENTO

Na primeira fase, a comunicação entre as partes interessadas, primeiro delimitou-se quem seriam as partes interessadas e posteriormente essas pessoas foram contactadas. As partes interessadas são alunos e professores, além de profissionais da construção civil. O contato com as partes interessadas foi realizada com alunos e professores da Universidade Federal do Rio de Janeiro - Campus Macaé e com profissionais da construção civil de Macaé. Foi apresentado para eles a possibilidade de um software Web para realização de dimensionamento de vigas de concreto armado submetida a esforços de flexão simples e cisalhamento devido ao cortante e verificou-se o interesse desse público. A viabilidade de implementação foi verificada pelos autores desse trabalho quanto à implementação de algoritmos para realizar as funções necessárias e o tempo necessário para entrega do trabalho.

A etapa de planejamento iniciou-se com o levantamento de requisitos. O objetivo dessa etapa é listar as principais necessidades que devem ser atendidas pelo **ReCon**. Todas as partes interessadas contribuíram para o levantamento dos requisitos. O produto gerado nessa fase foi a construção dos requisitos não funcionais (RNF) e dos requisitos funcionais (RF) que são apresentados na Tabela 3 e na Tabela 4, respectivamente.

Tabela 3 – Requisitos não funcionais do sistema.

Requisito não funcional	Descrição
RNF_1	O aplicativo precisa ser compatível com dispositivos com tela de diferentes tamanhos.
RNF_2	O aplicativo precisa ser compatível com diferentes sistemas operacionais.
RNF_3	O aplicativo deve ter uma interface gráfica amigável, simples e objetiva.
RNF_4	O aplicativo não deve requisitar grande capacidade computacional.

Tabela 4 – Requisitos funcionais do sistema.

Requisito funcional	Descrição
RF_1	O aplicativo deve executar o procedimento de dimensionamento de vigas submetidas a flexão simples e cortante.
RF_2	O aplicativo deve permitir que o usuário digite os dados de entrada das vigas.
RF_3	O aplicativo precisa armazenar temporariamente as informações digitadas e usá-las para fazer os cálculos.
RF_4	O aplicativo deve fazer todos os cálculos necessários ao dimensionamento da viga conforme o procedimento da NBR 6118 (2014) apresentado no Capítulo 3.
RF_5	O aplicativo deve permitir a escolha do diâmetro das barras de aço.
RF_6	O aplicativo deve informar na tela o passo a passo e os resultados obtidos.
RF_7	O aplicativo deve apresentar ao usuário o desenho da seção transversal.

4.2 PROJETO

Nessa etapa os requisitos funcionais e não funcionais são considerados para realizar o projeto do ReCon. Nessa etapa são definidos os algoritmos a serem implementados e a escolha do tipo de aplicação a ser implementado.

4.2.1 Algoritmos

Para implementar o ReCon é necessário detalhar o fluxograma de cálculos que será realizado e posteriormente definir os algoritmos. A Figura 11 apresenta essas etapas.

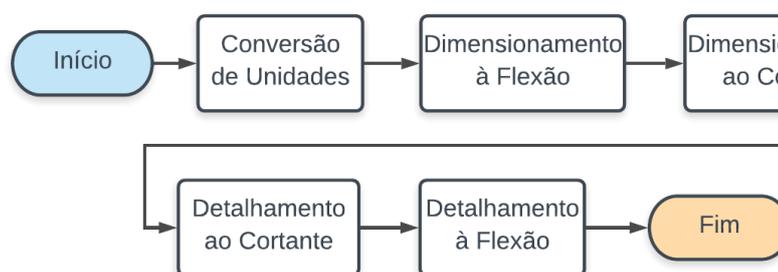


Figura 11 – Fluxograma de cálculos dentro do ReCon.

A primeira etapa, a conversão de unidades, consiste na adequação das unidades que foram selecionadas nas caixas de *input* para unidades padrões ou unidades que facilitem os cálculos posteriores. Todas as informações digitadas nas caixas de *input* na interface são armazenados em uma estrutura de dados chamada dicionário. Em um dicionário cada valor está associado a uma chave, os valores podem ser invocados ou pesquisados através

da chave. As informações geradas ao longo de cada passo são inseridas no dicionário, que vai sendo incrementado ao longo do procedimento de cálculo.

Em seguida tem-se o dimensionamento à flexão e ao cortante. Esses algoritmos são apresentados na próximas seções. Para finalizar o processo de cálculos de dimensionamento, a pagina de Resultados é exibida contendo os resultados parciais, o procedimento de cálculo executado, e novas caixas de *input*, onde o usuário pode fazer novas interações e inserir a escolha do diâmetro das barras de aço longitudinal e transversal.

A próxima etapa é o processo de detalhamento. Com base nos diâmetros escolhidos, o programa calcula quantas barras serão necessárias e, além disso, é realizado a determinação do espaçamento vertical e horizontal mínimos, bem como o espaçamento real, e a comparação entre os valores mínimos e o real. Atrelado a isso o programa define quantas camadas de barras serão necessárias na armadura de tração e de compressão.

Por fim, todas as informações necessárias para desenhar a seção são apresentadas. Todos os dados acrescentados no dicionário são utilizados na parametrização da seção transversal. O que significa que as alterações no projeto, do esforço solicitante à espessura do cobrimento, resultarão em uma mudança dinâmica e automática no desenho final da seção transversal.

4.2.1.1 Algoritmo de dimensionamento à flexão

O fluxograma do algoritmo elaborado está disponível na Figura 12. Nesse algoritmo o primeiro passo é a determinação dos coeficientes de segurança, nas tabelas 11.1 e 12.1 da NBR 6118 (2014) conforme apresentado na Subseção 3.3.3. Em seguida os esforços resistentes de projeto podem ser calculados com base nos esforços resistentes característicos, como na Equação 3.9. Logo após, é necessário fazer a seguinte verificação, se a resistência característica do concreto for maior que 50 MPa, então os parâmetros de cálculo relacionados ao concreto, como o parâmetro de posição da linha neutra, serão função do f_{ck} . Caso contrário, eles serão constantes conforme estabelecido no Capítulo 3. Vale lembrar que alguns outros parâmetros como o critério de ductilidade (n_{lim}) do elemento são definido pela NBR 6118 (2014).

Segue-se então a verificação quanto ao critério de ductilidade, Equação 3.13, que determina se a viga será dimensionada com armadura simples ou dupla. Por fim é feito o cálculo da área de aço necessária, Equação 3.15, e a verificação se a armadura necessária é menor ou maior que a área de aço mínima.

