



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**  
**ELÉTRICA**

**LUIZ ALBERTO QUEIROZ CORDOVIL JÚNIOR**  
**RODRIGO FARIAS ARAÚJO**

**SISTEMAS NEBULOSOS: EXERCÍCIO COMPUTACIONAL 3**

**Belo Horizonte - MG, 2017**

**LUIZ ALBERTO QUEIROZ CORDOVIL JÚNIOR**  
**RODRIGO FARIAS ARAÚJO**

**APLICAÇÃO DO ALGORITMO C-MEANS PARA SEGMENTAÇÃO DE IMAGENS**

Relatório apresentado como requisito parcial para obtenção de aprovação na disciplina Sistemas Nebulosos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, na Universidade Federal de Minas Gerais.

Prof. Dr. André Paim Lemos

**Belo Horizonte - MG, 2017**

# Sumário

|          |                                  |          |
|----------|----------------------------------|----------|
| <b>1</b> | <b>Introdução</b>                | <b>1</b> |
| <b>2</b> | <b>Descrição do Experimentos</b> | <b>3</b> |
| <b>3</b> | <b>Resultados</b>                | <b>3</b> |
| 3.1      | Agrupamento de dados . . . . .   | 5        |
| 3.2      | Segmentação de imagens . . . . . | 5        |
| <b>4</b> | <b>Conclusões</b>                | <b>7</b> |
|          | <b>Referências</b>               | <b>8</b> |

## Lista de Figuras

|   |  |   |
|---|--|---|
| 1 | Conjunto de dados <code>fcmdata.dat</code> . . . . .   | 3 |
| 2 | Imagens usadas na aplicação do algoritmo c-means para segmentação de imagens. . . . .  | 4 |
| 3 | Comparação dos centros dos agrupamentos, considerando 4 agrupamentos, obtidos por meio do algoritmo c-means implementado e da função <code>fcm</code> do MATLAB. . . . . | 5 |

# 1 Introdução

Um algoritmo de clusterização organiza itens em grupos, baseado no critério de similaridade. O algoritmo *fuzzy c-Means* realiza agrupamentos de tal forma que determinado item pode pertencer a mais de um grupo afim, em que o grau de pertinência para cada item é dado por uma distribuição de probabilidade sobre os *clusters*.

*Fuzzy c-means*, é um algoritmo para análise de agrupamentos associado à representação de uma classe ou grupo singular em um dado conjunto de dados.  $c$  agrupamentos são representados por um vetor de centros  $C$ .

Considerada como uma técnica de aprendizado não-supervisionado e raciocínio aproximado, possui aplicações diversas em tratativas de classificação, dentre as quais aplicação à tarefa de segmentação de imagens e inferência de dados abordadas neste trabalho.

Para que se alcance o objetivo da *clusterização*, realiza-se determinado número de iterações no sentido de minimizar a função de custo  $J_c(\mu_h, C)$ , em termos da distância euclidiana entre um ponto aleatório de um conjunto de dados e outro ponto, também aleatório, dito pertencente ao vetor de centros.

$$J = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^C \mu_{ij} \|x_i - c_j\|^2 \quad (1.1)$$

onde:

- $N \longrightarrow$  número de dados;
- $C \longrightarrow$  número de centros (*clusters*);
- $c_j \longrightarrow$  vetor de centro do  $j$ ;
- $\mu_{ij} \longrightarrow$  grau de pertinência do  $i$ -ésimo dado  $x_i$  no *cluster*  $j$ .

A norma  $\|x_i - c_j\|$  mede a similaridade (ou proximidade) de um dado  $x_i$  para vetor de centro  $c_j$  do  $j$ . Em cada iteração, o algoritmo mantém o vetor centro para cada *cluster*.

Para cada ponto  $x_i$ , o grau de pertinência para cada  $c_j$  é calculado da seguinte forma:

$$\mu_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^C \left( \frac{\|x_i - c_j\|}{\|x_i - c_k\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (1.2)$$

onde  $m$  é coeficiente de fuzzificação.

O vetor centro  $c_j$  é calculado como:

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^N \mu_{ij}^m x_i}{\sum_{i=1}^N \mu_{ij}^m} \quad (1.3)$$

No início do algoritmo, o grau de pertinência para os dados é inicializado com um valor randômico  $\theta_{ij} \in [0, 1] \mid \sum_j^C \mu_{ij} = 1$ .

O coeficiente de *fuzzificação*  $m \in [1, \infty]$ , mede a tolerância do *cluster*. Este valor determina o quanto um *cluster* pode sobrepor outro. Quanto maior este valor, maior a sobreposição entre os agrupamentos, ao passo que também se usa uma maior quantidade de dados que podem estar inseridos em subconjunto fuzzy em que o grau de pertinência não é nem 0 ou 1, mas sim, algo entre estes valores.

