INSTITUTO x - SUA INSTITUIÇÃO

FACULDADE x - SUA FACULDADE

CURSO x - SEU CURSO

NOME DO ALUNO

TÍTULO DO TRaBALHO

SÃO MATEUS

2017NOME DO ALUNO

TÍTULO DO TRABALHO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas da Faculdade Vale do Cricaré, como requisito parcial para obtenção do grau de Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas.

Orientador:

SÃO MATEUS

2017

NOME DO ALUNO

TÍTULO DO TRABALHO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas da Faculdade Vale do Cricaré, como requisito parcial para obtenção do grau de Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas.

Aprovado em 00 de julho de 2017.

**BANCA EXAMINADORA**

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

**PROF.**

**FACULDADE VALE DO CRICARÉ**

**ORIENTADOR**

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

**PROF.**

**FACULDADE VALE DO CRICARÉ**

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

**PROF.**

FACULDADE VALE DO CRICARÉ

A minha família, razão de minha existência.

A Deus.

Agradeço a meu orientador pela paciência e grande ensinamentos.

“Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina.”

Cora Coralina

**RESUMO**

ABSTRACT

It is a must. It presents in a concise way the content of the text, highlighting the most important points, the objective, the methodology, the results and the conclusions of the work. It should occupy only one paragraph, giving preference to the use of the third person singular and the verb in the active voice, not to exceed 500 words. The pattern of the line spacing contained 1.5, font Arial, size 12.

**Keywords**: Control. Output input. Development. System.

O Abstract é o resumo do trabalho traduzido para o inglês (O mesmo resumo inserido na página anterior)

LISTA DE SIGLAS

BR: Brasil;

PT: Português.

LISTA DE figuras

[Figura 1:. 22](#_Toc310540549)

[Figura 2: 23](#_Toc310540550)

[Figura 3:. 23](#_Toc310540551)

[Figura 4:. 23](#_Toc310540552)

[Figura 5: 24](#_Toc310540553)

LISTA DE GRÁFICOS

[Gráfico 1: 30](#_Toc310539470)

[Gráfico 2: 30](#_Toc310539471)

[Gráfico 3: 31](#_Toc310539472)

[Gráfico 4: 31](#_Toc310539473)

[Gráfico 5: 32](#_Toc310539474)

**SUMÁRIO**

[1 INTRODUÇÃO 2](#_Toc30705136)

[1.1 JUSTIFICATIVA 5](#_Toc30705137)

[1.2 OBJETIVO GERAL 6](#_Toc30705138)

[1.3 METODOLOGIA 7](#_Toc30705139)

[2 REFERENCIAL TEÓRICO 8](#_Toc30705140)

[3 MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS 10](#_Toc30705141)

[4 PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO 11](#_Toc30705142)

[5 ESTUDO DE CASO 12](#_Toc30705143)

[6 ANÁLISE DOS RESULTADOS 13](#_Toc30705144)

[7 CONCLUSÃO 14](#_Toc30705145)

# 1 INTRODUÇÃO

Durante o maior tempo da existência humana, fomos pautados pela experimentação dos eventos ao nosso a redor para a tomada de decisões. Assim sendo, quanto mais se experimentava, mais se acumulava conhecimento para próximos empreendimentos e isto representava valor para sociedade.

Inicialmente, por necessidade de um modelo social sedentário, usavam-se elementos da natureza que se encontravam nas proximidades para a construção de edificações que visavam à proteção do indivíduo. Entretanto, não havia a consciência da limitação da matéria-prima, a menos que a escassez fosse notada. Desse modo, o conhecimento empírico, ou seja, aquele “derivado direto da atividade sensorial do homem sobre os objetos da realidade” (ABRANTES; MARTINS, 2007) que é criado a partir do processo de tentativa e erro tornou-se preponderante no início da civilização humana mesmo na área de engenharia.

Esse processo, apesar de reativo, foi essencial para o desenvolvimento da sociedade e supria a demanda da época. Todavia, as populações foram crescendo e a necessidade de racionalização dos recursos foi vista como fator estratégico para o sucesso do meio social. O modelo antigo contribuiu para o surgimento de teorias modernas pautadas no conhecimento científico; e, com o crescimento do capitalismo e novas maneiras de exploração da natureza, o panorama de como fazemos isto mudou para uma visão focada na segurança, eficiência e economia de materiais para a mitigação de custos.

Esse movimento evidentemente influenciou todas as esferas da engenharia civil em que tais teorias, depois de vários anos, foram consolidadas, de maneira que hoje temos padrões técnicos consolidados. Estes agora regulamentam os projetos de engenharia com base científica e são padronizados de acordo com a regulação e as características de cada País. Diferentemente de antes, as decisões do engenheiro podem deixar de ser pautadas exclusivamente pelo conhecimento subjetivo embasado por anos de profissão; mas o paradigma atual é ser capaz de construir com o menor custo possível, evidentemente sempre tendo em vista a segurança e o cumprimento de padrões durante todas as etapas do projeto.