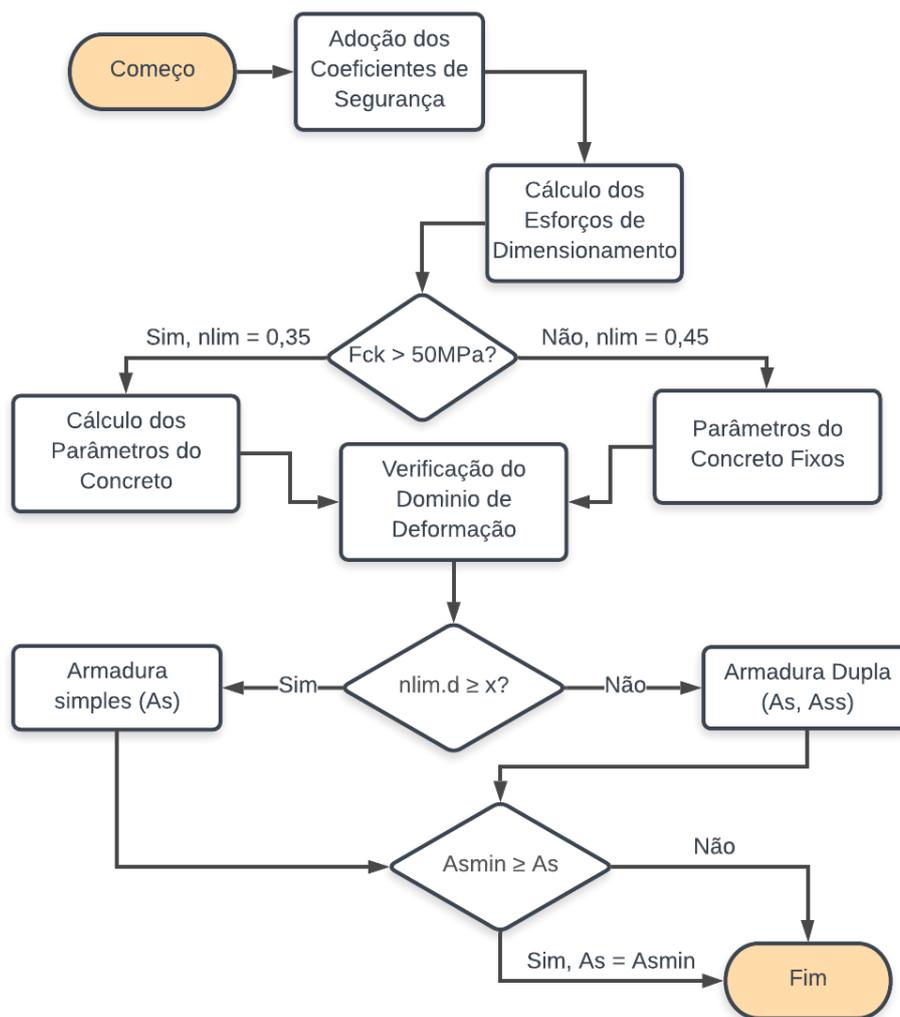


Figura 12 – Representação gráfica do algoritmo para dimensionamento à flexão elaborado.

4.2.1.2 Algoritmo de dimensionamento ao cortante

Para a determinação da área de aço que resistirá ao esforço cortante, o algoritmo da Figura 13 foi desenvolvido. Inicialmente deve ser feita a escolha do modelo de cálculo. Em seguida, o cálculo do esforço resistente à compressão na diagonal comprimida é calculado de acordo com o modelo de cálculo escolhido. Se a condição $V_{rd2} \geq V_{sd}$ for verdadeira, segue-se o cálculo da área necessária de aço conforme a Equação 3.21. Por fim, é feita a verificação, para determinar se a armadura necessária calculada é maior ou igual a mínima fixada pela norma, Equação 3.23.

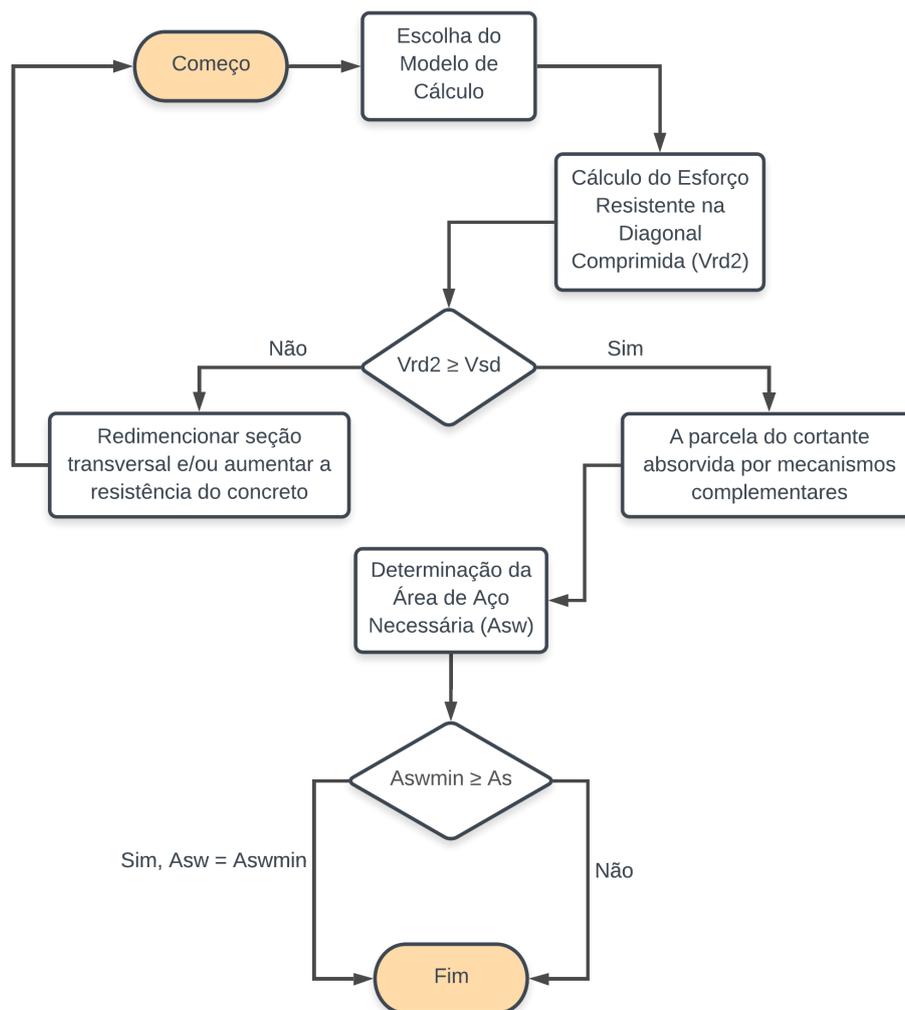


Figura 13 – Representação gráfica do algoritmo elaborado para dimensionamento ao cisalhamento.

