

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVOS PARA O ENSINO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

Pedro Machado Virgolino¹; Januário Pellegrino Neto²

¹ Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM-CEUN-IMT);

² Professor(a) da Escola de Engenharia Mauá (EEM-CEUN-IMT).

Resumo. *Este projeto propõe o desenvolvimento de aplicativos didáticos e interativos para o estudo de estruturas de concreto armado. O trabalho descreve o desenvolvimento e as funcionalidades de um aplicativo desenvolvido em Java para o estudo de Flexão Normal Simples (FNS) no concreto armado onde através da seção e dos esforços serão retornadas ao usuário os valores e os desenhos das áreas de aço (inferior e superior), as forças resultantes, as deformações e os estados limites últimos.*

Introdução

O uso de recursos computacionais e multimídia vem sendo muito usado para o ensino da engenharia. Isto se deve ao fato de tais recursos possibilitarem melhor visualização dos processos e dos resultados referentes a tais ensinos. Especificamente no estudo do concreto armado, onde as tensões e até mesmo as deformações são imperceptíveis a olho nu, o auxilio de ferramentas multimídia se faz de grande importância, tanto em seu uso para verificação de resultados obtidos a mão em exercícios de aula, quanto para uma melhor visualização do caso estudado. Assim tornando a matéria mais atraente e fazendo com que o aluno tenha mais proximidade com o estudo do concreto armado, estudo este de suma importância na vida de um engenheiro Civil.

Além do uso didático, os recursos computacionais estão cada vez mais inseridos na área de trabalho do engenheiro de estruturas. A facilidade e precisão obtida através dos métodos computacionais facilitam e aperfeiçoam o trabalho do engenheiro, porém é preciso salientar que os dados obtidos sempre devem ser analisados e verificados, a fim de que erros na entrada de dados ou em rotinas e métodos utilizados pelo programa sejam corrigidos, ou seja, o uso de ferramentas computacionais e programas de cálculo não isentam a análise crítica do engenheiro.

O projeto realizado consiste em aplicativos desenvolvidos em Java para o estudo da Flexão Normal Simples (FNS), Flexão Composta e Flexão Obliqua no concreto armado, os quais através da entrada de dados da seção e dos esforços do caso a ser estudado, retornem ao usuário a visualização das tensões e das deformações ocorrentes no aço e no concreto. Porém os aplicativos referentes a Flexão Composta e a Flexão Obliqua ainda não foram finalizados, logo neste Artigo-Relatório de Iniciação Científica apenas abordaremos o aplicativo da FNS.

Este projeto visa primordialmente à construção de um aplicativo de fácil manuseio, que seja de uso intuitivo e atraia o aluno para o estudo do concreto armado, e que assim consiga explicar de maneira eficiente as solicitações e a forma como a estrutura trabalha para resistir a estes esforços.

Para que o aluno pudesse ter mais facilidade em seu uso, o aplicativo possui apenas uma janela, a qual tem em sua esquerda a entrada e em sua direita a saída de dados, resultados. O aplicativo também conta com 2 botões de dimensionamento, sendo um para o cálculo da área de aço e outro para o cálculo do momento máximo resistido para uma dada armadura. Há também 3 botões auxiliares, um para definir o tipo de entrada de dados, kN ou tf, outro para dar ao **d** o valor de 0,9.h, e um terceiro para definir o **xlim** da linha neutra.

É importante ressaltar que o presente aplicativo está totalmente atualizado e atendendo à última revisão da norma de projeto, no que tange aos concretos de resistência mais elevada da norma NBR6118:2014.

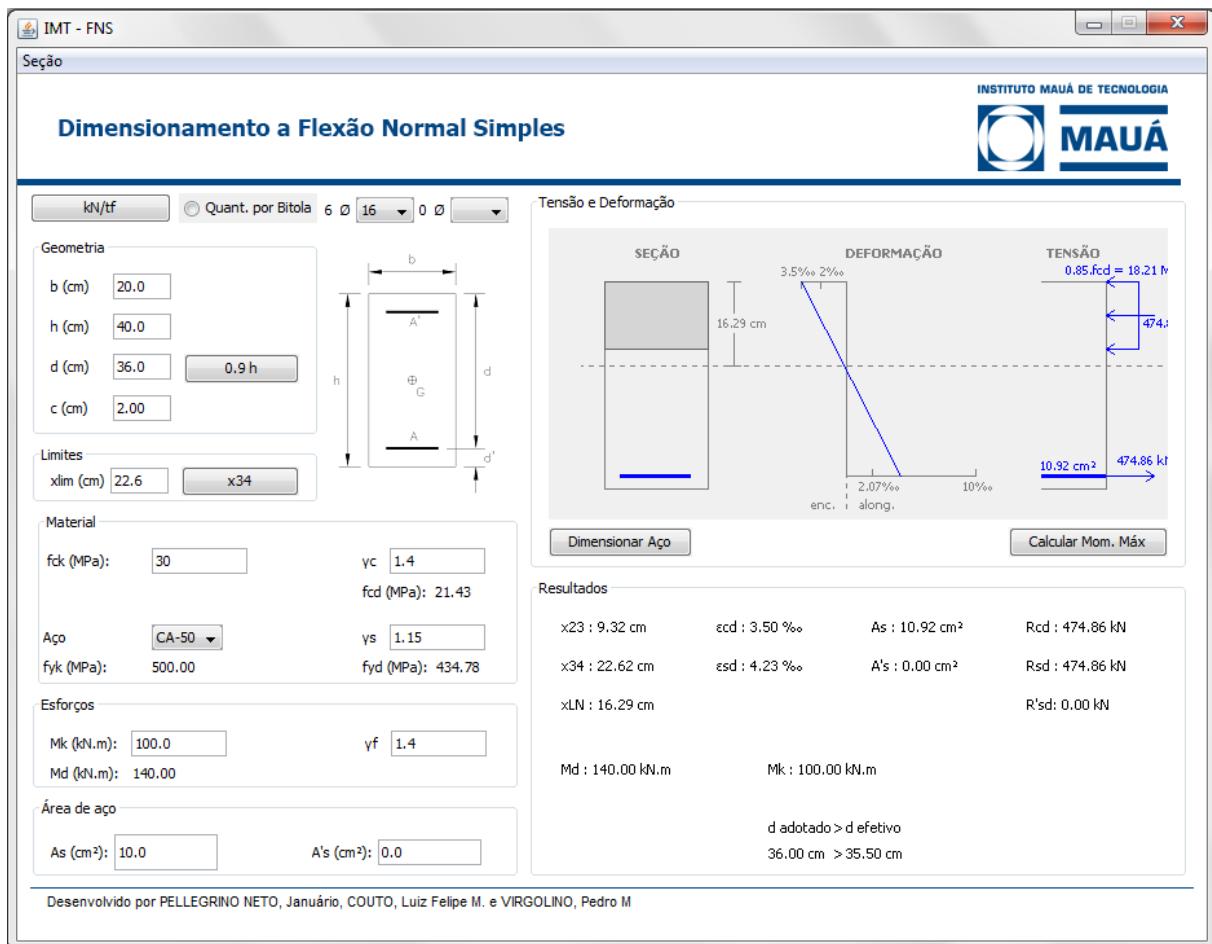


Figura 1 – Interface do aplicativo

Assim o objetivo principal do projeto é que o uso do aplicativo torne o estudo de concreto armado mais fácil, atualizada, motivante, atraente e eficiente.

Simbologia

fck – valor característico da resistência de ruptura do concreto.

fyk – valor característico da resistência de escoamento do aço.

γ_c – coeficiente de ponderação da resistência do concreto.

γ_s – coeficiente de ponderação da resistência do aço.

γ_f – coeficiente de ponderação da resistência do momento aplicado.

d – distância entre a borda mais comprimida e o centro de gravidade da armadura de aço.

xlim – distância máxima entre a borda mais comprimida e a linha neutra.

M_k – Momento solicitante característico

M_d – Momento solicitante de cálculo

A_s – Armadura de aço inferior

A's – Armadura de aço superior

Materiais e Métodos

Nesta seção pretende-se demonstrar as características, funcionalidades e aplicações dos comandos e botões do aplicativo, bem como as hipóteses, métodos e fórmulas utilizados no mesmo.

