

**11ª Jornada Científica e
Tecnológica do IFSULDEMINAS**

**& 8º Simpósio de
Pós-Graduação**

LÓGICA FUZZY NA PREDIÇÃO DE DESLOCAMENTOS EM VIGAS

Juliano C. MELOTO¹; Régis M. de Souza²

RESUMO

As estruturas em concreto armado essencialmente são dimensionadas para atender as condições de resistência, durabilidade e desempenho em serviço. Inúmeros autores pesquisaram e desenvolveram modelos para determinação de deslocamentos em estruturas de concreto armado, modelos esses que podem apresentar limitações. A modelagem *fuzzy* é uma técnica promissora com aplicações de previsão em diversos ramos das engenharias. Porém, cabe avaliar se a modelagem *fuzzy* pode ser usada com segurança para previsão de deslocamentos em estruturas de concreto armado e auxiliar na tomada de decisão em projetos de estruturas. Portanto, este trabalho propõe-se desenvolver uma modelagem *fuzzy* para predição de deslocamentos em vigas de concreto armado submetidas aos carregamentos externos. Espera-se desenvolver um modelo capaz de prever deslocamentos em vigas de concreto armado minimizando custos computacionais e mantendo a qualidade dos modelos convencionais de análise de sistemas estruturais

Palavras-chave: Vigas em concreto armado; Modelagem *fuzzy*; Predição de deslocamentos; Métodos de elementos finitos.

1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios, o ser humano precisou se adaptar a várias situações e fazer construções para servirem de moradia, para demonstrar a grandeza de reis e imperadores, para se proteger de situações adversas e assim foram criadas técnicas de construção. Desde então, a engenharia estrutural vem se desenvolvendo, novos métodos de cálculos das estruturas foram surgindo e aprimorando essa ciência para que as construções sejam mais estáveis e duradouras.

A análise estrutural é uma parte importante da engenharia civil e da mecânica. Para Soriano (2013), a análise estrutural consiste na determinação dos esforços reativos e internos, além de deslocamentos, a partir de um pré-dimensionamento, da especificação dos materiais, das condições de apoio e das ações externas à estrutura.

O elemento estudado em questão nesse trabalho são as vigas em concreto armado. De acordo com a norma NBR-6118 (ABNT, 2014), vigas são elementos lineares em que a flexão é preponderante. Para Santos (2018), a função de uma viga em concreto armado é superar vãos e suportar esforços normais, cisalhantes, fletores e torçores.

1 Aluno. IFSULDEMINAS – Campus Pouso Alegre. E-mail: juliano.meloto@hotmail.com

2 Orientador. IFSULDEMINAS – Campus Pouso Alegre. E-mail: regis.souza@ifsuldeminas.edu.br

Um recurso que a engenharia pode lançar mão para o cálculo de deformações em elementos estruturais é o Método dos Elementos Finitos (MEF). Segundo Huebner, Thornton e Byron (1995), o MEF é uma técnica de análise numérica usada para obtenção de soluções aproximadas para vários problemas da engenharia. Stramandinoli (2007) utilizou o MEF para análise não linear física e geométrica de vigas e pórticos planos de concreto armado, e concluiu que o método funciona de forma eficiente, é de fácil implementação computacional.

Outra forma de modelagem computacional que pode ser usada para o cálculo estrutural é a lógica *fuzzy*. Segundo Chenci, Rignel e Lucas (2011), diferentemente da lógica booleana, a lógica *fuzzy* não trabalha apenas com verdadeiro ou falso, mas utiliza valores de 0 a 1, o que pode trazer uma melhor aproximação de resultados com um conceito de “meia verdade” sendo usado.

A *fuzzificação* é o mapeamento do domínio de valores numéricos reais para valores *fuzzy*. Para Simões e Shaw (2007), na *desfuzzificação*, o valor da variável linguística de saída inferida pelas regras *fuzzy* será traduzido num valor discreto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa será desenvolvida no IFSULDEMINAS – *campus* Pouso Alegre – MG, de forma teórica, exploratória, qualitativa e computacionalmente experimental, com hipóteses experimentais previamente definidas e será realizado no IFSULDEMINAS – *campus* Pouso Alegre – MG.

Pretende-se desenvolver um banco de dados de simulações numéricas utilizando o Método de Elementos Finitos (MEF) via *software ftool* versão 3.0 para diferentes cenários, considerando as variáveis: comprimentos, área da seção transversal, módulo de elasticidade longitudinal e momento de inércia, cargas permanentes, variáveis essas consideradas preponderantes.

Serão simulados vigas com comprimento mínimo de 1 metro e o máximo baseado no índice de esbeltez da peça levando em consideração a inércia calculada a partir das dimensões da seção a ser calculada. Tal abordagem se justifica pela necessidade de evitar os efeitos de segunda ordem, conforme observado por Souza (2018).