4.2.2 Tipo de Sistema

Segundo Pressman Roger e Maxim (2016), um software é um conjunto composto por instruções de computador, estruturas de dados e documentos. Há diferentes tipos de software e, de acordo com a classificação sugerida por Pressman e Maxim, os tipos de software que se enquadram ao software desenvolvido nesse trabalho são:

- Software de aplicação: são programas independentes que solucionam uma necessidade específica de negócio. Nesse trabalho a necessidade é a realização de cálculos para o dimensionamento de vigas de concreto armado;
- Aplicações Web: são aplicativos voltados para navegadores. Segundo os requisitos não funcionais apresentados na Tabela 3, há necessidade do software ser amigável apresentando interface gráfica, não deve requerer capacidade computacional, exe-

cutar sem requerer instalação e em diferentes plataformas e em dispositivos. Uma aplicação Web oferece todos esses benefícios.

Além desses tipos pode-se afirmar que o ReCon é um software educacional, pois foi projetado para facilitar o aprendizado de um determinado assunto. Pode ser classificado também como um software de código aberto, pois todo o código do software está disponível para download e utilização gratuita em um repositório público no GITHUB¹.

4.3 CONSTRUÇÃO DO RECON

O ReCon foi implementado utilizando a linguagem PYTHON, uma das mais usuais linguagens de programação, conforme publicado por Silva e Silva (2019). PYTHON possui uma sintaxe simples que permite aos desenvolvedores escrever de forma clara, códigos lógicos utilizando menos linhas se comparado a outras linguagens como C++ ou Java, como exemplificado na Figura 14. Outra vantagem considerável é a legibilidade do código, que facilita o desenvolvimento e a manutenção do software que são demonstradas em Silva e Silva (2019).



```

Hello_Python.py
1 print('Hello Python!')

Hello_C.c
1 #include <stdio.h>
2 int main(){
3     printf("Hello C!");
4     return 0;
5 }

Hello_Java.java
1 package appteste;
2 public class AppTeste {
3     public static void main(String[] args) {
4         System.out.println("Hello java!");
5     }
6 }

```

Figura 14 – Saída Padrão em PYTHON, C e Java, respectivamente. Fonte: Silva e Silva (2019)

Nessa seção são apresentadas as bibliotecas utilizadas e suas respectivas funções na arquitetura do sistema.

4.3.1 Bibliotecas PYTHON

O PYTHON possui uma biblioteca padrão extensa e outras bibliotecas úteis desenvolvidas para propósitos específicos. Para converter as unidades dos dados de entrada digitados pelo usuário, a biblioteca *math* foi importada. As principais funções usadas foram: raiz quadrada, funções trigonométricas, como seno, cosseno, tangente e outras correlacionadas.

4.3.2 Componentes da Arquitetura

A Figura 15 apresenta a estrutura do ReCon, elencando cada um dos principais componentes da arquitetura.

¹ <https://github.com/iamvitorjesus/artigo>

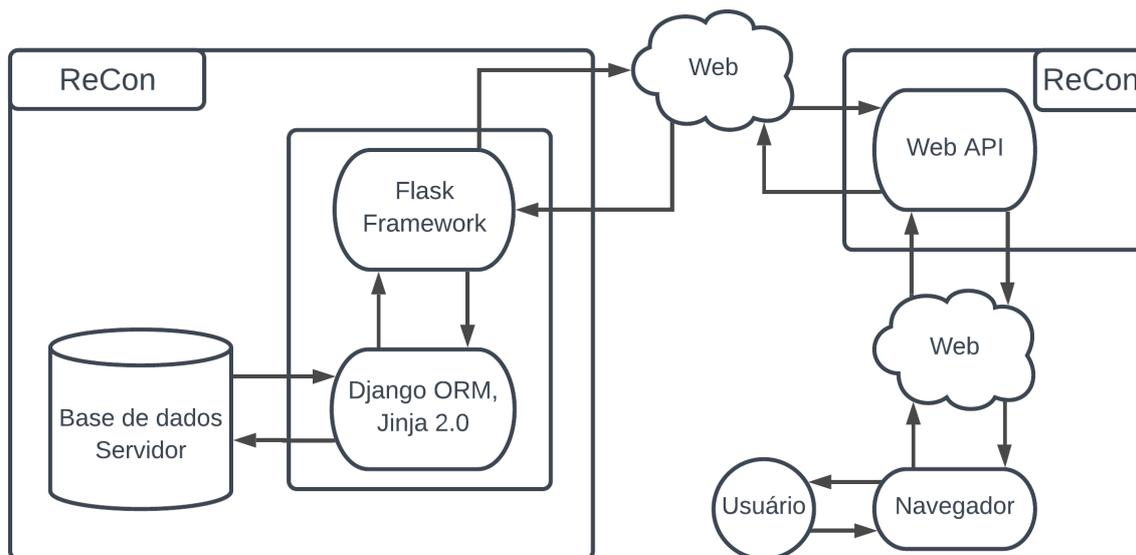


Figura 15 – Arquitetura do sistema.

A interface do ReCon é organizado como apresentado nas partes coloridas da Figura 16. O procedimento de cálculo foi implementado em etapas, em arquivos separados, a começar pela conversão das unidades, seguido pelo dimensionamento à flexão e ao cisalhamento e por fim o detalhamento ao cisalhamento e à flexão. Os algoritmos que foram implementado nas etapas de conversão das unidades, dimensionamentos e detalhamentos foram apresentados na subseção 4.2.1.

