



**INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**
Bahia

Ministério da Educação
Secretaria de Educação
Profissional e Tecnológica

**DIRETORIA DE ENSINO DO *CAMPUS* DE SALVADOR
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
TÉCNICO EM EDIFICAÇÕES INTEGRADO**

**JADE KAILANE SIMÕES CARDOSO
JOÃO DAVI DANTAS LIMA
JONATHA SIQUEIRA LIMA**

**VIGA RFORCE: UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL
PARA REFORÇO DE VIGAS PELA TÉCNICA DE ADIÇÃO
DE ARMADURA COM OU SEM AUMENTO DE SEÇÃO**

**Salvador
2023**

**JADE KAILANE SIMÕES CARDOSO
JOÃO DAVI DANTAS LIMA
JONATHA SIQUEIRA LIMA**

**VIGA RFORCE: UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL
PARA REFORÇO DE VIGAS PELA TÉCNICA DE ADIÇÃO
DE ARMADURA COM OU SEM AUMENTO DE SEÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao IFBA – *Campus* Salvador como requisito
parcial para obtenção do título de Técnico em
Edificações.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Silva Fortes

Salvador
2023

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA
DIRETORIA DE ENSINO DO *CAMPUS* DE SALVADOR
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO TÉCNICO EM EDIFICAÇÕES INTEGRADO

JADE KAILANE SIMÕES CARDOSO
JOÃO DAVI DANTAS LIMA
JONATHA SIQUEIRA LIMA

**VIGA RFORCE: UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA
REFORÇO DE VIGAS PELA TÉCNICA DE ADIÇÃO DE ARMADURA
COM OU SEM AUMENTO DE SEÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para obtenção do título de Técnico em Edificações pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia pela seguinte banca examinadora:

Adriano Silva Fortes (orientador) _____
Doutor em Engenharia Civil pela UFSC/Universidade do Minho
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – *Campus* Salvador

Jenner Miranda de Carvalho _____
Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – *Campus* Salvador

Regina Maria Cunha Leite _____
Doutora em Gestão e Tecnologia Industrial pelo SENAI/CIMATEC
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – *Campus* Salvador

Salvador/BA, 22 de março de 2023.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao professor Adriano Fortes, por ter sido nosso orientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiaram o nosso aprendizado.

Aos nossos pais, por todo o incentivo e ajuda para a realização deste trabalho.

Aos amigos, que sempre estiveram ao nosso lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que nos dedicamos a este trabalho.

Aos nossos animais de estimação, por todo apoio emocional e, principalmente, pela companhia nas madrugadas em que nos dedicamos a este trabalho.

À Rosalía, por ser a trilha sonora das nossas vidas durante a confecção desta pesquisa, nos dando força e discernimento para continuar esta jornada.

CARDOSO, Jade Kailane; LIMA, João Davi; LIMA, Jonatha. **VIGA RFORCE: uma ferramenta computacional para reforço de vigas pela técnica de adição de armadura com ou sem aumento de seção**. Orientador: Adriano Fortes. 2023. 35 f. TCC (Técnico) – Curso Técnico em Edificações Integrado, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – *Campus* Salvador, Salvador, 2023.

RESUMO

Na atualidade é evidente a importância do papel da tecnologia na automatização e otimização dos processos dentro dos mais diversos campos do conhecimento, não sendo diferente na área da construção civil. Tendo em vista a ausência de ferramentas computacionais voltadas para temática de reforço de estruturas, este trabalho apresenta o processo de concepção, modelagem e verificação da ferramenta VIGA RFORCE, que tem como objetivo realizar o dimensionamento do reforço de vigas de concreto, pelas técnicas adição de armaduras e aumento de seção, com foco em tornar essa análise objetiva e facilmente aplicável. Embasado nas formulações descritas na NBR 6118/2014, o VIGA RFORCE realiza os procedimentos de cálculo considerando as determinações de reforço das respectivas técnicas, buscando otimizar o processo, aumentando assim a eficácia e a produtividade do usuário. Diante disso, a ferramenta computacional VIGA RFORCE se mostra promissora, visto que é capaz de realizar os procedimentos de cálculo e dimensionar o reforço de estruturas de viga, considerando a deformação do concreto e das barras de aço. Ademais foi confeccionado um manual para o usuário e assim, iniciou-se um rompimento no atraso que persiste na criação de softwares adequados para o reforço estrutural.

Palavras-chave: Reforço. Vigas de concreto. Deformação. Adição de armadura. Aumento de seção.

CARDOSO, Jade Kailane; LIMA, João Davi; LIMA, Jonatha. **VIGA RFORCE: a computational tool for strengthening beams using the technique of adding reinforcement with or without increasing the section**. Advisor: Adriano Fortes. 2023. 35 f. TCC (Technician) - Technical Course in Buildings Integrated, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – *Campus* Salvador, Salvador, 2023.

ABSTRACT

In current times, it's evident the importance of technology in automatization and optimization of processes in a diverse range of the knowledge field, the same goes for the construction industry. In view of the lack of computational tools focused on structure reinforcement, this project presents the process of creation (concept, modeling and verification) of the VIGA RFORCE tool, which is built to make the sizing of concrete beams reinforcement, by the technique addition of reinforcement with or without section increase, focusing on turning this analysis practical and on easy applying. Based on the NBR 6118/2014, VIGA RFORCE proceeds the calculation considering the determinations of reinforcement according the respective techniques, looking for optimize the process increasing its efficiency and the user's productivity. That said, the computational tool VIGA RFORCE seems to be promising, known that it's capable of making the calculus procedure and size the reinforcement of beam structures, considering the deformity of the concrete and the steel bars. Besides, it was made a user's guide and with that, it started a breakthrough in the creation of adequate softwares for structural reinforcement.

Keywords: Reinforcement. Concrete beam. Deformation. Addition of reinforcement. Section increases.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Domínios de estado-limite último de uma seção transversal	12
Figura 2 – Esquema das forças atuantes sobre a viga	15
Figura 3 – Esquema da relação de igualdade entre a deformação do aço e do concreto....	16
Figura 4 – Análise da d de vigas com 1, 2 e 3 camadas	17
Figura 5 – Fluxograma do Software	20
Figura 6 – Tela inicial do app	21
Figura 7 – Tela de inserção de dados básicos	22
Figura 8 – Inserção de dados das camadas.....	22
Figura 9 – Tela com deformação maior que o limite.....	23
Figura 10 – Tela com deformação menor que o limite.....	23
Figura 11 – Tela para reforço com aumento de seção	24
Figura 12 – Tela para reforço sem aumento de seção	25
Figura 13 – Tela “O reforço falhou”	26
Figura 14 – Tela “A viga precisa de mais reforço”	26
Figura 15 – Tela “A viga foi devidamente reforçada”	27
Figura 16 – Sequência de telas do primeiro teste de avaliação.....	28
Figura 17 – Sequência de telas do segundo teste de avaliação.....	29

LISTA DE SÍMBOLOS

ϵ_{cc}	Deformação específica do concreto
ϵ_{cu}	Deformação específica do aço
ϵ_{yd}	Valor do início de escoamento do aço
X	Profundidade da Linha Neutra
d	Altura útil da viga
M_d	Momento fletor de cálculo
y	Altura da região comprimida
λ	Relação entre a y e a X
f_{ck}	Resistência característica à compressão do concreto
f_{cd}	Resistência de cálculo à compressão do concreto
σ	Tensão
F	Força
A	Área
R_c	Resultante de compressão
R_s	Força de tração na armadura longitudinal
A_s	Área transversal do aço
f_{yd}	Resistência de cálculo do aço
z	Braço de alavanca
b_w	Largura da alma da viga
ϵ_s	Deformação específica do aço da armadura passiva

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1. DOMÍNIOS DE DEFORMAÇÃO NO ESTADO LIMITE ÚLTIMO	12
2.2. DIAGRAMA RETANGULAR DE TENÇÕES	13
2.3. DEFORMAÇÃO DO CONCRETO	16
2.4. NOVA ALTURA ÚTIL.....	17
3. METODOLOGIA	18
4. FERRAMENTA COMPUTACIONAL: VIGA RFORCE	20
4.1. INTERFACE	21
4.2. TESTE EXAUSTIVO.....	27
4.2.1. <i>Testes de Funcionalidade</i>	27
4.2.2. <i>Casos de teste</i>	28
5. CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIAS.....	32
APÊNDICE A - Manual VIGA RFORCE.....	33

1. INTRODUÇÃO

A modernização e o avanço da tecnologia vêm automatizando tarefas dentro das mais variadas áreas do conhecimento, com a finalidade de otimizar as atividades, diminuir as chances de erro, aumentar a velocidade de resposta aos clientes, entre outras questões. E na construção civil, isso não é diferente quando se coloca em vista softwares que modelam e analisam estruturas a exemplo do SAP 2000, Eberick, TQS, CypeCAD, que pré-dimensiona automaticamente relatórios transparentes e memorial de cálculo como o Tricalc, entre outros. Esses programas, proporcionam várias vantagens como rapidez na elaboração de projetos e, conseqüentemente, na execução da obra, pois com o desenvolvimento dos projetos nessas plataformas, a representação gráfica se torna bastante precisa do que será produzido durante a execução (FARO, 2022).

