

## **Rede Neural artificial aplicada na avaliação da População de Fungos Micorrízicos Arbusculares na Rizosfera de Cafeeiros**

Vania de Fatima L. de Miranda<sup>1†</sup>, Edmar Isaias de Melo<sup>2</sup>, Simone Cristina B. Bertini<sup>3</sup>, Marco Aurélio R. Fernandes<sup>3</sup>, Jovana R. da Silva<sup>3</sup>, Renan Zampiroli<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Matemática -FAMAT

<sup>2</sup> Universidade Federal de Uberlândia – Instituto de Química –IQUFU

<sup>3</sup> Universidade Federal de Uberlândia – Instituto de Ciências Agrárias -ICIAG

**Resumo:** Diversos estudos têm reportado a importância dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA) na recuperação de solos degradados e sua contribuição fisiológica para o crescimento das espécies hospedeiras. Este trabalho teve como objetivo aplicar as redes de SOM (Self-Organizing Maps), no tratamento multivariado dos dados referentes avaliação da população Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) na Rizosfera de cafeeiros cultivados na região do Alto Paranaíba-MG. Foram coletadas 60 amostras compostas (constituídas por 3 subamostras) de solo da rizosfera de *Coffea arabica*, de forma casualizada, em duas áreas vizinhas, uma irrigada e outra não irrigada. Para a realização da rede de Kohonen todas as médias dos dados foram normalizadas e usadas para o treinamento. Este estudo permitiu verificar que maiores valores de % de colonização estão relacionados a um aumento de umidade no solo. Os níveis de colonização apresentaram associação negativa com os níveis de fósforo, cálcio, sódio e potássio o que já não ocorreu com os níveis de matéria orgânica, pH e magnésio onde valores mais altos associam-se a valores mais elevados de % de colonização, podendo contribuir para a simbiose de FMA.

**Palavras-chave.** Análise multivariada, rede neural, Arbuscular Mycorrhizal Fungi.

**Abstract:** Several studies have reported the importance of mycorrhizal fungi (AMF) on the recovery of degraded soils and its physiological contribution to the growth of host species. This work had as objective apply the network SOM (Self-Organizing Maps), in the multivariate treatment of data regarding population estimate of mycorrhizal fungi (AMF) in Rhizosphere of coffee trees grown in the Alto Paranaíba-MG region. Composite samples (sixty samples consisting of three subsamples) soil rhizosphere of *Coffea arabica* were collected at random shape in two neighboring areas, irrigated and unirrigated other. For carrying out the Kohonen network averages of all data were normalized and used for training. This study showed that high percentage of colonization are linked to an increase of the soil humidity. The colonization levels negatively associated with the levels of phosphorus, calcium, sodium and potassium out, what was not seen at the levels of organic matter, pH and magnesium whose higher values are associated with higher levels of colonization percentage contributing to the AMF symbiosis.

**Keywords:** Multivariate Analysis, Neural Networks, Arbuscular Mycorrhizal Fungi.

---

†Correspondent author: [vania@famat.ufu.br](mailto:vania@famat.ufu.br).

## Introdução

Diversos estudos têm reportado a importância dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA) na recuperação de solos degradados e sua contribuição fisiológica para o crescimento das espécies hospedeiras. Estes micro-organismos se associam às raízes das plantas terrestres através de uma simbiose complexa, denominada micorrizo, que produz uma variedade de estruturas dentro da raiz da planta hospedeira aumentando a disponibilidade de nutrientes, potencializando a absorção de água e garantindo maior resistência à seca (DICKSON et al, 2007).

A simbiose de fungos micorrízicos arbusculares pode ser avaliada pela porcentagem de colonização e contagem de esporos no solo, e os resultados podem ser corroborados com os parâmetros pH do solo, acidez trocável, fosforo assimilável, sódio, potássio, cálcio, magnésio e matéria orgânica. Para estas variáveis existem várias opções para a análise estatística, incluindo o ajuste de modelos e a análise multivariada, que se trata de um conjunto de procedimentos estatísticos que analisa múltiplas medidas de cada indivíduo ou objeto estudado onde todas as variáveis devem ser aleatórias e inter-relacionadas de maneira que seus diferentes efeitos não possam ser significativamente interpretados de forma separada (HAIR, 2005). A relação entre a colonização por FMA e as variáveis área irrigada e não irrigada e parâmetros químicos do solo da rizosfera do cafeeiro pode ser extremamente complexa para ser adequadamente modelada por aproximações lineares, os dados podem ser esparsos, descontínuos e formarem distribuições não-normais, tornando ineficiente a aplicação de métodos de estatística multivariada tradicionais.

As Redes Neurais Artificiais constituem-se em modelos computacionais paralelos baseados numa unidade atômica, o neurônio. Em geral, estes modelos possuem inspiração neurobiológica, porém, na prática, eles são algoritmos computacionais representados de maneira bastante elementar, o mecanismo de funcionamento cerebral. Atualmente, existe uma extensa variedade de redes neurais artificiais (RNAs) disponíveis. Haykin (2001) cita que as redes neurais artificiais apresentam como vantagens as características de adaptabilidade, generalização e tolerância a ruídos. Estas características são extremamente importantes quando aplicadas a experimentação agrícola, dada à natureza complexa e ruidosa dos dados obtidos. As principais aplicações destas redes são como função de memória associativa e problemas de otimização, embora também sejam usadas no reconhecimento de padrões. As redes de aprendizagem

competitiva estão baseadas no processo competitivo de aprendizagem entre suas unidades. Uma das principais aplicações destas redes é a descoberta de agrupamentos de dados. Estão incluídas nesta categoria as redes SOM (HAYKIN, 2001) e ART - Adaptive Resonance Theory (FAUSETT, 1992). Dentre as possibilidades para se analisar dados multivariados encontra-se o Mapa Auto-Organizável (SOM - Self-Organizing Map), um tipo de rede neural que permite visualizar a variação de seus atributos em um mapa neural. O SOM, também conhecido como Mapa de Kohonen, aproxima uma função de densidade de probabilidade aos dados de entrada. Tem sido usado com frequência para clusterização, visualização multivariada, e redução da dimensionalidade (KOHONEN, 2001). Depois de seu surgimento em 1982, o Mapa Auto-Organizável tem sido aplicado em problemas de diversas áreas do conhecimento como ordenação de dados ecológicos, classificação de imagens de satélites, análise de dados geoespaciais multivariados e mapeamento de eco regiões entre outros (KOHONEN, 1982; HOHONEN, 2001; KONISHI et al, 2007; SILVA, 2004; XIMENES, 2009).

Nesse sentido o trabalho teve como objetivo aplicar as redes de SOM (Self-Organizing Maps), no tratamento multivariado dos dados referentes avaliação da população Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) na Rizosfera de cafeeiros cultivados na região do Alto Paranaíba-MG.

## Material e Métodos

Foram coletadas 60 amostras compostas (constituídas por 3 subamostras) de solo da rizosfera de *Coffea arabica*, de forma casualizada, em duas áreas vizinhas, uma irrigada ( $18^{\circ}41'45.16''S$  e  $47^{\circ}31'48.42''W$ ) e outra não irrigada ( $18^{\circ}41'28.16''S$  e  $47^{\circ}32'3.77''W$ ).

A amostragem foi realizada em março de 2012, e as raízes coletadas a uma profundidade de 0-20 cm e a 20 cm do caule. As raízes foram previamente lavadas, colocadas em cassetes e tratadas conforme descrito por Vierheilig et al (1998). Foram selecionadas aleatoriamente 30 amostras, onde analisou-se o solo da rizosfera do *Coffea arabica*, quanto aos parâmetros pH do solo, acidez trocável, fósforo assimilável, sódio, potássio, cálcio, magnésio e matéria orgânica.

Os resultados de pH, acidez trocável, fósforo assimilável, sódio, potássio, cálcio, magnésio, matéria orgânica no solo da rizosfera do cafeeiro e os resultados de porcentagem de colonização de 30 amostras foram organizados utilizando as redes de SOM (*Self Organizing Maps*) com arranjo plano de neurônios com vizinhança hexagonal. Para a realização da rede de

Kohonen todas as médias dos dados foram normalizadas e usadas para o treinamento. O treinamento da rede de Kohonen foi obtido por meio de um algoritmo constituído por quatro etapas: inicialização do mapa, processo competitivo e cooperativo e a adaptação sináptica. Assim, cada observação foi representada na rede. A qualidade do mapa gerado após o processo de treinamento foi avaliada por meio dos erros de quantização e topográfico. A rede de Kohonen foi feita usando o programa MATLAB (Versão 7.2.0.232; The Mathworks Inc.) juntamente com a ferramenta “SOM toolbox” disponível em <http://www.cis.hut.fi/projects/somtoolbox>. Os dados de cada variável do solo foram apresentados no mapa utilizando a escala original.

### Resultados e discussões

A rede de Kohonen avaliou a relação entre tratamentos (café irrigado e não irrigado) e variáveis do solo. Organizou-se a rede de Kohonen pela U-matrix (matriz de distância unificada), matriz de rótulos (tratamentos) e componentes planos (variáveis do solo). A U-matrix representa a distância de similaridade entre o neurônio (célula hexagonal) e sua vizinhança, e é um resumo de todos os componentes planos. A matriz de rótulos é usada para visualizar os agrupamentos dos tratamentos. Cada componente plano é representado por uma variável. Portanto, os 10 componentes planos ou variáveis (uma biológica e nove variáveis químicas do solo) foram usadas para gerar o mapa. As barras coloridas ao lado de cada componente plano mostram a extensão numérica original dos dados. Os valores menores foram associados à cor azul e os valores maiores à cor vermelha. Os erros de quantização ( $q_e = 0.541$ ) e topográfico ( $t_e = 0.000$ ) foram usados para avaliar a qualidade do mapa treinado. Os baixos valores apresentados indicam um bom ajuste dos dados ao modelo da rede de Kohonen (KOHONEN, 1982).

Quando comparadas os componentes planos da variável porcentagem de colonização (Figura 1B) com a matriz de rótulo ou tratamentos (Figura 1A), observa-se a ocorrência de menores valores de % de colonização para a área não irrigada, e maiores valores de % de colonização na área irrigada, indicando que um aumento na umidade do solo, contribui para a simbiose de FMA. Analisando os mapas C e B, observa-se que menores valores de pH estão associados a menores valores de % de colonização, indicando que a simbiose pode ser favorecida com o aumento de pH. Comparando os mapas B, D e E, nota-se a associação de valores altos de acidez com valores altos e baixos de % de colonização, indicando que a acidez trocável não apresentou correlação com a porcentagem de colonização.

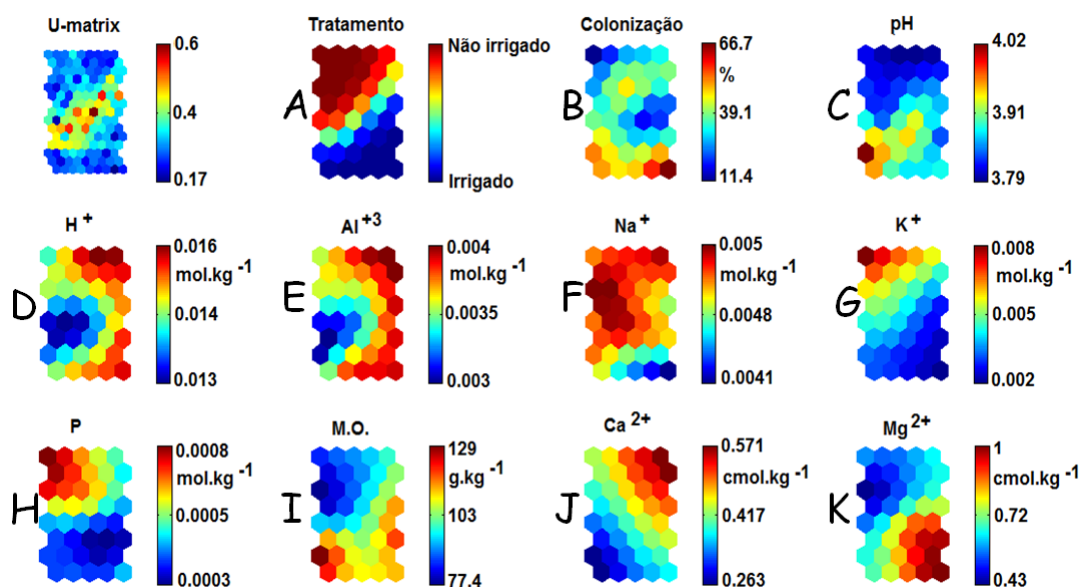


Figura 1- Matriz U geral com 11 planos e a matriz de rótulos e componentes planos.

Comparando os mapas B, F e G, observa-se que maiores concentrações de potássio e sódio no solo, estão associados a menores valores de % de colonização, indicando que maiores concentrações de potássio e sódio se relacionam negativamente com a simbiose. Analisando os mapas B e H, observa-se que menores concentrações de fósforo, estão associadas a uma maior % de colonização, ou seja, quanto mais pobre for o solo em fósforo, mais a simbiose é favorecida. Verificando os mapas B e I, maiores teores de matéria orgânica, estão associados a maiores valores de porcentagem de colonização. Comparando os mapas B e J, observa-se que maiores valores de cálcio estão associados a menores valores de porcentagem de colonização, indicando uma associação negativa da concentração de cálcio com a simbiose. Comparando os mapas B e K, observa-se que maior concentração de magnésio está associada a maiores valores de % de colonização, assim a concentração deste elemento no solo está associada positivamente com a simbiose do FMA.

## Conclusões

A interpretação da matriz-U, em conjunto com os planos de componentes das variáveis, porcentagem de colonização e características químicas do solo da rizosfera do cafeeiro, associadas aos tratamentos, irrigado e não irrigado permitiu a identificar da origem dos agrupamentos de dados. A matriz-U apresentou alguns agrupamentos que puderam ser visualmente identificados.

Adicionalmente, o algoritmo clássico K-means, quando aplicado sobre o SOM previamente calculado (SOM/K-means), foi capaz de separar esses e outros agrupamentos, definindo seus limites. Isto foi importante para a interpretação do comportamento da simbiose dos fungos micorrízicos arbusculares em relação às variáveis em estudo, o que permitiu verificar que maiores valores de % de colonização estão relacionados a um aumento de umidade no solo. Os níveis de colonização apresentaram associação negativa com os níveis de fósforo, cálcio, sódio e potássio o que já não ocorreu com os níveis de matéria orgânica, pH e magnésio onde valores mais altos associam-se a valores mais elevados de porcentagem de colonização, podendo contribuir para a simbiose de FMA.

### **Agradecimentos**

Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação-PROPP, a Faculdade de Matemática- FAMAT e ao Instituto de Química-IQUFU da Universidade Federal de Uberlândia, pelo apoio financeiro.

### **Referências**

DICKSON, S.; SMITH, F. A.; SMITH, S. E. Structural differences in arbuscular mycorrhizal symbioses: more than 100 years after Gallaud, where next? **Mycorrhiza**. V.17, 5, pp 375-393, 2007.

FAUSETT, L. V., **Fundamentals neural networks: architectures, algorithms and applications**. Prentice Hall, Upper saddle River, NJ 07458, 1992.

HAIR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 5.ed. Porto Alegre: 2005.

HAYKIN, S. (ed) (2002) **Frontmatter and Index, in Kalman Filtering and Neural networks**, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA. doi: 10.1002/0471221546.fmatter\_indsb

KOHONEN, T. (1982). Self-organized formation of topologically correct feature maps, **Biological Cybernetics**, Volume 43, Number 1, 59-69.

KOHONEN, T. Exploratory data Analysis by the Self-Organizing Map: Structures Of Welfare And Poverty In The World, **Neural Networks in Financial Engineering**, 2001.

KONISHI, T.; OMATU, S.; SUGA, Y. Extraction of rice-planted area using a self-organizing feature map. **Artif. Life Robotics**, v. 11, p. 215-218, 2007.

SILVA, M. A. S. Mapas auto-organizáveis na análise exploratória de dados geoespaciais multivariados. **Dissertação** (Mestrado em Computação Aplicada). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.

VIERHEILIG, H.; BAGO, B.; ALBRECHT, C.; POLIN, M. P.; PICHÉ, Y. Flavonoids and arbuscular-mycorrhizal fungi. In: MANTHEY, J.A.; BUSLIG, B.S. (Ed.). *Flavonoids in the living system*. New York, **Plenum Press**. p.9-33. 1998

XIMENES, A. C.; AMARAL, S.; ARCOVERDE, G. F. B.; MONTEIRO, A. M. V. Redes neurais para a seleção de variáveis ambientais no processo de modelagem de distribuição de espécies na região Norte do Brasil. In: **XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, p. 5531-5538, 2009.