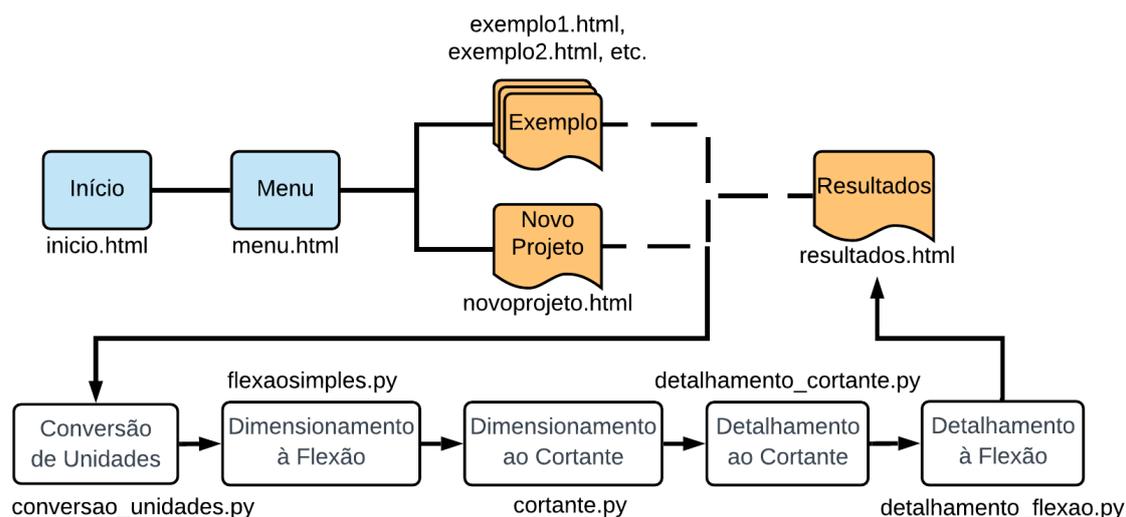


Figura 16 – Mapa do site e arquivos PYTHON.

A interface gráfica foi implementada usando FLASK². Uma ferramenta usada para

² <https://palletsprojects.com/p/flask/>

executar arquivos que contém as configurações e informações que são exibidas na interface que por sua vez interagem com o usuário.

Os pacotes do FLASK incluem uma linguagem de modelos para PYTHON que permite escrever em sintaxe PYTHON dentro de um código HTML, dessa forma a informação processada dentro do PYTHON pode ser vista na tela. FLASK usa o JINJA 2³, uma ferramenta para construir dinamicamente páginas HTML usando conceitos e sintaxe PYTHON como variáveis, estruturas condicionais, loops e listas.

O Código 1 mostra um exemplo da aplicação do JINJA 2, as ferramentas condicionais, permitem pré programar o texto que será exibido na tela para cada situação que pode se desenrolar ao longo do dimensionamento.

```

1      {% if info['Msdlim'] >= info['Msd'] %}
2          <h6 class="text-center"> rea de a o</h6>
3          <p class="text-justify">M<sub>sdlim</sub> = {{info["Msdlim"]|
round(2,'common')}} kN&#x22C5;m
4              {{info["Msd"]|round(2,'common')}} kN&#x22C5;m = M<sub>sd
</sub>, ou seja, <strong>Armadura
5              Simples</strong>, o que significa que apenas a armadura de
tra o ser calculada, a
6              armadura disposta na zona de compress o servir apenas
para garantir a posi o da armadura transversal
7              durante a execu o (porta estribo ou armadura de montagem)
, adotado-se 2 barras de 8.0 mm de di metro (2 8mm ).
8          </p>

```

Código 1 – Exemplo da estrutura do JINJA 2 em um código HTML

O BOOTSTRAP⁴ é um kit de ferramentas que foram utilizadas para facilitar a construção das páginas da aplicação. O BOOTSTRAP possui uma extensa biblioteca CSS e JAVASCRIPT que provê classes pré-construídas que ajudam a incorporar responsividade às paginas Web, como pode ser visto na Figura 20, permitindo assim o bom funcionamento em navegadores de dispositivos *mobiles*, e o ajuste automático das informações da tela às mudanças de dimensões das janelas em computadores.

A biblioteca JAVASCRIPT denominada JQUERY⁵ foi usada para programar alguns elementos da interface. Essa biblioteca permite a configuração de componentes, animações, comportamento e também a manipulação de eventos. JQUERY facilita a obtenção e funcionamento de alguns componentes, a saber, *popovers* e *tooltips* por exemplo. Esses componentes ajudam os usuários exibindo instruções e dicas de forma dinâmica, como na Figura 21.

³ <https://jinja.palletsprojects.com/en/2.11.x/>

⁴ <https://getbootstrap.com/>

⁵ <https://jquery.com/>

4.3.3 Interface da Aplicação

A Figura 16 apresenta em colorido a sequência das páginas como são vistas pelo usuário. Nessa seção elas serão apresentadas, bem como o que é possível ao usuário fazer nessas telas.

A *home page*, ou página inicial, Figura 17 (a), possui informações gerais sobre o propósito desse site. Em destaque, um botão que leva o usuário à um menu, Figura 17 (b), onde é possível escolher entre executar um novo projeto ou algum exemplo. Caso o usuário não esteja tão familiarizado com o dimensionamento de vigas de concreto armado, visualizar a execução de um exemplo o ajudará, uma vez que as caixas de *input* estarão preenchidas como na Figura 18 (a).

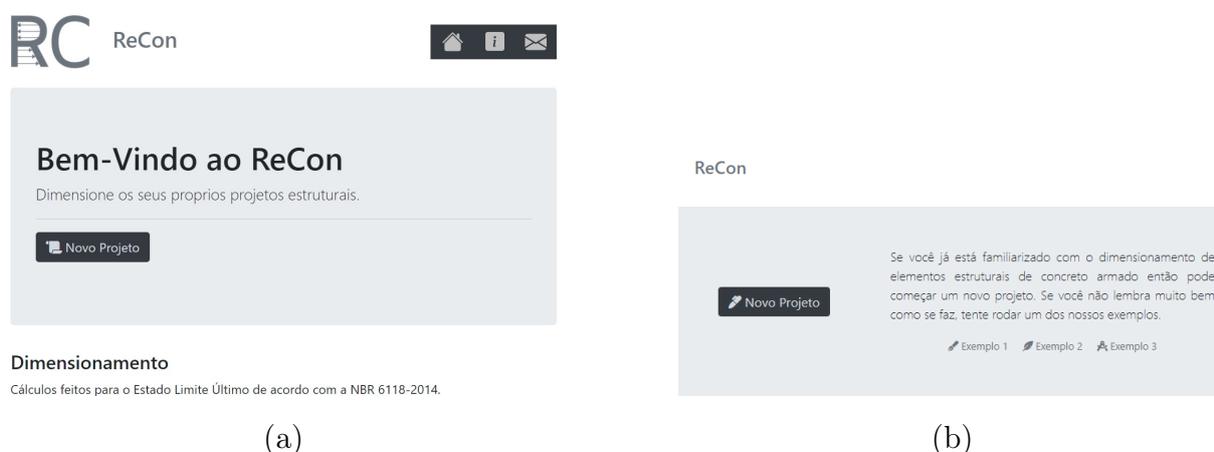


Figura 17 – Interface Gráfica do ReCon. Em (a) a *home page* e em (b) menu de opções.

