Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.11, 2023
ISSN 2178-6925

REESCORE – UM APLICATIVO MÓVEL PARA PROJETO DE ESCORAMENTO EM MADEIRA PARA LAJES EM CANTEIRO DE OBRAS

REESCORE – A MOBILE APPLICATION FOR WOOD FORMWORK DESIGN FOR SLABS IN CONSTRUCTION SITE

Lincoln Costa Modesto Dos Santos
Graduado em Engenharia Civil, Instituto Federal de Sergipe, Brasil
E-mail: lincoln-md@hotmail.com
Ian Tiago Santos da Mota
Graduando em Engenharia Civil, Instituto Federal de Sergipe, Brasil
E-mail: ianmotabr@gmail.com
Thiago Augustus Remacre Munareto Lima
Doutorado em Física da Matéria Condensada, Instituto Federal de Sergipe, Brasil
E-mail: thiago.remacre@gmail.com

Resumo

A ausência de projetos, bem como o dimensionamento empírico, em vários âmbitos da engenharia civil são um problema recorrente no dia a dia de pequenas e médias construtoras. E esse fator se potencializa quando há uma necessidade de projetos para uma área específica da operacionalização de um canteiro de obra. As etapas de cimbramento, e reescoramento são exemplos de fatores de dimensionamento subestimados em uma obra. Dessa forma, desenvolveu-se um aplicativo móvel voltado a dimensionar estruturas provisórias de cimbramento em madeira para escoramento de lajes maciças ou treliçadas, baseado nas normas técnicas ABNT NBR 15696 e ABNT NBR 7190, o aplicativo foi projetado de modo a captar inputs do usuário, relativos às características do escoramento e do elemento estrutural. Assim, a aplicação é capaz de realizar as verificações contidas nas normas e posteriormente, dimensionar as escoras quanto a carga de utilização e peso próprio dos elementos estruturais, e a partir daí, entregar um projeto de escoramento contendo o quantitativo e a posição das escoras, taxa de utilização das escoras quanto ao carregamento, e uma interface de fácil usabilidade e acesso por parte de qualquer usuário com conhecimentos de engenharia.

Palavras-chave: Cimbramento; Escoramento; Dimensionamento; Aplicativo Móvel; Madeira

Abstract

The lack of designs, as well as the design empirical, in various areas of civil engineering are a recurring problem in the daily lives of small and medium-sized construction companies. And this factor is enhanced when a specific construction site operation area needs for designs. The formworking and reshoring steps are examples of underestimated dimensioning factors in a work. In this way, a mobile application was developed aimed at wood formwork design for shoring solid or lattice slabs, based on the technical standards ABNT NBR 15696 and ABNT NBR 7190, the application was designed in order to capture user inputs, relating to the characteristics of the shoring and the structural element. Thus, the application is able to carry out the checks contained in the standards and later dimension the struts regarding the use load and own weight of the structural elements, and from there, deliver a formwork project containing the quantity and position of the shorings, rate of use of the struts in terms of loading, and an interface that is easy to use and access by any user with engineering knowledge.

Keywords: Formwork; Shoring; Design; Mobile; Wood.

1. Introdução

Uma das várias áreas da engenharia civil a qual necessita de inovações e melhorias tecnológicas é o cimbramento. Definido como o conjunto de elementos-suporte que garantem o apoio consistente, indeformável, resistente às intempéries, às cargas de peso próprio do concreto e das fôrmas, inclusive às cargas decorrentes da movimentação operacional, de modo a garantir total segurança durante as operações de concretagem das unidades estruturais (DER/SP 2006). O cimbramento deve ser projetado de modo a não sofrer deformações prejudiciais ao formato da estrutura, causar esforços não previstos no concreto, quando submetido à ação de seu próprio peso, do peso da estrutura e das cargas acidentais que possam atuar durante a execução da estrutura de concreto.

Assim, é papel do engenheiro prover de recursos e métodos para minimizar os problemas ocasionados pelas etapas de escoramento. Porém, existem fatores que tornam o escoramento de estruturas de concreto utilizado nas obras genérico e sem dimensionamento. Como a insegurança, a falta de conhecimento dos profissionais sobre a necessidade de um projeto de escoramento atrelado ao projeto estrutural e a falta de conhecimento da norma técnica ABNT NBR 15696 - Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto — Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos.

Dessa forma, foi desenvolvido um aplicativo móvel visando solucionar esses problemas, permitindo com que o engenheiro civil aprimore os projetos estruturais com uma ferramenta para dimensionar de forma simples e eficiente os pontos de

escoramento de lajes escoradas com madeira serrada em forma de pontaletes, a qual é uma das formas mais comuns de escoramento de pequenas e médias construções no Brasil.

2. Revisão da Literatura

2.1 Dimensionamento de Peças à Compressão

Peças submetidas a esse tipo de carregamento sofrem o esmagamento das fibras que compõem a madeira ou ainda, sofrem por instabilidades associadas aos esforços de segunda ordem provocados pela flambagem por carga crítica de Euler que provoca o fenômeno da mudança do estado de equilíbrio estável para o instável. Portanto, a NBR 7190, classifica três tipos de situações possíveis de peças, as curtas, medianamente esbeltas, e esbeltas. Essa classificação depende do índice de esbeltez da peça, que pode ser obtido na (Eq. 1). Onde (λ) representa o índice de esbeltez, (L_0) é o comprimento de flambagem, (r_{min}) é o raio de giração e o comprimento de flambagem é o comprimento efetivo da peça.

