

LEVANTAMENTO DE MODELOS MATEMÁTICOS DESCRITOS PARA A CULTURA DA CANA-DE- AÇÚCAR

COMPILATION OF MATHEMATICAL MODELS IN THE SUGAR CANE CULTURE

Fábio Cesar da Silva
Alessandra Fabiola Bergamasco
Embrapa Informática Agropecuária

RESUMO

O Brasil já foi líder mundial de produção de cana-de-açúcar e seus derivados, mas hoje a situação é diferente, pois países como Austrália, África do Sul, China, Malásia e Tailândia passaram a ser os maiores produtores de açúcar e de álcool. Este fato parece ser decorrente da falta de investimento em Pesquisa e Desenvolvimento. Uma ferramenta muito importante para o estudo do crescimento da cultura canavieira é o uso de modelagem matemática, a qual permite a descrição de todo o processo evolutivo do sistema, e permite, ainda, a simulação de situações que tornam possível a tomada de decisões antes do começo do plantio, obtendo-se o melhor resultado possível. Neste estudo, foi realizado um levantamento de alguns modelos matemáticos e softwares que são utilizados na cultura da cana-de-açúcar, visando a um melhor conhecimento dessa área, ainda pouco explorada no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: modelo matemático, ferramenta computacional, cana-de-açúcar

INTRODUÇÃO

O Brasil foi, há pouco tempo, líder mundial no cultivo da cana-de-açúcar, como também, na produção de açúcar e álcool combustível, mas hoje, para indignação de todos os brasileiros, está importando açúcar e a produção de álcool mal dá para a mistura da gasolina. Países como a Austrália, África do Sul, China, Malásia e Tailândia passaram a ser os maiores produtores de açúcar e de álcool. Até nos EUA a agroindústria da cana-de-açúcar é hoje de grande valor econômico e estratégico (MATSUOKA, 2000). O motivo para ter ocorrido essa inversão de hegemonia é simples: segundo os analistas do setor, foi causado pela falta de investimento em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D).

O manejo ambiental na cultura da cana-de-açúcar vem exigindo a previsão do comportamento em produção e risco ambiental em vários níveis de controle na lavoura canavieira, desde formas de manipulação do solo, profundidade e densidade de plantio, irrigação, controle da maturação, pragas e doenças, etc.

Uma ferramenta importante para descrevermos o processo evolutivo da cultura da cana-de-açúcar é a construção de Modelos Matemáticos que possibilitam o estudo de sistemas reais complexos, os quais exigem modelos com integração coerentes, banco de dados contendo informações experimentais e edafo-climáticas, além da previsão do potencial genético de cada variedade, isto é, permite-se prever as produtividades de variedades de cana-de-açúcar previamente calibradas em ensaios de campo em alocações em vários ambientes. Bassanezi e Ferreira Junior (1988) definem Modelo Matemático como um sistema de equações obtido da análise e abstração de situações-problemas com a devida escolha das variáveis e suas relações. A informatização de processos de suporte a decisões, em especial pelo emprego de Modelos Matemáticos, pode minimizar riscos ambientais, reduzir custos de produção e proporcionar maior sustentabilidade ao planejamento agrícola. Esses modelos têm contribuído para o melhor conhecimento dos mecanismos fisiológicos da cultura, devido ao fato de essa modelagem ser evoluída de forma acumulativa e gradual, na medida em que avança a experimentação

agrícola. Desse modo, os parâmetros mais importantes relacionados a operação de plantio são melhor conhecidos.

Objetivos da construção de modelos matemáticos para a cana-de-açúcar

- estimativa de crescimento e rendimento agrícola potencial;
- descrição do comportamento de elementos (metais e nutrientes), ao longo do caminho solo-raiz-parte aérea da cana-de-açúcar;
- visualização das melhores alternativas de manejo e de uso do solo, de aplicações de insumos na lavoura sobre a produtividade da cana-de-açúcar, considerando-se a análise de seus impactos ambientais, utilizando-se de antevisão para criação de vários cenários possíveis, tudo isso a um baixo custo e em tempo reduzido;

Simulação de situações de gerenciamento agrícola que têm atuação sobre fatores relevantes para a produtividade do canavial, para, assim, controlá-lo da melhor maneira possível.