Mas, ainda assim, com tantos softwares desenvolvidos para a área de construção civil, nem todas as atividades foram contempladas por essa modernização, como a determinação de como a viga deve ser reforçada. Os programas existentes no mercado da construção civil fazem uma avaliação do reforço de vigas como se fosse uma estrutura nova, levando em consideração, apenas, o acréscimo de carga. No entanto, esses programas não levam em consideração que as armaduras e o concreto já se encontram deformadas no momento da aplicação do reforço.

Um procedimento que acontece com bastante frequência é o reforço estrutural em vigas, que pode ser necessário devido ao acréscimo de cargas, mas também para corrigir deformações excessivas, reduzir fissuras ou resolver problemas relacionados à baixa resistência do concreto. Fortes (2000, p. 41) ressalta que as causas da necessidade de reforço podem estar ligadas ao projeto, devido a equívocos na consideração das cargas, em falhas de execução e até nas mudanças de como a construção está sendo utilizada, a exemplo das antigas pontes e viadutos que foram projetados para suportar cargas inferiores aos atuais tráfegos de caminhões, ônibus, bi-trens etc.

No momento em que programas são utilizados para a confecção do projeto destes reforços, os programas existentes no mercado da construção civil calculam o reforço de forma equivocada, como se o acréscimo de carga estivesse ocorrendo

antes da viga ser colocada em serviço, o que ocorre em raros casos. Nos casos correntes, quando o reforço é aplicado, as armaduras e o concreto já estão em situação de deformação, que deve ser considerada no cálculo do reforço, caso contrário, a análise pode levar a uma consideração contra a segurança estrutural, além de não representar o estado real da viga (FORTES, 2000).

Entre as diversas técnicas de reforço estrutural existentes e possíveis de serem empregadas em vigas de concreto armado, a adição de armadura com ou sem aumento de seção são bastante empregadas. Ademais, em ambas as técnicas é necessário um projeto para determinar seus detalhes: a possibilidade de adição de armaduras, caso exista folga de resistência no concreto comprimido, a quantidade de barras que podem ser acrescentadas, a definição do acréscimo de seção, entre outros pontos que são determinados a partir de cálculos (BOTELHO; MARCHETTI, 2015, p. 315-321).

Devido a isso, surge a seguinte questão: é possível criar uma ferramenta computacional capaz de realizar os cálculos para determinação de reforço de vigas pelas técnicas adição de armaduras e de aumento de seção que seja mais eficaz e rápido que o processo manual?

Motivados por essa questão, os autores do presente trabalho desenvolveram uma pesquisa cujo objetivo é automatizar este processo por meio da criação de uma ferramenta computacional para fazer esses cálculos visando resolver o problema da ausência de softwares que realizem as equações para a determinação de reforço de vigas por adição de armadura de aço, com ou sem aumento de seção.

1.1. OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

Sendo assim, para realizar esta pesquisa, estabeleceu-se o seguinte objetivo geral:

Desenvolver uma ferramenta computacional capaz de realizar o dimensionamento do reforço de vigas pelas técnicas de adição de armaduras com e sem aumento de seção que considere a deformação do concreto.

Posteriormente, foram determinados os seguintes objetivos específicos:

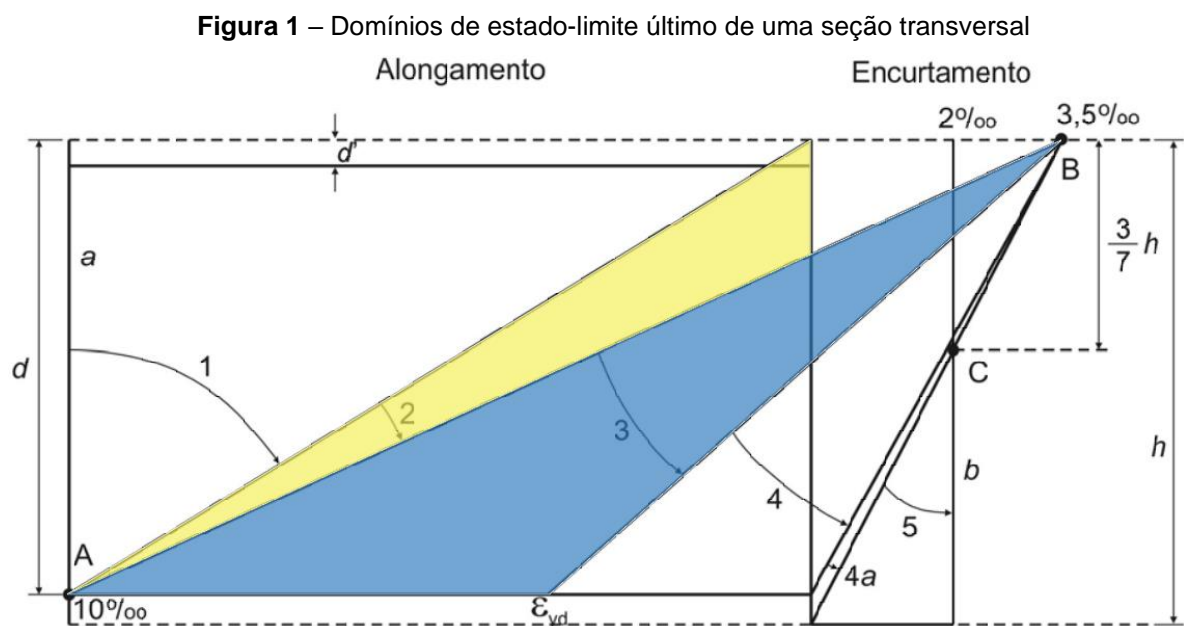
- Identificar parâmetros e procedimentos relacionados ao dimensionamento do reforço de vigas pelas técnicas de adição de armadura e aumento de seção;
- Modelar e desenvolver o programa computacional na plataforma IDE Eclipse;
- Testar as funcionalidades do software de dimensionamento de reforço de vigas;
- Confeccionar um manual referente ao software.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Como foi exposto anteriormente, o objetivo do cálculo de reforço é aumentar a capacidade resistente da viga. Fazendo tal reforço com adição de barra de aço, deve-se ter em vista um aspecto importante: a deformação do concreto e das barras na aplicação do reforço. Visto que, a viga atinge o Estado Limite Último quando o concreto comprimido atinge a deformação: $\varepsilon_{cc} = 3,5\text{‰}$ ou o aço atinge a deformação limite: $\varepsilon_s = 10,0\text{‰}$, conforme preconiza a norma brasileira NBR 6118/2014.

2.1. DOMÍNIOS DE DEFORMAÇÃO NO ESTADO LIMITE ÚLTIMO

A NBR 6118/2014 apresenta 5 domínios de deformação para serem usados como parâmetro na análise das peças de concreto armado no Estado Limite Último (ELU) de uma seção transversal. Para o presente caso, levou-se em consideração os domínios 2 e 3.



Fonte: Adaptada. NBR 6118/2014.

Vale salientar que nestes casos, a peça de concreto avisa quando está prestes a entrar em ruína por meio de flechas excessivas e elevadas aberturas de fissuras. (SCHNEIDER, 2019).

Usando de base o domínio 3, tem-se essas especificações para a profundidade da linha neutra (X):

$$0,259 * d < X \leq \frac{3,5\%_0}{3,5\%_0 + \epsilon_{yd}}$$

Onde:

d = altura útil da viga;

X = profundidade da linha neutra (distância da borda comprimida até a LN);

ϵ_{yd} = valor do início dos escoamentos do aço (valor de cálculo).