:

$$\lambda = \frac{L_0}{r_{min}} \qquad \text{(Eq. 1)}$$

2.2 Peças Curtas

A peça é considerada curta quando do índice de esbeltez obtém-se $\lambda \leq 40$. Nessa situação, a forma de ruptura da peça se dá pelo esmagamento das fibras da madeira, sendo verificada pela equação (Eq. 2) de compressão simples paralela às fibras. Onde (σ_{c0d}) é a tensão de projeto devido esforços de compressão, Nd é o esforço normal solicitante, Aw a área bruta da secção transversal e f_{c0d} resistência de projeto aos esforços de compressão paralelos a fibra.

$$\sigma_{c0d} = \frac{Nd}{Aw} \leq f_{c0d}\ (MPa) \qquad \text{(Eq. 2)}$$

Onde:

σ_{c0d} = tensão de projeto devido esforços de compressão;

Nd = esforço normal solicitante;

Aw = área bruta da seção transversal;

f_{c0d} = resistência de projeto aos esforços de compressão paralelos a fibra.

Onde, f_{c0d} pode ser descrito pela (Eq. 3)

$$f_{c0d} = KMOD * \frac{fc0k}{1,4} \quad \text{(Eq. 3)}$$

$$f_{c0d} = MPa$$

Em que:

$fc0k$ = tensão característica da madeira a esforços de compressão;

KMOD = coeficiente de modificação.

2.1.1.2 Peças Medianamente Esbeltas

A peça é considerada medianamente esbelta quando do índice de esbeltez obtém-se no intervalo de 40 ≤ λ≤ 80. Nessa situação, a forma de ruptura da peça se dá pelo esmagamento das fibras da madeira ou por flexão por perda de estabilidade.

Para a verificação de peças a essa condição, a ABNT NBR 7190 não exige a verificação à compressão simples, apenas a condição de flambagem local causando perda de instabilidade precisa ser verificada. Para isso, primeiramente faz-se necessário obter o valor de excentricidade acidental (e_a) causada por deformidades geométricas da peça. Dada por (Eq. 4).

$$e_a = \frac{L_0}{300} = \text{cm} \quad \text{(Eq. 4)}$$

Posteriormente, é necessário encontrar a carga crítica de Euler (Eq. 5), que é expressa por:

$$Ncr = \frac{\pi^2 E_{c0f} * I}{L^2_0} \ (kN) \quad \text{(Eq. 5)}$$

Onde:

Ncr = carga crítica de Euler;

I = momento de inércia da seção transversal;

E_{c0f} = módulo de elasticidade da madeira

Também é necessário obter o valor da excentricidade de primeira ordem (e_1) (Eq. 6), que é dada pela soma da excentricidade acidental (e_a), com a excentricidade decorrente dos valores de cálculo M_{1d} e N_d (e_i) como demonstrado

na (Eq. 7).

$$e_1 = e_a + e_i\ (cm) \quad \text{(Eq. 6)}$$

$$e_i = \frac{M_{1d}}{N_d}\ (cm) \quad \text{(Eq. 7)}$$

Para o caso de treliças bi articuladas a ABNT NBR 7190 dispensa a necessidade de um valor mínimo para e_i. Para a excentricidade de projeto têm-se (Eq. 8):

$$e_d = e_1 * \left(\frac{Ncr}{Ncr - Nd}\right)(\text{cm}) \quad \text{(Eq. 8)}$$

A partir daí, é possível encontrar o momento fletor atuante na peça (Eq. 9).

$$M_d = \text{Nd} * e_d\ (\frac{kN}{cm^2}) \quad \text{(Eq. 9)}$$

Para a ABNT NBR 7190, considera-se atendida a condição de segurança relativa ao estado limite último de instabilidade, se no ponto mais comprimido da seção transversal for respeitada a condição imposta na (Eq. 10).

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{cod}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{cod}} \leq 1 \quad \text{(Eq. 10)}$$

Onde: σ_{Nd} é a tensão a compressão de projeto devido a força normal de compressão, sendo reescrito em forma de $\frac{N_{sd}}{A_w}$. E σ_{Md} é a tensão de projeto oriunda do momento fletor, também escrita como $\frac{M_d}{W}$, sendo W o módulo de rigidez da peça em cm³

2.1.1.3 Peças Esbeltas

São peças com índice de esbeltez entre $80 \leq \lambda \leq 140$, e a forma de colapso de peças esbeltas ocorre por flexão a partir da perda de estabilidade lateral, a flambagem. A verificação da estabilidade de peças esbeltas é similar as peças medianamente esbeltas, com algumas diferenças, a maior dela sendo a excentricidade gerada a partir da fluência das cargas (que é a deformação lenta a

partir de um esforço permanente e se traduz em um aumento de momento de projeto M_d), que pode ser expressa pela (Eq. 11) a seguir:

$$e_c = (e_i + e_a)\left\{exp\left[\frac{\phi(N_{gk}+(\psi_1+\psi_2)N_{qk})}{Ncr-[N_{gk}+(\psi_1+\psi_2)N_{qk}]}\right]-1\right\}\ (cm) \qquad \text{(Eq. 11)}$$

Sendo $\psi_1 + \psi_2 \leq 1$.

Onde ψ_1, ψ_2 são coeficientes de variabilidade da norma de madeiras, ϕ é o coeficiente de fluência, exposto na tabela em (ANEXO F), N_{gk} e N_{qk} são respectivamente valores característicos da força normal de compressão devido a cargas permanentes e variáveis.

$$M_d = Nd(e_1 + e_c) * \left(\frac{Ncr}{Ncr-Nd}\right)\ \left(\frac{kN}{cm^2}\right) \qquad \text{(Eq. 12)}$$

A partir do momento fletor solicitante (Eq. 12) é possível verificar a condição de segurança e estabilidade das peças esbeltas utilizando a (Eq. 10).

3. Metodologia

3.1 Metodologia Para o Desenvolvimento do Software

O aplicativo foi construído numa IDE (*Integrated Development Environment*) ou ambiente desenvolvimento integrado, que é um programa de computador que reúne características e ferramentas de apoio ao desenvolvimento de software. A IDE adotada foi o Android Studio®, já a linguagem de programação utilizada foi o JAVA que é uma linguagem de alto nível, orientada a objetos, segura, multitarefas, e distribuída com um vasto número de bibliotecas.

A metodologia idealizada para a construção do protótipo é baseada no modelo ágil, de forma que exista uma transparência garantida em todos os processos que envolvam o resultado e que sejam claras para ambas as partes envolvidas no projeto. Assim, optou-se pela FDD (*Feature Driven Development*) que é uma metodologia de desenvolvimento de software voltada a construção por funcionalidade, onde, a partir das funcionalidades previamente listadas, da

concepção das telas e do fluxo de navegação da aplicação, foram realizadas entregas constantes de versões do produto, até a conclusão da lista de funcionalidades e adequação das mesmas.

3.2 Algoritmo, Cálculos e Modelo

A ABNT NBR 15696 determina que para escoramentos em madeira, deverão ser seguidos os critérios de dimensionamento da norma brasileira de madeiras, a ABNT 7190 – Projeto de estruturas de madeira. Quando se trata de dimensionamento de peças em compressão, como é o caso das escoras ou pontaletes. Nesse caso, o dimensionamento foi feito verificando a flambagem local nos postes de escoramento.

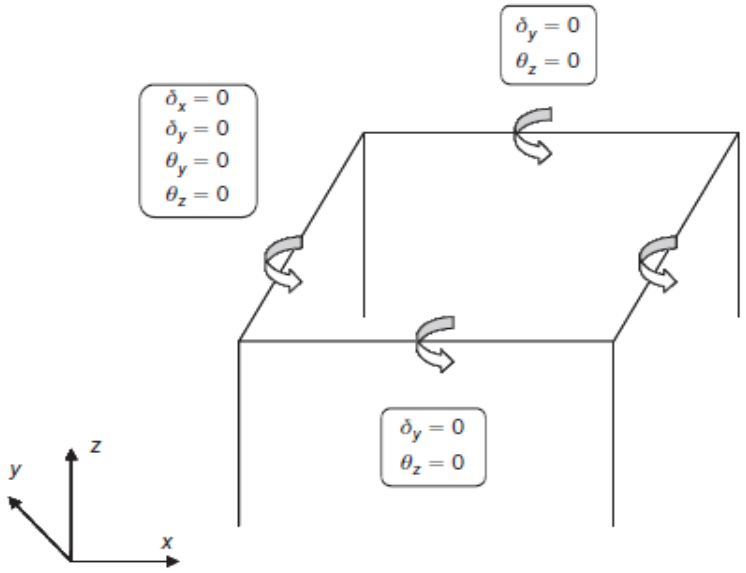
Dessa forma, como todo o cálculo por trás da verificação quanto à flambagem é realizado a partir de um esforço local, foi necessário transformar o esforço em área, correspondente o peso próprio da capa de concreto (num intervalo de 1 a 9cm) somado a uma carga acidental de projeto de 7 kN, levando em consideração cargas de vento de difícil mensuração atuantes sobre as escoras e a própria movimentação de colaboradores sobre as lajes em execução e montagem.

Portanto, dada a dificuldade encontrada quanto a obtenção de coeficientes que retratassem a realidade da situação in-loco, bem como na inserção de demais inputs ao usuário, foi realizada uma correlação grosseira junto a norma ABNT NBR 6120 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações, tabela 2 – valores mínimos de cargas verticais, item terraços com acesso ao público – 3 kN/m², considerando uma carga majorada da movimentação de pessoas, e 4kN/m² dada a demais acidentes de montagem possíveis e cargas de vento como descritas na ABNT NBR 7190. Tais itens, são somados ainda ao peso próprio do elemento de enchimento da laje, para bloco cerâmico - 64 kg/m² ou bloco de EPS - 18 kg/m² (Lajes Itaipu, 2019) para o caso das lajes nervuradas, e ao peso próprio da laje somado a carga acidental de projeto para o caso das lajes maciças.

Foi necessário realizar uma situação de contorno no cálculo de peso próprio das lajes ao se obter uma parcela de esforço normal referente a uma placa de 1m² de laje, baseando-se na de área de influência dos esforços entre laje e escora, dessa forma as conexões entre as placas subdivididas de lajes foram consideradas

rígidas, e as suas condições de contorno com deformações iguais a zero, como são ilustradas como na figura 1 e conforme modelagem matemática do trabalho de (LLURBA, X. C. P. et al, 2007) de título : Modelagem de cargas de suporte durante a construção de laje de concreto.

Figura 1: Condições de contorno da laje modelada: concreto endurecido.



Fonte: LLURBA, X. C. P. et al, 2007.

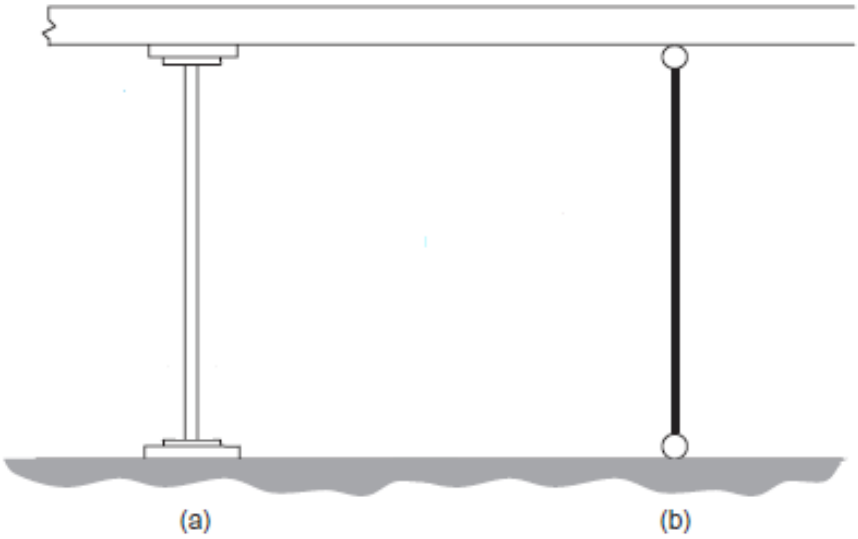
No entanto, é difícil estimar a contribuição do peso próprio das lajes adjacentes apoiadas pelas escoras incluídas na análise (LLURBA, X. C. P. et al, 2007). Portanto, todas as deformações e esforços causados por lajes adjacentes e pelas próprias escoras ao modelo isostática da placa são igualados a zero, simplificando o problema para obter um modelo de dimensionamento das forças distribuídas a placa a uma força axial a ser verificada junto as escoras de madeira.

Ainda conforme as contribuições de Llurba (2007), a figura 2 expressa como a escora é modelada computacionalmente, considerando-se um elemento estrutural rotulado em ambas as extremidades e sem a transmissão de esforços para a laje que é escorada.

Por fim, é realizada a subdivisão no domínio do problema em uma parte menor, e essa parte por sua vez independente quanto a escolha do tamanho da laje do usuário, visto que o cálculo de peso próprio é feito a parcela de uma placa de laje de 1m². Posteriormente é realizada a verificação de flambagem da escora

ou pontalete de madeira no modelo rótula-rótula, submetido ao esforço normal oriundo da laje, para todos os tipos de peças descritos na ABNT NBR 7190.

Figura 2: (a) Como a escora é normalmente utilizada, (b) Como a escora foi modelada.



