

MATEMÁTICA NA CULTURA DA SOJA

MATHEMATICS IN SOYBEAN CULTURE

Eliônio Pires da Silva 1
Valdiane Sales Araújo 2

Resumo: O objetivo desta pesquisa é mostrar a ampla relação que a Matemática possui com o desenvolvimento da agricultura, em particular, com a cultura da soja. Nos dias atuais o agronegócio é responsável por 21% do PIB brasileiro e a soja é o principal produto do agronegócio brasileiro. A Matemática está presente em todas as etapas da produção de soja desde a preparação do solo até a venda do produto. Em cada etapa a tomada de decisões exige estudos e cálculos para que as melhores decisões sejam tomadas de modo a aumentar a produtividade. Assim, essa pesquisa vem evidenciar de que forma a Matemática está presente em algumas etapas da produção de soja e na agricultura de forma geral.

Palavras-Chave: Produção de soja. Matemática. Agricultura.

Abstract: The purpose of this research is to show the broad relationship that Mathematics with the development of agriculture, in particular, with the cultivation of soy. Nowadays agribusiness is responsible for 21% of the Brazilian GDP and soy is the main product of Brazilian agribusiness. Mathematics is present in all stages of soy production from the preparation of the soil to the sale of the product. At each stage, decision making requires studies and calculations so that the best decisions are made in order to increase productivity. Thus, this research shows how Mathematics is present in some stage of soy production and in agriculture in general.

Keywords: Soy production. Mathematics. Agriculture.

1-Graduado em Licenciatura em Matemática pela Universidade Federal do Maranhão, polo de Lago do Junco, vinculado ao Plano Nacional de Formação de Professores da Educação Básica/PARFOR. LATTES: <http://lattes.cnpq.br/1369647314138226>. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6248-1231>

2-Possui graduação em Licenciatura Plena em Matemática pela Universidade Federal do Piauí (1999), mestrado em Matemática pela Universidade Federal do Ceará (2002) e doutorado em Matemática pela Universidade Paulista-UNESP. (2015). Atualmente é professor Adjunto da Universidade Federal do Maranhão. LATTES: <http://lattes.cnpq.br/0818801264632485>. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3159-6049>

Introdução

O agronegócio brasileiro é dos mais dinâmicos e eficientes do mundo. A mudança de status do Brasil na produção de alimentos começou na década de 1970, tendo a soja como motor dessa transformação. Até meados dos anos 70, a produção agrícola brasileira era pequena, isso porque a área destinada à cultura de grãos era pequena, além da pouca utilização de tecnologias modernas capazes de dinamizar o processo de produção.

Naquela década, a pesquisa agrícola era precária, os pesquisadores tinham dificuldades para resolver os desafios existentes e, dessa forma, favorecer o abastecimento do mercado interno e a produção de excedentes exportáveis, como desejava o governo. Para o alcance de tal objetivo, era necessário ampliar o investimento em pesquisa para gerar novas tecnologias, além de incrementar o processo de sua transferência segundo DALLAGNOL (2016).

Diante disso, o então Ministério da Agricultura, hoje Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), coordenou a realização de um diagnóstico para identificar os gargalos tecnológicos que limitavam o crescimento da produção agrícola brasileira, o que culminou com a extinção do Departamento Nacional de Pesquisa e Experimentação Agropecuária (DNPEA) e a criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

O desenvolvimento da agricultura junto ao uso da tecnologia, no Brasil, é imprescindível segundo a Embrapa, os desafios postos à agricultura somente serão superados com a adoção de tecnologias modernas. Estas tecnologias deverão garantir a segurança alimentar em perfeita sintonia com a conservação ambiental.

A tecnologia é fundamental para o aumento da produção e a Matemática é indispensável para o aperfeiçoamento da tecnologia.

A Matemática está presente em cada etapa da produção de grãos em larga escala. Além de necessária ao desenvolvimento de tecnologias que propiciem o melhoramento da produção, ela também se faz necessária na gestão de todos os processos envolvidos com a produção de um produto agrícola, independente da escala de produção.

A matemática e a agricultura

À medida que a agricultura se torna uma atividade mais intensiva, aumenta a demanda por um nível mais alto de controle e entendimento do solo e de outros elementos que compõem o ambiente onde as plantas crescem. Através de estudos, os pesquisadores tentam encontrar melhores estratégias de manejo do solo, controle de pragas, irrigação, melhoramento de sementes, onde todas as variáveis possam ser melhor ajustadas para determinada cultura.

Com base nisso, são elaborados modelos de crescimento e desenvolvimento de plantas que fornecem as bases para o planejamento e gerenciamento da produção agrícola.

Usando modelos, que representem a situação real, para estimar ou simular a importância e o efeito de determinados parâmetros, um pesquisador pode observar quais fatores devem ser mais estudados, aumentando assim a compreensão do sistema e por conseguinte, aumentando a produção.