E para o domínio 2, temos a seguinte especificação para a profundidade da linha neutra (X):

$$0 < X \leq 0,259 * d$$

Ademais, a NBR 6118/2014 fala sobre os limites que devem ser aplicados além do que caracterizam os domínios, visando manter uma ductilidade adequada na peça de concreto:

- $X/d \leq 0,45$ para concretos com $f_{ck} \leq 50$ MPa;
- $X/d \leq 0,35$ para concretos com $50 \text{ MPa} < f_{ck} \leq 90$ MPa.

2.2. DIAGRAMA RETANGULAR DE TENÇÕES

Inicialmente, seriam necessárias operações com base no diagrama parábola-retângulo para determinar o momento fletor de cálculo (M_d), contudo, a NBR 6118/2014 permite ir por um caminho mais simples, através do diagrama retangular, o qual será utilizado na presente pesquisa.

Pela norma, no diagrama retangular, a tensão é constante e a altura da região comprimida (y) é o produto dos fatores X e λ , sendo $\lambda = 0,8$ para concreto com $f_{ck} \leq 50$ MPa ou $\lambda = 0,8 - (f_{ck} - 50)/400$ para $f_{ck} > 50$ MPa.

Para descobrir o valor da força de compressão, usou-se o conceito básico de tensão (σ), sendo a força (F) sobre área (A). Então:

$$\sigma = \frac{F}{A} \Rightarrow F = \sigma * A \quad (1)$$

Sendo a força resultante de compressão (R_c) o F, a tensão (σ) igual a 0,85 vezes o f_{cd} do concreto e a área de compressão (A) representada pela base da viga (b) vezes a altura da região comprimida (y). Assim:

$$R_c = 0,85 * f_{cd} * bw * y \quad (2)$$

- $y = 0,8X$ para concreto com $f_{ck} \leq 50$ MPa;
- $y = \left(0,8 - \frac{f_{ck}-50}{400}\right) * X$ para concreto com $f_{ck} > 50$ MPa.

- Para concreto com $f_{ck} \leq 50$ MPa

$$R_c = 0,85 * f_{cd} * bw * 0,8 * X \quad (3.1)$$

$$\Rightarrow R_c = 0,68 * f_{cd} * bw * X \quad (3.2)$$

- Para concreto com $f_{ck} > 50$ MPa

$$R_c = 0,85 * f_{cd} * bw * \left(0,8 - \frac{f_{ck} - 50}{400}\right) * X \quad (4.1)$$

$$\Rightarrow R_c = \frac{6290 * X * f_{cd} * b - 17 * X * f_{cd} * bw * f_{ck}}{8000} \quad (4.2)$$

Paralelo ao R_c , tem-se a força de tração na armadura longitudinal (R_s) dada por $R_s = A_s * f_{yd}$, sendo A_s a área de aço e f_{yd} a resistência de cálculo do aço, a qual precisa estar em equilíbrio com R_c e para isso são necessárias três condições:

- $R_c = R_s$;
- $M_d = R_c * z$;
- $M_d = R_s * z$.

Sendo o braço de alavanca (z) igual a d menos a distância do centro da área comprimida até a quina, ou seja, a metade de sua altura, tem-se:

$$Z = d - \frac{y}{2} \quad (5)$$

Trabalhando com a condição de equilíbrio $M_d = R_C * z$, tem-se:

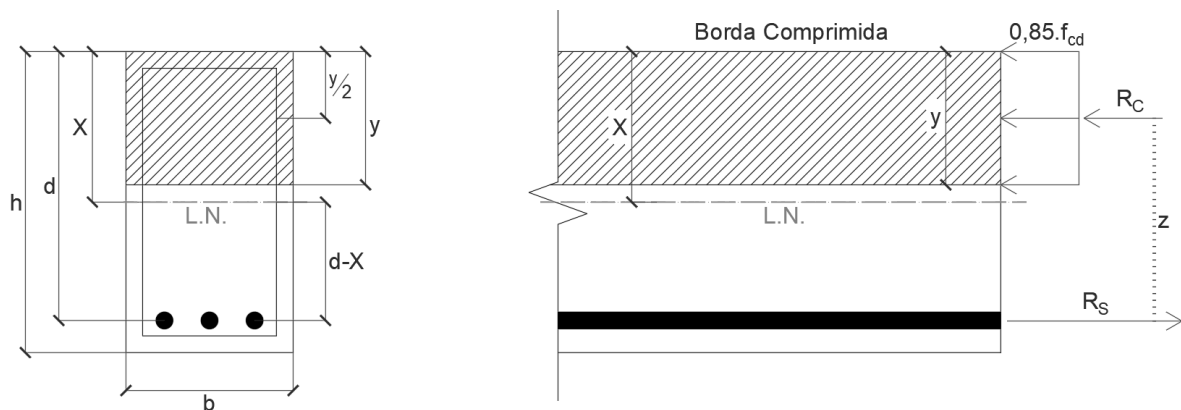
- Para concreto com $f_{ck} \leq 50$ MPa

$$M_d = 0,68 * f_{cd} * bw * X * (d - 0,4 * X) \quad (6)$$

- Para concreto com $f_{ck} > 50$ MPa

$$M_d = 0,68 * f_{cd} * bw * X * \left(d - \frac{370 * X - f_{ck} * X}{800} \right) \quad (7)$$

Figura 2 – Esquema das forças atuantes sobre a viga



Fonte: Elaborado pelos autores.

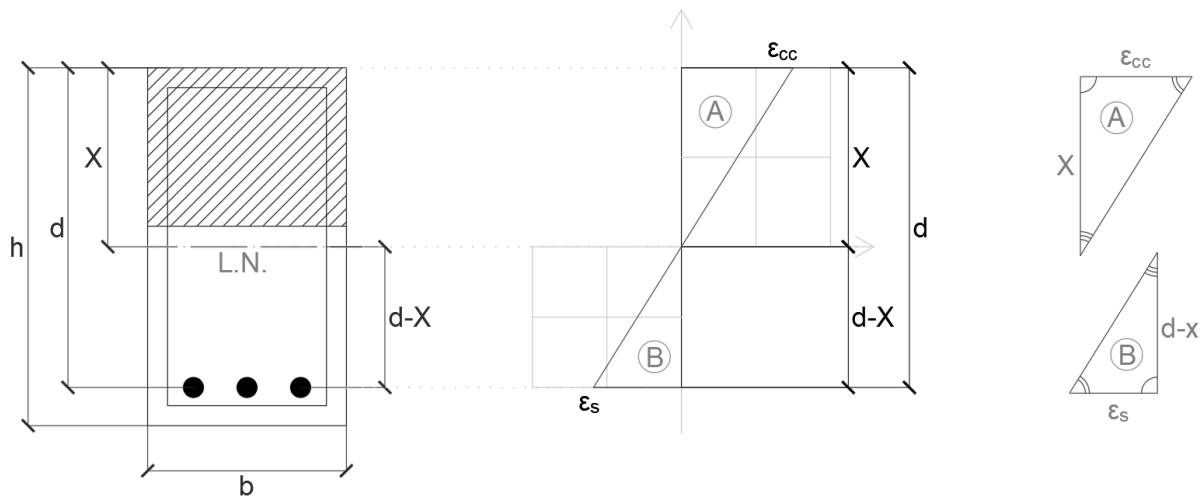
Obs.: Para o momento (M_d), será considerado o que foi calculado no projeto da viga que está em análise, tendo o objetivo de descobrir o X da área que já está sendo comprimida para, posteriormente, achar o quanto o concreto já está deformado.

A equação acima nos dará dois X 's (X_1 e X_2), o que será levado em consideração deve obedecer a seguinte regra: $0 < X < d$, caso os dois X 's se enquadrarem nesse limite, deve-se usar o menor entre eles.

2.3. DEFORMAÇÃO DO CONCRETO

Para encontrar a deformação atual do concreto, será necessária uma análise do gráfico que relaciona a deformação do aço (ϵ_s) e do concreto (ϵ_{cc}) simultaneamente. Veja abaixo:

Figura 3 – Esquema da relação de igualdade entre a deformação do aço e do concreto



Fonte: Elaborado pelos autores.