Linguagem

O aplicativo foi programado usando o programa NetBeans IDE versão 8.0, e foi utilizada a linguagem Java, que foi escolhida pela facilidade de construir uma interface gráfica e por ser uma linguagem que funciona orientada a objeto. A orientação a objetos ajuda muito na organização do código, além de deixá-lo mais enxuto, concentrando as responsabilidades nos pontos certos e facilitando o entendimento de um futuro programador que venha a continuar a o aplicativo, como pode ser visto na Figura 2.

É perceptível que o fato do código estar dividido em métodos, classes e objetos ajuda o programador caso seja necessária alguma mudança ou aperfeiçoamento, assim o mesmo poderá fazê-lo de maneira intuitiva, sem necessitar do conhecimento geral do código.

```
if ((Md * 100) > (0.425 * b * Math.pow(d, 2.0) * (fcd / 10))) {  
    secaoResiste = false;  
    System.err.println("A peça não resiste a este momento solicitante.");  
}  
else {  
    calculaLinhaNeutra();  
  
    setDeformacaoConcreto();  
    setDeformacaoAco();  
    setTensaoAco();  
  
    calculaAreaAco();  
    completaCB();  
    calculaDlinha();  
}
```

Figura 2 – Linhas do código

Teoria

Depois da água o concreto é o material mais consumido no mundo. É o material mais utilizado em construções de edifícios, pontes ou grandes estruturas, isso deve-se a sua durabilidade, resistência e facilidade em se conseguir diferentes formas.

Porém uma estrutura não pode ser formada apenas de concreto, pois o concreto simples apresenta pequena resistência à tração e funciona de maneira frágil. Assim é altamente conveniente que se some ao aço uma armadura de aço, obtendo-se assim o concreto armado.

Este material, adequadamente dimensionado e detalhado, resiste muito bem à maioria dos tipos de esforços. Pois além do aço resistir às solicitações de tração existentes, ele também irá fornecer ductilidade a peça, a fazendo, em casos extremos, romper lentamente, assim ‘avisando’ sobre a ruína da estrutura e dando tempo para uma intervenção ou evacuação do local afetado.

A estrutura é dimensionado para dois estados, o Estado Limite Último (ELU), que é onde a estrutura é levado até sua ruptura e o Estado Limite de Serviço (ELS), que cuida da estrutura do ponto de vista do usuário, levando em conta aparência, conforto e funcionalidade.

O dimensionamento é feito de maneira que o momento solicitante seja resistido por um binário entre a resultante de compressão do concreto e a resultante de tração do aço. A resultante de compressão funciona de maneira não-linear, através de esforços distribuídos por toda a parte comprimida da seção, porém para facilitar no cálculo pode-se simplificar como sendo $0,8x$.

Também é necessário que o aço esteja na região plástica para que a estrutura funcione de maneira dúctil. Assim quando a linha neutra se posiciona muito a baixo da borda mais comprimida fazendo com que o aço esteja na região elástica é necessário travar a linha neutra

em um ponto e colocar uma armadura superior de aço para ajudar o concreto a resistir a compressão.

Assim sendo, o programa funciona na seguinte ordem: primeiro vê se a seção de concreto consegue resistir ao momento aplicado, depois calcula a posição da linha neutra, então calcula a necessidade de armadura dupla e as áreas de aço necessárias para resistir ao momento aplicado.

Hipóteses

Foram adotadas as hipóteses básicas do estudo do concreto armado, sendo elas:

- 1) Hipótese de Navier: “seções planas permanecem planas após a deformação.”
- 2) Tração nula no concreto: “despreza-se qualquer contribuição do concreto tracionado, apenas o aço resiste a esforços de tração.”
- 3) Aderência Perfeita: “A aderência conjunto aço x concreto se dá de maneira perfeita.”

Materiais

No aplicativo foi utilizado como armadura o aço.

Para o módulo de elasticidade do aço foi adotado o valor de 210000 MPa.

As resistências e os coeficientes de ponderação são deixados a critério do usuário, que deverá defini-los na entrada de dados.

Entrada de Dados

Na seção denominada ‘Geometria’ o usuário deve entrar com os dados da seção. As siglas usadas para cada dado estão especificada no desenho ao lado. Sendo a letra c do cobrimento entre a borda da seção de concreto e o estribo.

Na seção denominada ‘Limites’ o usuário deve entrar com a distância máxima entre a borda mais comprimida da seção e a linha neutra gerada pelo momento aplicado, denominada no aplicativo como **xlim**.

Na seção denominada ‘Material’ o usuário deve entrar com as resistências, **fck** e **fyk**, e os coeficientes de ponderação, **γc** e **γs**, do concreto e do aço que serão utilizados, sendo que para o aço ele deverá escolher entre os aços, CA-25, CA-50 e CA-60.

Na seção denominada ‘Esforços’ o usuário deve entrar com o momento característico agindo na seção e com o coeficiente de ponderação do momento.

Na seção denominada ‘Área de aço’ o usuário deve entrar com a área de aço existente na seção para descobrir o momento máximo que esta área suporta.

Como perceptível na Figura 3 o aplicativo já abre com os dados preenchidos, de uma seção 20x40, com momento característico de 100kN.m, **fck** = 30MPa, CA-50, tem como **xlim** o x entre os domínios 3 e 4 e com os coeficientes com os valores determinados pela norma.

Botões

O aplicativo conta com 5 botões, sendo 2 botões de dimensionamento:

Dimensionar aço: o botão dimensionar aço recebe os valores da geometria, dos materiais utilizados e dos esforços na seção, calcula a linha neutra e caso a linha neutra seja maior que a linha neutra determinada com limite faz o uso da armadura dupla. O botão também informa caso o esforço solicitado pelo momento seja maior que a tensão resistente da seção.

IMT - FNS

Seção

Dimensionamento a Flexão Normal Simples

Tensão e Deformação

Geometria

b (cm): 20.0 h (cm): 40.0 d (cm): 36.0 c (cm): 2.00 Limites: xlim (cm): 27.8 x34

Material

fck (MPa): 30 γ_c : 1.4 fcd (MPa): 21.43
Aço: CA-50 γ_s : 1.15 fyk (MPa): 500.00 fyd (MPa): 434.78

Esfórcos

M_k (kN.m): 100.0 γ_f : 1.4
M_d (kN.m): 140.00

Área de aço

A_s (cm²): 10.0 A's (cm²): 0.0

Resultados

x23 : 0.00 cm ϵ_{cd} : 0.00 % A_s : 0.00 cm² R_{cd} : 0.00 kN
x34 : 0.00 cm ϵ_{sd} : 0.00 % A's : 0.00 cm² R_{sd} : 0.00 kN
xLN : 0.00 cm
M_d : 0.00 kN.m M_k : 0.00 kN.m

d adotado < d efetivo
0.00 cm < 0.00 cm

Desenvolvido por PELLEGRINO NETO, Januário, COUTO, Luiz Felipe M. e VIRGOLINO, Pedro M

Figura 3 – Interface inicial



Figura 4 – Tela de saída de dados para uma tensão maior que a resistente

Calcular Mom. Máx: este botão recebe os valores da geometria, dos materiais utilizados, porém neste caso recebe os valores da armadura de aço na seção. E então calcula o momento máximo que este armadura aguenta. É necessário salientar que este botão não coloca armadura superior caso necessário, assim sendo é necessário cuidado na entrada de dados no uso deste botão.

O aplicativo também conta com mais 3 botões auxiliares:

kN/tf: este botão muda a unidade do aplicativo. O mesmo está programado para abrir em kN, porém ao apertar este botão o usuário pode usá-lo em tonelada força, e o apertando novamente o aplicativo volta ao modo kN.

0.9h: este botão insere ‘d=0.9h’, valor normalmente adotado em exercícios.

x34: este botão determina como **x** máximo o **x** limite entre os domínios 3 e 4, assim fazendo com que o aço na seção esteja sempre escoando.

Seção / Quant. por Bitola

No canto superior direito do aplicativo percebe-se uma aba denominada ‘seção’. Esta aba determina o tipo de elemento estrutural que estará sendo estudado, podendo ele ser, viga ou laje.

E abaixo e à direita, ao lado do botão ‘kN/tf’ está um “Botão de Radio” chamado ‘Quant. por Bitola’, botão este que quando selecionado abre uma nova página, com as quantidades necessárias das bitolas comerciais que devem ser colocadas a fim de resistir ao esforço solicitado.

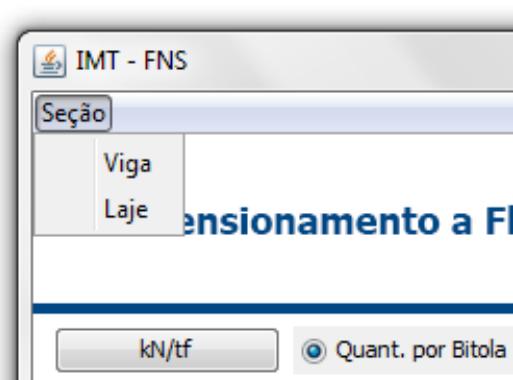


Figura 5 – Detalhe da aba Seção

Caso seja selecionado Viga, o aplicativo irá retornar as áreas de aço necessárias para resistir ao momento, e caso o botão Quant. por Bitola esteja selecionado, também será retornado uma página com uma lista das quantidades totais de barras de aço de mesma bitola que devem ser colocadas para somar a área de aço total necessária. É importante salientar que o aplicativo não soma barras de bitolas diferentes para um mesmo esforço.

Caso o elemento estrutural que esteja sendo estudado seja a laje o aplicativo mudará automaticamente a base da seção para 100 cm e sua altura para 20 cm, e também retornará as áreas de aço necessárias para resistir ao momento aplicado, porém, no caso da laje, caso o botão Quant. por Bitola esteja selecionado a página retornada será com as bitolas comerciais e seus respectivos espaçamentos necessários para que a área de aço necessária por metro de laje seja cumprida.

Quantidade de barras por bitola	
Armadura Inferior (10.92cm ²)	Armadura Superior (0.00cm ²)
55 Ø 5	0 Ø 5
35 Ø 6.3	0 Ø 6.3
22 Ø 8	0 Ø 8
14 Ø 10	0 Ø 10
9 Ø 12.5	0 Ø 12.5
6 Ø 16	0 Ø 16
4 Ø 20	0 Ø 20
3 Ø 25	0 Ø 25

Figura 6 – Quantidade de barras para viga estudada

Quantidade de barras por bitola	
Armadura Inferior (20.74cm ²)	Armadura Superior (0.00cm ²)
Ø 5 c/ 1	Ø 5 c/ 0
Ø 6.3 c/ 2	Ø 6.3 c/ 0
Ø 8 c/ 3	Ø 8 c/ 0
Ø 10 c/ 4	Ø 10 c/ 0
Ø 12.5 c/ 7	Ø 12.5 c/ 0
Ø 16 c/ 10	Ø 16 c/ 0
Ø 20 c/ 16	Ø 20 c/ 0
Ø 25 c/ 25	Ø 25 c/ 0

Figura 7 – Espaçamento de barras para laje estudada

Cálculo do d_{efetivo}

Ao lado do botão ‘Quant. por Bitolas’ encontram-se duas caixas de combinação. A primeira destinada a armadura inferior e a segunda a superior, onde o usuário pode escolher a bitola que quer usar para seu cálculo de d_{efetivo}, assim conferindo se o d adotado no inicio do estudo pode ser utilizado para efeito de conta, ou se é necessário uma nova iteração com um novo d.

No calculo do d_{efetivo} será usada como bitola do estribo, a bitola mínima em função da bitola da armadura longitudinal.

Resultados e Discussão

Nesta seção pretende-se demonstrar o retorno de dados e os resultados gráficos gerados pelo aplicativo, e discutir como o uso do mesmo pode melhorar o desempenho do aluno no estudo do Concreto Armado.

Saída de Dados

A saída de dados do aplicativo está localizada do lado direito da tela, e está dividida entre:

Tensão e Deformação: Localizada na parte superior direita da tela, esta área está destinada aos desenhos das deformações e das tensões resultantes na seção. Como visto anteriormente é também nela que o aplicativo avisa caso as tensões solicitantes sejam maiores que as tensões resistentes da peça.

Resultados: Localizada na parte inferior direita, está área está destinada aos valores dos resultados encontrados através dos cálculos. Os resultados disponibilizados são: os x limites dos domínios, x23 e x34, o x em que a linha neutra se encontra; as deformações do concreto e do aço; as áreas de aço, superior e inferior; as forças resultantes no concreto e nas armaduras de aço; os momentos, característicos e de cálculo solicitantes na seção; e o $d_{efetivo}$ em função da bitola escolhida, o comparando com o d adotado no inicio.

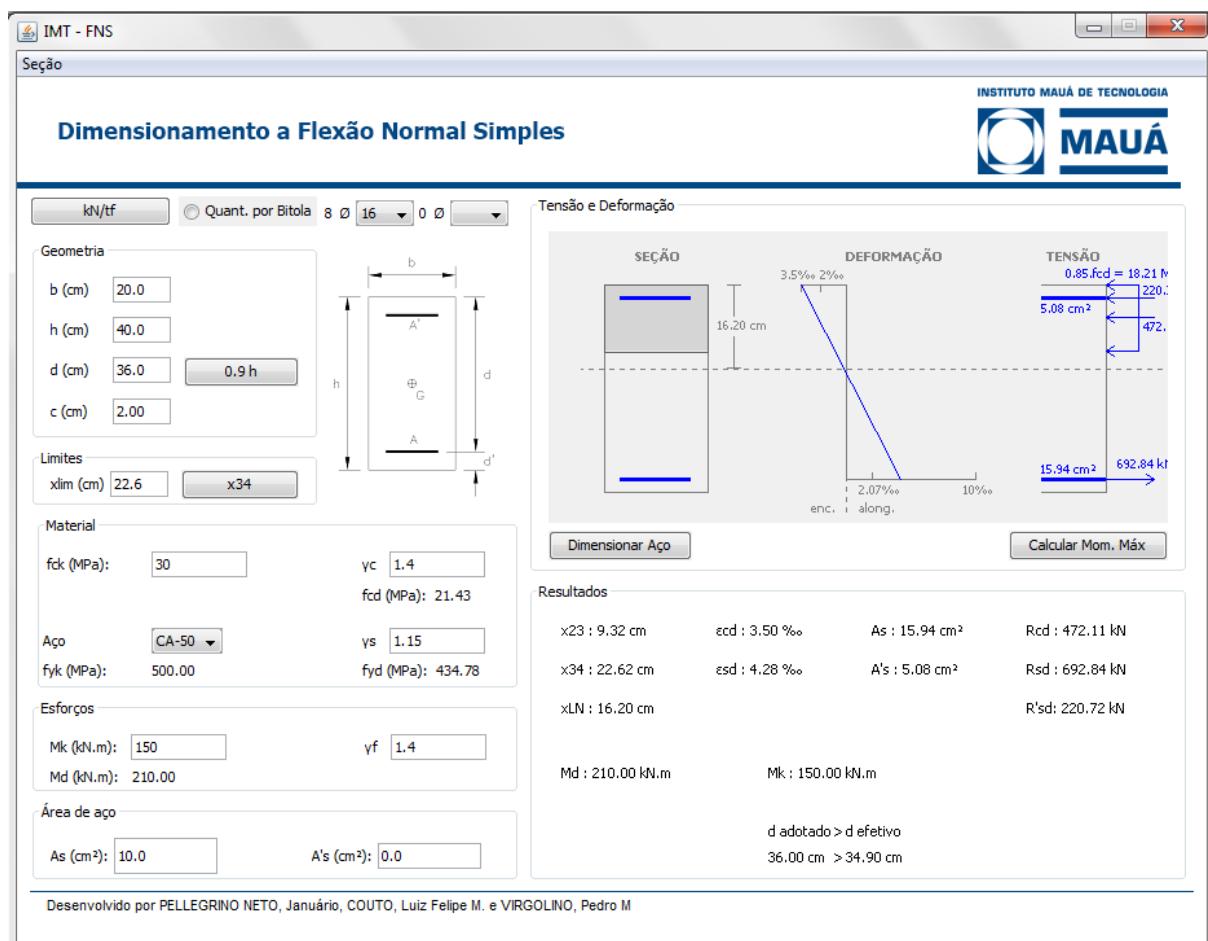


Figura 8 – Interface final do aplicativo

Ajuda ao aluno

São muitas as facilidades que este aplicativo pode trazer aos alunos de Concreto Armado, por exemplo, o uso do botão ‘Calcular Mom. Máx’ que faz o processo inverso do estudo da FNS, o que para fins didáticos é importante e ajuda o aluno a entender a formulação do caso estudado fazendo uma ‘prova real’ dos cálculos realizados e também com o retorno gráfico na seção denominada ‘Tensão e Deformação’, onde linhas demonstram as tensões e as deformações ocorrentes na seção, deformações estas que são da ordem de 1:1000, logo são imperceptíveis a olho nu.

O projeto vendo sendo utilizado nas aulas de Concreto Armado deste ano letivo de 2014, e acreditamos que o objetivo principal do aplicativo tenha sido alcançado, pois com seu uso a aula se tornou mais dinâmica e atrativa, facilitando o trabalho do professor que pode disponibilizar ao seu aluno um gabarito geral para qualquer exercício que venha a passar, ou até mesmo o próprio aluno pode criar um exercício numa situação de estudo e conferir seus resultados.

Um dos futuros objetivos é que este aplicativo, assim como os outros que ainda serão concluídos, seja disponibilizado aos alunos, para que os mesmos possam usa-lo e assim consigam criar diferentes modelos a fim de entender as variadas situações que podem ocorrer nos casos estudados.

Conclusões

