

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 02/12/2021.

RUTE QUELVIA DE FARIA

**AVALIAÇÃO DOS MODELOS PROBIT E LOGIT COM APLICAÇÃO NA
LONGEVIDADE DE SEMENTES DE SOJA**

Botucatu

2019

RUTE QUELVIA DE FARIA

**AVALIAÇÃO DOS MODELOS PROBIT E LOGIT COM APLICAÇÃO NA
LONGEVIDADE DE SEMENTES DE SOJA**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia. (Agricultura).

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Márcia Pereira Sartori

Coorientador: Prof. Dr. Edvaldo Aparecido Amaral da Silva

Botucatu

2019

F224a	Faria, Rute Quelvia de Avaliação dos modelos probit e logit com aplicação na longevidade de sementes de soja / Rute Quelvia de Faria. -- Botucatu, 2019 72 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu Orientadora: Maria Márcia Pereira Sartori Coorientador: Edvaldo Aparecido Amaral da Silva 1. Modelagem Matemática. 2. Longevidade. 3. Soja. 4. Magneto Priming. 5. Probit e Logit. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título:


“AVALIAÇÃO DOS MODELOS PROBIT E LOGIT COM APLICAÇÃO NA LONGIVIDADE DE SEMENTES DE SOJA”

AUTORA: RUTE QUELVIA DE FARIA

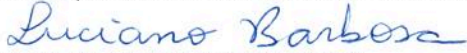
ORIENTADORA: MARIA MÁRCIA PEREIRA SARTORI

COORIENTADOR: EDVALDO APARECIDO AMARAL DA SILVA


Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Pesquisadora Dr.^a MARIA MÁRCIA PEREIRA SARTORI
Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - UNESP 

Prof. Dr. RENATO FERNANDES CANTÃO
Física, Química e Matemática / Universidade Federal de São Carlos 


Prof. Dr. LUCIANO BARBOSA
Bioestatística / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. PEDRO BENTO DA SILVA
Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas / Universidade do Sagrado Coração


Voluntário Livre-Docente JOÃO NAKAGAWA
Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - UNESP

Botucatu, 02 de dezembro de 2019.

Aos meus amados pais, João de Faria e Jesuzina Albernaz,

e as minhas sobrinhas Rachel e Catarina

dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus. Minha fonte de amor que me inspira a fazer e ser o melhor que posso.

Aos meus queridos pais e irmão pelo amor e apoio fraternos. Ao meu namorado Paul Schneider pelo suporte emocional e cumplicidade.

A Prof.^a Dr^a. Maria Márcia Pereira Sartori pela orientação, ensinamentos, paciência e exemplo de professora. E, além de tudo isso, pude contar também com sua preciosa amizade. Obrigada.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro, concedido ao projeto desenvolvido (Processo nº 2016/13126-0 e 2018/25698-4).

À Global Affairs Canada, pela bolsa de estudos ELAP concedida para a realização do estágio de doutoramento no Canadá (IRCC special program code - 509).

À Universidade McGill em Montreal, na pessoa do Prof. Dr. Vijaya Raghavan pela orientação e ensinamentos durante meu estágio no exterior.

Ao Instituto Federal Goiano, pela liberação concedida para dedicação exclusiva ao processo de doutoramento de acordo com a PORTARIA Nº 514 de 11 de julho de 2016.

A minha amiga Amanda Rithieli, pela cooperação e companheirismo em todo o trabalho, e ao suporte dos amigos e servidores Eliane e Valéria.

“Somos semeadores sempre. Nosso existir semeia sementes o tempo todo, seja por palavras, pensamentos, sentimentos, atitudes, juízos, ações ou omissões. Não é possível existir sem semear! (...) Eu sou o responsável pelo que semeio e por não deixar que o que foi semeado de ruim em mim, se torne a minha própria semente na vida!”