Com a observação, percebe-se que há uma semelhança entre os triângulos A e B, já que seus ângulos internos são congruentes. Com isso, pode-se admitir que:

$\frac{\epsilon_{cc}}{X} = \frac{\epsilon_s}{d-X} \Rightarrow \epsilon_{cc} = \frac{\epsilon_s * X}{d-X}$. Tendo o objetivo de estimar a distorção do concreto em função do aço, considera-se a $\epsilon_s = 10\text{‰}$, a qual seria a deformação máxima do aço antes do seu rompimento. Posto isso, tem-se que $\epsilon_{cc} = \frac{10 * X}{d-X}$.

Encontrando a ϵ_{cc} , podemos saber se a viga vai precisar ou não de aumento de seção para receber mais armadura. A NBR 6118/2014 mostra que o concreto rompe quando chega a uma deformação de 3,5‰, ou seja, não haverá necessidade de aumentar a seção se a $\epsilon_{cc} < 3,5\text{‰}$, caso contrário, será preciso aumentar a viga.

2.4. NOVA ALTURA ÚTIL

A mensuração do reforço pelas novas barras estimadas para a viga será determinada com base no resultado da ε_{cc} , a qual indica se a viga vai precisar ou não de aumento de seção. Contudo, é importante salientar que a adição de armaduras faz com que a altura útil da viga mude. Com isso, temos:

- Para viga com uma camada;

$$d = H - \left(\text{Cobrimento} + \varnothing_{estribo} + \frac{\varnothing_{barras}}{2} \right) \quad (8)$$

- Para viga com duas camadas;

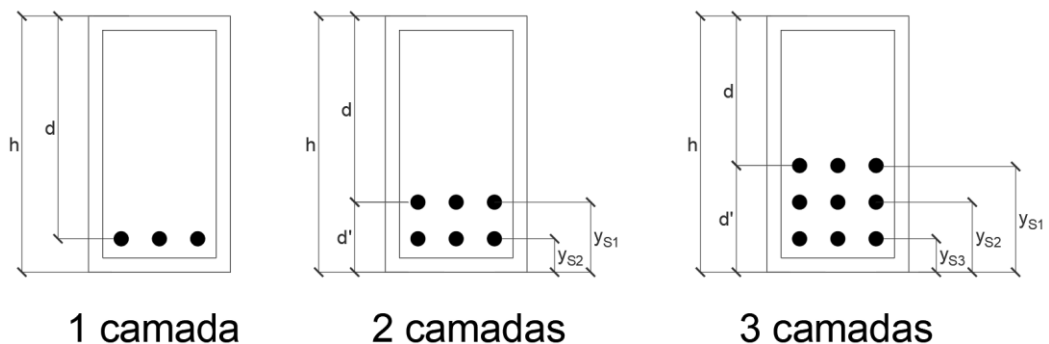
$$d = H - d', \text{ sendo } d' = \frac{\left(A_{s1} + \frac{y_{s1}}{2}\right) + \left(A_{s2} + \frac{y_{s2}}{2}\right)}{A_{s1} + A_{s2}} \quad (9)$$

- Para viga com três camadas.

$$d = H - d', \text{ sendo } d' = \frac{\left(A_{s1} + \frac{y_{s1}}{2}\right) + \left(A_{s2} + \frac{y_{s2}}{2}\right) + \left(A_{s3} + \frac{y_{s3}}{2}\right)}{A_{s1} + A_{s2} + A_{s3}} \quad (10)$$

Com a nova altura útil aplicada na expressão do M_d discutido no tópico anterior, é verificado se o reforço mensurado é suficiente para o momento solicitante.

Figura 4 – Análise da d de vigas com 1, 2 e 3 camadas



Fonte: Elaborado pelos autores.

3. METODOLOGIA

A pesquisa tem caráter exploratório, visto que se baseia no aprimoramento de ideias (MARCONI; LAKATOS, 2003, p. 310) com o fim de desenvolver uma solução capaz de suprir a carência de automatização do processo de reforço de estruturas de vigas de concreto. Ademais, pode ser classificada como trabalho aplicado, pois se propõe a elaborar um software para o problema em específico através da aplicação de conceitos já fundamentados sobre a temática, por intermédio dos métodos de pesquisa bibliográfica e laboratorial.

A priori, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver um software capaz de realizar o dimensionamento do reforço de vigas, pelas técnicas adição de armaduras com e sem aumento de seção (com foco em reduzir o tempo gasto e facilitar o desenvolvimento do processo). Para desenvolvê-lo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica de caráter exploratório visando o estudo aprofundado das respectivas técnicas de reforço considerando a deformação do concreto e das barras de aço a fim de chegar o mais próximo possível do estado real da viga. Isso foi feito seguindo as formulações descritas na NBR 6118/2014 para que fossem compreendidas em suas definições e totalidades.

Por conseguinte, na fase laboratorial, o objeto é colocado em condições de observação e manipulação experimental (SEVERINO, 2013). Nesse sentido, foi desenvolvida uma ferramenta de cálculo capaz de realizar o dimensionamento de reforço com facilidade. Ela, por sua vez, trabalha seguindo os parâmetros de cálculo estabelecidos pela NBR 6118/2014 para as técnicas de reforço de adição de barras com e sem aumento de seção para vigas com até 3 camadas.

Em primeira ordem, para a construção da ferramenta foi utilizada a plataforma Eclipse de edição de código fonte, que foi empregada como laboratório computacional, por ser um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE, por sua sigla em inglês). Nela foi escrita a estrutura da base de dados do programa por meio da linguagem Java, seguindo os conceitos Model-View-Controller (MVC) formulados por Trygve Reenskaug, um engenheiro de software norueguês. Dessa forma, a interface gráfica (View) foi desenvolvida com auxílio da biblioteca de códigos pré-escritos Java Swing e Java, enquanto os parâmetros e fórmulas de deformação para determinação

de reforço de vigas, pelas técnicas de adição de barras com e sem aumento de seção, foram importados para as estruturas Model e Controller, responsáveis por executar as ações da calculadora do sistema operacional, utilizando apenas a linguagem Java.

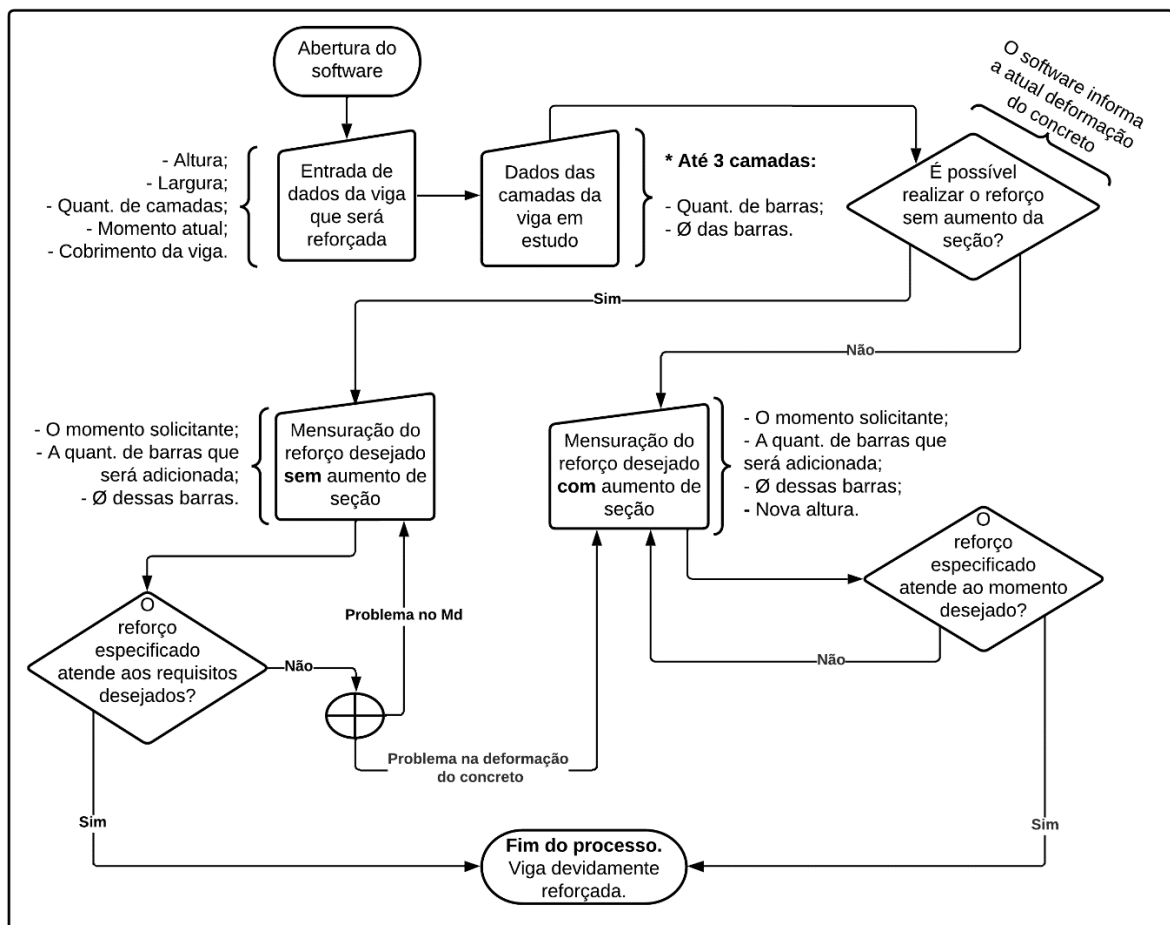
Em segunda ordem, os testes exaustivos foram utilizados para comprovar a funcionalidade do programa, detectar e corrigir erros. Para isso, foi aplicada a técnica de teste de software: teste de funcionalidade. Desse modo, o teste permitiu analisar as operações da interface, verificando erros da estrutura externa e o funcionamento interno do sistema, comparando os dados de saída com os resultados esperados. Por fim, o teste foi executado com o suporte de casos hipotéticos de reforço criados pelos autores, o que possibilitou a confirmação da sua precisão.