Este projeto propôs o desenvolvimento de aplicativos para o ensino de Concreto Armado. Embora nem todos os aplicativos estejam finalizados, os aplicativos que ainda estão inacabados podem facilmente ser continuados por outros alunos sem maiores problemas, pois, como foi relatado anteriormente, a linguagem orientada a objeto disponibilizada pelo Java torna o código do programa mais organizado e facilita seu entendimento por outro programador que venha a complementar os códigos iniciais. Assim sendo, mesmo não estando totalmente finalizados, os códigos já escritos serão utilizados por futuros alunos que venham a participar do projeto de iniciação científica no desenvolvimento de aplicativos para o ensino de estruturas de concreto.

Como citado anteriormente o presente trabalho já foi utilizado em sala de aula neste ano letivo de 2014, e acredita-se ter introduzido resultados positivos no ensino do dimensionamento de concreto armado. Assim acreditamos que este projeto possa servir de modelo para a obtenção de uma sistemática de ensino de disciplinas de Engenharia através da utilização destes novos recursos em harmonia com as técnicas tradicionais de ensino presencial, assim como para cursos à distância.

Referências Bibliográficas

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118:2014 Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2014.

CAELUM, Java e Orientação a Objetos. Disponível em:
<https://www.caelum.com.br/apostilas/> Acesso em 22 de Nov de 2014

Carvalho, R.C.; Figueiredo Filho,J.R. - Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado, Vol.2. Ed. PINI, 2009.

Celles Fº, Waldemar. Introdução a estrutura de dados. Elsevier / Campus, 2004. 294 p.

IBRACON, Concreto: material construtivo mais consumido no mundo. Disponível em:
http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf Acesso em 20 de Dez de 2014

Lévy, P., As Tecnologias da Inteligência, Editora 34, São Paulo, 1993

Montoya, J., Hormigón Armado. Ed. Gustavo Gili, Barcelona, 2010.

Pellegrino Neto, J. Notas de Aula, São Caetano do Sul, 2014.

Santos, L. M ., Cálculo de Concreto Armado segundo a nova NB-1. Ed. LMS, 1983.

Santos Bastos, P.S., Fundamentos do Concreto Armado
<http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/FUNDAMENTOS.pdf> Acesso em 20 de Out de 2014

Santos, R., Introdução à programação orientada a objetos usando JAVA. 2^a ed., Elsevier / Campus, 2013.4