O critério de parada é expresso em termos da acurácia dos graus de pertinência aplicados ao conjunto de dados, no sentido de determinar o número de iterações durante o processo de minimização. Esta é calculada utilizando o grau de pertinência de uma iteração para outra, considerando o maior valor de  $\mu_{ij}$  para todos os dados  $x_i$  em todos os (clusters)  $c_j$ . A representação desta medida entre a iteração  $k$  e  $k + 1$  é dada por:

$$\epsilon = \Delta_i^N \Delta_j^C |\mu_{ij}^{k+1} - \mu_{ij}^k| \quad (1.4)$$

onde  $\mu_{ij}^k$  e  $\mu_{ij}^{k+1}$  são os graus de pertinência nas respectivas iterações e o operador  $\Delta$ , retorna o maior valor do vetor em análise.

---

**Algoritmo 1:** Algoritmo Fuzzy c-Means

---

**Agrupamento**

Determinar a quantidade de partições  $c$ ;

Determinar o erro máximo  $e$ ;

Inicializar os centros aleatoriamente;

Inicializar o contador de iterações  $t = 0$ ;

**repita**

Incrementar  $t$ ;

Atualizar  $\mu_h$ ;

Atualizar  $\mathcal{C}$ ;

**até que**  $\|C^{(t)} - C^{(t-1)}\| < (e)$

---

## 2 Descrição do Experimentos

Com o objetivo de avaliar o algoritmo *c-means* foram elaborados os seguintes experimentos:

1. Aplicação do algoritmo *fuzzy c-means* desenvolvido ao conjunto de dados `fcmdat.a.dat` para 4 (quatro) grupos de agrupamentos e comparação dos resultados obtidos com a função `fcm` do MATLAB.
2. Adaptação do algoritmo anterior para o problema de segmentação de imagens e comparação dos resultados obtidos com a função `fcm` do MATLAB para o espaço de cores RGB utilizando diferentes quantidades de grupos de agrupamento.

A Figura 1 e 2 ilustram os dados do conjunto `fcmdat.a.dat` e as imagens utilizadas na aplicação do algoritmo *c-means* para segmentação de imagens, respectivamente.

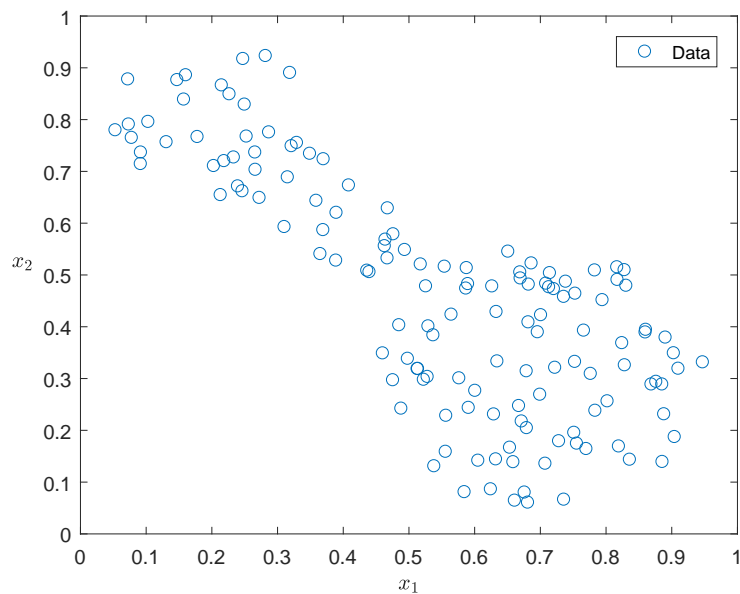


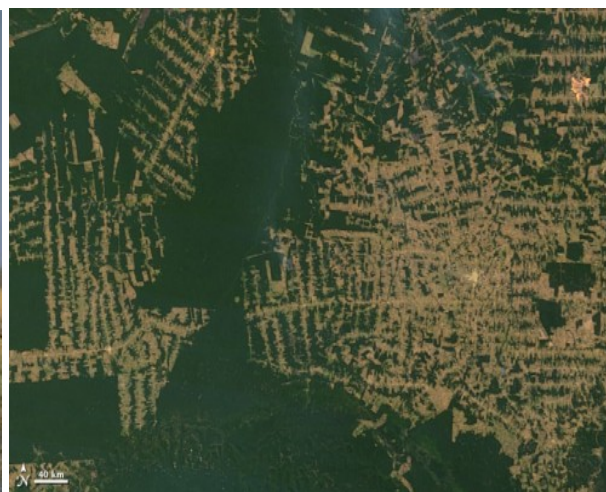
Figura 1: Conjunto de dados `fcmdat.a.dat`.

## 3 Resultados

Nesta seção serão apresentados os resultados dos experimentos descritos anteriormente na Seção 2.



(a) Imagem 01



(b) Imagem 02



(c) Imagem 03

Figura 2: Imagens usadas na aplicação do algoritmo c-means para segmentação de imagens.



### 3.1 Agrupamento de dados

O algoritmo *c-Means* implementado foi utilizado para agrupamento de dados do conjunto de dados *fcmdata.dat*, considerando 4 agrupamentos. As Figuras 3(a) e 3(b) ilustram os centros dos agrupamentos obtidos quando utilizado o algoritmo implementado e a função  $f_{cm}$  do MATLAB, respectivamente.

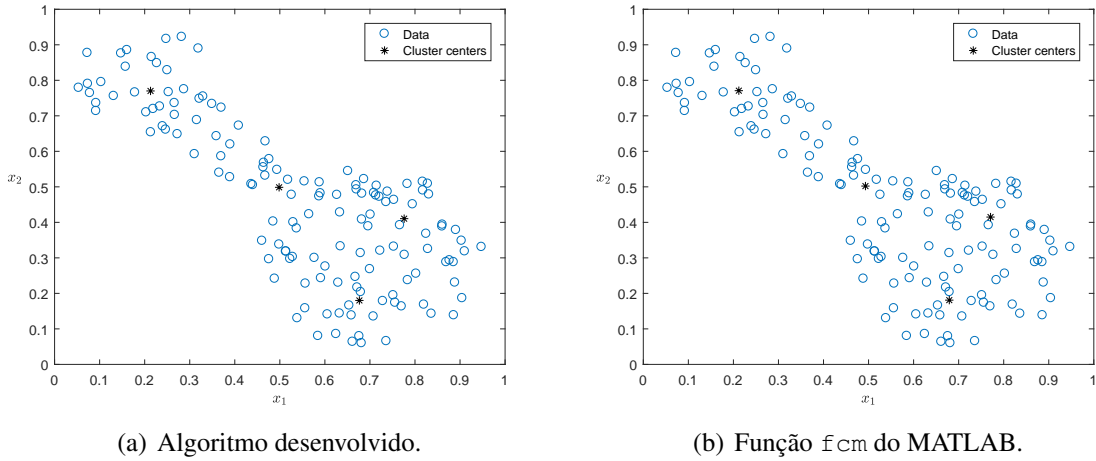


Figura 3: Comparação dos centros dos agrupamentos, considerando 4 agrupamentos, obtidos por meio do algoritmo *c-means* implementado e da função  $f_{cm}$  do MATLAB.

### 3.2 Segmentação de imagens

Na abordagem computacional, por meio da técnica de validação cruzada, cada conjunto de espécies foi separado de forma aleatória em subconjuntos de treinamento e validação representados, com dimensão de 70% e 30%, respectivamente de cada classe de padrões.

Para todas as classes, no total, quatro dados de entrada aplicados a três espécies, com 50 amostras. Como ferramenta de aprendizagem, os conjuntos de treinamento e validação, foram determinados observando-se os percentuais em 35 e 15 amostras, respectivamente, para cada classe  $C_j$ .

Neste sentido, na etapa de treinamento, a partir de aprendizado supervisionado, houve a classificação inicial das amostras, como função da quantidade de regras e dos graus de certeza, no sentido de se estabelecer as condições e parâmetros iniciais do sistema de classificação.

A partir destes, houve a implementação das características de contexto adquiridas na etapa de treinamento, no sentido de aferir-se o desempenho do sistema de classificação.

Os experimentos foram realizados 25 vezes, para cada número de funções de pertinência de

2 até 15, com o propósito de se observar o limiar de convergência e paridade entre o erro do conjunto de treinamento e erro no conjunto de validação e eliminar a natureza estocástica da escolha do dados de treinamento de validação.

Nota-se que, para ambas as *t-normas* o número dito ideal de funções de pertinência é 8. De modo que, para um número menor de funções de pertinência ocorre o chamado *underfitting*, e para um número maior de funções de pertinência ocorre o chamado *overfitting*.

## 4 Conclusões

A utilização de métodos de classificação baseados em inferência, oferece uma solução baseada em conhecimento adquirido por aprendizagem ativa. Nesta abordagem, a classificação de pontos afins com relação aos seus respectivos centros, é relevante para análise de similaridade entre conjuntos de dados não-rotulados.

Com a aplicação de algoritmo *fuzzy c-Means* observou-se na realização dos experimentos, o efeito da aplicação das relações nebulosas e avaliação baseada em acurácia, em processos de inferência, propiciando distinção entre os dados de acordo com suas características de contexto. Nos experimentos de segmentação de imagem e no agrupamento de um conjunto de dados não-rotulados, a rotina implementada apresentou resultado bastante similar tomando-se como referência a função  $f_{cm}$  do MATLAB©, apresentado desempenho satisfatório, conforme indicado na seção 3.

## Referências

- [1] CANNON, Robert L.; DAVE, Jitendra V.; BEZDEK, James C. Efficient implementation of the fuzzy c-means clustering algorithms. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, n. 2, p. 248-255, 1986.
- [2] COUTINHO, P. H. S. Proposta de Novos Algoritmos Híbridos de Clusterização Fuzzy e suas aplicações. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas. Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus-Bahia, 2017.