4. FERRAMENTA COMPUTACIONAL: VIGA RFORCE

O programa VIGA RFORCE para computador foi produzido utilizando a linguagem Java e a biblioteca Java Swing, seguindo os parâmetros MVC de desenvolvimento. Ele possui como função executar os procedimentos de cálculo considerando as determinações de reforço pelas técnicas de adição de armaduras com e sem aumento de seção, buscando otimizar o processo aumentando assim a sua eficácia e a produtividade do usuário. Ademais, o software foi idealizado para executar o reforço de vigas de concreto com limitação de até 3 camadas e não mais que isso.

A princípio, foi confeccionado um fluxograma especificando a ordem dos valores de entrada e saída de cada tela tendo em vista a cadeia de cálculo desenvolvida e estudada na revisão bibliográfica. Com isso, obtive-se o seguinte fluxograma:

Figura 5 – Fluxograma do Software



Fonte: Elaborado pelos autores.

4.1. INTERFACE

A partir do fluxograma, foi desenvolvido o software com as seguintes telas:

A figura 6 exibe o que o usuário vê ao abrir a ferramenta, ele tem acesso à uma página com a logo e dois botões de ação, sendo respectivamente um para iniciar a inserção de dados e outro o que redireciona para um link com um manual de uso (vide APÊNDICE A).

Figura 6 – Tela inicial do app



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na primeira página, são solicitados os dados da viga que será reforçada: altura (cm), largura (cm), quantidade de camadas, o F_{ck} (MPa), o seu cobrimento (cm) e o momento (Tf/m) desejado de reforço. Esses dados são aplicados nas fórmulas do diagrama retangular de determinação do "X", e posteriormente na equação que atrela o "X" com a deformação do concreto com base na deformação máxima do aço 10‰. A figura 7 representa a respectiva tela.

Figura 7 – Tela de inserção de dados básicos

Insira os dados da viga:

Insira a altura da viga (cm):

Insira a largura da viga (cm):

Insira o Fck da viga (MPa):

Insira o momento da viga (Tf/m):

Insira o cobrimento da viga (cm):

Qual a quantidade de camadas da viga*:

*O aplicativo suporta apenas 3 camadas.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na segunda página, são solicitados os dados das camadas da viga em estudo. O usuário é questionado sobre a quantidade de barras na camada e seus respectivos diâmetros (mm), como representados na figura 8. Desse modo, eles são aplicados nas fórmulas.

Figura 8 – Inserção de dados das camadas

Insira os dados das camadas da viga:

1º Camada:

Insira a quantidade de barras na camada:

Insira a diâmetro das barras na camada:

2º Camada:

Insira a quantidade de barras na camada:

Insira a diâmetro das barras na camada:

3º Camada:

Insira a quantidade de barras na camada:

Insira a diâmetro das barras na camada:

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na terceira página existem duas opções de telas como representado nas figuras 9 e 10. Nesse momento, o sistema informa a profundidade da linha neutra “X”, a atual deformação do concreto, e se ultrapassou o limite de deformação ou não.

Dessa forma, se a viga ultrapassa o limite de deformação do concreto, o software indica que não é possível reforçar a viga sem o aumento de seção e redireciona o usuário para a tela de reforço com a respectiva técnica.

Por outro lado, caso a viga não ultrapasse o limite de deformação do concreto, o usuário é informado que é possível realizar o reforço da viga apenas com o método de adição de barras e é redirecionado para tela de reforço com a respectiva técnica.

Figura 9 – Tela com deformação maior que o limite

VIGA RFORCE

Resultado da deformação do concreto:

A profundidade da linha neutra (x) é igual à:

A deformação do concreto comprimido (Ecc) é igual à:

A deformação do concreto comprimido foi maior que o limite permitido, é necessário reforçar utilizando a técnica de aumento de seção, siga para a próxima página!

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 10 – Tela com deformação menor que o limite

VIGA RFORCE

Resultado da deformação do concreto:

A profundidade da linha neutra (x) é igual à:

A deformação do concreto comprimido (Ecc) é igual à:

A deformação do concreto comprimido foi menor que o limite permitido, é possível reforçar sem aumento de seção, siga para a próxima página!

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na quarta página, existem duas opções de tela para mensuração do reforço: uma com aumento de seção, outra sem aumento de seção e ambas com adição de barras, como respectivamente representadas nas figuras 11 e 12.

Nessas telas, o usuário informa o reforço que acredita ser suficiente para alcançar o momento desejado para a viga.

No caso da tela de reforço com aumento de seção, são questionados a nova altura em centímetros da viga, a quantidade de barras que devem ser inseridas, o diâmetro dessas barras e o momento desejado após o reforço.

Por outro lado, no caso da tela de reforço com o método de adição de barras sem aumento de seção, o usuário deve informar se as barras vão ser inseridas na mesma camada, a quantidade de barras inseridas, o diâmetro delas e o momento desejado para a viga após o reforço. Ademais, existe também uma mensagem na tela que alerta que o sistema não considera a distância mínima entre as barras, definidas pela norma, caso a barra seja inserida na primeira camada.

Essas informações são direcionadas para um novo cálculo de momento, para que seja encontrado o momento solicitante e assim, verificar se ele atende ao reforço desejado sem ultrapassar o limite de deformação do concreto de 3,5‰.

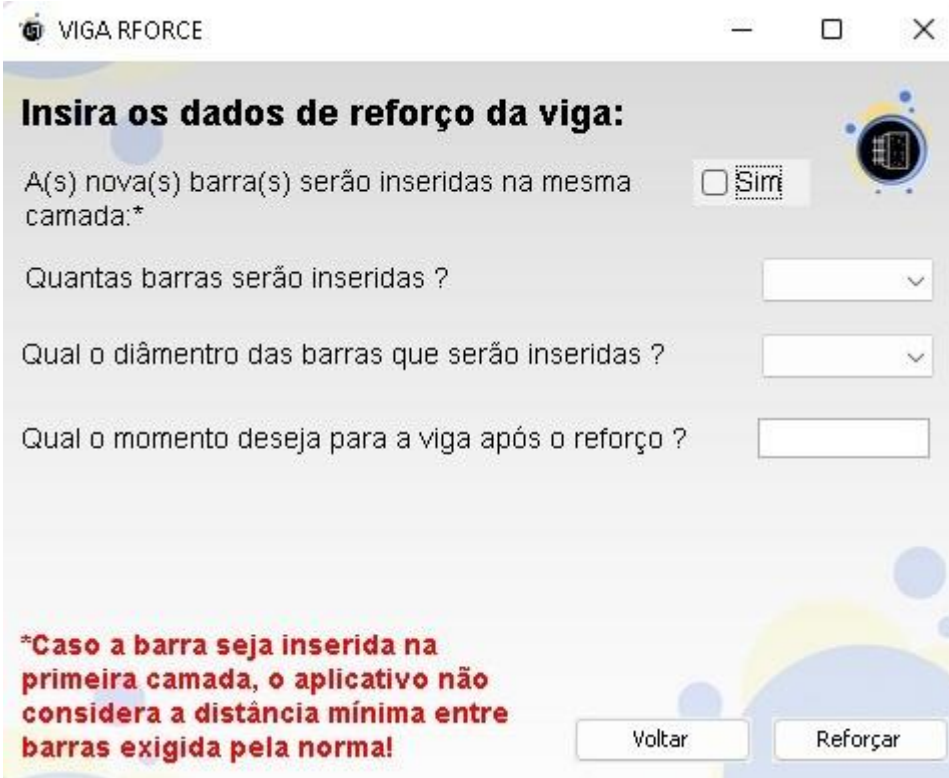
Figura 11 – Tela para reforço com aumento de seção

A imagem mostra uma janela de software intitulada "VIGA RFORCE". O título da janela é "Insira os dados de aumento de seção e reforço da viga:". Abaixo do título, há quatro campos de entrada:

- Um campo de texto para "Insira a nova altura (cm) da viga, considerando o aumento de seção:".
- Um menu suspenso para "Quantas barras serão inseridas ?" com o valor "1" selecionado.
- Um menu suspenso para "Qual o diâmetro das barras que serão inseridas ?" com o valor "6.3mm" selecionado.
- Um campo de texto para "Qual o momento deseje para a viga após o reforço ?".

Na parte inferior da janela, há dois botões: "Voltar" e "Reforçar".

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 12 – Tela para reforço sem aumento de seção

The screenshot shows a software window titled "VIGA RFORCE" with standard window controls (minimize, maximize, close). The main content area has a light blue background with decorative circles. The title "Insira os dados de reforço da viga:" is in bold black text. Below it, there is a checkbox labeled "Sim" (Yes) with a small icon of a beam cross-section. The form contains three input fields: a dropdown menu for "Quantas barras serão inseridas?", another dropdown menu for "Qual o diâmetro das barras que serão inseridas?", and a text input field for "Qual o momento deseje para a viga após o reforço?". At the bottom left, a red warning message states: "*Caso a barra seja inserida na primeira camada, o aplicativo não considera a distância mínima entre barras exigida pela norma!". At the bottom right, there are two buttons: "Voltar" (Back) and "Reforçar" (Reinforce).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na quinta e última página, existem três opções de tela de verificação do reforço, sendo duas de falha e uma de sucesso.

A figura 13 representa a tela de falha no reforço, quando a mensuração é bem sucedida, porém o limite de deformação do concreto foi ultrapassado. Nesse caso, o usuário pode utilizar o botão de ação denominado de "A. Seção", o qual o direciona novamente para a tela de mensuração de reforço para que assim, consiga aumentar a seção da viga corretamente.

Figura 13 – Tela “O reforço falhou”

VIGA RFORCE

O reforço falhou

Momento solicitante

Momento resistente

Deformação do concreto comprimido

Mesmo que o momento tenha sido aprovado, algo deu errado e o reforço precisa ser revisado, então a opção de aumento de seção ficou disponível

Fonte: Elaborado pelos autores.

A figura 14 representa a tela de falha no reforço, quando a mensuração é mal sucedida, porém o limite de deformação do concreto não foi ultrapassado. Nesse caso, o usuário pode utilizar o botão de ação denominado de “Retornar”, o qual o redireciona novamente para a tela de mensuração de reforço para que assim, consiga aumentar a quantidade de barras ou a dimensão delas.

Figura 14 – Tela “A viga precisa de mais reforço”

VIGA RFORCE

A viga precisa de mais reforço

Momento solicitante

Momento resistente

Deformação do concreto comprimido

Fonte: Elaborado pelos autores.

Já a figura 15 representa a tela de sucesso no reforço.

Figura 15 – Tela “A viga foi devidamente reforçada”



Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2. TESTE EXAUSTIVO

Para garantir que o software seja confiável e funcional, foi utilizada a estratégia de teste: Teste de Funcionalidade.

4.2.1. Testes de Funcionalidade

Os testes funcionais foram criados para cobrir todas as funções do software. Como isso, esses testes foram utilizados para experienciar os componentes individuais do software. Assim, cada função e método foram testados para garantir que o seu comportamento seja consistente e correto.

Uma aplicação Java é formada por funções e métodos que executam um bloco de código com um propósito específico. Dessa forma, as funções recebem entradas e retornam um valor (BARNES; KÖLLING, 2012), por exemplo, a função que calcula a deformação do concreto comprimido que recebe parâmetros como altura, largura etc., retorna o valor que representa a deformação.

Por outro lado, os métodos estão vinculados a objetos ou classes (instâncias usadas para representar entidades do mundo real) que podem ou não retornar um valor, como por exemplo, os métodos da classe “viga” podem ser executados para associar os dados da viga (altura, largura etc.) como variáveis dentro da função de cálculo, indicando quais dados que estão sendo aplicados para executar as determinadas equações (BARNES; KÖLLING, 2012).

Os testes foram realizados para garantir que o software funcione corretamente em diferentes cenários e com diferentes combinações de entrada de dados (BARNES; KÖLLING, 2012).

Eles foram realizados para garantir que o software atenda aos requisitos do usuário e funcione conforme o esperado. Esses testes foram executados em um ambiente semelhante ao ambiente do usuário final, utilizando casos hipotéticos de reforço (BARNES; KÖLLING, 2012).

4.2.2. Casos de teste

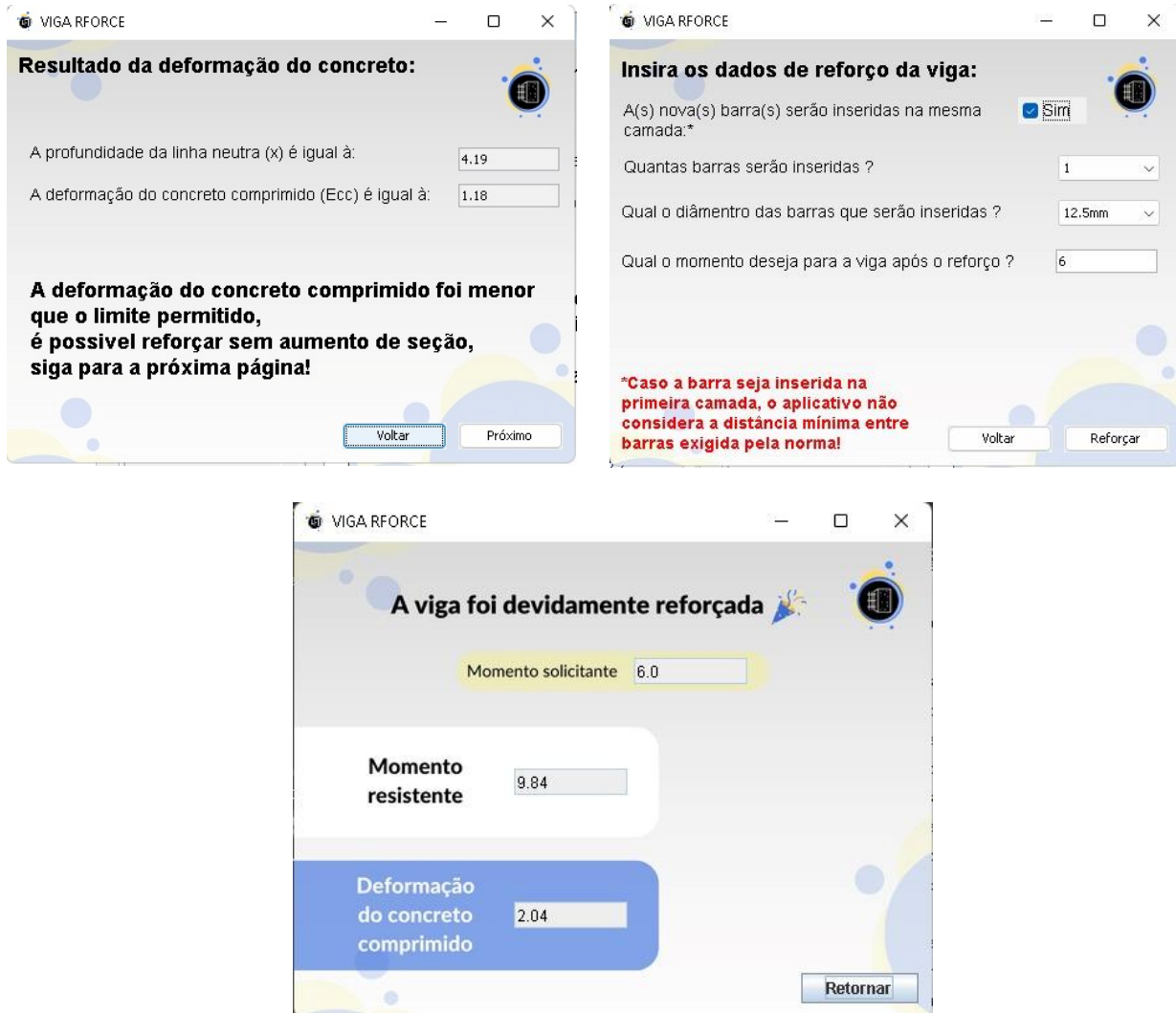
Os casos de teste foram criados com base nos requisitos do software e nas especificações da norma técnica aplicável. Foram considerados diferentes tipos de vigas, materiais e cargas para testar as diferentes funcionalidades do software. Os casos de teste foram executados várias vezes para garantir que os resultados sejam consistentes (BARNES; KÖLLING, 2012).

Exemplos de casos de teste utilizados para testar o Software:

- Exemplo 1:

Figura 16 – Sequência de telas do primeiro teste de avaliação

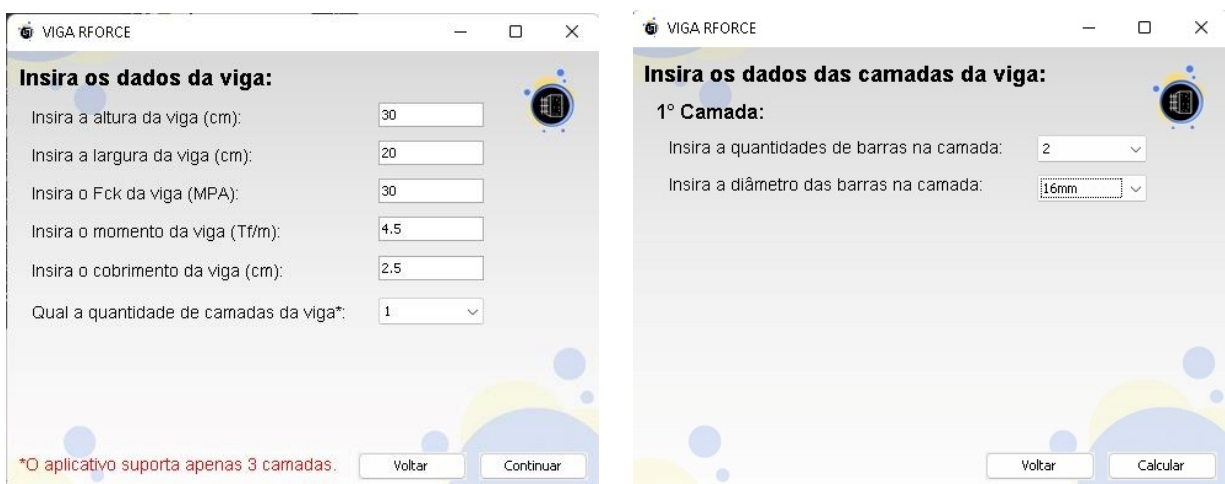
The figure displays two sequential screenshots of the VIGA RFORCE software interface. The first screenshot, titled "Insira os dados da viga:", contains the following input fields: "Insira a altura da viga (cm):" with value 50, "Insira a largura da viga (cm):" with value 20, "Insira o Fck da viga (MPA):" with value 30, "Insira o momento da viga (Tf/m):" with value 4.5, "Insira o cobrimento da viga (cm):" with value 2.5, and "Qual a quantidade de camadas da viga*:" with a dropdown menu set to 1. A red note at the bottom states "*O aplicativo suporta apenas 3 camadas." and there are "Voltar" and "Continuar" buttons. The second screenshot, titled "Insira os dados das camadas da viga:", shows the "1° Camada:" section with "Insira a quantidade de barras na camada:" set to 2 and "Insira a diâmetro das barras na camada:" set to 16mm. It includes "Voltar" and "Calcular" buttons.



Fonte: Elaborado pelos autores.

- Exemplo 2:

Figura 17 – Sequência de telas do segundo teste de avaliação



Resultado da deformação do concreto:

A profundidade da linha neutra (x) é igual à:

A deformação do concreto comprimido (ϵ_{cc}) é igual à:

A deformação do concreto comprimido foi maior que o limite permitido, é necessário reforçar utilizando a técnica de aumento de seção, siga para a próxima página!

Insira os dados de aumento de seção e reforço da viga:

Insira a nova altura (cm) da viga, considerando o aumento de seção:

Quantas barras serão inseridas?

Qual o diâmetro das barras que serão inseridas?

Qual o momento desejado para a viga após o reforço?

A viga foi devidamente reforçada

Momento solicitante

Momento resistente

Deformação do concreto comprimido

Fonte: Elaborado pelos autores.

5. CONCLUSÃO

Considerando a falta de softwares voltados para o reforço de vigas de concreto pelas técnicas de adição de armadura com e sem aumento de seção, este trabalho teve como objetivo desenvolver uma ferramenta computacional capaz de realizar o dimensionamento do reforço de vigas pelas técnicas citadas. Além disso, que considere também a deformação do concreto e das barras de aço para que, diferente dos softwares convencionais utilizados no processo de reforço estrutural, o estado real da viga seja minimamente considerado.

Para isso, primeiramente foram identificados os procedimentos relacionados ao dimensionamento de reforço pelas tais técnicas. Dessa forma, foi desenvolvida uma

cadeia lógica para o cálculo de reforço de vigas, através da elaboração de um fluxograma capaz de relacionar os parâmetros de cálculo do momento com análise de deformação do concreto.

A partir disso o programa computacional, VIGA REFORCE, foi construído na plataforma IDE Eclipse, utilizando a linguagem Java e os padrões MVC de desenvolvimento, assim como também o seu manual de instruções de uso (vide APÊNDICE A) que se encontra vinculado a primeira página do programa.

A ferramenta foi testada através de testes exaustivos de verificação. Logo, foram elaboradas e aplicadas situações hipotéticas ao software, que por sua vez correspondeu aos resultados esperados comprovando sua funcionalidade.

Por fim, tendo em vista as limitações do programa desenvolvido, pode-se expandir o desenvolvimento de softwares de reforço para outros tipos de peça estrutural, como lajes, usando o mesmo parâmetro para consideração de deformação do concreto. Bem como, também seria de muito acréscimo aumentar a variedade de técnicas, a quantidade de camadas suportadas pela ferramenta, assim como a consideração das distâncias das barras aplicadas a viga em pesquisas futuras.

Com isso, conclui-se que é possível criar uma ferramenta computacional capaz de realizar os cálculos para determinação de reforço de vigas pelas técnicas de adição de armaduras e de aumento de seção que seja mais eficaz e rápida que o processo manual.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ARAGÃO, José; MENDES NETA, Maria Adelina. **Metodologia Científica**. Salvador: UFBA, Faculdade de Educação, Superintendência de Educação a Distância, 2017. p. 32.

BARNES, David J.; KÖLLING, Michael. **Programação Orientada a Objetos com Java: Uma Introdução Prática Usando o BlueJ**. 4. ed. Curitiba: Pearson Universidades. 2008.

BOTELHO, Manoel; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto armado, eu te amo**. 8. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

COELHO, Yeska. **Retrofit: o que é, como funciona e exemplos no Brasil**. CasaCor, 2021. Disponível em: <<https://casacor.abril.com.br/arquitetura/retrofit/>>. Acesso em: 03 mai. 2022

ENTENDA a importância dos softwares e programas para engenharia civil. **Faro**, 2022. Disponível em: <<https://faro.edu.br/blog/entenda-a-importancia-dos-softwares-e-programas-para-engenharia-civil/>>. Acesso em: 09 mai. 2022

FORTES, Adriano. **Vigas de concreto armado reforçadas com fibras de carbono**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

GIL, Antônio Marcos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HOLZNER, Steve. **Eclipse: A Java Developer's Guide**. Nova Iorque: O'Reilly Media, 2004.

LAB DA ENGENHARIA. **Domínios de deformação do concreto**. YouTube, 24 jun. 2020. Disponível em: <<https://youtu.be/BXLALcb2ZUk>>. Acesso em: 17 jan. 2023

MARCONI, Marina; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

RIBEIRO, Débora. **Objetivo**. Dicio: Dicionário Online de Português, 2018. Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/objetivo/>>. Acesso em: 18 mai. 2022.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Cortez, 2013; 1,0 MB, ePUB.

