

## **SISTEMA IMUNOLÓGICO ARTIFICIAL PARA RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO APLICADA EM EXPERIMENTO COM ALFACES (*Lactuca sativa*)**

VINÍCIUS TESSELE<sup>1\*</sup>, AUGUSTO VAGHETTI LUCHESE<sup>2</sup>  
ARNALDO CANDIDO JUNIOR<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Estudante do programa de pós-graduação stricto sensu em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio, UTFPR, Medianeira-PR, [vinicius\\_tessele@hotmail.com](mailto:vinicius_tessele@hotmail.com);

<sup>2</sup>Dr. em Agronomia, Prof. UFPR, Palotina-PR, [aluchese@gmail.com](mailto:aluchese@gmail.com);

<sup>3</sup>Dr. em Informática, Prof. UTFPR, Medianeira-PR, [arnaldocan@gmail.com](mailto:arnaldocan@gmail.com)

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018  
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

**RESUMO:** Controlar os níveis de nutrientes no solo é de fundamental importância no desenvolvimento vegetativo. A falta ou o excesso de nutrientes pode limitar a produção e elevar o custo. Com o auxílio da inteligência artificial (IA) buscou-se aprimorar o processo de recomendação de adubação, para isso utilizou-se o método conhecido como Sistema Imunológico Artificial (SIA). A SIA é um conjunto de regras computacionais que se inspiram no sistema imunológico biológico, e que podem ser aplicados em diversas áreas, como reconhecimento de padrões, detecção de falhas, métodos de busca e de otimização, entre outras. Neste experimento, a SIA foi utilizado para gerar a recomendação N-P-K, para adubação, de modo a verificar a eficiência do seu uso na agricultura. Foi utilizada alface, da variedade crespa, por se tratar de uma planta que tem seu desenvolvimento entre 55 a 130 dias após a semeadura, o que possibilitou a realização de 7 iterações para obtenção dos dados desta pesquisa. De posse dessas informações foi possível observar que, a aplicação do SIA, demonstrou a sua eficiência em reduzir o consumo de adubação na área estudada e contribuindo para o aumento da produtividade, bem como aumento do lucro na produção.

**PALAVRAS-CHAVE:** Inteligência Artificial, Agricultura, Algoritmos.

### **ARTIFICIAL IMMUNOLOGICAL SYSTEM FOR RECOMMENDATION OF FERTILIZATION APPLIED IN EXPERIMENT WITH ALFACES (*Lactuca sativa*)**

**ABSTRACT:** Controlling nutrient levels in soil is of fundamental importance in vegetative development. The lack or excess of nutrients can limit production and raise the cost. With the aid of artificial intelligence (AI), we tried to improve the fertilization recommendation process, using the method known as Artificial Immune System (SIA). SIA is a set of computational rules that are inspired by the biological immune system, and can be applied in several areas, such as pattern recognition, fault detection, search and optimization methods, among others. In this experiment, the SIA was used to generate the N-P-K recommendation for fertilization in order to verify the efficiency of its use in agriculture. It was used a lettuce, of the variety curly, because it is a plant that has its development between 55 and 130 days after sowing, which allowed the accomplishment of 7 iterations to obtain the data of this research. Based on this information, it was possible to observe that the application of SIA has demonstrated its efficiency in reducing fertilizer consumption in the studied area and contributing to the increase of productivity as well as increased profit in production.

**KEYWORDS:** Artificial Intelligence, Agriculture, Algorithms.

### **INTRODUÇÃO**

Os níveis de nutrientes disponíveis no solo é parte fundamental para o desenvolvimento das plantas. A falta ou excesso deles pode debilitar o crescimento acarretando perdas de produtividade e aumento do custo de produção.

Atualmente a recomendação de adubação no estado do Paraná, se dá com base no manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (SBSC, 2004). Como alternativa para o uso do manual de adubação desenvolveu-se o software aplicativo *adubSolo*, que utiliza o Sistema Imunológico Artificial (SIA) com o intuito de refinar a recomendação de adubação em um experimento real.

SIA é uma técnica da inteligência artificial que aplica princípios imunológicos para o desenvolvimento de ferramentas computacionais, que atuam nas áreas de reconhecimento de padrões, aprendizado de máquinas, detecção de falhas, anomalias e segurança computacional. O sistema imunológico serviu como fonte de inspiração para o desenvolvimento de novos algoritmos que possam conter as seguintes propriedades: auto-organização; aprendizagem; adaptação; reconhecimento; robustez e escalabilidade (De Castro, 2001).

Artificial immune NETwork (aiNet) proposto por De Castro & Timmis (2002) faz parte dos sistemas imunológicos artificiais que podem ser aplicados em problemas reais, os quais obtiveram resultados encorajadores. Problemas de otimização podem se apresentados de duas formas diferentes, com apenas um critério a ser otimizado (uni-objetivo), ou outros (multiobjetivos) que apresentam múltiplos critérios a serem otimizados, podendo ainda possuir um único ótimo global ou apresentar múltiplos ótimos (Coelho & Zuben, 2009).

O problema que norteia esta pesquisa é a aplicação do sistema utilizado para gerar a recomendação de adubação, tendo o objetivo de estudar a aplicação da SIA na agricultura, de modo que a reposição dos nutrientes do solo seja mais eficiente.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Para este experimento, foi utilizada uma área de aproximadamente 200m<sup>2</sup>, localizada no distrito rural de Silveirópolis (- 24° 17'38.1" S – 53° 34'10.7" W), na cidade de Assis Chateaubriand, no oeste paranaense. Foram construídos quatro canteiros de 23m de comprimento por 1m de largura, divididos igualmente em 1,2m de comprimento e por 1m de largura, totalizando 92 parcelas de 1,2m<sup>2</sup>.

Do total das 92 parcelas, 12 parcelas foram selecionadas para serem utilizadas como controle ou comumente chamadas de testemunhas, que deverão ser utilizadas para confronto dos resultados da produção. As parcelas foram identificadas com números de A1 a A20, B1 a B20, C1 a C20 e D1 a D20 e os de controle de 1 a 3. Sendo assim os canteiros formaram uma matriz de 4 linhas e 23 colunas.

Após o preparo do local do experimento, foi definido a sequência de passos a serem seguidos;

Realização de análise de solo inicial, de modo a verificar e a repor os nutrientes faltantes para a área estudada. Os compostos de N.P.K para aplicação de cada nutrientes selecionados foram: Ureia, Super Fosfato Simples e Cloreto de Potássio.

Definido o espaçamento mínimo de 25cm entre plantas, este espaçamento foi respeitado em todas as iterações do experimento. A parcela foi formada por 12 pés de alface, a cada interação foram plantados no total de 1.104 pés de alface da variedade crespa. Em geral as mudas foram adquiridas do mesmo fornecedor e com no mínimo de 30 dias de germinação e a colheita foi feita a cada 45 dias após o transplante. De cada parcela, foram colhidas as 4 plantas centrais, cortando-as rente ao solo.

A massa fresca das plantas foi determinada utilizando-se uma balança com 0,01g de precisão, sendo definidos como limiar de supressão, tratamentos que possuem peso inferior a 800g e máximo de 1000g. A primeira de massa fresca bruta (MFB), obtida da parte aérea de cada planta separada das raízes. A segunda pesagem é realizada após a limpeza. Para massa fresca comercial (MFC) foram consideradas as folhas e os caules, como usualmente são vendidos no comércio, removeram-se as folhas danificadas.

A primeira análise de solo foi realizada no dia 10 agosto de 2016, na cidade de Palotina – PR, pela Universidade Federal do Paraná - UFPR. Com base na análise de solo, a recomendação de adubação teve como fonte o Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Sendo aplicada igualmente e uniformemente em 80 parcelas. Os valores utilizados no primeiro plantio foram de Ureia na proporção de 26g, de Super Fosfato Simples 27g e de Cloreto de Potássio de 19g.

O objetivo principal dessa primeira análise foi obter referenciais de média de produção e o desvio padrão, que possa servir como base inicial e comparativa dos resultados apresentados na sequência. Estes resultados são gerados a partir da segunda rodada pela implementação do algoritmo aiNet.

A finalidade dos canteiros de controle/testemunha foi de confrontar os resultados de produção, para que se possa observar se a recomendação de adubação obteve influência no crescimento das plantas e se os eventos externos, como adversidades do tempo e temperatura, também contribuiriam para o desenvolvimento do experimento.

Para a implementação do algoritmo foi utilizada a linguagem *object pascal* com a ferramenta de desenvolvimento Delphi na versão Xe10. Tal ferramenta possibilita o desenvolvimento multiplataforma através de seu *framework* FireMonkey (FMX), conforme descrito por Duarte (2015).

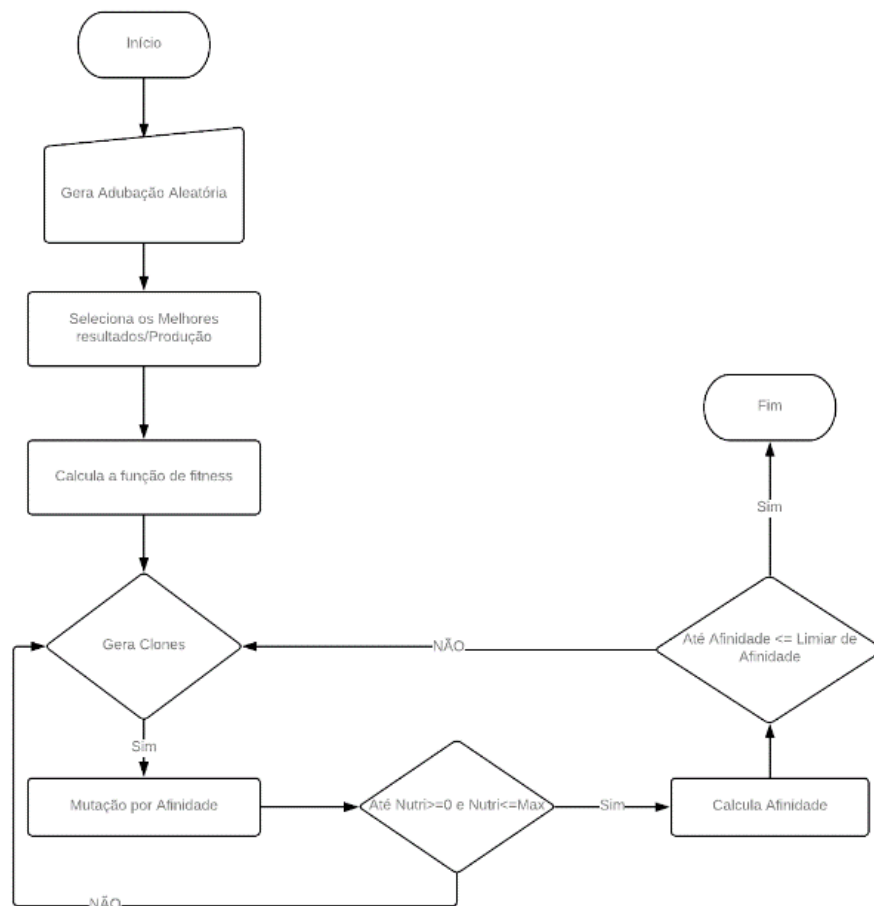
As principais funcionalidades do software serão destacadas como:

Alteração dos dados de parâmetro para ajustar conforme a necessidade do experimento;

- Cadastrar e identificar os tratamentos;
- Permitir o lançamento da produção por tratamento;
- Gerar novas recomendações de adubação;
- Visualizar recomendações anteriores.

O algoritmo original proposto por De Castro & Timmis (2002) sofreu alterações pontuais para atender as necessidades da reposição de nutrientes no experimento.

Figura 1 – Fluxograma do algoritmo adaptado de De Castro & Timmis (2002) – Problema de Otimização.



O aplicativo recebe os valores de parâmetros pré-definidas. A aplicação inicialmente, gera um conjunto aleatório de recomendações obedecendo os valores máximos e mínimos do total da população parametrizada. Em seguida o aplicativo seleciona, em ordem decrescente, os tratamentos com as melhores produtividades, obedecendo a quantidade de células a serem clonadas. Em seguida, a aplicação entra em um laço para o cálculo da função de custo (F), para cada um dos tratamentos a serem clonados. Para função de custos é considerado o valor do produto em Kg, menos os valores dos nutrientes por Kg comercializados no mercado atual. Neste passo, a aplicação entra em laço até o critério de parada, que é o número de clones a serem gerados. Um novo laço é iniciado para calcular a aptidão média da

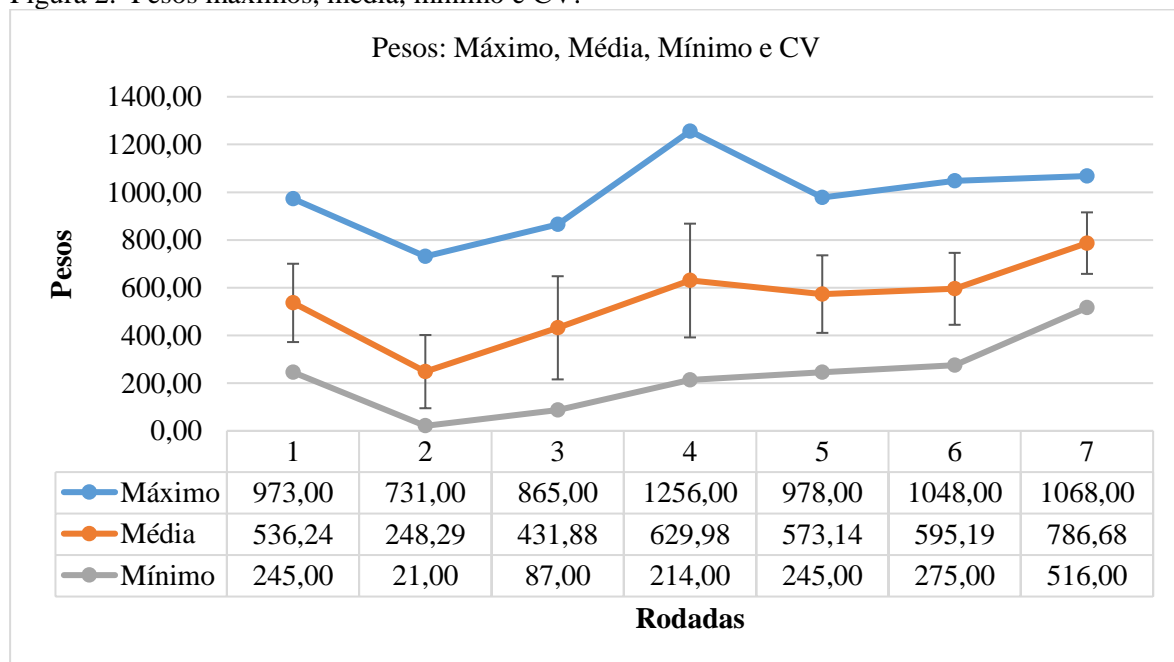
população, tendo como parâmetro de supressão os valores menores que 0 e maiores que 2,5 vezes, tendo como referência a recomendação utilizada na primeira rodada, a operação ocorre até encontrar valores diferentes dos mencionados acima, caso contrário retorna aos passos anteriores.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado do experimento, após as sete rodadas, tem se mostrado satisfatório, sugerindo que o algoritmo aiNet do sistema imunológico artificial apresenta melhoras na recomendação de adubação, aumentando a produtividade e o lucro.

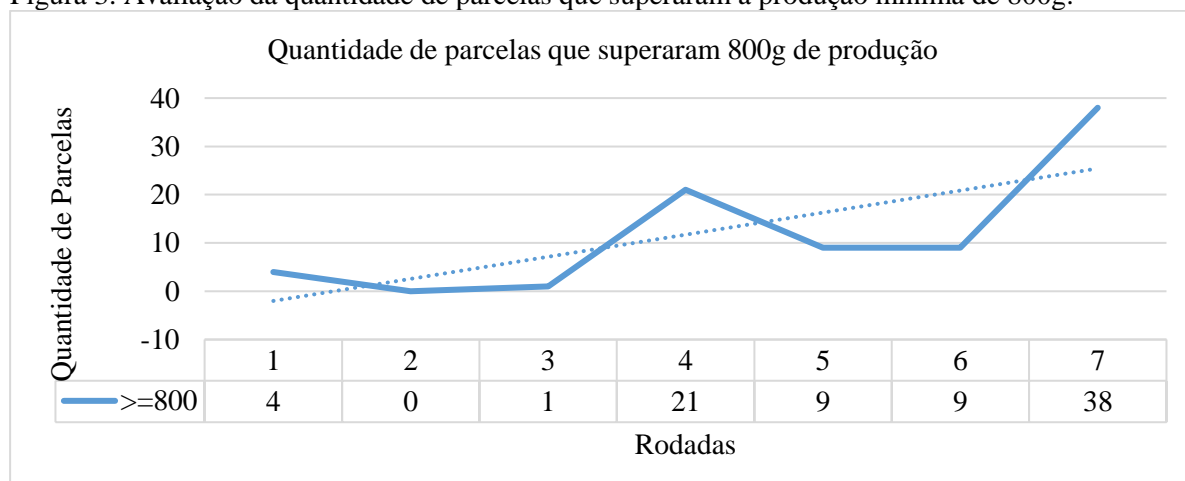
Na Figura 2 são apresentados os valores máximos, mínimos e a média bem como a dispersão dos dados de cada rodada. É importante verificar que a linha de média do gráfico apresenta uma melhora do coeficiente de variação (CV) das amostras em relação as rodadas 3 e 4, que apresentam uma maior dispersão dos pesos.

Figura 2. Pesos máximos, média, mínimo e CV.



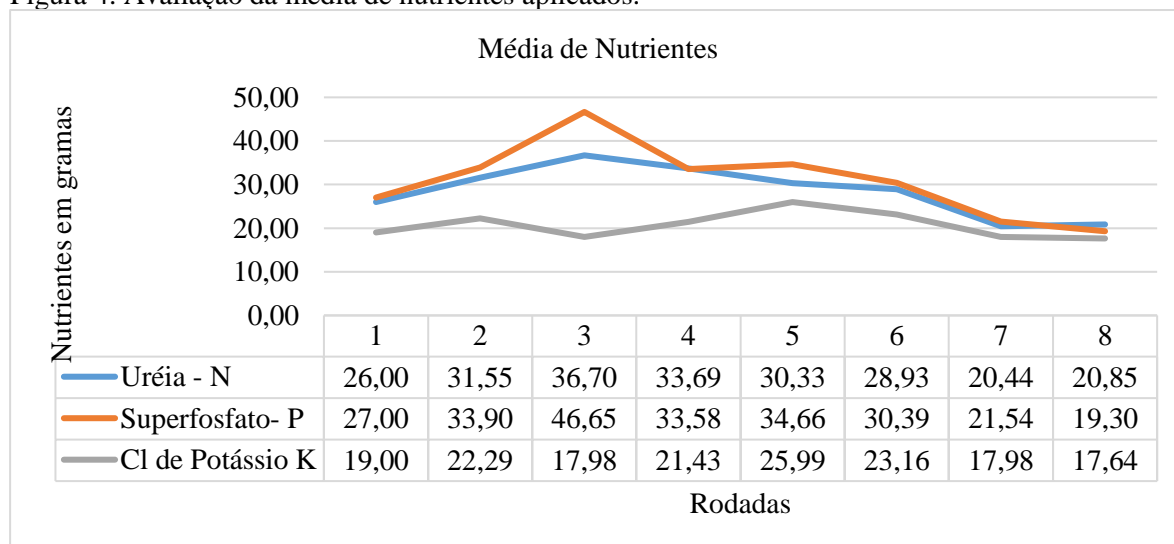
O limite de supressão do algoritmo parametrizado no software foi de 800g por tratamento, valores acima deste limite são selecionados para que haja a clonagem e ocorra a maturação por afinidade. Na Figura 3 observa-se que o experimento apresenta uma linha de tendência a possuir tratamentos que superem o limiar parametrizado.

Figura 3. Avaliação da quantidade de parcelas que superaram a produção mínima de 800g.



Outro importante resultado apresentado pode ser visto na Figura 4, que é a média dos nutrientes aplicados no experimento, a partir da terceira rodada, apresentou uma queda e sugere que o algoritmo pode estar encontrando valores mais equilibrados entre a aplicação do nutriente e a produtividade, gerando maiores lucros.

Figura 4. Avaliação da média de nutrientes aplicados.



## CONCLUSÃO

O experimento mostrou que o algoritmo aiNet aplicado, oferece resultados satisfatórios, o que sugere que nas próximas rodadas o aumento da produtividade continuará. Nota-se que, é possível obter resultados satisfatórios na otimização de adubação, entretanto existe a necessidade de um maior número de iterações e coleta de dados referente a produção da propriedade, para fazer testes estatísticos apropriados e verificar a significância do resultado. Essa coleta de dados de produção fornece o aprendizado do algoritmo e sem ela não se torna possível sua utilização. Quanto mais informações inseridas, maior a tendência do algoritmo de apresentar melhores resultados a cada iteração, tornando-se uma alternativa de uso de referência para aplicação dos nutrientes.

Ainda é importante frisar que, o algoritmo tem por característica manter uma variabilidade populacional, melhorando seus descendentes geração após geração.

## REFERÊNCIAS

- Coelho, G. P., Zuben, F. J. V. Uma proposta imuno-inspirada para Omni-Otimização, 2009.
- De Castro, L. N. Engenharia imunológica: Desenvolvimento e aplicação de ferramentas computacionais inspiradas em sistemas imunológicos artificiais. Tese de Doutorado em Engenharia elétrica. Universidade estadual de Campinas, Campinas. 2001.
- De Castro, L. N; Timmis, J. Artificial Immune Systems: a new computational intelligence approach. London, Uk: Springer, 2002.
- Duarte, W. Delphi para Android e iOS: Desenvolvendo Aplicativos Móveis. Rio de Janeiro: Brasport, 2015.
- Klein, J. Immunology. Oxford. Blackwell Scientific Publications, 1990.
- SBSC. Sociedade Brasileira De Ciência Do Solo. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre, 2004.