Na agricultura, os modelos são utilizados para fazer simulações e prevê resultados de um determinado gerenciamento de sistema ou de uma determinada condição ambiental.

Modelo é a palavra que se usa para designar a representação de alguma entidade ou sistema, geralmente em tamanho menor que o original que serve, entre outras coisas, para explicá-lo ou para realizar estudos sobre o mesmo. Quando o comportamento de um sistema é descrito matematicamente, através de equações, esta representação forma um modelo matemático.

O modelo matemático também representa quantitativamente hipóteses assumidas sobre o sistema real, permitindo deduzir consequências através de simulações. Eles têm se tornado cada vez mais populares e mais sofisticados com o uso de computadores e softwares cada vez mais avançados.

A habilidade de empregar matemática em situações concretas e em outras áreas do conhecimento humano consiste em tomar um problema prático relativamente complexo, transformá-lo em um modelo matemático, ou seja, traduzir a questão na linguagem de números, gráficos, tabelas, equações, etc., e procurar uma solução que possa ser reinterpretada em termos da situação concreta original. (BASSANEZI, 2015).

As vantagens da utilização de modelos matemáticos são inúmeras, aqui podemos citar algumas: baixo custo, completeza dos dados, a possibilidade de criação de cenários e proposição de cenários ideais.

Nas últimas décadas a agricultura no Brasil vem experimentando uma profunda transformação. Antes, a agricultura brasileira era baseada na produção de café, cana-de-açúcar e outros produtos que eram produzidos com vistas somente à subsistência. Antigamente, nossos principais produtos de exportação eram café e açúcar.

Enquanto exportávamos café e açúcar, não tínhamos a nossa segurança alimentar garantida. Importávamos em quantidades significativas arroz, feijão, trigo, entre outros produtos básicos na dieta alimentar da população brasileira.

Hoje, de grande importador, passamos a grande exportador de produtos agrícolas como o complexo soja (grãos, farelo e óleo), milho, algodão, etanol, celulose e carnes (bovina, suína e de aves). Já ultrapassamos a barreira da produção de uma tonelada de grãos per capita.

A partir da chamada “revolução verde” (conjunto de inovações tecnológicas que teve o intuito de melhorar as práticas agrícolas), passamos a cultivar áreas cada vez maiores e utilizar novas técnicas de cultivo o que necessitou de estudos avançados e modelos que representassem nosso solo e meio ambiente para obter uma melhor produtividade e evitar perdas financeiras.

As técnicas de produção são desenvolvidas e estabelecidas quase sempre por agrônomos e técnicos agrícolas, pessoas capacitadas para lidar com situações diárias no campo em relação a agricultura que, sem dúvida, são fundamentais para que se consiga uma produção satisfatória com qualidade. Estes profissionais utilizam modelos matemáticos para determinar a melhor maneira de cultivar e acompanhar o desenvolvimento de cada cultura. A produção em larga escala é acompanhada por esses modelos que estão presentes desde o plantio até a colheita e venda dos produtos.

Segundo LAMAS (2017), o papel do engenheiro agrônomo no cenário da agricultura de forma geral, está sendo modificado constantemente, tendo em vista as transformações pelas quais passa a agricultura brasileira. Hoje, esse profissional precisa ter uma boa visão sobre gestão, sobre perspectivas do cenário de médio e longo prazo, de uma forma muito geral, além de visão estratégica. Não dá mais para se preocupar apenas com um fator que interfere na produção e na produtividade. É preciso estar atento a todas as transformações vivenciadas na atualidade.

A matemática na cultura da soja

O conhecimento matemático é necessário à compreensão e desenvolvimento das outras ciências, da tecnologia, e está presente na maioria das atividades humanas.

Seja no trabalho, no lazer, no campo ou na cidade, estamos constantemente medindo, contando, calculando ou fazendo estimativas. A agricultura e a Matemática sempre estiveram juntas desde a medição do terreno a ser cultivado até a colheita e venda do produto.

Na agricultura como um todo e, em particular, na produção de soja a Matemática é uma ferramenta essencial. Veremos adiante algumas etapas da produção de soja e exemplificaremos como a Matemática se faz presente em cada etapa.

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das mais importantes culturas na economia mundial. Segundo a Associação dos Produtores de Soja e Milho de Mato Grosso (Aprosoja-

MT), 7% da destinação final da soja vai para indústrias de diferentes setores, como cosméticos, indústria farmacêutica, veterinária, adesivos, adubos, formulador de espumas, tintas e plásticos. Outros 49% vão para o processamento de óleo e farelo usados, especialmente, na alimentação humana e animal e na produção de biocombustíveis, como o biodiesel, e 44% são exportados in natura, a maior parte para a China.

A produção de soja está entre as atividades econômicas que, nas últimas décadas, apresentaram crescimento mais expressivos. Isso pode ser atribuído a diversos fatores, dentre os quais: desenvolvimento e estruturação de um sólido mercado internacional relacionado com o comércio de produtos do complexo agroindustrial da soja; consolidação da oleaginosa como importante fonte de proteína vegetal, especialmente para atender demandas crescentes dos setores ligados à produção de produtos de origem animal; geração e oferta de tecnologias, que viabilizaram a expansão da exploração do grão para diversas regiões do mundo.

No contexto mundial, o Brasil possui significativa participação na oferta e na demanda de produtos do complexo agroindustrial da soja. De acordo com HIRAKURI e LAZZAROTTO (2014) isso tem sido possível pelo estabelecimento e progresso contínuo de uma cadeia produtiva bem estruturada que desempenha papel fundamental para o desenvolvimento econômico-social de várias regiões do país.

A mecanização e a criação de cultivares altamente produtivas adaptadas às diversas regiões, o desenvolvimento de pacotes tecnológicos relacionados ao manejo de solo, ao manejo de adubação e calagem, manejo de pragas e doenças, além da identificação e solução para os principais fatores responsáveis por perdas no processo de colheita, são fatores promotores desse avanço.

Segundo a Embrapa, na atualidade, a soja que hoje é cultivada muito se difere de seus ancestrais que eram plantas rasteiras que se encontravam e se desenvolviam na costa leste do continente asiático, para ser mais preciso, nas proximidades do rio Yangtse, na China. Essa mudança se deve aos diversos cruzamentos efetuados entre duas espécies distintas de soja selvagens, sendo posteriormente melhorada pelos cientistas chineses.

Figura 1: Grãos de soja



Foto: Embrapa

A expansão da soja para outros continentes se deu depois de muito tempo, só na segunda década do século XX, os países do continente europeu, como: Rússia, Inglaterra e Alemanha tentaram introduzir em seus territórios o cultivo da leguminosa, mas as respectivas tentativas foram fracassadas devido às condições climáticas que não favoreceu o desenvolvimento da planta.

Já no Brasil, a soja foi introduzida em 1882 por Gustavo Dutra na Bahia, nessa época a região sul do país possuía a cultura do trigo como uma das principais culturas de cereais desenvolvida.

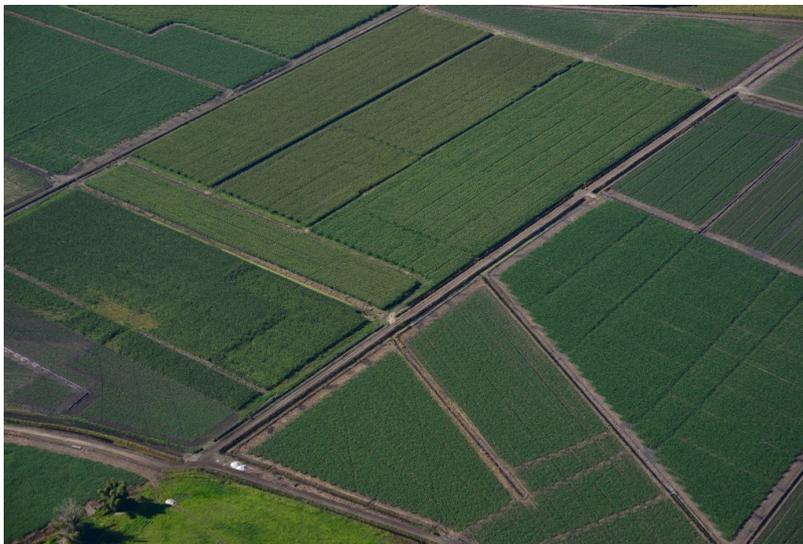
Só na parte final da década de 60 para meados da década de 70, surgiu o interesse do governo brasileiro, juntamente com os agricultores, em produzir soja em larga escala. O alto preço do grão no mercado mundial e a necessidade de expandir a utilização do farelo da soja como fonte de alimento nutricional aos suínos e aves, foram os principais fatores de ampliação do tamanho das áreas de cultivo.

Para desenvolvermos qualquer tipo de produção, seja na agricultura ou agropecuária, necessitamos de conhecimentos específicos necessários para nos auxiliar no sistema de investimentos. Na cultura da soja não é diferente, a princípio é necessário que o produtor busque os conhecimentos de que necessitará e contrate mão de obra qualificada para cada etapa da produção.

Em cada etapa da produção de soja a Matemática está presente:

- para calcular o tamanho da área que será destinada para a produção;
 - para decidir quantas plantas e quilogramas do grão serão produzidos em média por hectare;
 - no cálculo dos gastos com a aquisição de máquinas e veículos;
 - no cálculo da área que será utilizada para construir os locais de armazenamento dos cereais;
 - no cálculo dos gastos na aquisição dos produtos para o manejo e combate às pragas;
 - cálculos com o volume pluviométrico mensal de chuvas previstos e cálculo com os desperdícios da produção;
- entre outros.

Figura 2: Plantação de Soja



Fonte: jovempan.com.br

A Matemática é parceira inseparável da produção de soja, observando a Figura 2, podemos perceber que a região plantada é dividida em sub-regiões com formato de figuras geométricas. Essa divisão do solo facilita a mecanização do terreno para irrigação, colheita e o deslocamento dentro do terreno.

Preparo do Solo

O atual sistema de exploração agrícola tem submetido o solo a um processo acelerado

de degradação com o desequilíbrio de suas características físicas, químicas e biológicas, afetando o seu potencial produtivo (EMBRAPA, 2014).

Os fatores que causam a degradação do solo agem de forma conjunta e a importância relativa de cada fator varia com as circunstâncias do clima, do próprio solo e das culturas.

Entre os principais fatores destacam-se a compactação, a ausência da cobertura vegetal do solo, a ação das chuvas de alta intensidade, o uso de áreas inaptas para culturas anuais, o preparo do solo com excessivas gradagens superficiais e o uso de práticas conservacionistas isoladas (EMBRAPA, 1995).

Figura 3: Degradação do solo



Foto: Claudio Capeche

O manejo do solo consiste num conjunto de operações realizadas com objetivos de propiciar condições favoráveis à semeadura, ao desenvolvimento e a produção das plantas cultivadas, por tempo ilimitado. Para que tais objetivos sejam atingidos, é imprescindível a adoção de diversas práticas na realização do preparo do solo.

Uma prática que merece destaque é a calagem, que consiste na aplicação de calcário no solo com objetivo de diminuir ou aumentar o nível do pH disponível. A acidez do solo consiste na alta concentração de íons H⁺ presentes na composição do solo, sendo um dos indicadores de sua fertilidade.

Para calcular a quantidade de calcário necessário para que o solo atinja o pH ideal para o cultivo da soja são utilizados cálculos matemáticos simples. Vejamos um exemplo:

Suponha que uma análise laboratorial determinou que um solo destinado ao cultivo de soja necessita de 2T/ha (tonelada por hectare) de calcário (magnésio, carbonos, óxidos e etc...), para corrigir sua acidez, sendo que o preço cobrado pelo calcário gira em torno de R\$ 20,00 a tonelada.

Tabela 1: Custo de Toneladas de Calcário

Hectare	Toneladas de Calcário	Custo/Calcário
1	2	R\$40,00
10	20	R\$400,00
50	100	R\$2.000,00
100	200	R\$4.000,00
500	1.000	R\$20.000,00

Fonte: elaborado pelos autores (2020)

A Tabela 1 mostra uma simulação com cálculos utilizados para obter a quantidade necessária do produto a ser utilizado na correção do pH do solo e também os custos na aquisição do mesmo.

Se um produtor rural pretende cultivar 800ha de soja quantos quilogramas de calcário serão necessários e qual o custo total na aquisição do produto utilizado na correção da acidez do solo?

De acordo com os dados da Tabela 1, um hectare de terra necessita de duas toneladas de calcário para a sua correção. Utilizando-se uma regra de três simples encontra-se a quantidade necessária de calcário para fazer a correção de 800ha de terreno:

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ ha} & \text{---} & 2 \text{ t} \\ 800 \text{ ha} & \text{---} & T \end{array}$$

As grandezas são diretamente proporcionais, isto permite expressar o exemplo na forma de proporção:

$$\frac{1}{800} = \frac{2}{T}$$

em que T representa a quantidade de calcário em toneladas. Utilizando a propriedade fundamental das proporções: o produto dos extremos é igual ao produto dos meios, tem-se:

$$T \cdot 1 = 800 \cdot 2 \text{ t}$$

$$T = 1.600 \text{ t}$$

Logo a quantidade calcário necessária, em quilogramas, será: $T = 1.600.000 \text{ kg}$.

Figura 4: Calagem



Foto: Carlos Kurihara

Para o cálculo do custo com a aquisição do produto, podemos utilizar novamente uma regra de três:

$$\begin{array}{rcl} 2 \text{ t} & \text{---} & R\$ 40,00 \\ 1600 \text{ t} & \text{---} & R \end{array}$$

Aplicando a propriedade fundamental da proporção, tem-se:

$$R \cdot 2 = 1600 \cdot 40,00$$

$$R = 32.000,00$$

Logo o custo da aquisição do produto será $R\$ 32.000,00$.

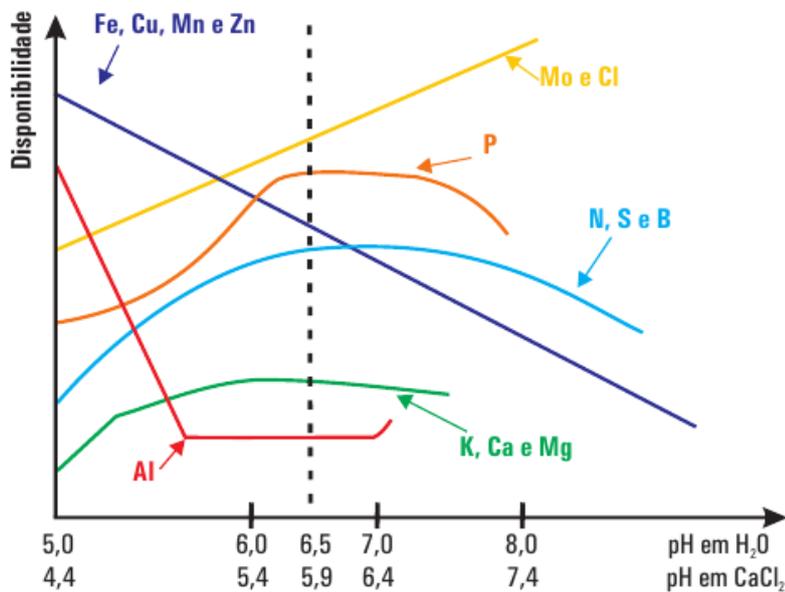
Além da utilização de tabelas o uso de gráficos por técnicos e engenheiros agrônomos para facilitar a análise de dados é bastante frequente.

A Figura 5 ilustra a tendência da disponibilidade dos diversos elementos químicos às plantas, em função do pH do solo. A disponibilidade varia como consequência do aumento da solubilidade dos diversos compostos presentes do solo, este comportamento é representado através de curvas.

A Figura 6 traz outro tipo de gráfico muito utilizado em estudos científicos para exibir informações de forma clara e . Este, mostra os percentuais de áreas irrigadas em cada região do Brasil.

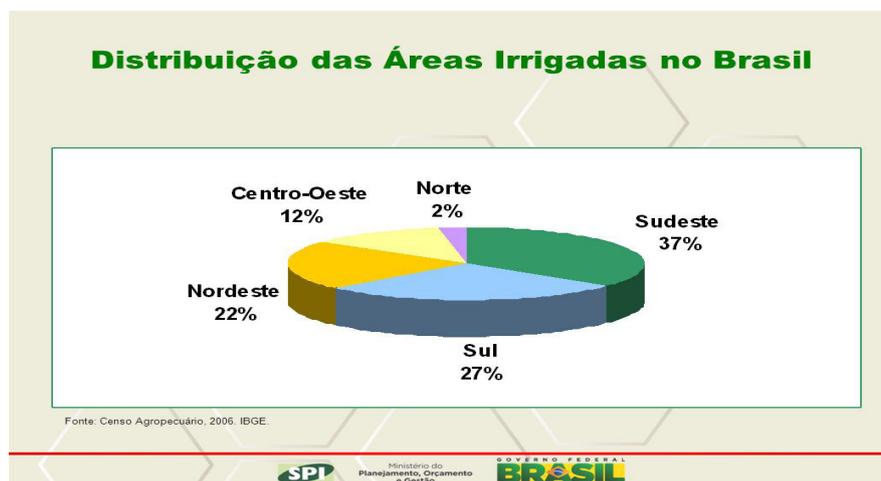
Em geral os gráficos são utilizados para expressar dados e informações de forma simples facilitando a interpretação e utilização dos mesmos.

Figura 5: Relação entre o pH no solo e a disponibilidade dos nutrientes no solo



Fonte: FUNDAÇÃO MS, 2008. Adaptado de Embrapa (2006).

Figura 6: Distribuição das áreas irrigadas no Brasil



Fonte: Centro Agropecuário 2016 IBGE

Sistema de Irrigação de Soja

No Brasil, a agricultura irrigada está presente em todas as regiões, especialmente onde há escassez de água, como é o caso da região do semiárido, ou onde ocorrem períodos prolongados de seca, como na região Nordeste e na região central do país. Uma das técnicas de irrigação que mais cresce no Brasil é a técnica do pivô central.

De acordo com LIMA (2004), o pivô central foi construído pela primeira vez em 1948. Em 1949, seu inventor, Frank L. Zybach, submeteu o invento para ser analisado e finalmente foi patentado em 1952, no Colorado, Estados Unidos. Sua eficiência na irrigação de culturas no Brasil e em outros países no mundo é incontestável, pelo fato de apresentar resultados satisfatórios de produtividade e controle na distribuição de água na cultura.

O uso da técnica de fornecimento de água para as plantas tem como objetivo:

1. Aumentar a produtividade;
2. Reduzir perdas na produção;
3. Minimizar os riscos climáticos e meteorológicos (seca e estiagem);
4. Auxiliar na aplicação de insumos.

Figura 7: Irrigação



Foto: Globo Rural

De acordo com a Embrapa, a irrigação por pivôs centrais (Figura 7) vem crescendo no país nas últimas três décadas, alcançando uma área de 1,47 milhões de hectares em 2017, o triplo do ano 2000. Desde 1985, o crescimento da área irrigada por meio desse mecanismo aumentou 47 vezes. Somente em sete anos (entre 2010 e 2017), a área irrigada por pivôs centrais cresceu cerca de 625 mil hectares.

Dezenas de culturas são irrigadas por pivôs, com áreas mais concentradas principalmente, nas culturas de soja e milho.

O pivô central é composto por inúmeros aspersores que possuem a função de regar as plantas com muita eficiência.

Um aspersor é um dispositivo de irrigação que permite que a água seja distribuída de forma uniforme em uma pequena parte do solo. A água é jorrada de sua ponta para os lados ou em um padrão de guarda-chuva com uma maior precisão.

A vasão de água de cada pivô pode ser controlada de acordo com as necessidades da cultura desenvolvida pelo agricultor, e para controlar a vasão são necessários cálculos matemáticos.

A seguir mostra-se como construir um pivô simples com capacidade para vinte litros de água.

Para a construção são necessários:
Um recipiente com capacidade de 20L;
Um cronômetro;
Uma calculadora.

1º passo: Acomoda-se o recipiente debaixo da torneira que fornecerá água ao aspersor. Abre-se a torneira, aciona-se o cronômetro até o recipiente encher. Quando o recipiente estiver cheio, o cronômetro será desligado. Suponha que leva cinco minutos, ou 300 segundos, para encher o recipiente.

2º passo: Divide-se o tempo(em segundos) que foi necessário para encher o recipiente pelo número de litros do recipiente (20 L). Seguindo o exemplo, seria 20L dividido por 300, que é igual a 0,066L. Multiplicando-se o resultado de 0,066L por 60, resultará em 4 minutos. Dessa forma calcula-se a vazão de água através dos aspersores presentes no pivô de irrigação que, neste exemplo, é de 4 litros por minutos (4 L/min).

A seguir, calcula-se a vazão diária de um pivô central de acordo com seus aspersores em função do tamanho da área destinada ao cultivo.

Suponha que área a ser irrigada possui um raio de 100m, e necessita de 2L de água por metro quadrado diariamente. Adotando os dados dos aspersores acima como referência, em quanto tempo essa água será distribuída utilizando 50 aspersores?

Para responder a esta pergunta o primeiro passo é descobrir o tamanho da área, e em seguida multiplicar por 2L, que é a quantidade de água exigido por metro quadrado. Utilizando a fórmula usada para calcular a área do círculo,

$$A = \pi r^2 = 3,14 \times 10^4 = 31.400 m^2,$$

encontra-se o tamanho da área. Multiplicando 31.400 por 2, conclui-se que, essa área terá um consumo de 62.800L/ dia.

De acordo com a análise feita com o aspersor, o mesmo possui vazão de 4L/min. Como estamos utilizando 50 aspersores no pivô central essa será de 200L/min.

Logo:

$$\begin{array}{r} 1 \text{ min} \quad \text{---} \quad 200 L \\ X \quad \quad \text{---} \quad 62.800 L \end{array}$$

Multiplicando os meios pelo extremos, constatamos que $X = 314 \text{ min}$, transformando os minutos em horas, concluímos que a área levará 5,2 horas para ser irrigada.

Quantos litros de água serão gastos durante um mês?

Para responder a esta pergunta basta multiplicar a quantidade de água consumida por dia (62.800L) pela quantidade de dias do mês (30).

Logo, serão gastos 1.884.000L/mês.

Cálculo de Áreas

Quando se pretende trabalhar com o solo pode-se deparar com qualquer tipo de solo.

Suponhamos que um produtor de soja pretende preparar uma área triangular com cada lado medindo 600m. Ele precisará saber qual o tamanho da área a ser preparada e qual a estimativa de produtividade dessa área.

Para calcular a área de um triângulo usa-se a fórmula $A = b \cdot h/2$, como os lados do terreno possuem a mesma medida, tem-se:

$$A = l^2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{4}.$$

Substituindo os valores abaixo, obtém-se:

$$A = 600^2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{4} = 360.000 \cdot \frac{\sqrt{3}}{4} = 90.000 \cdot \sqrt{3} = 155.700 \text{ m}^2$$

Logo, a área a ser cultivada é $A = 15,57 \text{ ha}$.

Na safra de soja colhida no Brasil no ano de 2018, a média foi 3.333 kg/ha. Com base nesse dado pode-se fazer uma estimativa de produtividade com relação a área preparada: $P = am = 15,5 \cdot 3.333 = 51,928 \text{ kg}$.

Modelo matemático para estimativa de produtividade da cultura da soja

Como visto anteriormente, os modelos matemáticos constituem ferramentas importantes para o aprimoramento de técnicas utilizadas na agricultura.

Em GOMES et. al (2014) os pesquisadores apresentam um modelo para a estimativa da produtividade de soja. Para a implementação do modelo foi necessário desenvolver procedimentos experimentais para a geração de dados necessários com a finalidade de calibrar e testar o modelo de simulação da extração da água do solo e a resposta em relação à cultura em estudo. Como resposta os pesquisadores obtiveram variações no crescimento e desenvolvimento da cultura da soja com a aplicação de diferentes estratégias de irrigação, resultando em uma variação na produtividade. O modelo de produção proposto foi capaz de simular satisfatoriamente o acúmulo de matéria seca total e a produção de grãos para a cultura em estudo.

Os pesquisadores adaptaram um modelo já existente que leva em consideração as características do solo, da atmosfera e da planta para acompanhar a extração de água no solo, e a resposta da produção da cultura sob diferentes manejos de irrigação. A equação utilizada para descrever as variações do potencial matricial da água no solo foi a seguinte:

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} C(\psi) = \frac{\partial}{\partial z} [k(\psi) \cdot \frac{\partial \psi}{\partial z} + k(\psi) - TR(\psi)]$$

em que:

$C(\psi)$ é a variação do potencial matricial em função da variação de umidade volumétrica do solo,

$TR(\psi)$ é a transpiração da planta em função do potencial matricial, cujo valor varia na profundidade z do solo e no tempo t ,

$k(\psi)$ é a condutividade hidráulica do solo não saturado.

A estimativa da transpiração real foi calculada por:

$$TR(\psi) = TP_{max} \cdot f_{TP} \cdot f_{SR} \text{ em que: } TP_{max} \text{ é a transpiração máxima (} mm \text{ dia}^{-1} \text{). A}$$

redução da taxa de transpiração, devido à redução do potencial matricial (ψ) na profundidade z e no tempo t , foi definida por:

$$f_{TP} = \frac{\psi(z, t) - \psi_{pm}(z)}{\psi_{cc} - \psi_{pm}(z)}$$

em que os potenciais $\psi_{cc}(z)$ e $\psi_{pm}(z)$ são os que correspondem à umidade do solo em capacidade de campo e a umidade do solo no ponto de murcha permanente na camada z ; e f_{SR} é uma função que representa a distribuição do sistema radicular no tempo e em diferentes profundidades no perfil do solo. A distribuição do sistema radicular, que representa a extração da água nas diferentes profundidades no perfil do solo, foi calculada por:

$$f_{SR} = \frac{g(z)}{\int_0^{Prz} g(z)}$$

em que: f_{SR} é a função do sistema radicular de profundidade Prz até a profundidade z . O valor da função $g(z)$ foi calculado por

$$g(z) = \frac{c \cdot (2z - Prz) + Prz}{Prz^2}$$

sendo c uma constante, em que se adotou o valor $-0,8$; Prz é a profundidade do sistema radicular, sendo calculada por:

$$Prz = a + \frac{b}{1 + e^{\frac{DAE-c}{d}}}$$

em que as constantes (a, b, c, d) foram determinadas por ajustamento aos dados da profundidade das raízes, medidos nas trincheiras abertas para essa finalidade no experimento no campo. A previsão de produção de grão da cultura de soja foi feita em função da produção de matéria seca da parte aérea da cultura e do índice de colheita. O modelo de produção de matéria seca da parte aérea da cultura pode ser separado em submodelo para a estimativa da produção potencial da cultura e submodelo para a estimativa da produção real da cultura.

A produção potencial diária de matéria seca (q_p), para um dia qualquer, em condições de campo, foi expressa por:

$$q_p = \frac{[\eta \cdot P_o + (1 - \eta) \cdot P_c] \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda \cdot IAF}{5}$$

em que: q_p ($kg\ ha^{-1}\ dia^{-1}$) e η é uma fração do dia em que o céu está nublado, P_o é a taxa de matéria seca para dias claros, ambos expressos em $kg\ ha^{-1}\ dia^{-1}$ e em função da latitude do local e da época do ano; α é o fator de influência da temperatura; β é a relação entre a massa seca total da planta com raízes; λ é o fator de respiração e IAF é o fator de área foliar.

$$\eta = 1,25 - \frac{0,625 \cdot R_s}{R_c}$$

O valor da fração do dia em que o céu está nublado foi determinado por na qual R_c é a radiação fotossinteticamente ativa na ausência da atmosfera ($MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$); R_s é a radiação solar global média ao nível do solo ($MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$), determinada através da estação de coleta de dados agrometeorológicos.

O fator de influência da temperatura (α) sobre a produção potencial diária foi obtido

$$\alpha = 1 - \frac{T_m - T_{Li}}{T_{Ls} - T_{Li}}$$

por meio da fórmula em que: T_{Li} refere-se a temperatura limite inferior, sendo considerada igual a $20^\circ C$ e T_{Ls} se refere à temperatura

limite superior, sendo igual a $35^\circ C$ para a soja. O fator de redução da produção devido à respiração (λ) foi considerado, neste estudo, igual a 0,30.

A relação entre a massa seca total da planta sem as raízes e a massa seca total da planta com as raízes, simbolizado por β , foi considerado, neste estudo, igual a 0,92.

O índice de área foliar, nos diferentes tratamentos, foi calculado por:

$$IAF = a \cdot e^{-0,5 \left(\frac{DAE-b}{c} \right)^2}$$

em que as constantes (a, b, c) foram determinadas por ajustamento aos dados do índice de área foliar medidos no campo. A produção potencial acumulada (Q_p)

, ao longo do ciclo de crescimento da cultura, foi estimada por $Q_p = \sum_1^n q_p \cdot \Delta t$ em que Q_p é obtido em $kg\ ha^{-1}$, n é o período de dias até a maturação da cultura (colheita) e Δt o período de 1 dia.

A estimativa da produção real diária de matéria seca da parte aérea de uma cultura, em função do número de dias, foi estimado por meio de:

$$q_R^j = \frac{q_p^j + A \frac{TR^j}{2\Delta e^j} - \frac{1}{2} \sqrt{\left(q_p^j + \frac{A \cdot TR^j}{\Delta e^j}\right)^2 - \frac{4(1-\epsilon) \cdot q_p^j \cdot A \cdot TR^j}{\Delta e^j}}}{2}$$

em que o termo q_r é expresso em $kg\ ha^{-1}\ dia^{-1}$, Δe é o déficit de pressão de vapor da água (hPa). Os valores de A e ϵ foram determinados na fase de calibração do modelo de simulação da extração da água do solo pelas raízes (transpiração) e da produção da cultura de soja.

A produção real acumulada Q_R foi calculada pela soma das produções diárias

durante todo o período, através da seguinte expressão: $Q_R = \sum_1^n q_R \cdot \Delta t$, em que: Q_R é obtido em $kg\ ha^{-1}$, n é o período de dias até a maturação da cultura (colheita) e Δt o período de 1 dia.

A produção de grãos com 13% de umidade da cultura (P_{cg}), obtida pelo modelo computacional, foi calculada por: $P_{cg} = 1,15 \cdot Q_R \cdot IC$, em que: Q_R é a

produção de matéria seca ($kg\ ha^{-1}$) e IC é o índice de colheita, determinado a partir dos dados dos valores obtidos no experimento de campo (modelo físico experimental) e 1,15 é o fator de correção da umidade do grão.

Considerações Finais

Como pode-se perceber a Matemática está presente em todas as etapas da produção de soja, desde a escolha e preparo do solo até a destinação final dos grãos e a venda dos produtos derivados. Estas atividades seriam impossíveis de serem realizadas de forma precisa sem a utilização correta de todas as ferramentas e mecanismos que a Matemática juntamente com as outras ciências proporcionam.

A Matemática é necessária para a obtenção de tecnologias que proporcionam o crescimento da produtividade além de muito necessária nas estimativas de gastos e obtenção dos recursos que serão empregados durante toda a temporada de produção. A parte financeira como custos, juros, lucros, vendas e compras são indispensáveis na produção de qualquer produto, na agricultura não é diferente. Um estudo bem elaborado não dispensa a utilização da Matemática em nenhuma de suas etapas.

Para a elaboração de modelos matemáticos, tão necessários para os estudos avançados, utiliza-se muitas equações e funções que podem descrever o comportamento do solo, do clima e demais variáveis envolvidas no processo de cultivo de uma lavoura.

Dessa forma, fica claro que o desenvolvimento da agricultura, em particular da cultura da soja, depende do desenvolvimento das tecnologias que por sua vez dependem do conhecimento matemático.

Referências

BASSANEZI, R.C. **Modelagem Matemática: teoria e prática**. São Paulo; Contexto; 2015.

BROCH, D.L, RANNO, S.K.; **Fertilidade do Solo, Adubação e Nutrição da Cultura da Soja**;

Tecnologia e Produção: Soja e Milho 2008/2009.

DALL'AGNOL, A. A; **Embrapa-Soja no contexto do desenvolvimento da soja no Brasil:** histórico e contribuições. Brasília, DF : Embrapa, 2016.

EMBRAPA; **Tecnologias de Produção de Soja-Paraná 2004;** Embrapa soja; Londrina; 2003.

EMBRAPA; **Recomendações Técnicas para a Cultura da Soja na Região Central do Brasil 1995/96;** Londrina; 1995.

GOMES, A. C. S et all; Modelo para estimativa da produtividade para a cultura da soja; Ciência Rural, Santa Maria, v.44, n.1, p.43-49; 2014.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO; O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro; Embrapa soja; Londrina; 2014.

IBGE; CONAB, o agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro, 2014. disponível em. <https://censos.ibge.gov.br>

IBGE;ConsoAgro2017; disponível em <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>

LAMAS F. M.; O papel do Engenheiro Agrônomo no mundo contemporâneo; Embrapa; 2017; disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/29084546>;

LIMA, L. A.; Irrigação via Pivô Central; disponível em <https://www.yumpu.com/pt/document/view/12763871/irrigacao-via-pivo-central-pdf-luiz-lima>; 2004.

Recebido em 27 de agosto de 2020.
Aceito em 15 de setembro de 2020.