SCHNEIDER, Nelso. **O Que são os Domínios do Concreto?**. NelsonSchneider.com, 2019. Disponível em: <<https://nelsoschneider.com.br/dominios-do-concreto/>>. Acesso em: 17 jan. 2023.

APÊNDICE A – Manual VIGA RFORCE

VIGA RFORCE

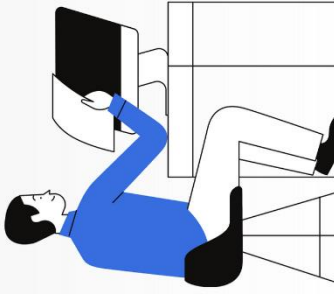
Instruções de Uso

Antes de mais nada... **o que devemos ter em mãos para usarmos o aplicativo?**

- Altura e largura da viga que será reforçada;
- fck do cimento utilizado nessa viga;
- quantidade de camadas de aço;
- quantidade e Ø das barras em cada camada;
- dimensão do cobrimento das armaduras;
- momento atual da viga.

Para além disso, tenha em mente **como quer fazer seu reforço inicialmente**. Adicionar uma camada com duas barras de aço com determinada bitola, adicionar mais duas e entre outras opções que te convenha para testarmos daqui a pouco.

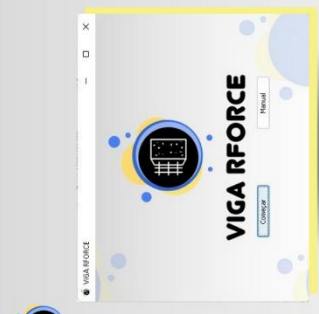
Tudo pronto para começarmos a usar o **VIGA RFORCE**



1

©2023 Todos os direitos reservados aos desenvolvedores do software Viga Rforce. Trabalho desenvolvido disponível em: URL

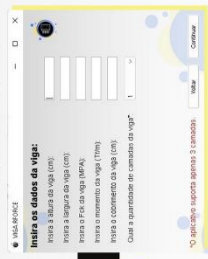
Click em **"COMEÇAR"** para darmos início ao processo



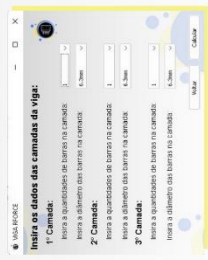
1º Fase: Inserção de dados iniciais

Os primeiros dados são inseridos em duas telas, os quais tem o objetivo de documentar as características necessárias da viga para o cálculo.

Tela 1 - Dados Gerais



Tela 2 - Dados das Camadas



É tudo muito simples. **Com os dados em mãos, você só precisa adicionar o que se pede. Coloque na Tela 1: altura e largura da viga, fck do cimento, a quantidade de camadas, o atual momento e a dimensão do cobrimento das armaduras; Aperte em "Continuar" e coloque na Tela 2: quantidade e Ø das barras em cada camada.**

2

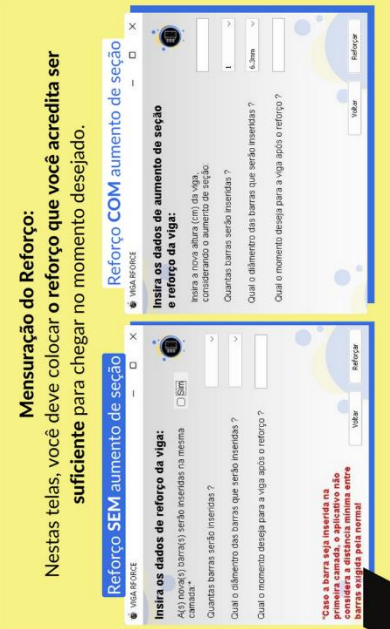
©2023 Todos os direitos reservados aos desenvolvedores do software Viga Rforce. Trabalho desenvolvido disponível em: URL

APÊNDICE A – Manual VIGA RFORCE (continuação)

3º Fase: Mensuração do Reforço

Depois de **verificar as condições de sua viga**, podemos começar a **reforçá-la da maneira certa**. Para as duas situações que conversamos anteriormente temos **QUASE** a mesma tela de mensuração do reforço para as situações. Observe:

Mensuração do Reforço:
Nestas telas, você deve colocar o **reforço que você acredita ser suficiente** para chegar no momento desejado.



Para o reforço COM aumento de seção, você só vai precisar adicionar o seguinte:
- nova altura da viga (altura antiga + aumento da seção);

Para ambas situações, insira os seguintes dados:
- quantas barras de aço quer inserir?;
- qual o Ø dessas barras?;
- qual o momento desejado?.

Depois de feito, Click em "Reforçar"

©2023 Todos os direitos reservados aos desenvolvedores do software Viga RForce. Trabalho desenvolvido disponível em: URL

2º Fase: Deformação do Concreto

Essa tela é um dos **divisores de águas** que temos no Viga RForce. Aqui temos **2 situações possíveis** para o seu caso:

Situação 1:
Resultado da deformação do concreto:
A profundidade da linha neutra (y) é igual a: 0,00
A deformação do concreto comprimido (ε_{cc}) é igual a: 0,00
A deformação do concreto comprimido foi maior que o limite permitido, é necessário reforçar utilizando a técnica de aumento de seção. Para mais detalhes siga para a próxima página!

Sua viga está no limite ou acima da deformação do concreto, com isso, **não se pode adicionar mais armaduras sem aumentar a altura da viga.**

Situação 2:
Resultado da deformação do concreto:
A profundidade da linha neutra (y) é igual a: 0,00
A deformação do concreto comprimido (ε_{cc}) é igual a: 0,00
A deformação do concreto comprimido foi menor que o limite permitido, é possível reforçar sem aumento de seção, siga para a próxima página!


Sua viga está abaixo do limite da deformação do concreto, com isso, **podemos tentar adicionar barras sem aumentar a altura da viga.**

Para a **Situação 1:** Você será direcionado para a tela de **reforço COM** aumento de seção clicando em "Avançar".

Para a **Situação 2:** Você será direcionado para a tela de **reforço SEM** aumento de seção clicando em "Avançar".

©2023 Todos os direitos reservados aos desenvolvedores do software Viga RForce. Trabalho desenvolvido disponível em: URL


APÊNDICE A – Manual VIGA RFORCE (continuação)



5

4º Fase: Verificação do Reforço

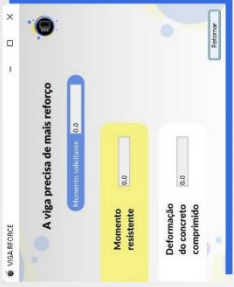
Em alguns casos, o reforço falha. Seja porque o momento solicitante não atendeu o desejado e/ou porque a deformação do concreto ultrapassou 3,5‰ com as novas armaduras.



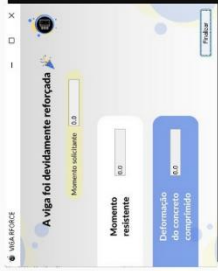
Mesmo que o momento tenha sido aprovado, algo dele precisa ser revisado, aumentando o número de barras e/ou o diâmetro disponível.

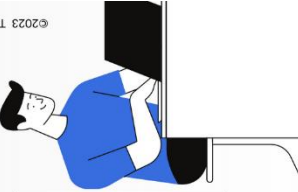
Caso você tenha chegado aqui, significa que está tudo bem com seu concreto, mas o novo momento ainda não chegou no necessário. Para isso, click em "Retornar" e aumente a quantidade de barras e/ou o Ø delas.

Se você chegou nesta tela, significa que a mensuração do seu reforço talvez tenha dado certo, mas o concreto não suportou. Com isso, você deve clicar em "A.Seção" para aumentar mais a seção.



Quando a viga estiver com o reforço que você deseja e a deformação do concreto não esteja chegando a 3,5‰, significa que ela está devidamente reforçada! Assim, chegamos na última tela:





© 2023 Todos os direitos reservados aos desenvolvedores do software Viga RForce. Trabalho desenvolvido disponível em: URL

**Para melhor visualização, acesse: https://www.canva.com/design/DAFc6kEOYQs/OC-kxtYXj2DRhNdQpauF2A/view?utm_content=DAFc6kEOYQs&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton*