

SABRINA AQUINO ZARZICKI

*Universidade Regional Integrada do Alto
Uruguai e das Missões, URI, Erechim, RS,
Brasil.*

RUBIA DIANA MANTAI

*Universidade Regional Integrada do Alto
Uruguai e das Missões, URI, Erechim, RS,
Brasil.*

ELIZANDRO LOCATELI

*Universidade Regional Integrada do Alto
Uruguai e das Missões, URI, Erechim, RS,
Brasil.*

FAGNER WEIRICH

*Universidade Regional Integrada do Alto
Uruguai e das Missões, URI, Erechim, RS,
Brasil.*

*Recebido em novembro de 2019.
Aprovado em agosto de 2020.*

USO DA MODELAGEM MATEMÁTICA À PRODUTIVIDADE DE GIRASSOL PELO NITROGÊNIO

RESUMO

A modelagem é utilizada como método de ensino de matemática através de uma situação prática. O objetivo do trabalho é preconizar a aplicação da modelagem matemática através do estudo da produtividade de grãos de girassol em função da adubação nitrogenada, definindo uma técnica de cultivo mais sustentável. O experimento foi realizado em Santa Rosa/RS, tendo doses de nitrogênio como fatores de tratamento nos níveis 0, 30, 50 e 100 kg ha⁻¹, aplicadas na cultura do girassol. O nitrogênio influenciou significativamente na produtividade do girassol, sendo a máxima eficiência econômica da cultura alcançada com 51 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Através da modelagem matemática foi determinada uma adubação nitrogenada eficiente e sustentável, trazendo além do conhecimento matemático, uma análise de manejo que visa atender a base econômica da região.

Palavras-Chave: helianthus annuus L.; regressão polinomial; aprendizagem significativa.

USE OF MATHEMATICAL MODELING FOR SUNFLOWER PRODUCTIVITY WITH NITROGEN

ABSTRACT

Modeling is used as a method of teaching mathematics through a practical situation. The objective of this work is to recommend the application of mathematical modeling through the study of sunflower grain yield as a function of nitrogen fertilization, defining a more sustainable cultivation technique. The experiment was carried out in Santa Rosa / RS, with nitrogen doses as treatment factors at levels 0, 30, 50 and 100 kg ha⁻¹, applied to sunflower crop. Nitrogen had a significant influence on sunflower yield, with the maximum economic efficiency of the crop achieved with 51 kg ha⁻¹ of nitrogen. Through mathematical modeling was determined an efficient and sustainable nitrogen fertilization, bringing beyond the mathematical knowledge, a management analysis that aims to meet the economic base of the region.

Keywords: helianthus annuus L.; polynomial regression; meaningful learning.

INTRODUÇÃO

A modelagem matemática leva os alunos a discutirem e investigarem a matemática em situações do seu cotidiano, porém, em um contexto que não pertence somente à esta disciplina (BARBOSA, 2004). Aplicá-la nos problemas presentes no cotidiano do aluno instiga a curiosidade aumentando sua motivação em aprender. Ainda, a junção da matemática com outras ciências, torna o processo de aprendizagem mais abrangente e interdisciplinar. Para Scheffer et al. (2006), a Modelagem Matemática é compreendida como a perspectiva que envolve a obtenção de um modelo matemático para expressar um problema da realidade, não apenas com o objetivo de solucioná-lo, mas buscar hipóteses e reflexões sobre o fenômeno.

Para a realização de uma atividade utilizando a modelagem em sala de aula, são seguidos cinco passos: escolha do tema a ser trabalhado, realização de uma pesquisa exploratória, delimitação do problema, resolução do problema a partir da matemática relacionada a ele, e por fim, a análise crítica das soluções e resultados encontrados. Na modelagem são criados modelos, que significam uma representação que permite análises e tomada de decisões, ou seja, a partir do modelo criado será analisada as hipóteses para identificar qual a melhor solução (BURAK, 2010).

A partir da concepção dos autores citados, pode-se dizer que a modelagem utilizada em salas de aulas vem para aproximar a matemática da realidade dos alunos, e instigá-los a pensar, pesquisar, analisar e refletir, fazendo com que se tornem cidadãos críticos e ativos na sociedade.

Muitos alunos do Sul do país tem a agricultura como base do sustento familiar, desta forma, aliar o conhecimento matemático junto a ciência agrária torna o ensino mais significativo e interessante. Além disso, a modelagem matemática se apresenta como um importante instrumento pedagógico que envolve pesquisa, coleta e análise de dados e atividades em equipe.

Nesta pesquisa traz como objeto de estudo o cultivo do girassol, por possuir um grande potencial para a produção de energia renovável no Brasil, como matéria-prima para a produção de biocombustível, além de se constituir como uma importante opção para a sucessão de culturas, a produção de óleo comestível, alimentos para pássaros e rações para animais (OLIVEIRA et al., 2007; CADORIN, 2012).

O girassol possui a capacidade de adaptar-se a diferentes temperaturas, possuindo raízes profundas que exploram o solo absorvendo dele água e nutrientes de que necessita. Dentre os nutrientes, o nitrogênio é o mais requerido, desempenhando importante função no metabolismo e na nutrição da cultura do girassol (OLIVEIRA et al., 2007).

A falta de nitrogênio é o fator que mais limita a sua produtividade, afetando o número de folhas, a altura das plantas, o diâmetro do caule e a área foliar, e seu excesso causa decréscimo na porcentagem de óleo (EMBRAPA, 2007; BISCARO et al., 2008). Desta forma, se faz necessária a adubação nitrogenada química, que na maioria das vezes é utilizada em forma de ureia, tendo sua eficiência definida pela dose e pela época de aplicação. Sua ação é determinante para a produtividade do girassol, agindo em todos os órgãos da planta, porém, de todo o nitrogênio absorvido, aproximadamente de 50% vai para os aquênios, podendo interagir de forma negativa com a formação do óleo. Portanto, doses muito altas acabam diminuindo a quantidade de óleo nas sementes (CARVALHO, 2002).

O uso excessivo de nitrogênio, também é altamente prejudicial ao meio ambiente, poluindo o ar, as águas e provocando mudanças climáticas, que conseqüentemente afetarão a saúde das pessoas, podendo causar problemas pulmonares, cardíacos e até mesmo o câncer, além de aumentar os custos de produção (CARVALHO, 2012). Desta forma, o uso em dose equilibrada pode trazer benefícios tanto ao produtor quanto ao ecossistema.

Modelos matemáticos descrevem o que é observado em campo experimental, constituem-se como uma metodologia importante na tomada de decisão sobre o manejo de

culturas, baseando-se na relação estatística que analisa as relações entre variáveis dependentes e independentes. Permitem analisar situações e combinações de fatores que influenciam a produtividade das culturas, e avaliar quais estratégias são mais adequadas para cada condição. Desta forma, a simulação antecipada da produtividade de grãos pode auxiliar os produtores em uma venda antecipada do produto, assim como identificar manejos prejudiciais à cultura, orientando-os na tomada de decisão (GOMES, 2014).

Esta pesquisa traz a utilização da Modelagem Matemática como estratégia de ensino para aulas de matemática através de uma situação prática, com foco na produtividade de grãos de girassol em função do uso de nitrogênio. Acredita-se que o ensino da matemática contextualizada pela modelagem traz uma melhoria da qualidade de ensino. Desta forma o uso de modelos matemáticos aplicados na cultura do girassol em função do nitrogênio podem, além de dar sentido às fórmulas matemáticas, também determinar um manejo de cultivo mais sustentável, fazendo dos alunos precursores do conhecimento agrícola para a família.

O objetivo deste trabalho é preconizar a aplicação da modelagem matemática na exploração do ensino, através do estudo da produtividade de grãos de girassol em função da adubação nitrogenada, definindo técnicas de manejo que determinam um cultivo mais sustentável.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento em campo foi realizado no município de Santa Rosa - RS (com altitude de 268 metros, e as seguintes coordenadas geográficas: 27° 52' 16" Sul, 54° 28' 55" Oeste). O delineamento experimental foi constituído de blocos casualizados tendo como fator de tratamento doses de nitrogênio (N), nos níveis 0, 30, 50 e 100 kg ha⁻¹, aplicadas na cultura do girassol, organizados em um esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições.

A semeadura ocorreu no dia 9 de setembro de 2018, com espaçamento de 0,45 metros. O cultivo do girassol não recebeu irrigação, e ocupou 135 m² (9 m X 15 m), a adubação do solo e o controle de pragas obedeceram às indicações técnicas da cultura. Cada subparcela mediu 2,25 m de largura X 3 m de comprimento, totalizando 6,75 m² por unidade experimental. A densidade populacional foi de 2,02 plantas por metro linear, e, 4 a 5 plantas por metro quadrado, de acordo com as técnicas de manejo da cultura. A adubação nitrogenada de cobertura foi aplicada conforme os níveis de cada fator de tratamento em cada sub parcela, em um período de 30 a 40 dias após a emergência das plantas. Sendo realizada manualmente a lanço, com fonte ureia (45% de N).

Para análise da produtividade de grãos, foi retirada uma amostra de 6 capítulos por subparcela, os quais foram pesados em balança de precisão e sua unidade convertida para kg ha⁻¹. Os dados analisados no campo e em laboratório, atendem os seguintes caracteres que compõem a produtividade da cultura de girassol: Produtividade dos grãos (PG, kg ha⁻¹); Peso de grãos por capítulo (PGC, g); Diâmetro do capítulo (DC, cm); Altura da planta (AP, m).

Os dados foram analisados através da análise de variância, na identificação de alteração das variáveis da planta pelo fator de tratamento. Também modelos de equações que descrevem e simulam a produtividade de grãos de girassol em função das doses de nitrogênio aplicadas em cobertura. Por modelos de correlação foram identificadas as variáveis da planta que mais mostram alteração pelo uso da fertilização nitrogenada, e por pelo teste de médias foram classificadas as doses de nitrogênio mais eficientes à produtividade de grãos de girassol. Os modelos utilizados são propostos como uma alternativa de contextualização do ensino da matemática junto a ciência agrária, de forma que os alunos possam ter oportunidade de utilizar e avaliar modelos e simulações que correspondam as aplicações da matemática.

A análise de variância é um procedimento utilizado para comparar tratamentos (condições impostas ou objetos que se deseja avaliar), e cada tipo de tratamento é

chamado de fator. A análise de variância unifatorial avalia apenas um fator para variável dependente. Para isso, o modelo experimental utilizado é (CRUZ, 2006):

$$y_{ij} = \mu_i + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

onde: y_{ij} = variável dependente; μ_i = soma da média da população; τ_i = efeito do tratamento; ε_i = erro aleatório do i -ésimo tratamento e j -ésima repetição; i = tratamentos; j = repetições.

Em um experimento, existe o interesse em testar se há diferenças entre as médias dos tratamentos, o que equivale a testar as hipóteses:

$$\begin{cases} H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_i \\ H_0 : \mu_i \neq \mu_{i'} \text{ para pelo menos um par } (i, i') \end{cases}$$

Caso a hipótese nula for verdadeira, todos os tratamentos terão uma média comum μ .

A análise de variância (Tabela 1), baseia-se na decomposição da variação total da variável resposta em partes que podem ser atribuídas aos tratamentos (variância entre) e ao erro experimental (variância dentro). Essa variação pode ser medida por meio das somas de quadrados definidas para cada um dos componentes a seguir.

$$C = \frac{(\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J y_{ij})^2}{IJ} \quad (2)$$

$$SQ_{Total} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J y_{ij}^2 - C \quad (3)$$

$$SQ_{Trat} = \frac{\sum_{i=1}^I y_i^2}{J} - C \quad (4)$$

$$SQ_{Res} = SQ_{Total} - SQ_{Trat}. \quad (5)$$

A SQ_{Trat} é a variação entre os diferentes tratamentos, e a SQ_{Res} é a função das diferenças entre as repetições de um mesmo tratamento. Essas somas de quadrados podem ser organizadas em uma tabela. Para testar a hipótese H_0 , utiliza-se o teste F apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Análise de variância.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F calculado
Tratamentos	$I - 1$	SQ_{Trat}	QM_{Trat}	QM_{Trat}/QM_{Res}
Resíduos	$I(J - 1)$	SQ_{Res}	QM_{Res}	
Total	$IJ - 1$	SQ_{Total}		

onde $QM_{Trat} = \frac{SQ_{Trat}}{I-1}$ e $QM_{Res} = \frac{SQ_{Res}}{I(J-1)}$.

O quociente QM_{Trat}/QM_{Res} tem distribuição F com $(I - 1)$ e $I(J - 1)$ graus de liberdade, supondo que, y_{ij} são variáveis aleatórias independentes, todos os tratamentos têm variâncias iguais a σ_2 e $y_{ij} \sim N(\mu_i, \sigma_i)$. Por esses motivos, os pressupostos da ANOVA devem ser testados ou avaliados em qualquer análise.

Se o valor de F calculado for maior que F tabelado, rejeitamos a hipótese de nulidade H_0 , ou seja, existem evidências de diferença significativa entre pelo menos um par de médias de tratamentos, ao nível α de significância escolhido. Caso contrário, não rejeitamos a hipótese nula H_0 , ou seja, não há evidências de diferença significativa entre tratamentos, ao nível α de significância escolhido.

A correlação linear simples permite identificar o grau e o sentido de relação existente entre duas variáveis. O valor numérico determinado pela análise é chamado de coeficiente de correlação, e varia de -1 a 1, representado pela letra r . Para encontrá-lo, é utilizada a fórmula do coeficiente de correlação linear de Pearson, dada por:

$$r_{xy} = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\left[\left[\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} \right] \cdot \left[\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} \right] \right]} \quad (6)$$

sendo x e y as variáveis analisadas e n o número de observações.

A interpretação do coeficiente de correlação linear depende do seu valor numérico e do sinal, quanto mais próximo de ± 1 , mais forte é a relação entre as variáveis (de forma positiva ou negativa), e quanto mais próximo de 0, mais fraca é a relação entre as variáveis. Se a correlação for positiva ambas variáveis crescem ou decrescem juntas, efeito contrário a uma correlação negativa, onde o crescimento de uma variável implica na redução da outra variável.

Testes de comparação de média servem como um complemento para o estudo da análise de variância. Desenvolvido por Tukey, o teste é utilizado para comparar se os valores médios entre dois tratamentos possuem médias homogêneas. É um dos testes mais utilizados por ser rigoroso e de fácil aplicação. O cálculo é realizado pela diferença mínima que deve ter entre duas médias, que é conhecida por diferença mínima significativa (DMS), indicada por Δ , de modo que elas possam ser consideradas diferentes a um nível de significância α . Para calcular o Δ pelo teste de Tukey, utiliza-se da seguinte fórmula:

$$\Delta = q \sqrt{\frac{QMR}{r}} \quad (7)$$

onde: q é a amplitude estudentizada, e é encontrado na tabela de amplitude estudentizada q ; QMR é o quadrado médio do resíduo da análise de variância; r é o número de repetições de cada um dos grupos. Se o valor de Δ for menor que a diferença entre as duas médias consideradas, o contraste é considerado significativo. Quando o valor é maior, o contraste não é significativo, e as duas médias são consideradas equivalentes (CANTERI, 2001).

A análise de regressão pode ser usada como um método descritivo da análise de dados e também como fornecedora de uma equação que descreve o comportamento de uma das variáveis em função da outra variável, ou seja, busca uma equação de X que explique Y (BREZOLIN, 2017).

Segundo Nunes (2002), o modelo estatístico para regressão quadrática é:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 \quad (8)$$

O modelo de cálculo da regressão quadrática pode ser representado pelo seguinte sistema:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n y_i = n\beta_0 + \beta_1 \sum_{i=1}^n x_i + \beta_2 \sum_{i=1}^n x_i^2 \\ \sum_{i=1}^n y_i x_i = \beta_0 \sum_{i=1}^n x_i + \beta_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 + \beta_2 \sum_{i=1}^n x_i^3 \\ \sum_{i=1}^n y_i x_i^2 = \beta_0 \sum_{i=1}^n x_i^2 + \beta_1 \sum_{i=1}^n x_i^3 + \beta_2 \sum_{i=1}^n x_i^4 \end{cases}$$

Onde β_0 , β_1 e β_2 são parâmetros do modelo, x_i é a variável independente, y_i é a variável dependente e n o número de observações.

O coeficiente de determinação (R^2) indica, em valor percentual, a magnitude em que a variável independente é explicada pela variável dependente. O cálculo do coeficiente de determinação é encontrado pelo quadrado do coeficiente de correlação linear de Pearson multiplicado por cem. Sendo:

$$R^2 = r_{xy}^2 * 100 \tag{9}$$

onde, r_{xy} é a correlação linear de Pearson das variáveis x e y .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta o resultado da Análise de Variância Unifatorial (ANOVA) para a produtividade de grãos de girassol, realizada com distintas doses de nitrogênio. Os valores determinados mostram que, as diferentes médias de produtividade dos grãos de girassol foram dadas de forma significativa pelo uso das distintas doses de nitrogênio. Portanto, concluindo que a dose de nitrogênio aplicada tem influência na produtividade de grãos da cultura.

Tabela 2. Análise de variância da produtividade de grãos de girassol pelas distintas doses de nitrogênio.

Fonte da variação	SQ	GL	QM	F
Dose de N	4727930	3	1575977	43,03*
Erro	439448	12	36620	
Total	5167379	15		

SQ= soma de quadrados; GL= graus de liberdade; QM=quadrado médio; F= probabilidade de Fischer; * = significativo a 5% de probabilidade de erro.

Amorin et al. (2008) também encontraram diferenças significativas entre o uso de diferentes doses de nitrogênio e o diâmetro dos capítulos dos girassóis, alegando que quanto maior o tamanho do capítulo, mais aquênios ele terá. Entretanto, discordando com a pesquisa de Junior et al. (2013), que utilizaram a ureia e nitrato de amônio como fontes de nitrogênio para o girassol, e notaram que não houve diferenças significativas, sugerindo então, que pelo seu sistema radicular profundo, capaz de explorar melhor o solo, o girassol tem grande capacidade de aproveitar o nitrogênio proveniente de culturas anteriores.

A Tabela 3, apresenta a análise de correlação entre as variáveis da produtividade do girassol para cada condição de adubação nitrogenada. Destacamos que, na ausência do nitrogênio, todas as variáveis apresentaram fortes correlações positivas, de modo que, tendem a aumentar ou diminuir suas potencialidades dependendo da condição do ambiente. Ao aplicar uma dose baixa de adubação nitrogenada (30 kg ha⁻¹), as

correlações ainda permaneceram fortes e positivas, exceto para a altura da planta versus a produtividade de grãos por capítulo. Nesta condição, também se percebe o aumento da correlação da produtividade de grãos por capítulo com o diâmetro do capítulo, dando indícios da importância desta variável na produtividade do girassol, considerando a ação do nitrogênio.

Tabela 3. Correlação das variáveis indicadoras da produtividade do girassol.

	NG	DC	ALT
Dose N= 0 kg ha ⁻¹			
PGc	0,87	0,86	0,87
NG	-	0,97	0,98
DC	-	-	0,99
Dose N= 30 kg ha ⁻¹			
PGc	0,89	0,96	0,46
NG	-	0,97	0,80
DC	-	-	0,63
Dose N= 50 kg ha ⁻¹			
PGc	0,82	0,40	0,50
NG	-	0,12	0,84
DC	-	-	-0,44
Dose N= 100 kg ha ⁻¹			
PGc	0,87	-0,07	0,23
NG	-	0,03	0,37
DC	-	-	0,94

PGc=Produtividade de grãos por capítulo (g); NG=Número de grãos; DC=Diâmetro do Capítulo (cm); ALT= Altura da planta (m).

Ao aplicar 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio (Tabela 3), a relação de influência entre o diâmetro do capítulo e a altura da planta mostrou-se moderada negativa, de modo que, maiores capítulos são encontrados em plantas com menor altura. Houve redução na correlação da produtividade de grãos por capítulo e número de grãos com o diâmetro do capítulo, sendo essas, consideradas correlações positivas fracas. Esta ocorrência pode ser compreendida pelo fato de o diâmetro do capítulo ter atingido o seu potencial determinado pelo seu genótipo, desta forma, o incremento do adubo fertilizante não trará mais benefícios para esta variável, contudo irá converter a energia em produção de sementes.

Já ao aplicar uma dose elevada de nitrogênio (100 kg ha⁻¹), destaca-se a falta de correlação entre a produtividade de grãos por capítulo e diâmetro do capítulo (Tabela 3). Reduções significativas foram observadas nas correlações entre a altura da planta e os fatores produtividade de grãos por capítulo e número de grãos, porém a relação de influência da altura com o diâmetro do capítulo aumentou bastante, sendo considerada positiva forte.

Pesquisa realizada por Amorim et al. (2008) indicou uma correlação positiva moderada, entre a produção de grãos e o diâmetro do capítulo. Esta informação vai de encontro com os resultados encontrados neste trabalho, porém, ressaltamos que estas relações são influenciadas pelo tipo de manejo, sendo que, em elevadas doses de adubação nitrogenada, a relação entre estas variáveis não são mais efetivas, possivelmente ocorridas pela obtenção do potencial máximo da cultura em aumentar o diâmetro do capítulo.

De modo geral, independente da dose de nitrogênio fornecida, a análise de correlação mostra maiores relações positivas para a produtividade de grãos por capítulo com o número de grãos por capítulo, determinando que, para a maior produtividade de grãos, deve-se levar em consideração o número de grãos.

Com intuito de avaliar produtividade de grãos de girassol pelas distintas doses de nitrogênio, será aplicado o teste de médias de Tukey, com significância de

0,05 de erro. Temos que, $QMR = 36620$, $r = 4$, e o valor de q na tabela de amplitude de Tukey = 4,41, portanto:

$$\Delta = 4,41 \sqrt{\frac{36620}{4}} = 422$$

a cada 422 kg ha⁻¹ na média produtividade de grãos os grupos de tratamento se diferem estatisticamente, com nível de 5% de probabilidade de erro. A Tabela 4 apresenta os valores médios de produtividade de grãos de girassol com a resposta dada pelo teste de médias de Tukey.

Tabela 4. Teste de média para produtividade de grãos pelas doses de nitrogênio.

Dose de N (kg ha ⁻¹)	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)
0	4138 c
30	5086 b
50	5542 a
100	4465 c

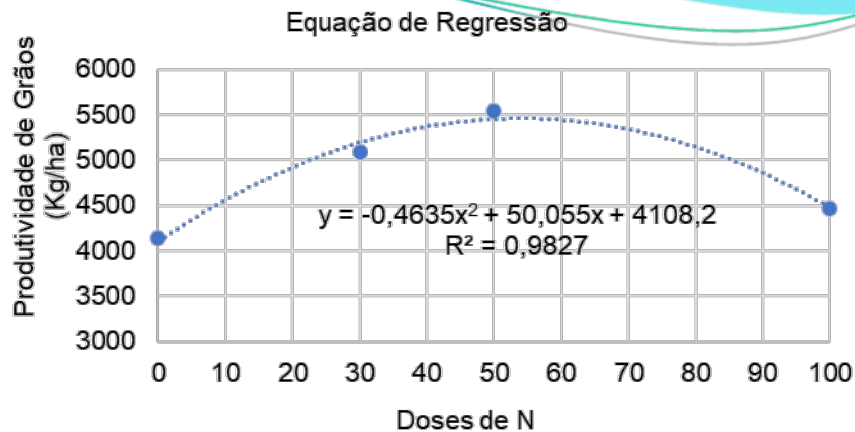
Letras iguais refletem em médias que não diferem estatisticamente, com probabilidade de 5% de erro.

Os valores médios da produtividade de grãos, junto a análise do teste de médias (Tabela 4), indicam a dose de 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio como aquela que retorna maior produtividade de grãos, representada pela letra “a” na análise de médias. A maior produtividade de grãos difere em 456 kg ha⁻¹ da produtividade alcançada com a dose 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio, representada pela letra “b”, desta forma, evidenciando-se como a segunda melhor média de produtividade. As médias de produtividade de grãos determinadas pelas doses 0 e 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio, ambas representadas pela letra “c”, não tiveram diferenças significativas entre elas. Desta forma, se evidencia que a planta atinge seu potencial de produtividade com uma dose de nitrogênio inferior a 100 kg ha⁻¹, não sendo necessárias doses excessivas de nitrogênio, além disso, foram consideradas as menores médias de produtividade, condição que, além de gerar custo mais elevado, prejudica a cultura e causa possível contaminação ambiental.

O girassol tem seu desenvolvimento muito influenciado pelo uso do nitrogênio, mesmo que em pequenas quantidades, em especial no aumento do diâmetro do capítulo, conseqüentemente gerando uma maior produtividade, porém esse progresso não é contínuo com o incremento de doses muito altas (SFREDO et al., 1984), como pode-se perceber no resultado do teste de médias. Isso pode ser explicado a partir do estudo de alguns autores, como Biscaro et al. (2008), que concluíram que o uso excessivo de nitrogênio causa uma diminuição da porcentagem de óleo nos aquênios, além de aumentar a possibilidade da incidência de pragas e doenças nas plantas, afetando assim, a produtividade dos grãos.

A Figura 1, mostra que a produtividade de grãos de girassol possui um comportamento quadrático em função da dose de nitrogênio. Além disso, o coeficiente de determinação indica que o modelo foi capaz de explicar 98,27% dos dados de produtividade de grãos de girassol coletados em função da dose de nitrogênio utilizada.

Figura 1. Equação de regressão da produtividade de grãos de girassol.



A partir da regressão estimada pela análise de regressão, podemos determinar a dose de nitrogênio que representa a Máxima Eficiência Técnica (MET) da produtividade do girassol, ou seja, a dose de nitrogênio que gera a maior produtividade de aquênios. Para isso, calcula-se a coordenada x , representada pela dose de nitrogênio, do ponto de máximo da curva da equação de regressão:

$$x = -\frac{b}{2a} \quad (10)$$

$$x = -\frac{50,055}{2 \cdot (-0,4635)}$$

$$x = 54$$

Desta forma, obtêm-se a dose 54 kg ha⁻¹ de nitrogênio como aquela que produz a maior quantidade de sementes, neste caso, 5.460 kg ha⁻¹ de aquênios. Esses resultados se assemelham o com o encontrado por Biscaro et al. (2008), que analisaram quatro doses de nitrogênio (0, 20, 40 e 80 kg ha⁻¹), e encontrou diferenças significativas no desenvolvimento das plantas entre os diferentes tratamentos, chegando à conclusão que a dose de N com máxima eficiência técnica foi de 55 kg ha⁻¹.

Porém, a busca por maiores produtividades pode aumentar significativamente os custos de produção, tornando a cultura inviável pelo ponto de vista econômico, pois os custos com a utilização de maiores quantidades de adubo pode ser maior do que o lucro obtido com o aumento dessa produção, além dos inúmeros danos que o uso excessivo de nitrogênio pode causar ao meio ambiente (MANTAI et al., 2015).

Vale lembrar que o nitrogênio deve ser utilizado de forma consciente pelo produtor, e que um cultivo com menos produtividade de sementes, também poderá ter menores custos. Neste sentido, é importante que se obtenha um meio termo entre esses aspectos, chegando assim em um ponto de equilíbrio entre a quantidade de nitrogênio disponibilizada, a produtividade da cultura e o custo de produção. Para isso, utilizamos o cálculo da Máxima Eficiência Econômica (MEE), que avalia a melhor dose de nitrogênio a ser utilizada considerando o valor pelo qual é comprado o adubo, e o valor pelo qual são vendidas as sementes (MANTAI et al., 2015).

Para este cálculo vamos calcular o ponto máximo da curva apresentada pela regressão quadrática incluindo a razão do preço de compra do nitrogênio e o preço de venda do girassol. Assim o modelo da máxima eficiência econômica é dado por (WENDLING et al, 2007):

$$x = \frac{\frac{\theta}{a} - b}{2a}$$

(11)

sendo θ = preço do nitrogênio por kg, α = preço venda do girassol por kg; a e b = coeficientes da regressão quadrática e, x = a dose de nitrogênio que se refere a máxima eficiência econômica. Considerando o modelo de regressão quadrática apresentado na Figura 1, temos a máxima eficiência econômica, sendo:

$$x = \frac{\frac{2,9}{1,17} - 50,055}{2 * (-0,4635)}$$

$$x = \frac{-47,58}{-0,927} = 51$$

Portanto, obtêm-se a dose 51 kg ha⁻¹ de nitrogênio como a dose economicamente mais produtiva para a cultura do girassol.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho se encaixa muito bem nos conceitos de modelagem matemática, pois através da investigação para resolução dos problemas da pesquisa, que decorre de uma situação prática e real, pode-se surgir diversos questionamentos para serem investigados e analisados, e após, é possível que se faça uma reflexão sobre os resultados obtidos.

Pela cultura do girassol ser de fácil cultivo, essa experiência se torna viável para ser aplicada, podendo proporcionar uma experiência prática aos alunos, e ainda auxiliar no ensino de matemática, trabalhando além dos conteúdos, a problematização e investigação matemática e agrícola no ambiente escolar.

O modelo da Anova mostrou que as diferentes doses de nitrogênio influenciaram significativamente na produtividade dos grãos, ou seja, as diferenças nas médias de produção encontradas foram decorrentes do uso das distintas doses de nitrogênio. O teste de médias de Tukey, indicou que a dose de 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio, é a que proporciona uma maior produtividade de grãos.

A análise de regressão demonstrou que o modelo conseguiu explicar 98,27% dos dados de produtividade de grãos de girassol em função do tratamento utilizado. Além disso, o modelo de regressão da produtividade de grãos em função da dose de nitrogênio, pode auxiliar na tomada de decisão em relação a produtividade pretendida e dose de adubação nitrogenada a ser aplicada, a partir da interpolação de pontos. Este mesmo modelo também apresentou a máxima eficiência técnica para a produtividade de girassol pela dose de 54 kg ha⁻¹ de nitrogênio, ou seja, é a dose capaz de produzir a maior quantidade de aquênios. Porém, buscando uma máxima eficiência econômica, que leva em consideração o preço do adubo e o valor de venda das sementes, a dose indicada é de 51 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Portanto, através da modelagem matemática é possível determinar manejos de adubação nitrogenada eficientes e sustentáveis para produtividade do girassol, desta forma, trazendo além do conhecimento matemático, também uma análise de manejo que visa atender a base econômica da região.

Em relação ao ensino da matemática, os modelos são propostos como uma alternativa de contextualização no ensino da matemática, de forma que os alunos possam ter a oportunidade de utilizar, avaliar e discutir sobre esses modelos e simulações que correspondam as aplicações da matemática nesta experiência, facilitando a aprendizagem, tornando-a significativa.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, E. P. et al. Correlações e análise de trilha em girassol. *Bragantia*, Campinas, v.67, n.2, p.307-316, 2008
- BARBOSA, J. C. A "contextualização" e a Modelagem na educação matemática do ensino médio. In: ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 8., 2004, Recife. Anais... Recife: SBEM, 2004. 1 CD-ROM
- BISCARO, G. A. et al. Adubação nitrogenada em cobertura no girassol irrigado nas condições de Cassilândia-MS. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1366-1373, 2008.
- BREZOLIN, A. P. et al. Wheat yield obtained from nitrogen dose and fractionation. *African Journal of Agricultural Research*, v.12, n.8, p. 566-576, 2017.
- BURAK, D. Modelagem Matemática sob um olhar de Educação Matemática e suas implicações para a construção do conhecimento matemático em sala de aula. *Revista de Modelagem na Educação Matemática*, v. 1, n. 1, 10-27, 2010.
- CADORIN, A. M. R. et al. Características de plantas de girassol, em função da época de semeadura, na Região Noroeste do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*, Santa Maria-RS, v. 42, n. 10, p.1738-1743, 2012.
- CANTERI, M. G. et al. SASM-Agri-Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott-Knott, Tukey e Duncan. *Revista Brasileira de Agrocomputação*, Ponta Grossa-PR, v.1, n.2, p.18-24, 2001.
- CARVALHO, D. B. de; PISSAIA, A. Cobertura nitrogenada em girassol sob plantio direto na palha: I-Rendimento de grãos e seus componentes, índice de colheita e teor de óleo. *Scientia Agraria*, v.3, n.1, p. 41-45, 2002.
- CARVALHO, N. L. de; ZABOT, V. Nitrogênio: Nutriente ou Poluente. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, Santa Maria-RS, v. 6, n. 6, p. 960 - 974, 2012.
- CRUZ, C. D. Programa Genes: estatística experimental e matrizes. Viçosa: UFV, 2006, 390 p.
- EMBRAPA. Girassol: Regiões de cultivo, diferentes usos e produtividade. Portal Embrapa (Versão 3.59.2) 2007. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/girassol>
Acesso em: 02 de outubro de 2018 às 10:30 h.
- GOMES, A. C. dos S. et al. Modelo para estimativa da produtividade para a cultura da soja. *Ciência Rural*, Santa Maria-RS, v. 44, n. 1, 2014.
- JUNIOR, A. de O. et al. Produção de girassol em resposta à utilização de fontes e doses de nitrogênio. Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE GIRASSOL, 8., 2013, Cuiabá. Anais... Cuiabá-MT: Embrapa, 2013, p.22-25.
- MANTAI, R. D. et al. A eficiência na produção de biomassa e grãos de aveia pelo uso do nitrogênio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v. 19, n. 4, p.343-349, 2015.
- NUNES, C. C. F. Variâncias do ponto crítico de equações de regressão quadrática. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, v. 28, n. 2, p. 389-396, 2004
- OLIVEIRA, A. C. B. et al. Cultivo do girassol no Rio Grande do Sul: plantio janeiro a fevereiro. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. 4 p. (Comunicado Técnico)
- SCHEFFER, N. F. et al. Matemática e tecnologias: Modelagem Matemática. Erechim: EDIFAPES, 2006. 60 p.

SFREDO, G. J.; CAMPO, R. J.; SARRUGE, J. R. Girassol: nutrição mineral e adubação. Londrina: Embrapa-CNPSO, 1984. 36 p. (Circular técnica, 8).

WENDLING, A. et al. Recomendação de adubação nitrogenada para trigo em sucessão ao milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, n. 5, p.985-994, 2007.