Os modelos já existentes podem, também, ser associados a outros modelos, chegando-se, assim, ainda mais perto da realidade da produção da cana-de-açúcar.

REVISÃO DE LITERATURA

Modelo, definição e classificação

De um modo geral, um modelo é a representação de um sistema em determinada forma de linguagem, não necessariamente a linguagem matemática. A escolha da forma de descrição mais fidedigna à representação pretendida do sistema está diretamente associada aos interesses envolvidos no estudo por modelagem, e os modelos podem ser:

- Modelos conceituais: apresentam de forma objetiva, clara e ordenada as considerações pertinentes a um problema em estudo. Possibilitam uma visão holística do problema, relacionando as várias áreas do conhecimento envolvidas na sua descrição. Os requisitos básicos para sua elaboração são: conhecimento amplo do assunto, clareza e objetividade da finalidade de elaboração do modelo e da definição das variáveis a serem representadas (PESSOA et al., 1997). Os modelos conceituais constituem a fase primordial para estruturar o conhecimento científico sobre os processos envolvidos no crescimento das culturas. Quando esse modelo conceitual se converte em forma matemática, é dito mecanístico, ou baseado em mecanismo.

- Modelos físicos: são modelos de sistemas de produção, relativamente rígidos, que respeitam as condições em que foi formulada sua proposta prática. Neles, geralmente se mantêm escalas proporcionais à do sistema real. A partir desses modelos, projetados teoricamente, mas possuidores de hipóteses claramente definidas, identificam-se possíveis problemas do sistema real (BREISSAN, 1994).

- Modelos matemáticos: são descrições construídas em linguagem matemática, mediante simplificações do sistema (ENGEL, 1984), sendo representados por: componentes, variáveis, parâmetros e relações funcionais (NAYLOR et al., 1977). Podem ser classificados em:

a) Modelos determinísticos: também conhecidos como não probabilísticos. Não permitem que as variáveis sejam aleatórias. Além disso, suas características operacionais devem ser relações exatas, e não funções de densidade de probabilidade (NAYLOR et al., 1977).

b) Modelos estatísticos: estes modelos não levam em conta a atuação da variável tempo em nenhuma das entidades do sistema. Na maioria das vezes são completamente determinísticos, com soluções normalmente obtidas diretamente da utilização de técnicas analíticas. As variáveis que definem o sistema não são dependentes do tempo e nem do espaço (PESSOA et al, 1997). Os modelos estatísticos são considerados empíricos, pois vêm de um conjunto de dados experimentais baseados em probabilidade.

c) Modelos estocásticos ou probabilísticos: possuem pelo menos uma de suas características operacionais dada por uma função de probabilidade. São consideravelmente mais complexos que os determinísticos, pois descrevem processos aleatórios, como a distribuição espacial de indivíduos.

d) Modelos dinâmicos: as variáveis modificam-se com o tempo, tornando-o um fator de grande importância na sua representação. Nesses modelos, o tempo é representado de duas formas: discreta ou contínua (PESSOA et al., 1997).

As características próprias de cada elemento do sistema, as quais individualizam e, portanto, o diferenciam de outros elementos, recebem o nome de atributos, que podem ser divididos em parâmetros e variáveis. Parâmetros, geralmente, são valores constantes, previamente estabelecidos para o funcionamento do sistema (PESSOA, 1994). Variáveis são atributos necessários para descrever as interações entre as entidades do sistema, relacionando um componente a outro. Podem descrever entidades ou variáveis auxiliares aos cálculos necessários. Recebem esse nome porque podem sofrer alterações nos valores das entidades que representam.

Metodologia da modelagem matemática aplicada à cana-de-açúcar

Para permitir um manejo varietal direcionado é de importância vital possuir um adequado conhecimento do comportamento agrícola e tecnológico das variedades comerciais exploradas (TSUJI; UEHARA; BALAS, 1994). O uso de banco de dados possibilita o armazenamento estável de vários indicadores que permitem conhecer com precisão e agilidade as complexas interações dos diversos fatores responsáveis pela maturação da cana-de-açúcar: variedade, solo, clima, nível de adubação, época de corte, manejo, estado de sanidade da cultura, etc.

