

# Pesquisa Operacional aplicada a decisões de planejamento agrícola: um caso de programação dinâmica

Verona O. Montone<sup>1</sup>, Thiago G Péra<sup>2</sup>, Adriano LÊNIN<sup>2</sup>, José Vicente Caixeta-Filho<sup>2</sup>

<sup>1</sup> University of Florida, Department of Agricultural and Biological Engineering

<sup>2</sup> Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

vmontone@ufl.edu, {thiago.pera, adriano.lenin, jose.caixeta}@usp.br

**Abstract.** *Agricultural planning aids managing risks of production. It considers climate requirements from each crop which are used to classify regions into suitable or not for production. In addition, agricultural planning can also be used to estimate yield. The objective of this study was to maximize profit in a farm advising the best combination of crop types, area and timing to plant each crop. The methodology was developed using a programming model based on dynamic mathematic. The profitability was related to climate restrictions of temperature and water availability, and the price paid for each crop. The study of case was done for two farms located in Dourados (MS) and Barreiras (BA), in the central and northern parts of Brazil, respectively.*

**Resumo.** *O planejamento agrícola visa o gerenciamento do risco da produção, observando às exigências climáticas de cada cultura, podendo fazer previsões de aptidão ou inaptidão desta em uma dada localidade, bem como da quantificação da produtividade – buscando eficiência. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é desenvolver e aplicar um modelo de programação matemática dinâmica, envolvendo uma metodologia simples e prática para definição de escolhas de culturas agrícolas a serem plantadas, suas respectivas áreas e períodos de plantio e colheita, com a função de maximizar lucro, sujeito as restrições climatológicas (térmicas e hídricas). É realizado um estudo de caso para duas pequenas propriedades localizadas na região de Dourados (MS) e Barreiras (BA).*

## 1. Introdução

A meteorologia aplicada à agricultura, conhecida como agrometeorologia, é uma ciência que tem ganhado cada vez mais importância nas últimas décadas, quer seja pelas consequências do aquecimento global às lavouras, quer seja por sua aplicação direta no gerenciamento da propriedade rural. Neste caso, podem ser citadas como aplicações: o monitoramento do desenvolvimento da cultura, o manejo da irrigação, a determinação

da necessidade e das condições para aplicação de defensivos, a utilização de modelos para a estimativa da produtividade/quebra de safra e aptidão de uma cultura a uma região. O planejamento agrícola visa o gerenciamento do risco da produção, observando às exigências climáticas de cada cultura, podendo fazer previsões de aptidão ou inaptidão desta em uma dada localidade, bem como da quantificação da produtividade.

De forma concisa, o planejamento de áreas para plantio de culturas poderia ser realizado através de um modelo matemático de otimização, o qual teria como restrições as exigências climáticas de cada cultura comparadas com o clima do local, usando uma determinada área da propriedade em um determinado período de cultivo, tendo como objetivo maximizar a receita. Assim, são conciliados os fatores técnicos e econômicos, proporcionando ao produtor escolher o que cultivar com mais segurança e não simplesmente por conta de um dos fatores ou ainda por tradição.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é desenvolver e aplicar um modelo de programação matemática dinâmica, envolvendo uma metodologia simples e prática para definição de escolhas de culturas agrícolas a serem plantadas, suas respectivas áreas e períodos de plantio e colheita, com a função de maximizar lucro, sujeito as restrições climatológicas (térmicas e hídricas). É realizado um estudo de caso para duas pequenas propriedades localizadas na região de Dourados (MS) e Barreiras (BA).

## **2. Revisão de literatura**

O sucesso na atividade agrícola é atingido quando se combina a produção da safra obtida com fatores econômicos. Dessa forma, é fundamental que no início da atividade agrícola seja feito um correto planejamento de culturas, pois a partir dele será minimizado o risco de quebra da produção, uma vez que as exigências climáticas das culturas serão atendidas. Tal risco de quebra é elevado, estima-se que até cerca de 80% da variabilidade da produção agrícola é devida à variação nas condições do clima, especialmente em cultivos de sequeiro (Hoogenboom, 2000). Dentre as variáveis meteorológicas que compõem o clima, destacam-se a radiação solar, a temperatura do ar e a precipitação, as principais determinantes do desempenho das culturas em campo.

Stigter et. al (2000) mencionam a importância dessa ciência no século 21 através dos produtos que desenvolve, como os sistemas de alerta e monitoramento e previsão do tempo de médio a curto prazo, os serviços para auxiliar a redução do impacto dos desastres naturais, incluindo pragas e doenças, a previsão de mudanças climáticas na agricultura e o zoneamento agroclimático.

O planejamento agrícola é baseado nas condições climáticas de uma dada região, as quais representam médias dos últimos 30 anos, pelo menos, denominadas normais climatológicas (Pereira, Angelocci, & Sentelhas, 2002). Assim o planejamento auxiliará a responder questões tais quais: qual cultura deve ser produzida e qual a melhor época de implantá-la? Há riscos fitossanitários? É necessário irrigar? Enquanto aquela será como um ajuste do planejamento à condição específica de certa safra – não mais a condição normal – respondendo quando e quanto irrigar.

A modelagem matemática tem como objeto de análise a representação idealizada das diversas situações recorrentes no mundo real (Caixeta-Filho, 2001), que estão sujeitas a diversas restrições e diferentes agentes, o que pode gerar certa incerteza sobre os resultados a serem obtidos. Deste modo, a função da modelagem é representar de maneira representativa estas situações, levando em conta todos os fatores limitantes do

processo. Com isso, a junção dos aspectos técnicos da agrometeorologia e do preço pago pela cultura pode ser feita através de modelos de otimização, aumentando as chances de sucesso na atividade agrícola.

### 3. Material e métodos

#### 3.1. Especificação dos dados

Neste artigo, foi realizado um estudo de caso para duas propriedades de 100 hectares localizados na região de Barreiras (PA) e Dourados (MS).

Inicialmente, foram coletados os valores do lucro obtido por hectare de nove culturas agrícolas de importância, a partir dos dados de receitas e custos de produção publicados no Agriannual (2010).

As culturas estudadas são: Algodão, amendoim, batata, feijão, girasol, milho, soja, tomate e trigo.

Para os cálculos dos graus-dia acumulados (GDA), foram utilizados os dados normais de temperatura média mensal ( $T_m$ ), no período de 1961 a 1990 para a cidade de Barreiras – BA, e de 1972 a 1990 para a cidade Dourados – MS, disponíveis em trabalho de Sentelhas et al. Além das temperaturas médias mensais dos locais em questão, é necessário para os cálculos de graus-dia acumulados o valor da temperatura basal ( $T_b$ ) de cada cultura, ou seja, temperatura abaixo da qual a planta interrompe seu desenvolvimento (Monteiro, 2009). A fórmula para o cálculo dos graus-dias acumulados é apresentado por (Pereira, Angelocci, & Sentelhas, 2002).

$$GDA = (T_m - T_b) \times ND,$$

em que ND representa o número de dias no mês em questão.

Nesse sentido, foram realizadas os cálculos de GDA para cada cultura avaliada. É importante ressaltar que os valores de GDA para certo período “jk” são referentes ao acúmulo de graus-dia entre o mês j e o mês k.

Ainda em relação às variáveis climáticas de interesse, foram utilizados dados de precipitação mensal média, para o mesmo período citado anteriormente, para as duas localidades. A água é fator determinante para a produção das culturas, deste modo, estas possuem um limite inferior de água necessário para que complete seu ciclo, assim como um limite superior, já que o excedente hídrico também é um fator limitante na produção.

#### 3.1. Formulação matemática

Para a solução do modelo proposto, utilizou-se a técnica de programação inteira-mista, que é uma variação da programação linear.

As variáveis de decisão do modelo são relativas à definição de quais culturas plantar e colher em determinado mês, bem como o tamanho da área destas culturas, objetivando maximizar a receita.

$$LUCRO\ TOTAL = \sum_i^I Margem_i \cdot P_i.$$

Onde:

Conjunto I representa a cultura agrícola: algodão, amendoim, batata, feijão, girassol, milho, soja, trigo, tomate;

Conjunto J representa os meses de plantio: janeiro a dezembro;

Conjunto K representa os meses de colheita: janeiro a dezembro;

Margem  $i$  é o parâmetro relativo a diferença entre a receita e o custo de cada cultura  $i$  (lucro).

$P_i$ : é a variável do modelo relativa a proporção que cada cultura ocupará da área total, em hectares.

Sujeito aos seguintes blocos de restrições:

- A soma térmica da região em função da cultura  $i$  plantada no mês  $j$  e colhida no mês  $k$  deve atender as exigências desta cultura

$$\sum_j \sum_k GD_{ijk} \cdot X_{ijk} \geq GDA_i \cdot X_{ijk}, \quad \forall i \in I$$

Onde:

$GD_{ijk}$  é o parâmetro de graus-dias acumulado pela cultura no período entre plantio  $j$  e colheita  $k$  (soma térmica);

$GDA_i$  é o parâmetro de graus-dias exigidos pela cultura;

$X_{ijk}$  é a variável de decisão binária relativa a cultura  $i$  que será plantada no mês  $j$  e colhida no mês  $k$ .

- A precipitação da região em função do mês de plantio  $j$  e do mês de colheita  $k$  deve estar entre as exigências mínimas e máximas da cultura  $i$ :

$$\sum_j \sum_k PRECIP_{jk} \cdot X_{ijk} \geq PRECMIN_i X_{ijk}, \quad \forall i \in I$$

$$\sum_j \sum_k PRECIP_{jk} \cdot X_{ijk} \leq PRECMAX_i X_{ijk}, \quad \forall i \in I$$

Onde:

$PRECIP_{jk}$  é o parâmetro de precipitação ocorrida entre o período  $j$  e  $k$ ;

$PRECMIN_i$  é o parâmetro de precipitação mínima acumulada exigido para a cultura  $i$ ;

$PRECMAX_i$  é o parâmetro de precipitação máxima acumulada aceitável para a cultura  $i$ ;

- A área ocupada para cada cultura deve ser no máximo 50 hectares da área total, objetivando reduzir riscos de sinistros da produção agrícola.

$$P_i \leq 50, \quad \forall i \in I$$

$$P_i \leq \text{Área Total} \cdot \sum_j \sum_k X_{ijk}, \quad \forall i \in I$$

- A área total a ser ocupada pelas proporções de cada cultura, sendo 100 hectares o limite:

$$\sum_i P_i \leq \text{Área Total}, \quad \forall i \in I$$

- Escolha de um único período de plantio j e colheita k para cada cultura:

$$\sum_j \sum_k X_{ijk} \leq 1, \quad \forall i \in I$$

A programação matemática foi gerada para o software GAMS, utilizando o *solver* CPLEX, para esta técnica de programação inteira-mista.

#### 4. Resultados

Para as duas regiões trabalhadas, o modelo determinou que as culturas do feijão e do tomate deveriam ser cultivadas, cada uma ocupando 50 ha. É importante ressaltar que as culturas escolhidas apresentam os maiores valores de lucro/ha dentre as culturas trabalhadas, R\$ 1934,35 para o feijão e R\$ 4504,76 para o tomate, e como o objetivo é a maximização do Lucro Total, este foi o motivo para a escolha destas culturas pelo modelo, e para tal, as restrições impostas tiveram que ser obedecidas. A Tabela 1 ilustra os resultados de interesse.

**Tabela 1. Resultados do modelo**

<i>Variáveis de decisão</i>	<i>Fazendas</i>	
	<b>Barreiras (BA)</b>	<b>Dourados (MS)</b>
Culturas escolhidas	Feijão e Tomate	Feijão e Tomate
Proporção das áreas	50%; 50%	50%; 50%
Período de plantio	Tomate: Setembro; Feijão: Agosto	Tomate: Janeiro; Feijão: Dezembro
Período de colheita	Tomate: Dezembro; Feijão: Novembro	Tomate: Abril; Feijão: Fevereiro

Embora para a região de Barreiras tenham sido escolhidas as mesmas culturas para cultivo, o período determinado não foi o mesmo, devido às diferenças de temperatura e pluviosidade dos dois locais, conforme visualizado na Tabela 1.

O lucro obtido para o cultivo de 100 ha, para cada uma das regiões foi igual a R\$ 321.955,50, pois o preço estabelecido para as duas culturas são iguais para as duas localidades.

## 5. Conclusões

Nesse sentido, o objetivo de ilustrar uma metodologia de escolha de culturas e períodos de plantio e colheita, bem como dimensionamento de áreas com a função de maximização de lucros, respeitando as devidas limitações climáticas, foi atendido para um estudo de caso de duas fazendas. A aplicação desta metodologia ilustra a importância desse tipo de modelagem para o setor agrícola brasileiro, visando tomar decisões baseadas na maior eficiência produtiva, aproveitando recursos naturais.

Deste modo, foi possível concluir que as técnicas de otimização de processos, mais precisamente a programação linear, são uma ferramenta útil para o planejamento agrícola, pois podem auxiliar ativamente no planejamento da implantação da cultura no campo, fornecendo assim maior segurança ao produtor quanto às questões climáticas que interferem no cultivo. Portanto, a modelagem é uma ferramenta que pode orientar quanto à melhor época de cultivo, em função de séries históricas de dados climáticos gerados pelos órgãos competentes.

A implantação de certa cultura em um local é determinada pelas características do clima da localidade, portanto, é importante atentar-se para este fato, já que o cultivo em épocas inadequadas gera maior custo de produção, além dos riscos inerentes, como déficit hídrico acentuado e ocorrência de geadas. Assim, a escolha da época de cultivo das culturas utilizadas no modelo foi determinada pelas características locais. O uso de modelos simples de simulação das situações climáticas de certa localidade pode ser um elemento norteador para produtores rurais que buscam o aprimoramento técnico da produção, portanto os órgãos técnicos podem lançar mão deste artifício para a orientação técnica, com disponibilização de dados e simulações para culturas de importância econômica.

## 6. Referências bibliográficas

- Agriannual 2010. Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira. FNP Consultoria e Comércio, São Paulo, Brasil. 392 pp.
- Angelocci, L. R., & Sentelhas, P. C. Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações. Guaíba: Agropecuária. 2010. 478 p.
- Caixeta-Filho, J. V. Pesquisa Operacional: Técnicas de Otimização Aplicadas a Sistemas Agroindustriais. São Paulo: Editora Atlas, 2001. v. 1. 171 p.
- Hoogenboom, G. (2000). Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. *Agricultural and Forest Meteorology*, p. 137-157, 2000.
- Monteiro, J. E., Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Distrito Federal: INMET, 2009.
- Stigter, C. J., Sivakumar, M.V.K., Rijks, D.A. Agrometeorology in the 21st century: workshop summary and recommendations on needs and perspectives. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 103, p. 209-227, 2000.