Como comentado por Isaia (2007, p. 906): “No Brasil, assim como em outros países, o concreto tem um papel de destaque sendo o principal e mais consumido material de construção”. Assim, é perceptível que, pelo concreto ser o insumo mais consumido para construção, qualquer mudança no paradigma da sua aplicação nas construções é uma oportunidade de causar impactos significativos em minoração em custo de material.

Outro fator que surgiu para mudar o cenário da construção é o surgimento de novas tecnologias. Com o avanço da computação e a sua acessibilidade, foi ampliada as possibilidades de alinhar este anseio por minorações de custos ao crescimento tecnológico. Segundo o relatório publicado pela DELOITTE (2013, tradução nossa): “O custo de poder computacional decresceu significativamente, em 1992 um milhão de transístores custava cerca de 220 dólares e em 2012, o valor chegou a 0,06 dólares”.

Gráfico 1 – Desempenho Computacional x Custo (1992–2012)



Fonte:

Fonte: Leading technology research vendor. Gráfico: Deloitte University Press | DUPress.com

Seguindo essa perspectiva de acessibilidade, agora conseguimos tirar a vantagem dada pelo poder computacional para que os cálculos de engenharia sejam feitos, não somente mais rápido, mas permitindo-se criar cenários de projetos tendo em vista a melhor situação possível que, em suma, consiste em atender os requisitos normatizados com o menor custo.

Alinhados a estes conceitos, o objetivo destes escritos é evidenciar, seguindo técnicas modernas de computação, que, na engenharia civil, culturalmente muitas soluções são adotadas mediante prática do projetista. Ou seja, são baseados em experiência a detrimento do que poderia ser a melhor solução. De tal modo que, em obras grandes, qualquer variação pequena de forma de dimensionar pode acarretar significativa economia no custo total com estruturas.

Este material terá como foco prover uma forma objetiva de determinação dos parâmetros de dimensionamento estrutural, fazendo assim com que soluções seguras, mais econômicas e mais sustentáveis sejam adotadas.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

É notório que vários projetos são pautados em pré-dimensionamento que não são feitos com embasamentos objetivos e claros. Esta pesquisa contribuirá para a construção de soluções mais econômicas e sustentável uma vez que haverá otimização da utilização de insumos.

Assim, a proposta de otimização computacional contribui para a racionalização de materiais e, consequentemente, não somente diminui custos, mas promove menor uso de matérias-primas que são extraídas da natureza. Segundo artigo publicado no portal do Ministério do Meio Ambiente, a construção civil é uma das áreas que mais contribui para a degradação do meio ambiente:

O Conselho Internacional da Construção – CIB aponta a indústria da construção como o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais. Além dos impactos relacionados ao consumo de matéria e energia, há aqueles associados à geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Estima-se que mais de 50% dos resíduos sólidos gerados pelo conjunto das atividades humanas sejam provenientes da construção. Tais aspectos ambientais, somados à qualidade de vida que o ambiente construído proporciona, sintetizam as relações entre construção e meio ambiente (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, [20–?]).

A importância desse projeto se dá desde o momento em que não se encontram códigos de programação desse tipo desenvolvidos e distribuídos gratuitamente que focam no desenvolvimento de vigas. Além disso, nos produtos de mercado não foram identificadas soluções para otimização dos custos em material da mesma maneira como abordado neste projeto.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Será desenvolvida uma coleção de códigos acessíveis e escritos na linguagem de programação Python que terá como foco a análise de vigas em concreto armado. Desse modo, será possível calcular, dados alguns parâmetros, a estimativa de melhor solução a ser adotada em relação ao dimensionamento do ponto de vista financeiro da solução.

Assim, serão analisadas vigas de concreto armado, sendo estas horizontais e com a possibilidade de elas serem sujeitas a carregamentos pontuais e uniformemente distribuídos. Poderão ser usadas as condições de contorno clássicas como apoio, engaste, livre e estas combinadas. Não será escopo do estudo condições específicas como de recalque, temperatura, fadiga, umidade, apoios elásticos e outros.

Para demonstrar a efetividade da ferramenta, serão comparadas soluções que foram adotadas em obras reais com as propostas pelo algoritmo desse projeto. Assim, retornar-se-á o valor total gasto com materiais. Nota-se destacar que não serão considerados outros custos como: mão de obra, transporte dos materiais/equipamentos, formas e outros elementos indiretos.