Os valores padrões dos exemplos foram extraídos de exercícios resolvidos de Araújo (2014), no final da página dos exemplos, no rodapé, foi incluído a referência, com a página e edição de Araújo (2014) onde o exercício resolvido pode ser encontrado e conferido. Na parte inferior da janela dos inputs há o botão “Calcular”, que recolhe as informações digitadas e roda os algoritmos PYTHON, e retorna à janela seguinte. A Figura 18 (b) mostra a interface dos resultados, onde é mostrado o passo-a-passo do dimensionamento. Também é exibido na janela de resultados uma tabela com a área de aço em função do número e diâmetro das barras, para auxiliar o usuário na escolha do diâmetro que será utilizado no detalhamento da seção. Acima da tabela se encontra as caixas para *input* dos diâmetros do estribo e das barras longitudinais de tração e compressão (se houver) na Figura 19 (a).

Exemplo 1

Resistência Característica do Concreto

f_{ck} 20 MPa b_w 15

f_{yk} 500 MPa h 40

f_{ywk} 500 MPa l_0 4

E_s 210 GPa t_1 30

α 90 t_2 30

(a)

Dimensionamento à Flexão

As Resistências de Cálculo (ou de Projeto) dos materiais são obtidos dividindo-se as resistências características por um coeficiente parcial de segurança.

Concreto: $f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 20.0/1.4 = 14.286$ MPa.

Aço: $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 500.0/1.15 = 434.783$ MPa.

As ações devem ser majoradas pelo coeficiente γ_f , cujos valores encontram-se estabelecidos em 11.7.1, 11.7.2 e Tabelas 11.1 e 11.2 da norma.

Ações permanentes: $M_{sd} = M_{k1}\gamma_f = 3000.0 \cdot 1.4 = 4200.0$ kN-cm.

A NBR 6118 estabelece uma vida útil de projeto mínima de 50 anos para as estruturas de edifícios convencionais. Para garantir esse requisito a armadura deve estar devidamente protegida de intempéries e ações corrosivas. Nesse sentido a norma estabelece um cobrimento nominal representado pela letra 'c' associado a uma determinada Classe de Agressividade Ambiental (CAA).

ϕ_1 Diâmetro da

ϕ_2 Diâmetro da

Área de

mm	1	2
5.0	0.2	0.39
6.3	0.31	0.62
8.0	0.50	1.01
10.0	0.79	1.57
12.5	1.23	2.45
16.0	2.01	4.02

(b)

Figura 18 – Interface Gráfica do ReCon. Em (a) a página de um exemplo e em (b) parte da página dos resultados.

ϕ_1 Diâmetro da Armadura Tração ϕ mm

ϕ_2 Diâmetro da Armadura Transversal ϕ mm

Escolher

Área de aço por número de barras e diâmetro

mm	Número de barras									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5.0	0.2	0.39	0.59	0.78	0.98	1.18	1.37	1.57	1.76	1
6.3	0.31	0.62	0.94	1.25	1.56	1.87	2.18	2.50	2.81	3
8.0	0.50	1.01	1.51	2.01	2.52	3.02	3.52	4.02	4.53	5
10.0	0.79	1.57	2.36	3.14	3.93	4.71	5.50	6.28	7.07	7
12.5	1.23	2.45	3.68	4.91	6.14	7.36	8.59	9.82	11.04	1
16.0	2.01	4.02	6.03	8.04	10.06	12.07	14.08	16.09	18.10	2
20.0	3.14	6.28	9.43	12.57	15.71	18.85	21.99	25.14	28.28	3
22.0	3.80	7.60	11.40	15.20	19.01	22.81	26.61	30.41	34.21	3
25.0	4.91	9.82	14.73	19.64	24.55	29.45	34.36	39.27	44.18	4
32.0	8.04	16.08	24.13	32.17	40.21	48.25	56.29	64.34	72.38	8
40.0	12.57	25.13	37.70	50.26	62.83	75.40	87.96	100.53	113.09	1

(a)

$A = 0.393$ cm²
 $S = A/A_{sw} = 21.6$ cm
 $n_e = (l_0 + t_1 + t_2)/S = 22$

Área dos 2 ramos de um estribo.
 Espaçamento real entre os estribos.
 Número total de estribos.



(b)

Figura 19 – Interface Gráfica do ReCon. Em (a) o local de escolha do diâmetro das barras e em (b) seção transversal gerada.

Para desenhar a seção transversal foi utilizado programação em JAVASCRIPT para criar um *Canvas*, uma tela para pintura onde linhas de comando são interpretadas originando linhas, retângulos e circunferências. Também é possível determinar a cor dos elementos, criar elementos preenchidos (sólidos), definir a espessura das linhas e o posicionamento de cada elemento baseado em coordenadas cartesianas.

Essas bibliotecas permitem a representação das barras de aço longitudinal e transversal, bem como das características calculadas, como o espaçamento entre as barras longitudinais, o espaçamento entre as camadas de barras de aço, a correta representação da espessura do estribo e do cobrimento, além de muitas outras características determinadas na fase de detalhamento da seção transversal.

Portanto, as informações são digitadas pelo usuário em uma interface gerado por arquivos na extensão .html e modelado por CSS e JAVASCRIPT. Essas informações são requeridas do servidor por meio da biblioteca FLASK, e são tratadas e agrupadas todas as informações em estruturas de dados PYTHON. Os dados são inseridos nas funções PYTHON de conversão de unidades, dimensionamento e detalhamento. Por fim, uma estrutura de dados que agrupa todos os dados de saída é exportada por meio do FLASK. Estas informações são acessadas no código HTML por meio das ferramentas do JINJA 2. Assim, os dados de saída podem ser exibidos na interface, tornando o processo de cálculo auditável ao usuário.

Na Figura 20 são apresentadas essas páginas Web pela tela de um dispositivo móvel. Essas páginas se adaptam à diversos tamanhos de tela devido à biblioteca BOOTSTRAP conforme citado anteriormente.

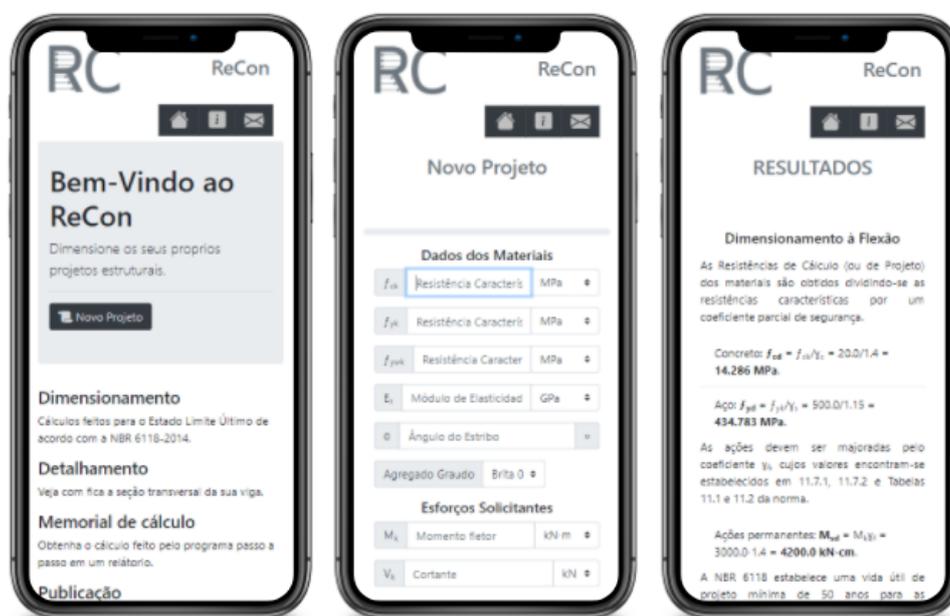


Figura 20 – Exemplo da responsividade do site.

A Figura 21 mostra um exemplo de dicas ou *tooltips* que foi implementado na interface do ReCon utilizando a biblioteca JQUERY.

Dados dos Materiais

f_{ck}	20	MPa	↕
f_{yk}	500	MPa	↕
f_{ywk}	500	MPa	↕

Resistência Característica do Estribo

Figura 21 – Exemplo de *tooltips*.

A última etapa do processo de software, a Entrega, foi feito com o auxílio da Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro - campus Macaé, que efetua a hospedagem do site do ReCon⁶ no servidor da instituição.

As avaliações dos experimentos e testes de verificação e validação e os comentários dos usuários são apresentados no Capítulo 5.

⁶ <https://recon.macaee.ufrj.br/>

5 RESULTADOS

Neste capítulo os resultados experimentais obtidos pelo **ReCon** e a avaliação dos usuários serão objetos de análise.

5.1 VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL

A fim de verificar as equações de cálculo e validar os resultados obtidos pelo programa, foram rodados exemplos encontrados em uma bibliografia de referência, Araújo (2014). O procedimento de validação consiste em inserir os mesmos dados de entrada de exercícios resolvidos e exemplos, e comparar os resultados obtidos pelo **ReCon** com os encontrados pelo autor da referência, em seguida verificar a fonte de possíveis discrepâncias. Vale ressaltar que a validação de projetos de software consistem em perceber se o produto desenvolvido responde às questões. As tabelas a seguir mostram os dados de entrada dos problemas selecionados para a validação.

Tabela 5 – Problemas para teste do dimensionamento à flexão. Fonte: (ARAÚJO, 2014)

Problema	Página	f_{ck}	f_{yk}	M_k	h	b	$d' = d''$
a)	143	20MPa	500 MPa	30 kN· m	40 cm	15 cm	4 cm
b)	145	20MPa	500 MPa	70 kN· m	40 cm	15 cm	4 cm
c)	145	40MPa	500 MPa	70 kN· m	40 cm	15 cm	4 cm
d)	146	70MPa	500 MPa	70 kN· m	40 cm	15 cm	4 cm

Tabela 6 – Problemas para teste do dimensionamento ao cisalhamento. Fonte: (ARAÚJO, 2014)

Problema	Página	f_{ck}	f_{yk}	V_k	h	b	$d' = d''$
e)	224	20MPa	500 MPa	30 kN	40 cm	12 cm	4 cm
f)	226	30MPa	500 MPa	50 kN	40 cm	12 cm	4 cm
g)	226	40MPa	500 MPa	70 kN	40 cm	12 cm	4 cm
h)	226	20MPa	500 MPa	90 kN	40 cm	12 cm	4 cm

Tabela 7 – Comparação entre resultados das informações de saída do **ReCon** e do livro de referência (ARAÚJO, 2014).

Problema	Referência		ReCon		Discrepância	
	A_s (cm^2)	A'_s (cm^2)	A_s (cm^2)	A'_s (cm^2)	A_s (%)	A'_s (%)
a)	3,00	0	2,98	0	0,667	
b)	7,52	2,11	7,46	2,04	0,798	3,318
c)	7,24	0	7,10	0	1,934	
d)	6,1	0	6,79	0	0,294	

Tabela 8 – Comparação entre resultados das informações de saída do ReCon e do livro de referência (ARAÚJO, 2014).

Problema	Referência	ReCon	Discrepância
	A_{sw} (cm ² /m)	A_{sw} (cm ² /m)	A_{sw} (%)
e)	1,08	1,06	1,85
f)	2,30	2,30	0
g)	3,72	3,73	0,269
h)	6,90	6,91	0,145

Conforme pode ser visto na Tabela 7 a maior diferença percentual entre os resultados obtidos pelo ReCon e os encontrados na respectiva referência é de 3,319%.

É importante lembrar que a discrepância de valores encontrada, pode ser explicada devido ao arredondamento adotado pela literatura de referência.

Os textos da memória de cálculo foram pré programados, de modo que o texto impresso na tela está diretamente ligado às informações geradas pelo ReCon. Na Figura 22 (a) podemos ver que o resultado dos cálculos constatou que o momento limite que a seção consegue absorver com armadura simples é superior ao momento de projeto atuante, o que retornou uma **Armadura Simples**. A mesma verificação pode ser vista na Figura 22 (b), porém com um resultado oposto. No problema de teste b) o momento limite é superado, resultando em uma **Armadura Dupla**. Na Figura 23 pode-se ver o resultado de um dos testes de validação do dimensionamento ao esforço de cisalhamento.

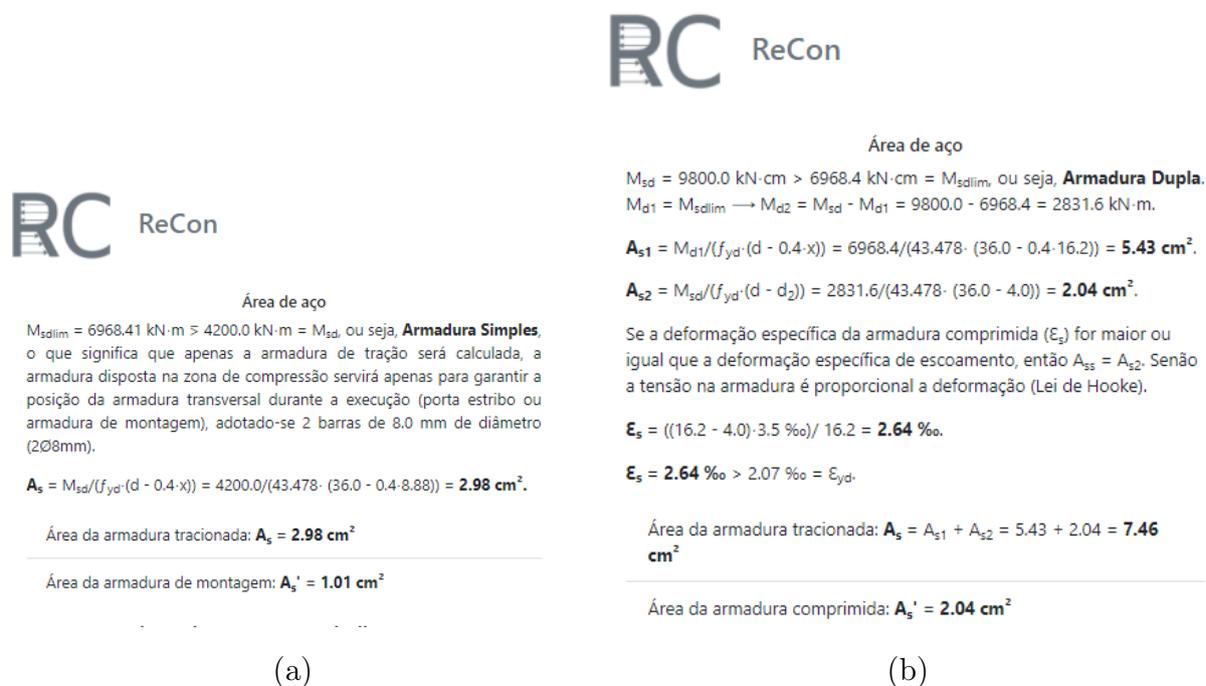


Figura 22 – Interface Gráfica do ReCon. Em (a) um dos resultados do problema de teste a) (b) um dos resultados do problema de teste b).



Sendo: $V_{sw} = V_{sd} - V_c = 97.35 \text{ kN}$.

$$A_{sw}/S = V_{sw}/(0.9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot (\sin(\alpha) + \cos(\alpha))) = 97.353/(0.9 \cdot 36.0 \cdot 43.5 \cdot (\sin(90.0) + \cos(90.0))) = \mathbf{6.91 \text{ cm}^2/\text{m}}$$

Figura 23 – Um dos resultados do problema de teste h)

5.2 AVALIAÇÃO DO USUÁRIO

Para entender a percepção do usuário em relação ao **ReCon**, um formulário foi preenchido pelos usuários. A Google oferece em seu catálogo de produtos, uma ferramenta chamada *Google Forms* para o desenvolvimento colaborativo de formulários online, que foi utilizada para a construção do formulário de avaliação do **ReCon**. O formulário inicialmente propunha a classificação do tipo de usuário (aluno, professor ou profissional do mercado de engenharia). Essa classificação permite que determinado tipo de usuário responda determinada sequência de perguntas diferente para os outros tipos de usuário.

O link para o formulário foi divulgado por e-mail a professores e estudantes de engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - Campus Macaé, convidando-os a participar da pesquisa respondendo o formulário encaminhado. O link também foi divulgado através de grupos de alunos, ex alunos e professores em redes sociais.

Um total de 14 pessoas responderam ao questionário, destes, 4 professores de engenharia civil, 5 profissionais da área de engenharia civil que atuam no mercado e 5 estudantes de graduação do curso de engenharia civil.

A primeira questão do formulário foi referente à experiência do usuário. Quando perguntados se tiveram alguma dúvida durante o uso do programa, todos responderam que não tiveram qualquer dúvida no momento da execução, disseram que entenderam os resultados de forma clara. Muito embora 3 pessoas não tenham checado se de fato os resultados estavam corretos ou não.

A fim de verificar a aceitação do *layout* de exibição das informações do site, foi feita a seguinte pergunta: "Você gostou do layout da **ReCon**?". Todos consideraram que o layout da página de resultados tem um layout "bom" ou "muito bom".

Foi questionado qual seria o potencial público-alvo da aplicação. Os participantes sem exceção consideraram que os usuários-alvo do **ReCon** são alunos e professores da graduação.

Com relação à possibilidade de retorno à página no futuro todos responderam que provavelmente acessariam o **ReCon** novamente.

Especificamente aos alunos da graduação foi-lhes perguntado quanto à utilidade do **ReCon** para entender as disciplinas de concreto armado. Em resposta todos disseram

acreditar que **ReCon** é útil para ser usado nas salas aulas como ferramenta de auxílio. E quando perguntados se recomendariam o **ReCon** a outras pessoas, todos afirmaram que recomendariam o **ReCon**.

As perguntas específicas para os professores eram: "Você usaria o **ReCon** em suas aulas para atividades complementares?" e "Você recomendaria o **ReCon** para algum aluno?". Todos responderam que usariam para atividade complementar e 3 deles disseram que é "muito provável" recomendar o **ReCon** para os alunos.

6 CONCLUSÃO

6.1 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O desenvolvimento do presente trabalho possibilitou a criação de uma aplicação Web capaz de executar o dimensionamento de vigas de concreto armado como demonstrado por Jesus et al. (2020).

O desenvolvimento da aplicação seguiu as boas práticas e modelos de desenvolvimento de software, apresentadas em Pressman Roger e Maxim (2016), e que foram discutidas no Capítulo 3 e Capítulo 4.

Baseado em linguagem PYTHON, a aplicação ReCon também requisitou conhecimentos em JavaScript, CSS e HTML e da interação entre as várias linguagens.

Na construção dos códigos que executam os cálculos, foram desenvolvidos e implementados algoritmos que traduzissem o procedimento estabelecido na NBR 6118 (2014), de modo que o computador fosse capaz de executar os cálculos em conformidade com a norma.

Ao longo do presente trabalho foram apresentados exemplos da execução do site desenvolvido, em *smartphones* e janelas de computador, evidenciando sua responsividade, ou seja, sua adaptabilidade multiplataforma, o que torna o ReCon uma ferramenta versátil.

O processo de teste e validação dos resultados demonstram que o programa permite o cálculo de vigas de concreto armado, em termos de seção transversal, respeitando o procedimento da NBR 6118 (2014). E não apenas isso como também a exibição de uma seção transversal parametrizada, com a representação gráfica de barras longitudinais e transversais. Tudo isso de uma forma simples, inteligível e amigável como demonstrado pela avaliação dos usuários.

Com respeito à interface do trabalho, a avaliação dos usuários mostrou que as informações dispostas nas paginas eram suficientes para o bom entendimento do procedimento de cálculo. Demonstrando assim o sucesso da aplicação das regras de ouro apresentadas na Subseção 3.5.4.

Por ser uma aplicação web, o ReCon carrega vantagens como, praticidade da execução pois não requer instalação, o que facilita seu uso em sala de aula. Diferente da maioria dos aplicativos gratuitos, ReCon apresenta a memória dos cálculos realizados, permitindo que o usuário audite todo o procedimento executado.

6.2 PROPOSTAS DE MELHORIAS

Apesar de alcançados os objetivos propostos no Capítulo 1, existem aspectos que podem ser futuramente melhorados. Um deles seria tornar o ReCon um programa mais

abrangente, abarcando por exemplo o dimensionamento e detalhamento de vigas de concreto armado de seção "T", vigas de concreto protendido de várias seções, lajes maciças e nervuradas de concreto, entre outros temas abordados nos cursos de Concreto Armado e Protendido.

REFERÊNCIAS

12142. *ABNT NBR 12142: Concreto: determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos*. [S.l.]: ABNT, 2010.
5738. *ABNT NBR 5738: Concreto-Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. [S.l.]: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003.
5739. *ABNT NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. [S.l.]: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018.
6118. *ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - procedimento*. [S.l.]: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014.
7222. *ABNT NBR 7222: Argamassa e concreto: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos*. [S.l.]: ABNT, 1994.
7480. *ABNT NBR 7480: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação*. [S.l.]: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007.
8953. *ABNT NBR 8953: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência*. [S.l.]: ABNT, 2015.
- AGUIAR, R. d. C. et al. Resistência à compressão dos concretos usados na região metropolitana do recife: conformidade e análise estatística. Universidade Católica de Pernambuco, 2018.
- ARAÚJO, J. M. d. **Curso de concreto armado**. [S.l.]: Editora Dunas, 2014. v. 1.
- BASTOS, P. S. d. S. Estruturas de concreto armado (notas de aula). In: . Bauru: [s.n.], 2014.
- BÜCHI, G.; CUGNO, M.; CASTAGNOLI, R. Smart factory performance and industry 4.0. **Technological Forecasting and Social Change**, Elsevier, v. 150, 2020.
- CINTRA, D. C. B.; FONSECA, E. L. et al. Estudo de procedimentos de adensamento do concreto por vibradores de imersão em obras na grande vitória–es. IBRACON Vitória–ES, 2013.
- COELHO, P. M. N. **Rumo à indústria 4.0**. [S.l.]: Tese de Mestrado em Engenharia e Gestão Industria, 2016.
- COSTA, G. C. L. R. da; FIGUEIREDO, S. H.; RIBEIRO, S. E. C. Estudo comparativo da tecnologia cad com a tecnologia bim. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 34, n. 2, 2015.
- FILHA, D. C. M.; COSTA, A. C. R. d.; ROCHA, É. R. P. d. Perspectivas e desafios para inovar na construção civil. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2010.
- IBRACON, I. B. d. C. **ABNT NBR 6118: 2014–Comentários e Exemplos de Aplicação**. [S.l.]: IBRACON São Paulo, 2015.

JESUS, J. V. S. d. J. et al. Recon: Program in python for calculating reinforced concrete beams. **XLI Ibero-Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, ABMEC.**, Natal-RN, Brasil, 2020.

KOVÁCS, I.; FERREIRA, J. M. C.; SANTOS, M. J. N. d. Mudança tecnológica e organizacional: análise de tendências na indústria. ISEG-SOCIUS, 1994.

LEONHARDT, F.; MONNIG, E. **Construções de concreto – Princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado**. [S.l.]: Volume 1, 1982.

MARTHA, L. F. Ftool–um programa gráfico-interativo para ensino de comportamento de estruturas. **Versão educacional**, v. 2, p. 33, 2002.

MELO, R. da S.; CARVALHO, M. J. S. Aplicativos educacionais livres para mobile learning. In: **Anais do Encontro Virtual de Documentação em Software Livre e Congresso Internacional de Linguagem e Tecnologia Online**. [S.l.: s.n.], 2014. v. 3, n. 1.

PACHECO, C. A. L. Programas para auxílio ao cálculo estrutural em concreto armado. **Universidade Federal do Rio de Janeiro - Campus Macaé**, Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Macaé-RJ, Brasil, 2018.

PRESSMAN ROGER E MAXIM, B. **Engenharia de software, uma abordagem profissional**. [S.l.]: McGraw Hill Brasil, 2016.

ROYCE, W. W. Managing the development of large software systems: concepts and techniques. In: **Proc. WESCON**. [S.l.: s.n.], 1970.

SALES, P. Desenvolvimento de aplicativo móvel para dimensionamento de ciclos rankine. **Universidade Federal do Rio de Janeiro - Campus Macaé**, Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica), Macaé, 2019.

SALSA, T. O. Aplicativo didático de dimensionamento de armaduras em estruturas de concreto armado. **Revista Técnico-Científica**, n. 10, 2018.

SANTOS, R. E. dos. A armação do concreto no brasil: História da difusão da tecnologia do concreto armado e da construção de sua hegemonia. Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

SILVA, R. O. da; SILVA, I. R. S. Linguagem de programação python. **Tecnologias em Projeção**, v. 10, n. 1, p. 55–71, 2019.

VANNIER, M. M. Desenvolvimento de programas para dimensionamento de estruturas em concreto armado e protendido. **Universidade Federal do Rio de Janeiro - Campus Macaé**, Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Macaé, 2018.