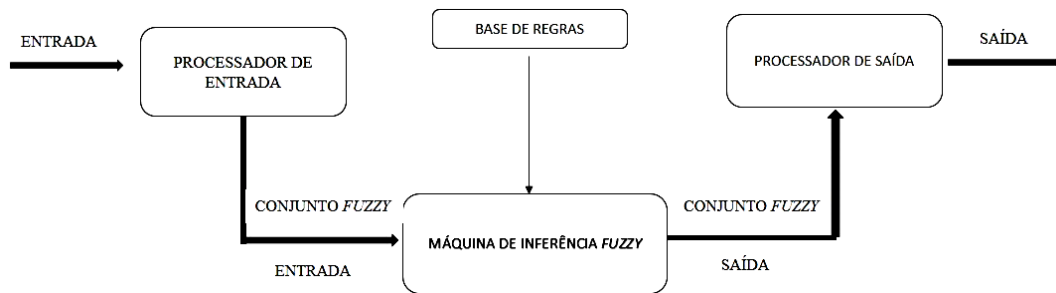
A área da seção transversal será retangular e o intervalo de valores é, de 12cm x 19cm, mínimo, e até 40cm x 60cm, base definida arbitrariamente e a altura é a máxima sem a necessidade de armadura de pele, todos os parâmetros foram definidos segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014).

Serão utilizados os valores de módulo de elasticidade estimado pela norma, em função da resistência do concreto, só serão usados concretos de classe I, de 25 a 50 MPa, conforme apresentado na NBR-6118 (ABNT, 2014).

Nessa pesquisa, para cada uma das variáveis, serão definidos conjuntos *fuzzy*, que expressam

um comportamento físico, esses conjuntos *fuzzy* serão compostos de funções de pertinência, que serão definidas no processo de modelagem, procedimento esse que será executado conforme recomendado por Simões e Shaw (2007). Será utilizado o método de inferência de Mamdani, por ser o método amplamente utilizado no controle de sistemas *fuzzy* e empregado nos trabalhos de Amendola, Souza e Barros (2005) e Simões e Shaw (2007), arquitetura de sistemas conforme Figura 1.0.

Figura 1 – Arquitetura de sistemas baseados em *fuzzy*



Fonte: Adaptado de Silva (2011)

No processo de *defuzzificação* o valor da variável linguística de saída inferida pelas regras *fuzzy* será traduzido num valor discreto, com o método do centro de gravidade, que considera todas as alternativas de saída, modificando o conjunto *fuzzy*, originado pela inferência, em valor numérico, conforme proposto por Amendola, Souza e Barros (2005). A validação do modelo *fuzzy*, para os cenários propostos, de predição dos deslocamentos em concreto armado, será feita por meio de uma abordagem estatística quantitativa. O modelo *fuzzy* será implementado no ambiente computacional do GNU Octave versão 4.4.1.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização das simulações dos deslocamentos nas vigas de concreto armado para as várias dimensões definidas e para as cargas que podem agir sobre uma edificação, e a implementação no *Fuzzy Logic* Toolbox do MATLAB, espera-se construir um modelo em inteligência artificial que calcule os deslocamentos para vigas em concreto armado de quaisquer dimensões e cargas dentro dos intervalos pré-definidos.

O modelo desenvolvido deve ser capaz de prever os deslocamentos dessas vigas de concreto armado e com isso minimizar os custos computacionais, mantendo a qualidade dos modelos convencionais de análise de sistemas estruturais.

REFERÊNCIAS

AMENDOLA, Mariangela; SOUZA, AL de; BARROS, Laécio Carvalho. Manual do uso da teoria dos conjuntos Fuzzy no MATLAB 6.5. **FEAGRI & IMECC/UNICAMP**, p. 1-44, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR. 6118**. Norma Brasileira. Projeto de estruturas de concreto—Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

CHENCI, Gabriel P.; RIGNEL, Diego GS; LUCAS, Carlos A. Uma introdução à lógica *Fuzzy*. **Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e de Gestão Tecnológica**, v. 1, n. 1, 2011.

HUEBNER, Kenneth; THORNTON, Earl A.; BYROM, Ted G. **The finite element method for engineers**. 1995.

MENDEL, Jerry M. **On the importance of interval sets in type-2 fuzzy logic systems**. In: Proceedings Joint 9th IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference (Cat. No. 01TH8569). IEEE, 2001. p. 1647-1652.

SANTOS, Joel Carlos Gomes et al. **As deformações em vigas de concreto armado e suas principais implicações**. JORNADA CIENTÍFICA DA UNESC, n. 1, 2018.

SIMOES, Marcelo Godoy; SHAW, Ian S. **Controle e modelagem fuzzy**. São Paulo, 2007.

SORIANO, Humberto Lima. **Estática das Estruturas**. Editora Ciência Moderna, 2013.

SOUZA, R. M. de. **Análise não linear de uma coluna esbelta em concreto armado usando o Método de Elementos Finitos e P- Δ** . 2018. 70 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas e Automação) –Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

STRAMANDINOLI, Renata Sá Brito *et al.* **Modelos de elementos finitos para análise não linear física e geométrica de vigas e pórticos planos de concreto armado**. 2007. Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina.