

FUNÇÃO DE LIGAÇÃO DE WEIBULL PARA DETERMINAÇÃO DA LONGEVIDADE DE SEMENTES DE SOJA

**AMANDA RITHIELI PEREIRA DOS SANTOS¹, BRUNNA RITHIELLY REZENDE²,
MICHELANE SILVA SANTOS LIMA³, RUTE QUELVIA DE FARIA⁴, MARIA
MÁRCIA PEREIRA SARTORI⁵**

¹Engenheira Agrícola, Profa. Doutora, Universidade Federal do Pampa - Campus Alegrete. amandasantos@unipampa.edu.br.

²Engenheira Agrícola, Doutoranda, Departamento de Produção Vegetal, FCA/UNESP, Botucatu-SP.

³Engenheira Agrônoma, Doutoranda, Departamento de Proteção de Plantas, FCA/UNESP, Botucatu-SP.

⁴Engenheira Agrícola, Profa. Doutora, Núcleo de Engenharia Agrícola, IFGoiano, Urutaí-GO.

⁵Licenciada em Matemática, Profa. Doutora, Departamento de Produção Vegetal, FCA/UNESP, Botucatu-SP.

Apresentado no
LI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2022
27 a 29 de outubro de 2022 - Pelotas - RS, Brasil

RESUMO: O objetivo neste trabalho foi verificar a função de ligação Weibull em comparação com a usual Probit para a determinação do tempo de decréscimo de 50% de viabilidade de um lote de sementes (P_{50}) com maior precisão para dados de sobrevivência de sementes de soja. Foram utilizadas 3 diferentes cultivares de sementes de soja advindas de diferentes regiões do país para a determinação da longevidade, germinação e teor de água. A partir dos dados coletados foram realizadas as curvas de sobrevivência das sementes. Para determinação do P_{50} , as curvas foram transformadas utilizando as funções de ligação Probit e Weibull, e ajustadas por regressão linear, avaliou-se o coeficiente de determinação ajustado e a estimação dentro do intervalo de interesse experimental (IIE). Utilizou-se o parâmetro extra de $\delta = 0,5$ para função de Weibull (assimétrica). Para ambas funções os dados foram inicialmente transformados multiplicando-se por 0,95 e 0,05 uma vez que as funções não existem para valores extremos de 100% e 0%. Nas cultivares avaliadas observou-se a subestimação dos IIE em comparação com os estimados para a função de probit. A função de ligação Weibull é mais precisa na predição do P_{50} do que a função de Probit, estimando valores mais próximos dos dados no IIE.

PALAVRAS-CHAVE: P_{50} , armazenamento de sementes, *Glycine max*.

WEIBULL LINK FUNCTION TO DETERMINATE SOYBEAN SEEDS LONGEVITY

ABSTRACT: The objective of this work was to verify the Weibull link function in comparison with the usual probit to determine the decrease time of 50% (P_{50}) of viability with greater precision for survival data of soybean seeds. Three soybean seed cultivars from different regions of the country were used to determine longevity, germination, and water content. The seed survival curves were performed by the collected data. Firstly, to determine the P_{50} the curves were transformed using the probit and Weibull link functions and adjusted by linear regression and the adjusted coefficient of determination and estimation was evaluated within the experimental range of interest (ERI). Weibull function (asymmetric) used with the extra parameter $\delta = 0.5$. For both functions, initially, the data were transformed by multiplying by 0.95 and 0.05 since the function does not exist for the extreme values of 100% and 0%. The cultivars were evaluated and the underestimation was observed in the probit function by comparing the ERI. The Weibull link function was more accurate in predicting P_{50} than the probit, estimating values closer to the data observed in the ERI.

KEYWORDS: P₅₀, seed storage, *Glycine max*.

INTRODUÇÃO: Longevidade é a capacidade que a semente tem de manter-se viável por determinado período de tempo em condições ideais para espécie. Para bancos de germoplasma e armazéns comerciais a predição é necessária para determinar em qual momento deverá ocorrer a renovação de um lote, ou seu escoamento comercial em armazéns. Usualmente a longevidade é avaliada em função do período em que decresce 50% da viabilidade de um lote (P₅₀) é estimada usualmente pela função de ligação Probit apresentada na Equação 1 (ELLIS; ROBERTS,1980):

$$v = K_i - p(1/\sigma) \quad (1)$$

Em que: v = percentual da viabilidade das sementes em Probit, após o armazenamento no tempo p ; p = período de armazenagem em dias; K_i = valor de Probit da viabilidade inicial; e $1/\sigma$ = inclinação da curva de sobrevivência transformada, onde σ é o desvio padrão da frequência de distribuição das sementes mortas durante o período de armazenamento (d).

Para a função em probit alguns trabalhos descreveram grandes divergências na determinação do P₅₀, FARIA et al (2020), SANTOS et al. (2019), SCHNEIDER et al. (2017), SARTORI et al. (2017), HAY, MEAD E BLOOMBERG (2014), HILL et al. (2007), CHAVES; USBERTI (2003), para sementes de alface com tratamento de priming, sendo nestes casos impróprios para o equacionamento da viabilidade. A função de Probit, ainda que com limitações em seu uso, ainda é utilizada devido a facilidade de sua aplicação (SOLBERG et al., 2020). Neste contexto a função de Weibull foi proposta por CARON et.al (2009) derivando da distribuição de Weibull com três parâmetros, modelo mais geral que a função de Probit e com parâmetros extras que pode ser amplamente utilizada para dados binários (morte e vida).

De tal modo, o objetivo neste trabalho foi verificar a utilização da função de ligação Weibull para determinar o tempo de 50% de viabilidade para dados de sobrevivência (longevidade) de sementes de soja em comparação com Probit.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento para a obtenção dos dados de longevidade foi realizado no laboratório de Análises de sementes (FCA/UNESP/Botucatu/SP). Utilizou-se três cultivares: BRS 8581, 71MF00 RR, BRS 284, e avaliou-se a longevidade (germinação versus tempo) e teor de água. Para a avaliação da longevidade as sementes que foram colocadas em caixas plásticas contendo 200 sementes/caixa, sem sobreposição de camadas de sementes, em ambiente controlado com 75% de umidade relativa do ar (UR) , utilizando a solução super saturada de Cloreto de Sódio (NaCl) para obter essa UR e a temperatura de 35 °C. Avaliou-se a germinação dos lotes de sementes a cada 7 dias enquanto houvesse viabilidade, com 6 repetições por lote. A germinação foi avaliada ao 8º dia, contabilizando protrusão > 2mm, e teor de água pelo método gravimétrico em estufa à 105°C por 24 horas (BRASIL, 2009).

A partir dos dados de longevidade foram realizadas as curvas de sobrevivência, as curvas de sobrevivência foram inicialmente corrigidas multiplicando-se todos os valores entre 100% e 5% por 0,95 e para os valores abaixo de 5% foram substituídos por 0,05, uma vez que a função não existe para os valores extremos de 100% e 0%. Os dados corrigidos foram transformados pelas funções de Probit (Equação 2, ELLIS; ROBERTS, 1980) e Weibull (Equação 3), os dados transformados foram ajustados por regressão linear simples.

TABELA 1. Descrição dos modelos das funções de ligação de Probit e Weibull.

Função de ligação	Modelo	Equação
Probit	$F(y) = \Phi^{-1}(x)$	2
Weibull	$F(y) = [-\ln(1 - x)]^{1/\delta}$	3

Para a determinação do parâmetro extra da função de Weibull foi realizado pré-teste conforme SANTOS (2018), simulando os dados obtendo-se o valor de $\delta = 0,5$ o qual permitiu determinar valores de correção (w) para manter a simetria (Tabela 2).

TABELA 2. Valores de viabilidade em percentual, protrusão em decimal, correção de caudas e fator de correção de simetria para função de Weibull ($\delta = 0,5$).

Viabilidade (%)	Protrusão (decimal)	Correção de caudas	Fator de correção de simetria (F_c)
100,0	1,00	0,9500	8,974411855
75,0	0,75	0,7125	1,553843071
50,0	0,50	0,4750	0,415195965
25,0	0,25	0,2375	0,073523825
0,0	0,00	0,0500	0,002631002

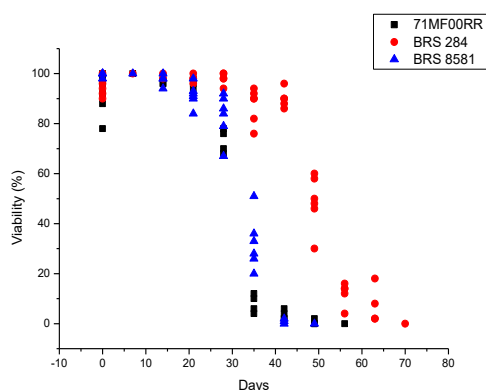
Após o ajuste de regressão linear simples, para a determinação do P_{50} foram utilizadas as equações 4 e 5 (Tabela 3).

TABELA 3. Equações da viabilidade para estimação do P_{50} para as funções de ligação de Probit e Weibull.

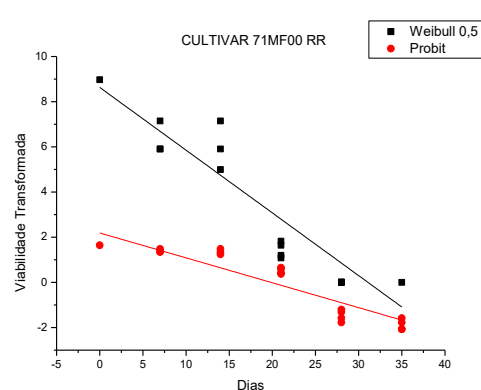
Função de ligação	Modelo	Equação
Probit	$v = K_i - p(1/\sigma)$	4
Weibull	$v_w = p \left(\frac{K_i - F_c}{\sigma} \right)$	5

Para comparação da qualidade dos ajustes o Coeficiente de Determinação Ajustado (r^2 ajustado) e Intervalo de Interesse Experimental (IIE_{50}) foram comparados. O Intervalo de interesse avalia o período em dias em que se obteve experimentalmente os valores percentuais estimados desejados. Para 50% de germinação do lote quando se estiver avaliando o P_{50} .

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os dados de viabilidade de cada cultivar estão apresentados no gráfico 01.A) a partir desses dados foram realizadas as linearizações com as funções de ligação de Probit e Weibull para as diferentes cultivares de sementes de soja (Figura 1.B-D).



A)



B)

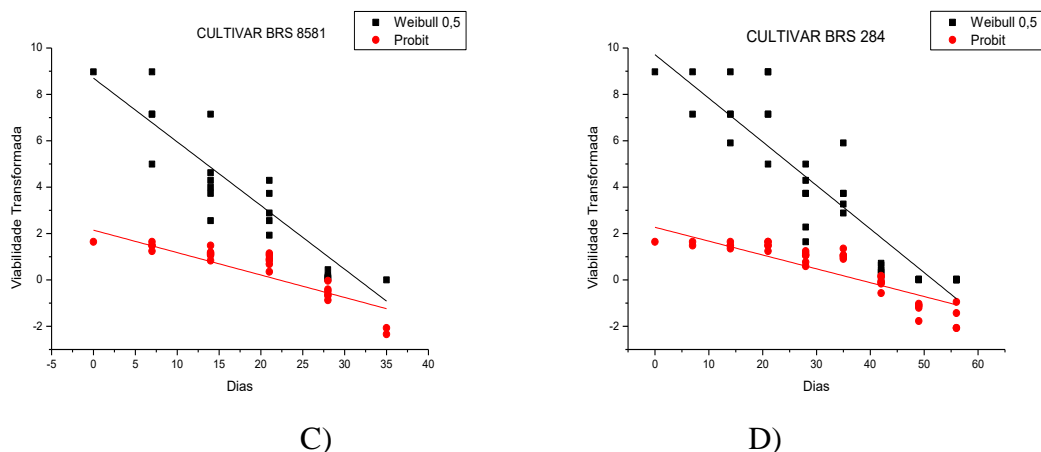


FIGURA 1. A) Dados de viabilidade observados para as cultivares de sementes de soja, B) Viabilidade transformada para a cultivar 71MF00, C) Viabilidade transformada para a cultivar BRS 284, D) Viabilidade transformada para a cultivar BRS 8581.

Os dados experimentais para as sementes de soja mostradas na Figura 1-A apresentaram comportamento sigmoidal, cumulativo negativo, como descrito por ELLIS E ROBERTS (1980), no entanto apresentaram momentos em que após o decréscimo a viabilidade retornou a aumentar, conforme relatado por SARTORI et al. (2017), SANTOS (2018), SANTOS et al. (2019), FARIA et al. (2020), LIMA (2020). Os valores dos coeficientes encontrados e de P_{50} são apresentados na Tabela 4.

TABELA 4. Coeficiente de determinação ajustado (r^2 Aj), parâmetros obtidos de: Intercepto (K_i), coeficiente angular (σ), Período para o decréscimo de 50% da viabilidade de um lote (P_{50}) para as funções de Weibull ($\delta = 0,5$) e Probit nas cultivares 71MF00, BRS284 e BRS 8581.

Cultivares	Weibull				Probit				IIE (Dias)
	r^2 Aj.	K_i	σ	P_{50}	r^2 Aj.	K_i	σ	P_{50}	
71MF00	0,9048	8,6314	-0,2778	29,3	0,8540	2,1886	-0,1103	19,8	28-35
BRS 284	0,8860	9,7158	-0,1880	51,7	0,7911	2,2696	-0,0597	38,0	49-56
BRS 8581	0,9070	8,7014	-0,2748	31,7	0,8066	2,1465	-0,0968	22,2	28-35

Dados de P_{50} em negrito, estão contidos dentro o IIE₅₀.

Os teores de água dos lotes foram em torno de $12 \pm 0,5\%$ b.u para UR de 75%. A capacidade de lotes de sementes serem armazenados é diretamente relacionado ao teor de umidade que as sementes são mantidas bem como as condições do armazenamento (BIABANI et al., 2011). A cultivar 71MF00 RR para a função de Weibull obteve resultados de P_{50} em torno de 29,34 dias com r^2 Aj. de 90%, enquanto para Probit esse valor ficou em 19,84 dias com r^2 Aj. de 85%. Para a cultivar BRS 284, cultivar mais longeva, os valores de P_{50} com coeficiente de determinação para Weibull e Probit, foram 51,67 dias com 88% e 38 dias com 79%, respectivamente, o que gera uma diferença em aproximadamente 14 dias. Para a cultivar BRS 8581 a previsão de perda de 50% de viabilidade ficou em torno de 31,66 dias para Weibull e 22,17 dias para Probit, com coeficiente de determinação de 90 e 80%, respectivamente.

A estimação dentro do Intervalo de Interesse Experimental (IIE₅₀) ocorreu apenas para os parâmetros obtidos pela função de Weibull, enquanto Probit não conseguiu estimar nenhum lote dentro do IIE₅₀.

Enfatiza-se que o coeficiente de determinação ajustado indica o quanto o modelo é capaz de explicar o evento que ocorre no modelo geral, enquanto o IIE permite a identificação para comparação do P_{50} e isolando obtidos pelo modelo geral evidencia-se a precisão de estimação para o percentual de 50% de viabilidade dos lotes estudados.

A diferença de aproximadamente 10 dias para a renovação de um lote em um banco de germoplasma porque causar a perda de variabilidade genética, bem como para o escoamento de produção, que pode prejudicar além dos produtores como a eficiência da marca da empresa. O modelo de probit apresentou para todas as cultivares um valor subestimado de P_{50} em comparação com o modelo de Weibull, e os menores coeficientes de determinação ajustado, o que prejudica o equacionamento final da longevidade como relatado por SANTOS et al. (2019), SCHNEIDER et al. (2017). FARIA et al. (2020) comparando os modelos de Probit e Logit, recomendou a utilização do modelo de Logit em detrimento de Probit devido as condições do teorema central. SANTOS et al (2019) recomendou a utilização de Logit e Cauchy-SSF para a estimação do P_{50} de lotes de sementes de soja. Outros modelos (SANTOS, 2018) e metodologias descritas por SOLBERG (2020), SINÍCIO (2004), HAY et al. (2003), TANG et al. (2000), MEAD; GRAY (1999) para estimação da viabilidade são sugeridas para melhor gestão do armazenamento e renovação de lotes em bancos de germoplasma. Sendo a função de Weibull uma candidata a determinação dos coeficientes das equações da viabilidade, devido a sua precisão para estimação do P_{50} .