Fonte: LLURBA, X. C. P. et al, 2007

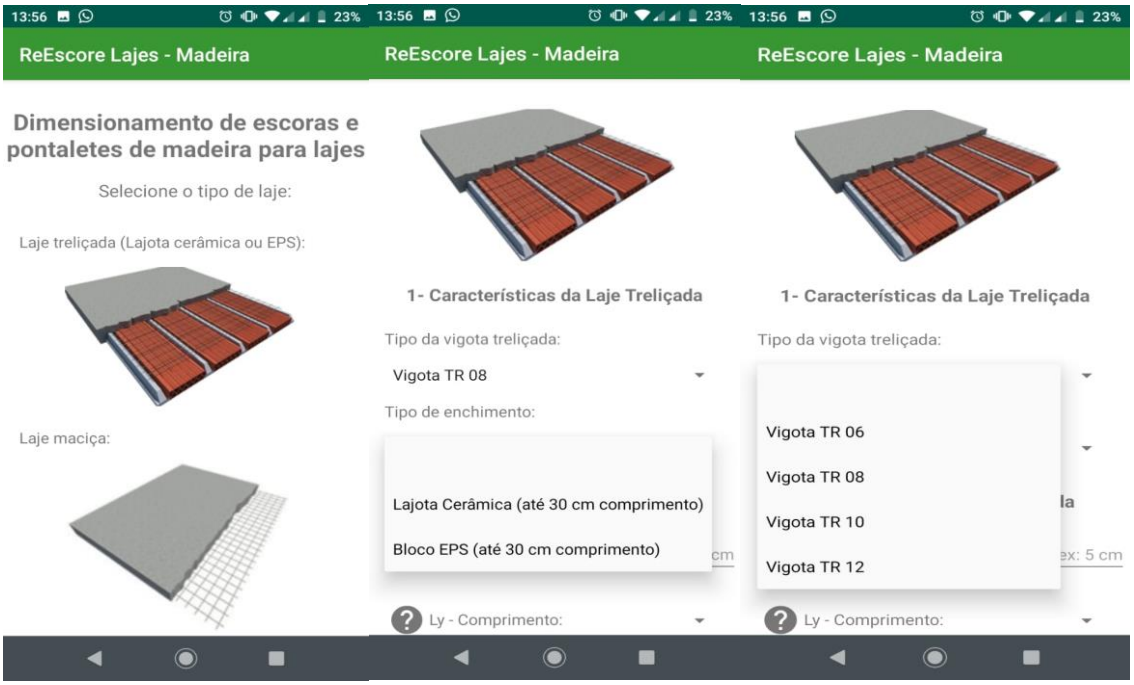
4. Resultados e Discussão

A partir da concepção das etapas descritas na metodologia, o aplicativo foi desenvolvido e testado quanto a sua estabilidade e uso contínuo. Tendo seus resultados descritos no decorrer desta seção. O aplicativo mostrou-se funcional e estável para ser utilizado em aproximadamente 99,2% dos dispositivos Android®, de acordo com o SDK mínimo API 17: Android 4.2. O aplicativo na sua versão final ocupa 34,75 Megabytes de espaço em armazenamento e inicialmente não requer nenhum tipo de dado ou permissão do usuário. O aplicativo foi idealizado para ser utilizado por qualquer profissional com conhecimentos básicos de engenharia, servindo de apoio a execução de lajes maciças e treliçadas na etapa de escoramento e cimbramento. Logo, a intenção foi criar uma interface amigável, simples e intuitiva, atrelada a um fluxo de telas simples e direto, em que, em poucos toques o usuário já pudesse ser direcionado para uma página de resultados.

A figura 3 mostra a tela inicial onde o usuário poderá optar pelo tipo de laje ao qual deseja escorar. Seguindo com a opção escolhida sendo a laje treliçada, abrem-se algumas opções a serem escolhidas como o tipo de vigota treliçada que

o usuário irá utilizar e qual será o enchimento da laje.

Figura 3: Telas do aplicativo (Escolha da laje e Características da laje)

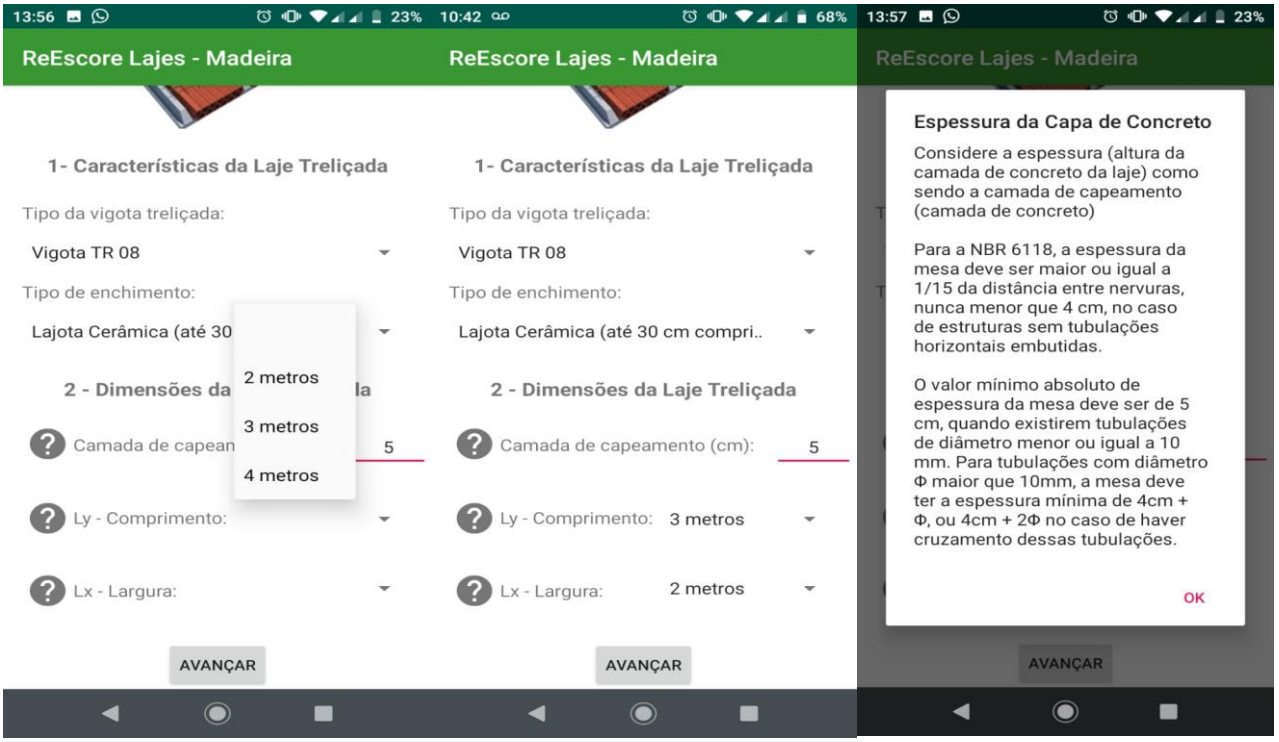


Fonte: Autor

Para realizar as verificações, também são necessárias as informações da camada de capeamento da laje, bem como das suas dimensões exposto na figura 4, as quais adotou-se uma restrição de tamanhos visando limitar os dados de entrada do usuário e trabalhar com menos possibilidades de matrizes geradas pela escolha das mais variadas dimensões. Assim, foi-se necessário adotar medidas de 2, 3 e 4 metros, consideradas as mais usuais para esse tipo de laje em questão, compreendendo 6 dimensões possíveis de lajes, 2x2, 2x3, 2x4, 3x3, 3x4, 4x4.

Conforme a figura 5, ao clicar no botão avançar, é apresentado ao usuário uma tela para o input de dados sobre o escoramento utilizado. (Fig. 5), como a espécie da madeira, sendo possível também a escolha das madeiras genéricas utilizadas para fins de dimensionamento da ABNT NBR 7190.

Figura 4: Telas do aplicativo (Características da laje: Dimensões, Avisos)

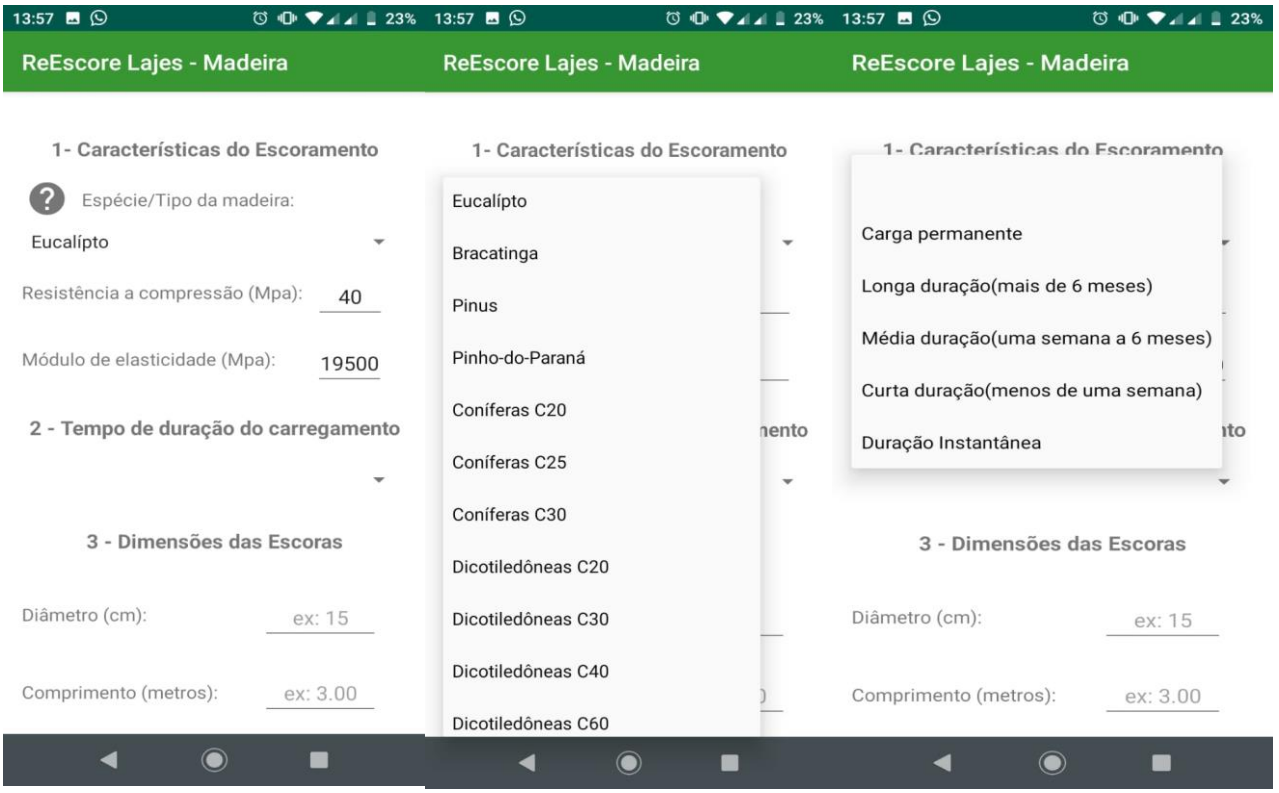


Fonte: Autor

As espécies disponíveis para escolha do usuário foram as madeiras características contidas na ABNT NBR 7190, bem como Eucalipto (grandis), Bracatinga, Pinus e pinho-do-Paraná, por apresentarem maior utilização na forma de escoras ou pontaletes de madeira maciça serrada diametral, mediante consulta em madeireiras locais, e nos dados do IPT (instituto de pesquisas tecnológicas). Os valores de resistência à compressão média (com umidade a 15%) e módulo de elasticidade foram correlacionados aos valores normativos de acordo com suas espécies (dicotiledôneas ou coníferas) e com os dados testados pelo IPT.

No dimensionamento de peças em madeira, é necessário a verificação dos coeficientes de modificação KMOD 1, KMOD 2 e KMOD 3, presentes na ABNT NBR 7190, no entanto, para tornar a interface mais amigável ao usuário, e restringir os dados de entrada, o KMOD 2 e KMOD 3 foram adotados com o mínimo possível de 0.8. Já o KMOD 1, quanto a duração do carregamento foi mantida como um dado de entrada.

Figura 5: Telas do aplicativo (Características do escoramento, Madeiras e Cargas)



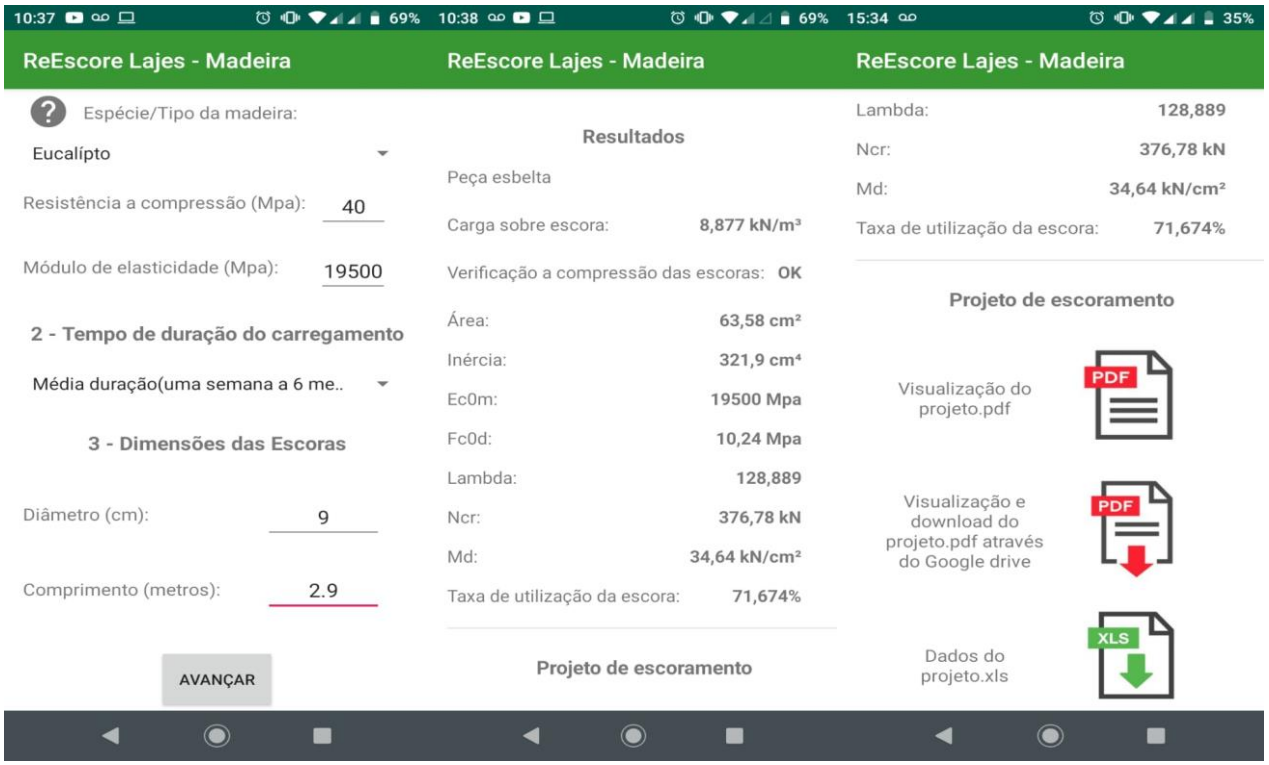
Fonte: Autor

Prosseguindo, o usuário pode visualizar uma tela com os resultados do cálculo, conforme a figura 6, e verificar se a peça está é considerada esbelta, medianamente esbelta ou curta, a taxa de utilização das escoras, o peso próprio da laje a ser escorada e se as condições apresentadas são suficientes para as características do escoramento, de acordo com o “OK” no campo verificação à compressão das escoras. É importante salientar que caso essa condição não seja atendida, o campo será exibido com a condição “Não OK” e o projeto de escoramento não será visualizado, tal qual a taxa de utilização da escora se dará acima de 100%. Nessas condições, o usuário precisará voltar para as telas anteriores e inserir novos parâmetros para o cálculo.

As demais variáveis expostas como resultados, como a Área (A), Inércia (I) e Módulo de elasticidade (Ec0m) das escoras são fruto das condições de escoramento inseridas, tipo da madeira e dimensões. Já o Lambda (L), carga crítica de Euler na escora (Ncr), Momento de projeto (Md) são decorrentes do cálculo e verificação do peso próprio da laje somado a carga acidental aplicados como força

normal na escora. A taxa de utilização da escora por sua vez, é uma métrica para definir o nível de esforço ao qual a escora está sendo solicitada.

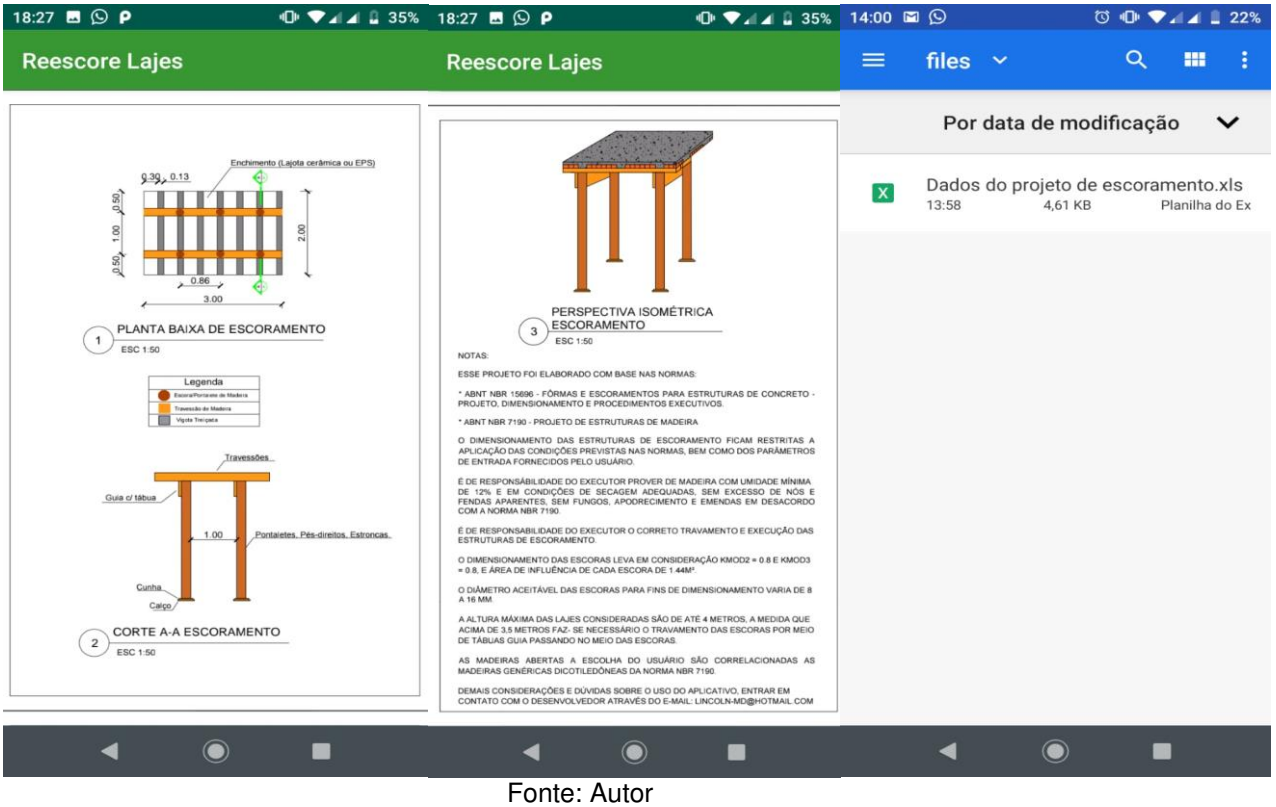
Figura 6: Telas do aplicativo (Características do escoramento e Resultados)



Fonte: Autor

Nas pranchas do projeto, conforme a figura 7, estão contidas todas as informações pertinentes a execução do processo de alocação das escoras como por exemplo o espaçamento entre escoras, o correto posicionamento das escoras espaçadas abaixo das treliças de concreto e a montagem da estrutura de cimbramento da laje, vista em corte e em perspectiva. Também é exposto ao usuário uma série de notas técnicas referentes à implementação do projeto, como as características da taxa de umidade das madeiras utilizadas, condições máximas de altura para quais o projeto pode ser executado, diâmetro aceitável adotado para as escoras e etc.

Figura 7: Pranchas de Escoramento e Planilha



Fonte: Autor

5. Conclusão

Por fim, foi possível atingir todos os objetivos previamente propostos, desenvolvendo um aplicativo capaz de realizar o dimensionamento de escoras de madeira para lajes maciças e treliçadas de maneira ágil e dinâmica. O aplicativo conta com uma interface amigável e um fluxo de telas simples com linguagem e manuseio acessíveis ao usuário, a implementação da rotina de cálculo presente na norma de madeiras ABNT NBR 7190 foi satisfatória, de modo a realizar as verificações para os parâmetros de entrada fornecidos pelo usuário. Assim, disponibilizando um projeto de escoramento em forma de pranchas e uma planilha, suficientes para fornecer as diretrizes necessárias à execução do escoramento.

Diante de todos os resultados obtidos com o aplicativo, a etapa de escoramento quando feita através do ReEscore Lajes tem um enorme diferencial em relação a tomada de decisão empírica. Pois, com a posse dos projetos, o escoramento de toda a estrutura pode ser feito com a devida segurança,

planejamento, qualidade e redução de desperdícios, contribuindo para a correta execução e comportamento estrutural das lajes.

Referências

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: **Projeto de estruturas de madeiras**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15696: Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos**. Rio de Janeiro, 2009.

DER/SP - DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM – SÃO PAULO. **Cimbramento de estruturas de concreto**. Diretoria de engenharia, São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Arquivos/normas/ET-DE-H00-008_A.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2023.

LLURBA, X. C. Pintado; CARLTON, R. J. **Modelling prop loads during concrete slab construction, Proceedings of the Institution of Civil Engineers**. Structures & Buildings . v. 160, aug. 2007. Pages 221–229. ISSN 0965-0911. https://doi.org/10.1680/stbu.2007.160.4.221.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de Madeira**. LTC – Livros Técnicos e Científicos, 6.ed., Rio de Janeiro, 2017. 240 p.