O que será desenvolvido também servirá como maneiras de estudar o concreto, como, por exemplo:

•  Determinar melhores parâmetros de geometria para cada condição de carregamento e alocação da viga;

•  Servir como base para a construção de outras soluções envolvendo vigas em concreto protendido, lajes e pilares de concreto armado;

•  Elaborar modelos analíticos para viga biapoiada que, dado o carregamento distribuído e vão livre, indicará qual seria estatisticamente o melhor pré-dimensionamento a ser feito. Para isso pode ser estudado qual será o melhor modelo para isso, tais como: regressão linear, nearest neighbors e decision trees.

## 1.3 METODOLOGIA

De modo a garantir a segurança e a conformidade das peças, será usada a norma que trata de projeto de estruturas de concreto e procedimento (NBR 6118:2014)[1] como regulamentadora de todos os cálculos a serem feitos. Para a determinação dos esforços em cada seção da peça, far-se-á uso do método dos elementos finitos considerando elementos de viga entre cada nó.

Com o objetivo de ampliar a velocidade dos cálculos, principalmente para a obtenção dos esforços, serão usadas funções matriciais distribuídas pela biblioteca Numpy, cujo código é distribuído livremente pela BSD 3-Clause New or Revised License©. No seu site oficial, Numpy é definido como “o pacote fundamento para computação científica em Python”[2](NUMPY DEVELOPERS, 2019).

Para análise dos resultados propostos pelo algoritmo e verificação de eficácia, serão comparadas a listagem de materiais sugeridas com a de algum projeto real que será consultado preferencialmente de alguma tese já publicada como a de BASTOS (2015) ou livros didáticos publicados como feitos por Carvalho e Figueiredo Filho (2015). Para a obtenção do custo economizado, serão considerados os intervalos de preços propostos pelas fornecedoras ou, se for possível, pelos catálogos da EMOP (Empresa de Obras Públicas do Estado do Rio de Janeiro).

A comparação deverá ter como pressuposto que as vigas possuam o mesmo vão livre e carregamento, enquanto as geometrias ou quantidade de materiais podem variar. Não serão considerados fatores como: delimitação da geometria e indisponibilidade de insumos. O algoritmo criado permitirá delimitação através de listagem de materiais específicos, porém, isto não entrará no escopo desta comparação.

Todos os códigos e propostas de uso serão publicados conforme The MIT License®, conhecida por ser uma das licenças mais liberais, e no mais popular repositório de códigos-fonte: Github®, Inc. Junto a isto, será disponível o manual de uso da ferramenta.

[1] Veja mais em NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014)   
[2] NumPy is the fundamental package for scientific computing with Python

# 2 REFERENCIAL TEÓRICO

<https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/pos-graduacao/dissertacao_rfnascimento.pdf>

<https://books.google.com.br/books?id=JrdiDwAAQBAJ&pg=PT179&dq=%22elemento+de+viga%22&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwjY_7Wl15jnAhWUILkGHUp-CqoQ6AEIKTAA#v=onepage&q=%22elemento%20de%20viga%22&f=false>

Podemos conceituar o MEF (método dos elementos finitos) como sendo uma técnica usada para subdividir estruturas mais complexas em geometrias mais simples de modo a se obter o comportamento final da estrutura. Então, far-se-á uso disso já que é escopo do projeto estruturas hiperestáticas que não possuem soluções triviais.

O método, apesar de ser bastante abrangente, será usado apenas no contexto de elementos de vigas, isto quer dizer que contaremos apenas com a presença de esforços verticais e momento fletor.

Para a determinação dos esforços, é importante definirmos duas entidades primárias: os carregamentos e os elementos de vigas.

As características dos carregamentos são onde ele começa e termina, e seu comportamento de magnitude ao longo da sua atuação.

Os elementos de vigas são partes da estrutura homogêneas formadas por uma seção de propriedades geométricas conhecidas, um determinado material que o confere características físicas como elasticidade e capacidade de dilatação térmica e, por fim, um par de nós que determina sua posição na estrutura e sua condição de contorno para a resolução das equações.

O algorítmo montado nessa fase estrutural foca em dividir o elemento na menor quantidade necessária para que se tenha menos trabalho computacional. Assim sendo, já é possível fazer a determinação das reações de apoio e, com as informações de carregamento, conseguimos calcular os esforços em qualquer ponto.

Os nós, por sua vez, são delimitados quando há variação das propriedades da seção/material, quando há começo ou término da aplicação de cargas conhecidas, ou em pontos que determinam uma condição de contorno. Veja exemplo:

N1, N2 e N3 representados pela marcação de "X" são os nós que consideraremos nos cálculos. Sendo a ligação entre eles os elementos de viga (EV). Tradicionalmente, no método dos elementos finitos, se dividiria a estrutura em um número N de nós, mas em busca de simplicidade e velocidade em processamento, nos limitaremos aos pontos críticos.

Texto preto sobre fundo branco

Descrição gerada automaticamente

IMAGEM

Para reforçar a ideia de que começo ou término de carga também configuram um novo nó, segue outro exemplo:

Uma imagem contendo screenshot

Descrição gerada automaticamente

Dessa maneira, o comportamento entre dois pontos é previsível quando as características destes são determinados e, analiticamente, tem-se o valor exato do esforço.

Como trabalharemos com deslocamentos pequenos (altos deslocamentos não são aprovados durante a verificação do estado limite de serviço do concreto), levaremos em conta as terorias de elasticidade de Bernulli. Portanto, podemos considerar a equação:

F = k\*U, sendo F a força que gera o deslocamento U em um elemento de rigidez k.

O esforço F será o fator de maior interesse inicialmente e o resultado que queremos obter porque, a partir dele, conseguimos as reações de apoio.

Alguns deslocamentos são conhecidos por conta das condições de contorno dos nós. Por exemplo, o apoio representa deslocamento vertical nulo, enquanto o engaste define tanto deslocamento vertical nulo quanto o movimento de rotação. Assim, não será um grande desafio definir essa variável.

Agora o motivo maior de nosso foco será na determinação do a constante de rigidez de nossos elementos de viga.

Vamos focar o estudo em apenas um elemento de viga genérico cujo comprimento é L e possui módulo de elasticidade I e módulo de rigidez E:

Tela de celular com texto preto sobre fundo branco

Descrição gerada automaticamente

Cada nó delimitador dele apresentará um par de esforços: um vertical e um momento. Podemos fazer a notação deles em termos matriciais. Ficamos assim com:

É importante notar que seguiremos uma convenção conhecida na área estrutural de que quando a carga é vertical "para cima", o sentido é positivo e o anti-horário do momento também. Assim, esses esforços assumem valores negativos quando o sentido é oposto ao exposto.

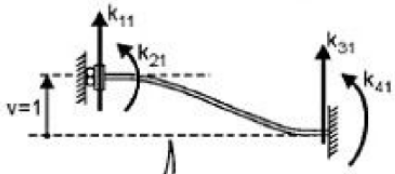
Inicialmente consideraremos que todos os deslocamentos estão restritos para que esses esforços existam. Posteriormente levaremos em conta a condição de contorno específica de cada ponto.

Os deslocamentos podemos representar através de pensamento análogo por U = [U1, U2, U3, U4]. Sendo U1 o deslocamento causado por E1 (vertical, nesse caso), U2 deslocamento causado por E2 (rotação) e assim por diante.

Como temos F = K \* U e ambos F e U são representados por uma matriz 4x1, obrigatoriamente K, que chamaremos nesse contexto de matriz de rigidez unitária (por representar apenas um elemento), deve ser uma matriz 4x4.

Nossa equação ficará, por fim, assim:

Podemos determinar os valores da matriz K por meio de aplicação de deslocamentos unitários. E, assim, encontrar o valor das colunas uma a uma. Começaremos com um elemento de viga com todos os deslocamentos restritos com exceção do deslocamento vertical do primeiro nó que aplicaremos um deslocamento de uma unidade. Seria o caso da viga abaixo:



Temos, desse modo:

Aplicando na equação esse valor para U e resolvendo o produto das matrizes:

Agora se descobrirmos qual é o esforço gerado nos nós por conta da aplicação desse esforço unitário, teremos as constantes da primeira coluna da matriz. Conseguiremos determinar esses esforços com as equações que relacionam rotação, deslocamento, momento e cortante.

É notável que:

Como não temos carregamento ao longo da viga:

Aplicando:

Sabemos que .

Integrando mais uma vez, temos .

Aplicando :

Usando a equação de rotação para x=L e sabendo que :

Conseguimos o deslocamento vertical integrando a equação de rotação:

Sabemos que porque tínhamos aplicado um deslocamento unitário.

Também temos o valor de , então aplicaremos para ter outra relação:

Mas já remos a relação entre e .

Aplicando mais uma vez a relação entre as duas constantes, conseguimos determinar .

Podemos determinar facilmente pelo equilíbrio das forças ou usando a relação :

Para , basta aplicar a relação :

Retornando para a notação matricial, temos:

Esses são os valores apenas para a primeira coluna da matriz K, mas aplicando raciocínio análogo de aplicação de deslocamento unitários, conseguimos chegar na matriz de rigidez unitária que é representada por:

Logo, temos:

Essa equação nos permite achar esforços ou deslocamentos em várias situações, especialmente quando possuímos condições de contorno para tornar todos os valores de esforços determináveis. Essa equação foi obtida para apenas um elemento de viga, mas é possível ser aplicado esse princípio para múltiplos elementos. Veremos para dois elementos:

Tela de celular com texto preto sobre fundo branco

Descrição gerada automaticamente

O nó do meio sofrerá o esforço vertical e momento . Essa divisão se faz para podermos aplicar nossa equação.