A metodologia proposta por Bassanezi e Ferreira Junior (1988), para o processo de modelagem matemática, aborda inicialmente o estudo de problemas e situações reais, buscando um tema de grande relevância. A partir desse estudo, a modelagem matemática é usada como linguagem para compreensão, simplificação e resolução desse sistema complexo, por meio da devida escolha das variáveis e suas relações; e formulação de hipóteses ou “leis”, baseadas em conhecimentos de fenômenos análogos anteriores, visando a uma possível tomada de decisão com relação ao problema levantado, entendendo-se da melhor maneira possível o fenômeno biológico. A substituição de linguagem natural por uma linguagem matemática específica é a fase da resolução, e seu estudo depende da complexidade do modelo. Se os argumentos conhecidos não são eficientes, podem ser criados novos métodos, ou reformular-se os modelos.

Para aceitação ou negação do modelo inicial, existe a fase da Validação, que consiste na comparação da solução obtida via Resolução do Modelo com os dados reais, obtidos em experimentos (BASSANEZI; FERREIRA JUNIOR, 1988). O grau de aproximação desejado será o fator preponderante na decisão, e o principal obstáculo para a aceitação de um modelo é sua praticidade. Ele deve envolver novos resultados práticos e justificar as hipóteses ou intuições. A busca do aperfeiçoamento dos modelos propostos é o que dinamiza a modelagem.

Após a aceitação do Modelo, ele será aplicado na situação real, para fazer previsões, tomar decisões, explicar e entender o fenômeno numa linguagem universal, enfim, participar do processo com capacidade de influenciar em suas mudanças.

Segundo Tsuji, Uehara e Balas (1994), ao se ajustar modelos, os seguintes cuidados devem ser levados em conta: os experimentos de campo e de laboratório devem obedecer critérios estatísticos rigorosos para evitar erros que poderiam comprometer os resultados das simulações; efetuar controle de qualidade, com a análise prévia no tratamento dos dados; observar critérios estatísticos para o teste de modelos, incluindo: análise de variância e teste F, análise gráfica de resíduos, coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e erro padrão da estimativa (s_{yx}).

Na etapa de validação, segundo Tsuji, Uehara e Balas (1994), os modelos ajustados devem ter sua eficiência testada com dados de outros experimentos que não compuseram o conjunto de valores utilizados nos ajustes e, também, com dados de plantios comerciais. Assim, pode-se verificar sua precisão e acurácia, inclusive para outras regiões. Está incluída neste item a comparação de equações ajustadas para locais e épocas diferentes. Recomenda-se, para a eficiência do processo: observar critérios estatísticos que envolvam a análise dos resíduos, obtidos da diferença entre os valores observados nos novos experimentos e os valores estimados pelos modelos ajustados baseados nos experimentos originais; aplicar, além dos métodos utilizados para a avaliação do ajuste de modelos, testes mencionados no item anterior, ferramentas não paramétricas, como o teste de Kolmogorov-Smirnov e teste de X^2 ; se for o caso de se comparar equações baseadas em um mesmo modelo, mas ajustadas em épocas ou locais diferentes, recomendam-se testes de paralelismo e coincidência.

Modelos matemáticos e softwares de simulação descritos para a cana-de-açúcar

a) *DSSAT “Decision Support System for Agrotechnology Transfer”* - descrito por ICASA “International Consortium for Agricultural Systems Applications” (Honolulu/USA).

O software de simulação numérica DSSAT é um poderoso instrumento para fazer previsões de crescimento das culturas e de estimativa de suas produtividades, tomando por base dados climáticos, teores de nutrientes e balanço de água no solo, cujo módulo referente à cana-de-açúcar é derivado do modelo GROPGRO. Todos os modelos desenvolvidos e inseridos no software DSSAT enquadram-se na categoria de modelos de mecanismos (JONES; MISHOE; BOOTE, 1987), que, ao contrário dos empíricos, fundamentam-se no conhecimento que detalham e selecionam os processos-chave envolvidos no sistema solo-planta-água (BARBER; CUSHMAN, 1981). O DSSAT 3.5 possui 16 módulos de culturas distribuídos da seguinte forma: gramíneas (trigo, cevada, milho, milheto e sorgo); arroz; leguminosas (soja, feijão, amendoim e grão-de-bico); raízes e tubérculos (mandioca e batata); vários (cana de açúcar, tomate, pastagem e girassol).

Os dados de clima mínimos necessários para os modelos incluídos no DSSAT são: radiação solar (ou horas de brilho solar), importante para uma estimativa precisa da fotossíntese e evapotranspiração; temperatura do ar (máxima e mínima), importante na determinação da taxa de crescimento da planta, e auxilia na avaliação de estresses a extremos de temperatura e a outros processos de solo e planta e precipitação (principal suprimento de água para as culturas).

Os dados de solos necessários para os modelos incluídos no DSSAT são: classe, família, cor, albedo, evaporação, drenagem, escoamento superficial, mineralização, fotossíntese, pH, fósforo e potássio, além de dados de localização, latitude, altitude e longitude.

b) *Modelo CANEGRO* - descrito por Inman-Bamber, 1993

O modelo sugarcane do software DSSAT foi baseado no CANEGRO. É um híbrido do CERES com o CROPGRO. Simula a fisiologia, dinâmica de populações e relações hídricas na planta, existindo 3 opções para cálculo da evapotranspiração potencial. O modelo requer, para os cálculos, a velocidade diária do vento e informações sobre a temperatura, além de outros dados exigidos pelo DSSAT.

Um esboço do modelo CANEGRO é dado na Figura 1, que mostra que carbono, energia e água estão explicados dentro de 3 balanços separados. As trocas importantes entre esses três balanços ocorrem na relação da água da raiz/solo (A) e na relação dossel/atmosfera (B). O estresse hídrico ocorre quando a quantidade de água requerida para equilibrar o balanço de energia excede a quantidade que as raízes podem absorver. O dossel é envolvido em todos os três balanços.

c) *Modelo Matemático-Fisiológico de estimativa de produtividade* - descrito por BARBIERI, 1993

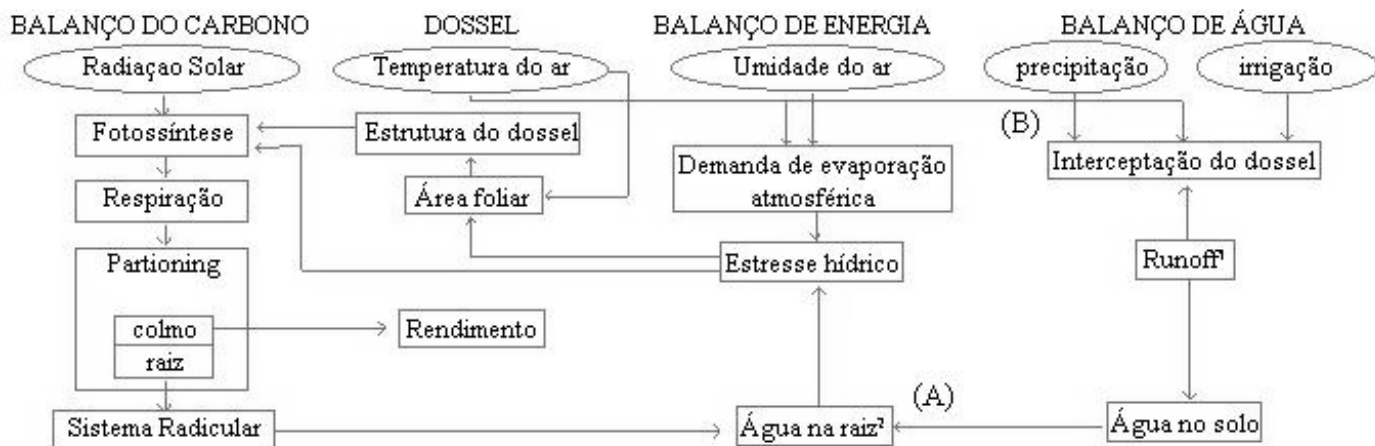


FIGURA 1 – Fluxograma do modelo CANEGRO, extraído de: INMAN-BARBER (1993)

Esse modelo utilizou medidas regulares de elemento clima para fornecer informações sobre o desempenho da cultura, especialmente o acúmulo de matéria seca durante o ciclo. Os resultados desse estudo consideraram um conjunto de critérios e funções requeridas para prever a evolução temporal dos estágios

fenológicos, tais como: a germinação e estabelecimento, a formação do aparato fotoassimilatório (folhas), a renovação das folhas (formação de palhas), a morte dos colmos por competição, e o acúmulo de matéria seca, considerando as variações da fotossíntese e da respiração. Os elementos de clima utilizados foram insolação e temperatura do ar, juntamente com dados astronômicos como fotoperíodo e a radiação no topo da atmosfera. A disponibilidade de água foi considerada ideal, pois o modelo simula a produção potencial.

O modelo é composto de uma série de equações que descrevem o comportamento fisiológico da planta em resposta às condições ambientais, e as constantes das equações foram obtidas adaptando-se os resultados de pesquisas disponíveis na literatura. A equação de acúmulo potencial da matéria seca foi:

$$MST = MS_0 \cdot Cr^N + MS \cdot (Cr^N - 1) / (Cr - 1)$$

onde:

MST = matéria seca acumulada no fim do mês em questão (kg/ha);

MS₀ = matéria seca existente no início do mês (kg/ha);

MS = matéria seca média mensal produzida por dia (kg/ha);

N = número de dias no mês;

Cr = Coeficiente de respiração de manutenção (termo subtrativo);

$Cr = 1 - r_{max} \cdot Cr(t) \cdot Cr(i)$, onde:

$r_{max} = 0,023 \text{ g/g} = \text{respiração máxima}$;

Cr(t) = correção da r_{max} em função da temperatura;

Cr(i) = correção da r_{max} em função da idade da planta.

d) *Modelo Matemático de Balanço de Carbono - descrito por PEREIRA, 1987*

Pereira (1987) descreveu um modelo matemático-fisiológico para simular diariamente o balanço de carbono de uma comunidade vegetal (simula uma condição média da cultura, e não de plantas individuais). O modelo utiliza conceitos de respiração de crescimento e de manutenção, integrando-os com a fotossíntese no processo de crescimento da cultura, simulando a massa seca dos colmos e das folhas, especulando-se, de maneira quantitativa, os destinos do carbono após sua fixação pelas plantas, numa cultura de cana-de-açúcar.

Pereira (1987) integrou três processos que normalmente são estudados em separado, crescimento, fotossíntese e respiração, em uma única equação, em torno da qual foi idealizado o modelo matemático do crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, cuja equação é:

$$\Delta W / \Delta t = Y * (Fb - \Delta S_m / \Delta t), \text{ onde:}$$

DW = fitomassa, e DW/Dt = taxa de crescimento da planta;

Y = eficiência de conversão;

Fb = fotossíntese bruta;

DSm/Dt = taxa de respiração de manutenção.

Foi construída uma equação de ajuste (Fi) que corrige o valor de Fb para níveis reais compatíveis com as condições reinantes durante o dia considerado:

$$Fi = FRAD * FTEMP * FIAF * FIDADE * FUR,$$

onde:

FRAD = fator radiação solar;

FTEMP = fator temperatura; $FTEMP = 0,053T - 0,59$, onde $t = (2T_{max} + T_{min})/3$

FIAF = fator índice de área foliar; $FIAF = EXP(0,131 - 0,14 IAF)$

FIDADE = fator idade da cultura; $FIDADE = EXP(0,0881 - 0,891 XIDADE)$, onde,

XIDADE = relação entre a idade da cultura e o período plantio- colheita

FUR = fator umidade relativa; $FUR = 0,01UR$, onde UR = umidade relativa.

Então, a equação para estimar a taxa diária de fotossíntese bruta (Fb) da cultura foi:

$$Fb = Fb_{max} * IAF * FLUZ * Fi, \text{ onde:}$$

Fb_{max} = representa a taxa máxima possível para a cultura de fotossíntese bruta;

IAF = índice de área foliar da cultura, e representa o tamanho do aparelho fotossintetizante;

FLUZ = é a razão entre o comprimento do dia e da noite;

Fi = representa os fatores de ajustamento.

e) *Modelo de acúmulo de matéria seca - descrito por Inman-Bamber; Thompson 1989 (South African Sugar Association Experiment Station).*

Foram utilizados dois modelos, para entendimento dos efeitos da idade e do clima na produção de matéria seca da cana-de-açúcar, utilizando-se água e fertilizantes em quantidades adequadas. Os modelos de respiração e fotossíntese foram desenvolvidos com base em considerações obtidas na literatura, sendo o primeiro, descrito por Lorber et al. (1984), chamado de “The Lorber model”:

$$dW/dt = (Pg - (Rm \cdot W)) \cdot (1 - Rgr),$$

onde:

W = total de massa seca da cultura, incluindo a raiz (t/ha);

dt = intervalo de tempo;

Pg = fotossíntese bruta (t CH₂O/ha);

Rgr = respiração de crescimento, cujo valor utilizado foi de 0,242 g/g;

Rm = respiração de manutença, cujo valor utilizado foi de 0,003 g/g;

Sendo que,

$$Pg = \epsilon \cdot L_i \cdot PAR \quad \text{e} \quad L_i = 1 - e^{-k \cdot LAI}, \text{ onde:}$$

ϵ = eficiência da fotossíntese bruta;

PAR = escala de radiação fotossintética ativa;

LAI = índice de área foliar;

K = coeficiente (variou de 0,4 a 0,7 de acordo com JONES, 1985).

O segundo modelo, chamado “Glover model”, é a combinação do modelo de respiração de Glover (1972) com o modelo de fotossíntese Ceres-Maize (JONES; KINIRY, 1986), cujo modelo resultante é o seguinte:

$$Q_t = 1 - 0,0025 \cdot ((0,25T_{min} + 0,75 T_{max}) - 26)^2$$

Q_t = coeficiente de estresse de temperatura;

T_{min} = temperatura mínima;

T_{max} = temperatura máxima.

Esse modelo demonstrou um decréscimo linear, partindo de 8,8% (máxima eficiência fotossintética assumida) até 6,2%, entre as idades da cultura de 6 e 15 meses, de acordo com os dados estudados (KORTSCHAK; FORBES, 1969).

f) *Modelos Modulares - descrito por International Consortium for Agricultural Systems Applications – ICASA (Honolulu-USA)*

Na tentativa de desenvolver ou identificar um modelo mais eficaz, foram adicionados componentes novos aos modelos de crescimento de culturas, com o objetivo de expandir potencialidades, tornando estes cada vez mais complexos. Isso gerou a necessidade de uma estrutura modular para os modelos das culturas de tal forma que os novos componentes pudessem ser adicionados, modificados e mantidos com esforços mínimos.

Essa aproximação modular permite:

- Facilidade e habilidade de integrar o conhecimento das diferentes áreas de conhecimento (climatologia, solos, fisiologia vegetal, entre outras), melhorando assim a potencialidade da previsão dos modelos;
- Contribuições de muitos autores;
- Flexibilidade maior nos modelos, com os módulos que estão sendo adicionados, modificados ou substituídos, com pouco impacto ao programa principal ou a outros módulos;
- Extensão da vida e da utilidade dos modelos de simulação.

O modelamento apresentado é baseado nos métodos reportados por Kraalingen (1995) e usados extensivamente nos modelos de FSE/FST desenvolvidos por pesquisadores da Universidade de Agricultura de Wageningen. Foi adaptado pela Universidade da Flórida e usado para descrever modelos no Fortran e nas outras linguagens de computador. Esse estudo está sendo usado para reprogramar e documentar o modelo CROPGRO, o que inclui a aplicação dos módulos para a fisiologia, balanço de água no solo, crescimento da cultura, tempo, balanço da matéria orgânica no solo e do nitrogênio e danos dos pesticidas.

g) *Modelo de Transferência de metais pesados no sistema solo-cana-de-açúcar sob adubação de composto de lixo urbano - descrito por SILVA et al., 2000 (Embrapa Informática Agropecuária)*

Foi construído um modelo matemático, com base nos modelos compartimentais, para descrever a transferência dos metais pesados durante o caminho: composto de lixo-solo-raiz-parte aérea da cana-de-açúcar. O objetivo foi encontrar soluções agrônomicas para o problema do acúmulo de lixo urbano, que traz sérios riscos ambientais e sociais no Brasil, utilizando-o como adubo na cana-de-açúcar, após sua compostagem.

O modelo proposto foi:

$$\begin{aligned} \frac{dM_1}{dt} &= -\lambda \cdot M_1 - \alpha \cdot M_1 \\ \frac{dM_2}{dt} &= +\alpha \cdot M_1 - \beta \cdot M_2 \\ \frac{dM_3}{dt} &= +\beta \cdot M_2 \end{aligned}$$

M_1 → concentração do metal pesado no solo no instante t;

M_2 → concentração do metal pesado na raiz no instante t;

M_3 → concentração do metal pesado na parte aérea da cana-de-açúcar no instante t;

λ → velocidade do decaimento do metal pesado (taxa constante);

α → taxa de translocação do metal do solo para a raiz (taxa de absorção da raiz);

β → taxa de translocação do metal da raiz à parte aérea (proporcional à taxa de absorção da raiz)

h) *Modelo de Crescimento de Índice de Área Foliar (IAF) de cana-de-açúcar - descrito por TERUEL, 1995*

O primeiro passo para utilização deste modelo de crescimento com base no índice de área foliar foi o cálculo dos valores de graus-dia para cada período de 24 horas, por meio dos dados de temperaturas máximas, mínimas e temperatura base.

Ajustaram-se os valores medidos à função:

$$Y = a * x^b * e^{cx}$$

Onde, Y = IAF no momento; $x = \sum_{cor} \text{Graus-Dias}$ e a, b e c = parâmetros de ajuste.

DISCUSSÃO

Embora em outros países seja comum o uso de modelos matemáticos e simuladores na pesquisa agropecuária, no Brasil essa prática ainda é pouco utilizada. Segundo Pessoa et al; (1997), o descrédito no uso de modelos está associado a uma visão reducionista, imposta à sua fase de elaboração, descrevendo modelos que não refletem a realidade encontrada no campo, à falta de técnicas matemáticas mais apropriadas e à ausência de informações qualitativas e quantitativas.

Inman-Bamber e Thompson (1989) concluíram que os modelos apresentaram resultados satisfatórios de acúmulo de matéria seca da cana-de-açúcar irrigada da África do Sul, com base em medidas de radiação e temperatura. O modelo de Lorbel está sendo, atualmente, preferido ao modelo de Glover, devido ao fato de fornecer dados mais aproximados às medidas de campo e, também, devido ao fato de ser mais simples.

Os modelos aqui apresentados foram validados e podem ser usados na predição do comportamento da cana-de-açúcar, mas esses modelos são específicos para as condições em que foram experimentados. O modelo Sugarcane, que se encontra no software DSSAT, é um modelo mais amplo, que permite alterações nas condições ambientais, solo e genéticas, através de seu código fonte, mas ele precisa ser adaptado e validado por inúmeros dados resultantes de pesquisas, principalmente em condições brasileiras, pois os poucos resultados produzidos no mundo são praticamente da Austrália e da África do Sul. As dificuldades são grandes, pois o Sugarcane é limitado e deficiente em alguns pontos, além de serem poucos os pesquisadores que estudam modelagem em cana-de-açúcar no país.

ABSTRACT

Brazil has already been the world main producer of sugar cane and alcohol, but nowadays countries as Australia, South Africa, China, Malaysia and Thailand are the leadership. This fact seems to be the result of a lack of investment in research and development. A very important tool to study the sugar cane cultures growth is mathematical modeling, which allows the description of the whole evolutionary system process and the situational simulation. This tool enables to take a decision before the beginning of cultivation to get a better result. Since this area is not very explored in Brazil, this paper goal is to get a better knowledge in some mathematical models and software used in the sugar cane crop.

KEY-WORDS: mathematical model, computational tool, sugar cane.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBER, S. A.; CUSHMAN, J. H. Nitrogen up take model for agronomic crops. In: Modeling Waste Water renovation – Land Treatment. 1. ed. New York: K. Iskardr. Wiley – interscience, 1981. p. 382-409.

BARBIERI, V. *Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (Saccharum spp.): um modelo matemático-fisiológico de estimativa*. 1993. 142 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - ESALQ, Univeridade de São Paulo, Piracicaba.

BASSANEZI, R. C; FERREIRA JUNIOR, W. C. *Equações Diferenciais com aplicações*. Harbra, 1988. 572 p.

BRESSAN, M. *Desafios para a pesquisa de sistemas pecuários: workshop sobre modelos físicos de sistemas de produção*. Coronel Pacheco: EMBRAPA – CNPGL, 1994. 26 p.

ENGEL, A. B. *Introdução à Biomatemática determinísta dos sistemas ecológicos*. Campinas: CNMAC/Editora da UNICAMP, 1984. 173p. (CNMAC. Minicurso, 6).

ICASA – International Consortium for Agricultural Systems Applications. Site: www.icasanet.org/ modular

INMAN-BAMBER, N. G. *Temperature and seasonal effects on canopy development and light interception of sugarcane*. Field Crops Research, 36, p. 41-51, 1993.

INMAN-BAMBER, N. G; THOMPSON, G. D. Models of dry matter accumulation by sugar-cane. *Proc. S. Afr. Sug. Technol. Ass.* n. 63, p. 212-216, 1989.

JONES, J. W.; MISHOE, W. K; BOOTE, L. *Introduction to simulation and modeling*. In: The Seminar/Workshop on Computer Crop Simulation and Data Base management for Agrotechnology Transfer,

coord. Food & Fertilizer Thecnology Center, national Chung Hsing Universityand IBSNAT/USAID. Taaiwan, 1987. 21 p. (FFTC. Technical Bulletin, 100).

KORTSCHAK, H. P; FORBES, A. The effects of shade and age on the photossynthesis rate of sugarcane. *Prog. Photosynth. Res.* n. 1, p. 383-387, 1969.

KRAALINGEN, D.W.G. Van. The FSE system for crop simulation, version 2.1. Quantitative Approaches in Systems Analysis Report no. 1. DLO Research Institute for Agrobiology and Soil Fertility, Production Ecology, Wageningen. 1995.

MATSUOKA, S. “Crack” do setor Sucroalcooleiro. STAB, v.18, n.4. p. 22-23, 2000.

NAYLOR, T. H. et al. *Técnicas de Simulação em computadores*. São Paulo: Vozes, 1977. 402 p.

PEREIRA, A. R. Simulação do crescimento e da produtividade. In: VIEGAS, G. P. *Simpósio sobre manejo de água na agricultura*. Fundação Cargill: Campinas. 1987. p. 200-209.

PESSOA, M. C. P. Y. *Simulação e Inteligência Artificial aplicadas ao estudo da dinâmica populacional do bicudo do algodoeiro na região de Campinas/SP*. Tese (Doutorado) - EEE - DENSIS Universisade de Campinas, Campinas.

PESSOA, M. C. P. Y. et al. *Principais Modelos Matemáticos e Simuladores utilizados para análise de impactos ambientais das atividades agrícolas*. Jaguariúna: Embrapa – CNPMA, 1997. 83p. (Embrapa – CNPMA. Documentos, 8).

TSUJI, G. Y.; UEHARA, G.; BALAS, S. *DSSAT version 3*. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, 1994. 163p.