Reverendo Caio Fábio D’Araujo - “O homem é semente.” Texto completo disponível em <https://caiofabio.net/o-homem-e-semente>

RESUMO

O estudo da longevidade é uma ferramenta importante na análise da qualidade fisiológica em sementes. A modelagem da curva de sobrevivência em sementes permite a predição do seu período de vida, que baliza os mais variados estudos em conservação e tecnologia de sementes. O modelo de Probit foi inicialmente proposto como o modelo ideal para predição da longevidade das sementes, contudo, estudos têm reportado certa dificuldade de predição do modelo em diferentes condições de estresse e armazenagem a que as sementes são submetidas. A equação da viabilidade em sementes a partir do modelo de Probit permite calcular o valor do P50, que é o período em que um lote de sementes leva para perder 50% da sua viabilidade. O modelo de Logit é similar ao de Probit, com a vantagem de ser mais simples, e de se adequar melhor ao comportamento dos dados com caudas pesadas. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar os modelos de Probit e Logit quanto a sua robustez na predição da longevidade das sementes. Para tanto, sementes de soja foram selecionadas quanto ao seu vigor, em delineamento inteiramente casualizado, e armazenadas à 35°C e 75% de umidade relativa, até que fosse constatada sua morte, por meio de testes de germinação realizados periodicamente. A construção das curvas de sobrevivência, após o experimento encerrado, permitiu a análise dos modelos de Probit e Logit, por meio dos parâmetros R^2 , $R_{ajustado}$, e do coeficiente de correlação de Pearson. O estudo da normalidade dos resíduos também foi realizado para avaliação dos modelos. Os resultados deixaram evidentes a superioridade do modelo de Logit para a predição da longevidade, quando comparado com o modelo de Probit. Os testes de normalidade de Lilliefors, Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk e Normal Q-Q plot, mostraram que os dados da sobrevivência tiveram melhor aproximação da distribuição logística, do que da distribuição normal. Portanto, a função de ligação Logit é a mais adequada para predição da longevidade em sementes de soja. Em outro estudo, foi aplicado o modelo de Logit para distinção do vigor em sementes de soja tratadas com magneto priming. A aplicação do modelo revelou que sementes de soja, tratadas com micro-ondas na frequência de 2.45 GHz e potência de 0.2 W/g, durante 15 min trouxe incremento no valor do P50, além de aumentar a germinação e vigor das sementes avaliadas. O estudo demonstrou que o modelo de Logit também é robusto para predição do P50 em condições de alta temperatura.

Palavras-chave: Curva de sobrevivência, Distribuição Normal, Eletro-energia, Função de Ligação, *Glycine Max L.*, Regressão logística

ABSTRACT

The study of longevity is an important tool in the analysis of physiological quality in seeds. The modeling of the survival curve in seeds allows the prediction of their half time life, which could be used to reference for the most varied studies on conservation and seed technology. The Probit model was initially proposed as the ideal model for seed longevity prediction, however, studies have reported about some errors found after applying the model under different stress and storage conditions in which seeds are submitted. The seed viability equation from the Probit model allows to calculate the value of P50, which is the period in which a seed lot loss 50% of its viability. The Logit model is similar to the Probit model, with the advantage of being simpler and better suited to heavy tails data, as occurs in seed longevity data. The aim of this study was to evaluate the Probit and Logit models for their robustness in predicting seed longevity. For this purpose, soybean seeds were selected according to their vigor, in a completely randomized design, and stored in 35 °C and 75% relative humidity until their death was verified by periodic germination tests. The construction of survival curves, after the experiment ended, allowed the analysis of Probit and Logit models, through the parameters R^2 , $R_{adjusted}$, and the Pearson correlation coefficient. The study of the normality of the residues was also performed to evaluate the models. The results showed the superiority of the Logit model for predicting longevity when compared to the Probit model. The tests of normality of Lilliefors, Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk and Normal Q-Q plot, showed that the survival data had a better approximation of the logistic distribution, than of the normal distribution. Therefore, the Logit function is the most suitable for predicting longevity in soybean seeds. In this study, the Logit model was applied to distinguish vigor in soybean seeds treated with magneto priming. The application of the model revealed that microwave-treated soybean seeds at a frequency of 2.45 GHz and a power of 0.2 W/g for 15 min brought an increase in the P50 value, besides increasing the germination and vigor of the seeds evaluated. The study demonstrated that the Logit model is also robust for predicting P50 under high temperature conditions.

Keywords: Survival Curve, Normal Distribution, Electro-energy, Link Function, *Glycine Max L.*, Logistic Regression

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	17
CAPÍTULO 1 - PROBIT OU LOGIT? QUAL MODELO MELHOR SE ADEQUA A PREDIÇÃO DA LONGEVIDADE EM SEMENTES	23
1.1 INTRODUÇÃO.....	24
1.2 MATERIAL E METODOLOGIA	26
1.3 RESULTADOS.....	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40
CAPÍTULO 2- EFEITO DO MAGNETO PRIMING NA QUALIDADE E LONGEVIDADE DE SEMENTES DE SOJA COM USO DE MICRO-ONDAS.....	43
2.1 INTRODUÇÃO.....	43
2.2 MATERIAL E METODOLOGIA.....	45
2.3 RESULTADOS.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
REFERÊNCIAS.....	71

INTRODUÇÃO GERAL

Modelagem Probit versus Logit

A predição da longevidade é uma ferramenta importante na avaliação da qualidade fisiológica das sementes. Ela tem a função de orientar o manejo durante o armazenamento e balizar os estudos na preservação de espécies mantidas em bancos de sementes. O estudo do período de sobrevivência das sementes também traz informações relevantes nas mais diversas atividades de armazenagem agrícola e comercial. O comportamento da sobrevivência de sementes ortodoxas ocorre seguindo uma forma sigmoidal (Figura 1).

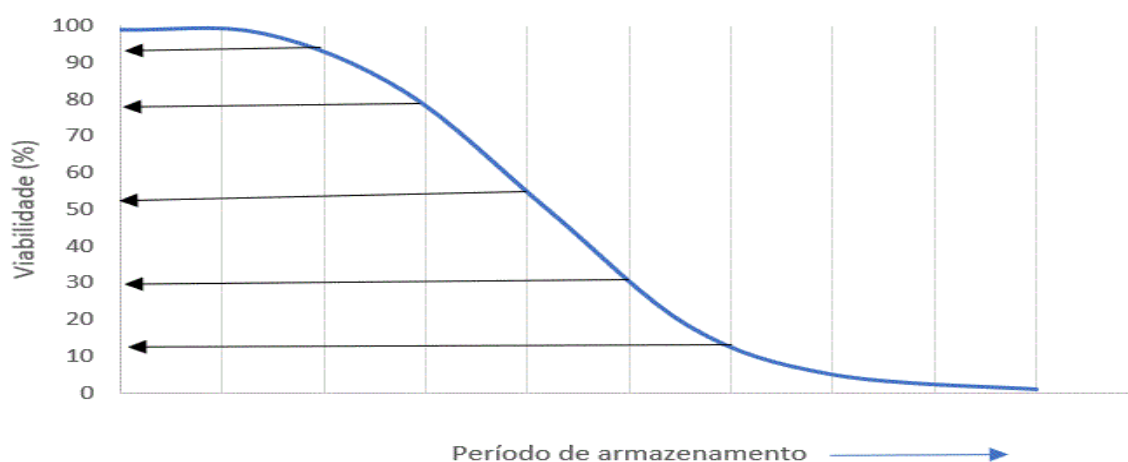


Figura 1: Curva de sobrevivência das sementes. O comportamento ocorre na forma sigmoidal decrescente ao longo do tempo de armazenamento. (adaptado de PRITCHARD & DICKIE, 2003).

Roberts (1961) relata que a frequência de distribuição dos dados das sementes que morriam durante um determinado período de armazenamento, era na forma gaussiana. Neste estudo, o autor definiu que o período em que um lote de sementes leva para perder 50% da sua viabilidade, denominado de P50, podia ser

mensurado por uma equação da viabilidade oriunda da função de distribuição normal. O cálculo do P50 é um índice de vigor das sementes com possibilidade de uso em diversos estudos para distinção entre tratamentos, ou entre diferentes cultivares. A partir daí, especialmente durante as décadas de 60 e 70, uma série de estudos foram conduzidos na aplicação desta função em diferentes condições de armazenagem e em variadas espécies, como arroz (ROBERTS, 1963), cevada, cebola, feijão e ervilha (ROBERTS, 1972; ROBERTS & ELLIS, 1977).

Os estudos gerados levaram ao embasamento de uma equação para predição da viabilidade em sementes. A equação tinha como base a transformação dos dados da probabilidade de sobrevivência na escala Probit. Esta equação foi proposta pelos autores Ellis & Roberts (1980), como o modelo capaz de descrever o momento em que um determinado lote de sementes perderia a sua viabilidade em 50% (P50). Os autores entenderam que o comportamento sigmóide da curva de sobrevivência poderia ser descrito pela função de distribuição normal (Equação 1),

$$\Phi = \frac{1}{\sigma\sqrt{(2\pi)}} e^{\left(-\frac{(p-\bar{p})^2}{2\sigma^2}\right)} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde y representa a frequência de sementes mortas que ocorreram no tempo p , (Figura 2), \bar{p} é a média de sementes viáveis no período, e σ é o desvio padrão da distribuição das sementes mortas no período observado.

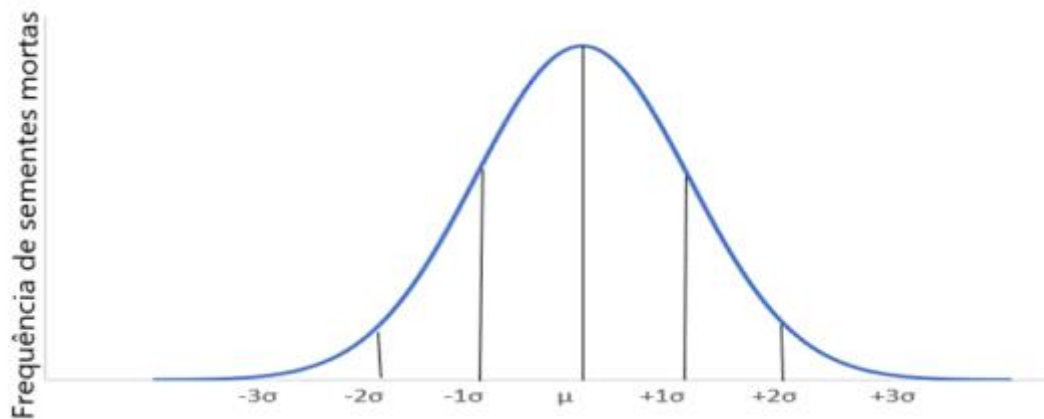


Figura 2 - Frequência do P50, de acordo com uma distribuição normal. O desvio padrão σ , fornece o valor do ângulo de inclinação da reta gerada pelo modelo de Probit. (adaptado de PRITCHARD & DICKIE, 2003)

A função de ligação Probit permite a linearização dos dados da viabilidade das sementes, representando a distribuição normal acumulada negativa dos dados da sobrevivência durante o tempo de armazenamento (FINNEY, 1962). A aplicação do modelo consiste no uso da probabilidade de sobrevivência das sementes, transformada na escala Probit, por meio da Equação 2,

$$F(x) = \Phi^{-1} \quad \text{Eq. 2}$$

Sendo Φ a função de distribuição normal. A equação da viabilidade em sementes é dada pelo ajuste da equação da reta produzida pela linearização dos dados a partir da função de ligação Probit. O tempo médio gasto para a perda da viabilidade das sementes, P50, é obtido pela Equação 3. (ELLIS & ROBERTS, 1980)

$$P50 = \frac{\beta}{\sigma} \quad \text{Eq. 3}$$

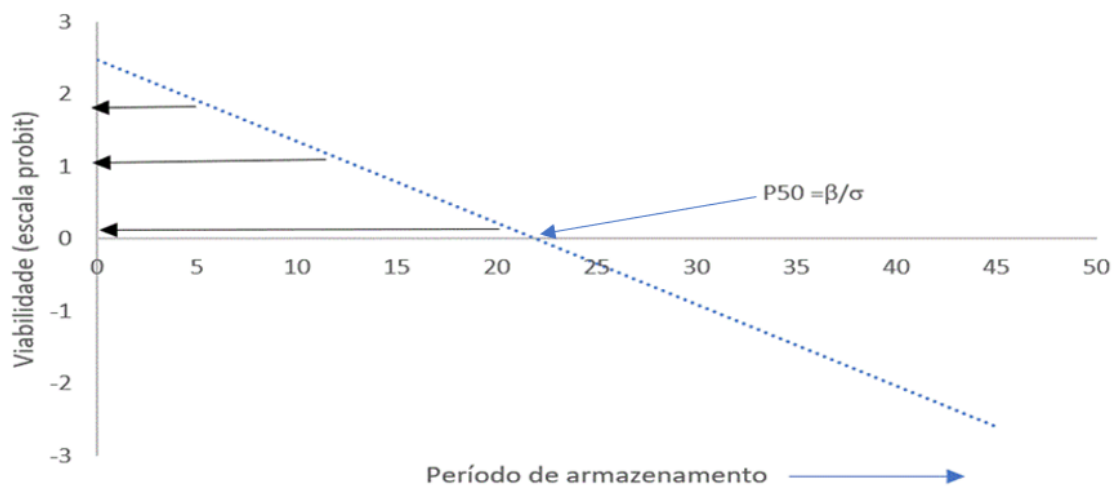


Figura 3: Transformação Probit de uma curva de sobrevivência que pode ser descrita pela Equação 3 no texto. (adaptado de PRITCHARD & DICKIE, 2003)

Os dados de sobrevivência das sementes são de origem binária, 0 quando as sementes não são viáveis e 1 quando viáveis. Para dados de tal natureza, ainda que existam outras opções, é preconizado o uso de dois modelos: Probit ou Logit. O modelo de Logit é mais simples que o modelo de Probit, e tem a distribuição logística como sua função de ligação (Equação 4),

$$F(x) = \ln\left(\frac{x}{1-x}\right) \quad \text{Eq.4}$$

Sendo x o valor da probabilidade de sobrevivência das sementes.

A escolha entre os modelos de Probit e Logit se dá pela melhor adequação dos dados a distribuição normal ou logística. Os modelos de Probit e Logit tem distribuições semelhantes, mas se diferem especialmente nos extremos, em que, o modelo de Logit apresenta caudas mais pesadas, ou seja, os extremos da curva, tem uma inclinação mais acentuada. Pino e Morettin (1993), abordam que em casos de não normalidade dos dados, o uso de funções cuja distribuição possui caudas pesadas seria mais adequado.

Os dados de sobrevivência das sementes não são normais (ELLIS & ROBERTS, 1980). Dados não normais tendem à normalidade quando o número amostral é grande o suficiente. O tamanho do n amostral recomendado para tornar dados não normais em dados normais varia de 10 a 30, de acordo com os princípios do teorema do limite central (FISCHER, 2011). Contudo, um número amostral muito grande inviabiliza sua adoção, seja pelo aumento dos custos, ou pela escassez de amostras.

Magneto priming e modelagem da longevidade

O magneto priming é um estímulo eletromagnético realizado por meio da exposição das sementes a um campo energético, com frequência controlada, a fim de promover algum benefício à qualidade fisiológica das sementes. Estudos utilizando a técnica têm reportado resultados promissores em sementes de soja (SHINE, et al., 2011; FATIMA et al., 2017; BAGHEL et al., 2018), milho (HEMIS, et al., 2019), tomate, cenoura e rabanete (RADZEVICIUS et al., 2013) em sementes de trigo (KOZULINA, et al., 2019) e feijão (RAGHA, et al., 2011), dentre outras.

As micro-ondas atuam a uma frequência que varia entre 300 MHz e 300 GHz (BANIK et al., 2003). A frequência de 2,45 GHz tem sido aplicada a estudos envolvendo a secagem de sementes. Recentes estudos, revelam que uma faixa de potência entre 0.1 e 0.3 W/g tem promovido biestímulo na qualidade fisiológica das sementes, logo após a sua exposição. (AMIRNIA R., 2014)

São escassos os estudos que abordam algum bioestímulo promovido por micro-ondas em sementes de soja. Contudo, o que se sabe até então, desperta

interesse do potencial desta tecnologia na qualidade fisiológica das sementes, e especialmente os seus efeitos na longevidade.

Portanto, no Capítulo 1, foi avaliado qual o modelo seria mais adequado para a predição da longevidade das sementes de soja entre Probit e Logit. O Capítulo 2 utiliza o modelo de Logit na diferenciação do vigor entre dois lotes de sementes de soja tratadas com magneto priming, tendo em vista ser este o modelo definido como mais adequado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da modelagem do comportamento de sobrevivência das sementes permitiu observar que, apesar das semelhanças existentes entre as funções de Probit e Logit, elas possuem desempenho diferenciado na predição do P50. Por meio da normalidade dos resíduos, ficou evidenciado que o modelo de Logit possui maior robustez que o modelo de Probit, inferindo assim, um menor erro na predição da longevidade das sementes.

O aumento do n amostral de 4 para 6 repetições, permitiu maior condução dos dados à normalidade, aumentando assim, o percentual de acerto da predição do P50 em sementes de soja.

Estudos sobre a predição da longevidade com o uso do modelo de Probit, mostrou alto percentual de erro de predição do modelo, quando as sementes foram submetidas à altas temperaturas. O modelo de Logit foi utilizado com segurança na predição da longevidade de sementes tratadas com magneto priming. O modelo foi capaz de diferenciar sementes tratadas e não tratadas, mesmo quando estas foram submetidas a altas temperaturas durante o estudo da longevidade, realizado com 42°C.

O uso da energia eletromagnética na frequência de 2,45 GHz, portanto, com uso de micro-ondas, provou ser capaz de promover bioestímulo em sementes de soja. O tratamento realizado na potência de 0,2 W/g promoveu incrementos no potencial de germinação das sementes, no crescimento de raízes e hipocótilo, na produção de massa fresca e seca, na redução do T50 e T10 e no período de longevidade das sementes. Os resultados mostram que essa técnica tem potencial para uso extra laboratorial, com ganhos na conservação e tecnologia de sementes.

REFERÊNCIAS

- AMIRNIA R. Effect of Microwave Radiation on Germination and Seedling Growth of Soybean (*Glycine max*) Seeds. **Adv. Environ. Biol.**, v. 8, n. 24, p. 311-314, 2014.
- BAGHEL L., KATARIA S., GURUPRASAD K. N. Effect of static magnetic field pretreatment on growth, photosynthetic performance and yield of soybean under water stress. **Photosynthetica**, v. 56, n. 2, p. 718 – 730, 2018.
- ELLIS, Richard H., ROBERTS, Eric H. Improved Equations for the Prediction of Seed Longevity. **Ann. Bot.**, v. 45, p. 13 – 30, 1980.
- FATIMA A., *et al.* Synchrotron-based phase-sensitive imaging of leaves grown from magneto-primed seeds of soybean, **J Synchrotron Rad**, v. 24, p. 232 – 239, 2017.
- FINNEY, David J. **Probit Analysis**, 2. ed. London: Cambridge University Press, 1962, 318 p.
- FISCHER, H. **History of the central limit theorem: from classical to modern probability theory**. New York: Springer. 2011, 415 p.
- HEMIS M, WATSON D. G., GARIÉPY Y., LYEW D., RAGHAVAN V. Modelling study of dielectric properties of seed to improve mathematical modelling for microwave-assisted hot-air drying, **Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy**, v. 53, n.2, p.94 -114, 2019.
- KOZULINA, N S; VASILENKO, A A; AND ZH N SHMELEVA. The Development of the Environmentally Safe Method for Disinfection and Biostimulation of Spring Wheat Seeds Using Electro-Magnetic Field of Super-High Frequency. **AGRITECH**, v. 315, n.2, 2019.
- PINO, F. A.; MORETTIN, P. A. The consistency of the L1- norm estimates in ARMA models. **Communications in Statistics, Theory and Methods**, v. 22, n. 8, p. 2185-2206, 1993.
- PRITCHARD, H. W.; DICKIE, J. B. Predicting Seed Longevity: the use and abuse of seed viability equations. In: R.D. Smith, J.B. Dickie, S.H. Linington, H.W. Pritchard and R.J. Probert (eds). Royal Botanic Gardens, Kew, UK. p. 655–721, 2003.
- R A D Z E V I Č A I *et al.*, The effect of strong microwave electric field radiation on: (1) vegetable seed germination and seedling growth rate. **Zemdirbyste-Agriculture**, v. 100, n. 2, p. 179–184, 2013.
- RAGHA L., MISHRA S., RAMACHANDRAN V., BHATIA, M. S. Effects of low-power microwave fields on seed germination and growth rate. **Journal of electromagnetic analysis and applications**, v.3, p. 165 – 171, 2011.
- ROBERTS, E. H. Viability of cereal seed for brief and extended periods. **Annals of Botany**. v. 25, p. 373 – 380, 1961.

ROBERTS, E. H. An investigation of inter-varietal differences in dormancy and viability of rice seed. **Annals of Botany**, v. 27, p. 365 – 369, 1963.

ROBERTS, E. H. **Viability of Seeds**, 1. ed. London: Chapman and Hall Ltd, 1972. 448 p.

ROBERTS, E. H., ELLIS, R.H. Prediction of seed longevity at sub-zero temperatures and genetic resources conservation. **Nature**, v. 268, p. 431 – 433, 1977.

SHINE M. B, GURUPRASAD K. N., ANAND A. Enhancement of germination, growth, and photosynthesis in soybean by pre-treatment of seeds with magnetic field. **Bioelectromagnetics**, v. 32, p. 474 - 484, 2011.