Podemos agora juntas os esforços causados no nó do meio:

Conhecendo e , é possível determinar fazendo a resolução do produto dessa matriz. Como a matriz E e U são 6x1, naturalmente será 6x6. Essa constante será conhecida como a matriz de rigidez global e tem suas dimensões variando conforme a quantidade de nós. Apesar de não ser complexa, a demonstração para se obter o valor de é extensa, portanto pularemos. Mas é curioso perceber que, na verdade, existe uma lógica de que a matriz de rigidez global é a soma das matrizes locais, mas, como a dimensão é diferente, essas linhas e colunas extras vão sendo preenchidas com zero dependendo da posição do elemento de viga na viga. Nesse caso teremos:

Reescrevendo a equação agora considerando os pontos como A, B e C e substituindo as numerações das linhas ímpares por “v” de vertical e as pares por “m” de momento, temos:

Para prosseguir, precisamos definir o comportamento desses nós e, para tanto, é necessário compreender as reações neles. Neste projeto usaremos especificamente três categorias de nós que se diferenciam pelas suas condições de contorno:

Simplesmente Apoiado. Possui seu deslocamento vertical nulo (0), porém permite rotação (1). Por conta disso, veremos que matricialmente mais tarde que ele será visto como [0, 1]. Visualmente representaremos ele assim (a cruz representa apenas o nó)

Uma imagem contendo objeto, antena

Descrição gerada automaticamente

Engastado: possui seu deslocamento vertical e rotação ambos nulos ([0, 0]).

Uma imagem contendo objeto, antena

Descrição gerada automaticamente

Livre ou "nó de meio". Possui seu deslocamento vertical e rotação ambos diferentes de zero ([1, 1]). Fica localizado no meio do que aparentaria ser o mesmo elemento, porém é útil para delimitar a viga em caso de seu término ou quando há variação do tipo de carregamento.

Uma imagem contendo objeto, relógio, voando, avião

Descrição gerada automaticamente

Aplicaremos esses conhecimentos ao exemplo abaixo. Temos Uma viga que se divide em dois (1 e 2) que possuem a mesma rigidez a flexão que consideraremos e mesmo comprimento de 250cm.

Uma imagem contendo objeto, antena

Descrição gerada automaticamente

Repare que já temos todos os valores necessários para ter a matriz de rigidez global. Assim, aplicando, teremos:

Conseguimos também saber quais são os esforços provocados exclusivamente pelas cargas aplicadas (não incluindo reação de apoio). Basta isolar os elementos de viga restringindo todo o deslocamento.

Uma imagem contendo objeto, antena

Descrição gerada automaticamente

A resolução é trivial:

Tela de celular com texto preto sobre fundo branco

Descrição gerada automaticamente

Agora podemos somar os valores do nó do meio para obter apenas um valor.

Uma imagem contendo objeto, relógio

Descrição gerada automaticamente

Dessa forma, conseguimos determinar nossa matriz E, mas ainda precisamos adicionar a parcela de reação de apoio. Como é simplesmente apoiado, os momentos acabam não recebendo alteração:

Além disso, sabemos que o deslocamento vertical de todos os nós é nulo e essas são nossas condições de contorno. Portanto:

Por fim, temos um total de seis valores a serem determinado, mas pela relação , conseguimos obter seis equações e determinar todos os valores.

Agora que sabemos todos os esforços, tanto externo quanto de reação, conseguimos o cortante, momento, rotação e deslocamento em qualquer ponto usando a relação exposta em xx. Essa teoria será nossa base para o cálculo dos esforços em qualquer ponto da viga de concreto e nos permitirá generalizar mais as situações de aplicação desta solução. Isto invaria para o tipo de estrutura que se adotará (metálica, concreto, madeira...) e, portanto, como veremos depois, será uma entidade (classe) separada no código.

Concreto

Apesar de a teoria mostrada acima ser para estruturas no geral, focaremos no uso do concreto armado e para isso recorreremos a NBR 6118:2014 para balizar toda a aplicação deste material. Iremos dividir esses conhecimentos em quatro partes: informações do concreto, cálculo do aços transversais (estribos), cálculo dos aços longitudinais (vergalhões) e verificação pelo estado limite de serviço.

Informações do concreto:

Resistência de projeto:

Onde:

, resistência característica do concreto (MPa);

, constante de projeto

Verificação da compressão diagonal do concreto:

Onde:

, e fck expresso em megapascal (MPa);

, é a menor largura da seção, compreendida ao longo da altura útil d;

, é a altura útil da seção;

Cálculo dos aços transversais:

Iremos nos basear principalmente na seção 18.3.3 que trata da armadura transversal para força cortante. Focaremos no uso de apenas de um ramo xxx.

Então, já que temos o valor do esforço cortante característico () como calculamos anteriormente, podemos determinar a distância máxima entre os estribos.

Sendo:

, cortante de projeto

# 

# 3 MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

# 4 PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

# 5 ESTUDO DE CASO

Usando o algoritmo desenvolvido no projeto cuja documentação e o código se encontram no Anexo A podemos fazer diversos estudos para entender as melhores configurações de viga. Faremos primeiramente um estudo de dimensão ótima de uma viga de sessão retangular com as seguintes característica:

A viga possui comprimento de valor *length*, seção retangular cuja largura é *width* e altura *height*. Todas essas medidas em centímetros.

Para simular um valor de carregamento, simularemos que existe uma laje quadrada de altura e largura igual ao comprimento da viga e apoiada em 4 vigas idênticas a essa nossa de estudo. Tal laje sofrendo um carregamento de 5 kN/mˆ2 simulando algumas situações da norma. Dessa forma, a carga distribuída em uma laje fica:

O código para simular essa situação encontra-se abaixo. Mais informações de como usar o produto criado, consultar anexo A.

>>> def concrete\_beam\_function(width, height, length):

... slab\_area = length\*length

... kn\_per\_cm2\_on\_slab = fc.to\_unit(5, "kN/m\*\*2", "kN/cm\*\*2")

... distributed\_load\_value = (slab\_area\*kn\_per\_cm2\_on\_slab/length)/4

... distributed\_load = fc.Load.UniformDistributedLoad(-distributed\_load\_value, x\_begin=0, x\_end=length)

... pp = fc.Load.UniformDistributedLoad(-width\*height\*25/1000000, x\_begin=0, x\_end=length)

... n1 = fc.Node.SimpleSupport(x=0)

... n2 = fc.Node.SimpleSupport(x=length)

... beam = fc.ConcreteBeam(

... loads = [distributed\_load, pp],

... nodes = [n1, n2],

... section = fc.Rectangle(width, height),

... division = 200

... )

... return beam

Essa é uma função que, dados os valores da largura, altura da seção e comprimento da viga, retorna uma instância da classe de Viga (ConcreteBeam) que possui informações da resolução ou emite alguma descrição de erro caso a solução não seja possível (algum critério da norma não for possível ser atendido).

Agora precisamos variar esses valores de *length*, *width* e *height*. Para estudarmos o nosso caso. Como a norma limita a seção para o mínimo de 15 cm de altura e largura, vamos começar desse valor e indo até 108cm em passos de 2 em 2 centímeros e também *length* de 150 até 1000 de 50 em 50cm. Assim se testará todas essas possibilidades combinadas somando um total de 41472 combinações (vigas calculadas). Para fazer esses cálculos, basta usar a função de getBestSolution (retornar melhor solução) para fazer todos os cálculos e trazer uma tabela com todas as informações principais.

>>> full\_report, solution\_report, best\_solution = fc.Analysis.getBestSolution(concrete\_beam\_function,

... sort\_by\_multiplication=True,

... width=(15, 100, 2),

... height=(15, 150, 2),

... length=(150, 600, 50))

Código completo no Jupyter Notebook:

Uma imagem contendo screenshot, texto

Descrição gerada automaticamente

O que é retornado na variável full\_report é uma tabela com 41472 linhas representando todos os cenários de viga. Tem-se nas colunas os valores de nossas variáveis, informações de erro, custo total e custo com cada tipo de material.

Filtrando apenas as linhas que atendem a norma e a linha que representa menor custo para cada comprimento de viga, temos a tabela abaixo:

Tela de computador com texto preto sobre fundo branco

Descrição gerada automaticamente

Podemos tirar algumas conclusões interessantes considerando esses cenários de carregamento que montamos. Por exemplo, facilmente conseguimos ver que é mais vantajoso manter a largura da seção como a mínima (15cm) e, à medida que o vão vai aumentando, crescer apenas o valor da altura.

Podemos rebuscar mais nossa análise para tentar entender a relação entre as variáveis. Criemos, então, duas colunas que representam a relação entre elas:

Tela de computador com texto preto sobre fundo branco

Descrição gerada automaticamente

Focando na relação entre o custo e o vão, vemos que o custo por comprimento de vão vai aumentando a única exceção foi para os comprimentos de 200cm e 250cm porque a seção mínima já atende esses casos.

Tela de celular com texto preto sobre fundo branco

Descrição gerada automaticamente

Perce-be que o formato é parecido com uma parábola:

Tela de celular com publicação numa rede social

Descrição gerada automaticamente

Assim temos que o custo em reais da viga ideal dado o comprimento, em metros, é de:

Custo = 13,71-42,73\*Comprimento+66\*Comprimento2

É importante notar que uma das premissas é que o valor do m3 do concreto é de XXX reais. O que é relativamente baixo porque está se considerando a compra em maior quantidade.

Fazemos agora análise em termo de qual altura de seção se usar.

# 6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

# 7 CONCLUSÃO

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRáFICAS

BARROS, A. J. D. S.; LEHFELD, N. A. D. S. **Fundamentos da Metodologia Científica**. 3ª. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

BATOCCHIO, A.; BIAGIO, L. A. **Plano de Negócios - estratégia para micro e pequenas empresas**. São Paulo: Manole, 2005.

BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. D. V. **Introdução á Engenharia:** Conceiros, Ferramentas e Comportamentos. FLORIANÓPOLIS: UFSC, 2009.

BERNARDI, L. A. **Manuel de Empreendedorismo e Gestão:** fundamentos, estratégias e dinâmicas. São Paulo: Atlas , 2010.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. **Metodologia Científica**. 6ª. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

DARIDO, S. C.; SOUZA JÚNIOR, O. M. D. **Para Ensinar Educação Física:** possibilidades de intervenção na escola. Campinas: Papirus, 2007.

DOLABELA, F. **O Segredo de Luísa**. Rio de Janeiro: Sextante, 2008.

SILVEIRA, M. A. **A formação do engenheiro inovador:** uma visão internacional. Rio de Janeiro: Puc-Rio, 2005.

# APÊNDICE

APÊNDICE a - Pesquisa de campo para verificar a opinião dos alunos sobre a forma de estudo

PERFIL DO ENTREVISTADO

**SEXO**

( ) Masculino

( ) Feminino

**IDADE**

( ) 16 a 26

( ) 27 a 36

( ) 37 a 46

( ) 46 ou mais

**CURSO**

( ) Administração

( ) Análise e desenvolvimento de Sistemas

( ) Ciências Contabeis

( ) Direito

( ) Educação Física

( ) Pedagogia

( ) Outro:\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

VISÃO DO ENTREVISTADO

1. **Quando é preciso estudar uma grande quantidade de conteúdo em pouco tempo você:**

( ) Faz planos de estudo para ter o controle do tempo a ser estudado.

( ) Utiliza métodos que facilitam seu estudo e compreensão do conteúdo.

( ) Lê todo o conteúdo em cima da hora e acabo absorvendo pouca coisa

( )Outro: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. **Qual método você acredita ser mais viável para revisar e fixar conteúdo na memória? Visto que você teria pouco tempo para isso.**

( ) Ler resumos escritos por você através de um conteúdo estudado

( ) Ler vários livros que tenha a ver com a matéria a ser revisada

( ) Utilizar fichamento para aprimorar meu estudo

( ) Ler o conteúdo várias vezes até gravar

( ) Grifar ou sublinhar trechos

( ) Outro:\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**03. Qual é a sua principal fonte de pesquisa**?

( ) Internet

( ) Biblioteca

( ) Outro:\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**04.Você faria resumos como forma de revisão do conteúdo?**

( ) Sim

( ) Não

**05. Quanto tempo você leva para fazer resumos?**

( ) De 1 a 5 minutos

( ) De 6 a 10 minutos

( ) De 11 a 20 minutos

( ) De 30 minutos a 1 hora

( ) 1 hora ou mais

**06. Você costuma perder seus resumos?**

( ) Sim

( ) Não

**07. Você sente dificuldade para encontrar resumos feito a algum tempo?**

( ) Sim

( ) Não

**08. Quanto tempo leva para encontrar esses resumos?**

( ) De 1 a 30 minutos

( ) De 30 minutos a 1 hora

( ) De 2 a 24 horas

( ) As vezes não encontro

( ) Outro:\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**09. Você costuma guardar seus resumos com títulos?**

( ) Sim

( ) Não

**10. Em média de quantas folhas você gasta para fazer resumos?**

( ) De 1 a 10 folhas

( ) 11 a 20 folhas

( ) 21 folhas ou mais

**11. Você utiliza o método de fichamento para estudar?**

( ) Sim

( ) Não

**12. Visto que o fichamento é uma forma organizada de registrar as informações obtidas na leitura de um texto, facilitando você a obter uma compreensão maior do conteúdo, você utilizaria esse método para estudar?**

( ) Sim

( ) Não

# APÊNDICE B – TABULAÇÃO DE DADOS DA PESQUISA DE CAMPO

|  |  |
| --- | --- |
| PERFIL DO ENTREVISTADO | |
| sexo | quantidade de respostas obtidas |
| feminino | 26 |
| Masculino | 33 |
| idade | quantidade de respostas obtidas |
| 16 a 26 | 37 |
| 27 a 36 | 17 |
| 37 a 46 | 5 |
| 46 ou mais | 0 |
| CURSO | quantidade de respostas obtidas |
| Administração | 11 |
| Análise e desenvolvimento deSistemas | 25 |
| Ciências Contabeis | 3 |
| Direito | 2 |
| Educação Física | 7 |
| Pedagogia | 6 |
| Outros | 5 |
| visão DO ENTREVISTADO | |
| *Quando é preciso estudar uma grande quantidade de conteúdo em pouco tempo você:* | QUANTIDADE DE RESPOSTAS OBTIDAS |
| Faz planos de estudo para ter ocontrole do tempo a ser estudado. | 12 |
| Utiliza métodos que facilitam seu estudo e compreensão do conteúdo. | 28 |
| Lê todo o conteúdo em cima da horae acabo absorvendo pouca coisa | 12 |
| Outros | 1 |
| *Qual método você acredita ser mais viável para revisar e fixar conteúdo na memória? Visto que você teria pouco tempo para isso.* | QUANTIDADE DE RESPOSTAS OBTIDAS |
| Ler resumos escritos por vocêatravés de um conteúdo estudado | 38 |
| Ler vários livros que tenha a ver coma matéria a ser revisada | 7 |
| Utilizar fichamento para aprimorar meu estudo | 2 |
| Ler o conteúdo várias vezes atégravar | 5 |
| Grifar ou sublinhar trechos | 5 |
| Outros | 2 |
| *Qual é a sua principal fonte de pesquisa?* | QUANTIDADE DE RESPOSTAS OBTIDAS |
| Internet | 48 |
| Biblioteca | 11 |
| Outros | 0 |
| *Você faria resumos como forma de revisão do conteúdo?* | QUANTIDADE DE RESPOSTAS OBTIDAS |
| SIM | 57 |
| nÃO | 2 |
| *Quanto tempo você leva para fazer resumos?* | QUANTIDADE DE RESPOSTAS OBTIDAS |
| De 1 a 5 minutos | 0 |
| De 6 a 10 minutos | 5 |
| De 11 a 20 minutos | 6 |
| De 30 minutos a 1 hora | 16 |
| 1 hora ou mais | 32 |
| *Você costuma perder seus RESUMOS?* | QUANTIDADE DE RESPOSTAS OBTIDAS |
| Sim | 34 |
| Não | 25 |
| *Você sente dificuldade para encontrar resumos feito a algum tempo?* | QUANTIDADE DE RESPOSTAS OBTIDAS |
| Sim | 41 |
| NÃO | 18 |
| *Quanto tempo leva para encontrar esses resumos?* | QUANTIDADE DE RESPOSTAS OBTIDAS |
| De 1 a 30 minutos | 36 |
| De 30 minutos a 1 hora | 2 |
| De 2 a 24 horas | 2 |
| As vezes não encontro | 18 |
| Outros | 1 |
| *Você costuma guardar seus resumos com títulos?* | QUANTIDADE DE RESPOSTAS OBTIDAS |
| SIM | 41 |
| NÃO | 18 |
| *Em média de quantas folhas você gasta para fazer resumos?* | QUANTIDADE DE RESPOSTAS OBTIDAS |
| De 1 a 10 folhas | 53 |
| De 11 a 20 folhas | 5 |
| 21 folhas ou mais | 1 |
| *Você utiliza o método de fichamento para estudar?* | QUANTIDADE DE RESPOSTAS OBTIDAS |
| SIM | 45 |
| NÃO | 12 |
| *Visto que o fichamento é uma forma organizada de registrar as informações obtidas na leitura de um texto, facilitando você a obter uma compreensão maior do conteúdo, você utilizaria esse método para estudar?* | QUANTIDADE DE RESPOSTAS OBTIDAS |
| SIM | 44 |
| NÃO | 13 |

# APÊNDICE C – AUTORIZAÇÃO DE USO DE NOME

Eu, JOSÉ FERNANDES MAGNAGO DE JESUS, Diretor Geral, **autorizo o uso do NOME DA FACULDADE VALE DO CRICARÉ, por prazo indeterminado,** no trabalho acadêmico impresso de conclusão de Curso da turma de Análise e Desenvolvimento de Sistemas da Faculdade Vale do Cricaré, situada à Rua Venezuela, Nº 01, Bairro Universitário, São Mateus ES, **sem para isto receber qualquer contrapartida financeira dos autores do referido trabalho.**

São Mateus ES – 24 de Junho de 2016

José Fernandes

Diretor Geral

Faculdade Vale Do Cricaré