CONCLUSÕES: A função de ligação de Weibull com parâmetro $\delta = 0,5$ foi eficaz para a predição do valor de 50% de viabilidade para dados de longevidade, apresentando maior precisão do que a função de probit ao predizer valores mais próximos dos dados observados experimentalmente.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de doutorado à primeira autora.

REFERÊNCIAS:

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pesca e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Secretaria Nacional de Defesa **Agropecuária**. Brasília, 2009.

CARON, R.; POLPO, A.; GOGGANS, P. M.; CHAN, C. Y. Binary data regression: Weibull distribution. *Aip Conference Proceedings*, v.1193, n.1, p.187-193, 2009.

CHAVES, Maria Madalena F.; USBERTI, Roberto. Previsão da longevidade de sementes de faveiro (*Dimorphandra mollis* Benth.). **Revista Brasileira de Botânica**, [s.l.], v. 26, n. 4, p.557-564, dez. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-84042003000400015>.

ELLIS, R.H.; ROBERTS, E.H. Improved equations for the prediction of seed longevity. **Annals of Botany**, v.45, p.13-30, 1980.

FARIA, Rute Q. de; SANTOS, Amanda R. P. dos; AMORIM, Deoclecio J.; CANTÃO, Renato F.; SILVA, Edvaldo A. A. da; SARTORI, Maria M. P.. Probit or Logit? Which is the better model to predict the longevity of seeds? **Seed Science Research**, [S.L.], v. 30, n. 1, p. 49-58, mar. 2020. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s0960258520000136>.

HAY, F.R.; MEAD, A.; BLOOMBERG, M. Modelling seed germination in response to continuous variables: use and limitations of probit analysis and alternative approaches. *Seed Science Research*, [s.l.], v. 24, n. 03, p.165-186, 7 jul. 2014. **Cambridge University Press (CUP)**. <http://dx.doi.org/10.1017/s096025851400021x>

HAY, Fiona R. et al. One-step analysis of seed storage data and the longevity of *Arabidopsis thaliana* seeds. **Journal of Experimental Botany**, v. 54, n. 384, p. 993-1011, 2003.

HILL, H.J.; CUNNINGHAM, J. D.; BRADFORD, K.J.; TAYLOR, A.G. Primed Lettuce Seeds Exhibit Increased Sensitivity to Moisture Content During Controlled Deterioration. **HortScience** October 2007 42:1436-1439.

LIMA, Michelane Silva Santos. Influência do percentual de sementes esverdeadas de soja no comportamento da longevidade com diferentes ambientes de armazenamento. 2021.

MEAD, A.; GRAY, D. Prediction of seed longevity: a modification of the shape of the Ellis and Roberts seed survival curves. **Seed Science Research**, v.9, p.63-73, 1999.

SANTOS, Amanda Rithieli Pereira *et al.* Cauchy, Cauchy–Santos–Sartori–Faria, Logit, and Probit Functions for Estimating Seed Longevity in Soybean. **Agronomy Journal**, [S.L.], v. 111, n. 6, p. 2929-2939, nov. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2018.11.0700>.

SANTOS, Amanda Rithieli Pereira dos. Funções de ligação na determinação da longevidade de sementes de soja. 2018.

SARTORI, M. M. P.; CANTÃO; R. F.; FARIA, R.Q.; SILVA, E.A.A. Desenvolvimento de um software para avaliação da germinação e longevidade de sementes. *Informativo Abrates*. Volume 27 - nº 2, agosto de 2017.

SCHNEIDER, Cristina Fernanda et al. Equações de longevidade para sementes de pau-marfim. **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal Of Agricultural And Environmental Sciences**, [s.l.], v. 60, n. 1, p.53-59, 2017. Editora Cubo Multimedia. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2259>.

SINÍCIO, R. Generalised Longevity Model for Orthodox Seeds. **Biosystems Engineering**, [S.L.], v. 89, n. 1, p. 85-92, set. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.05.008>.

SOLBERG, Svein Øivind; YNDGAARD, Flemming; ANDREASEN, Christian; VON BOTHMER, Roland; LOSKUTOV, Igor G.; ASDAL, Åsmund. Long-Term Storage and Longevity of Orthodox Seeds: a systematic review. **Frontiers In Plant Science**, [S.L.], v. 11, p. 1007-1007, 3 jul. 2020. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2020.01007>.