

Padrões mínimos para coleta de dados experimentais para estudos sobre crescimento e desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Informática Agropecuária
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 127

Padrões mínimos para coleta de dados experimentais para estudos sobre crescimento e desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar

*Daniel Silveira Pinto Nassif
Fábio Ricardo Marin
Leandro Garcia Costa*

Embrapa Informática Agropecuária

Av. André Tosello, 209 - Barão Geraldo
Caixa Postal 6041 - 13083-886 - Campinas, SP
Fone: (19) 3211-5700 - Fax: (19) 3211-5754
www.cnptia.embrapa.br
cnptia.sac@embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *Silvia Maria Fonseca Silveira Massruhá*

Membros: *Adhemar Zerlotini Neto, Stanley Robson de Medeiros Oliveira, Thiago Teixeira Santos, Maria Goretti Gurgel Praxedes, Adriana Farah Gonzalez, Neide Makiko Furukawa, Carla Cristiane Osawa*

Membros suplentes: *Felipe Rodrigues da Silva, José Ruy Porto de Carvalho, Eduardo Delgado Assad, Fábio César da Silva*

Supervisor editorial: *Stanley Robson de Medeiros Oliveira, Neide Makiko Furukawa*

Revisor de texto: *Adriana Farah Gonzalez*

Normalização bibliográfica: *Maria Goretti Gurgel Praxedes*

Editoração eletrônica/Capa: *Diana Breitenbach*

Imagem da capa: <http://www.hcbe.net/tsc/technology-services-center.aspx>

Secretária: *Carla Cristiane Osawa*

1ª edição on-line 2013

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Embrapa Informática Agropecuária

Nassif, Daniel Silveira Pinto.

Padrões mínimos para coleta de dados experimentais para estudos sobre crescimento e desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar / Daniel Silveira Pinto Nassif, Fábio Ricardo Marin, Leandro Garcia Costa. - Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2013.

28 p. : il. ; (Documentos / Embrapa Informática Agropecuária, ISSN 1677-9274; 127)

1. Biometria. 2. Modelagem. 3. Simulação. 4. Padronização. I. Marin, Fábio Ricardo, II. Costa, Leandro Garcia. III. Série.

CDD 003.3 (21.ed.)

Autores

Daniel Silveira Pinto Nassif

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agronomia, estagiário da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP, dspnassif@usp.br

Fábio Ricardo Marin

Engenheiro Agrônomo, Pós-doutor em modelagem de culturas, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP, fabio.marin@embrapa.br

Leandro Garcia Costa

Engenheiro Agrônomo, Mestrado em Agricultura e Ambiente, estagiário da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP, legarcosta@gmail.com

Apresentação

A crescente importância da cultura da cana-de-açúcar no cenário internacional resultou em aumento das pesquisas por meio de modelos de crescimento de culturas, os quais estão largamente difundidos pelo mundo. No Brasil, o uso desses modelos vem aumentando na pesquisa, porém, na prática existe uma deficiência e falta de padronização nas metodologias empregadas para coleta de dados de campo e o seu uso na modelagem. Para a cultura da cana-de-açúcar, diversas variáveis precisam ser monitoradas e, por ter ciclo relativamente mais longo, tais observações são mais complicadas.

Este roteiro de coleta de dados foi elaborado para dar suporte aos estudantes, pesquisadores e usuários de modelos para a cana-de-açúcar, buscando um padrão mínimo que permita aos interessados o compartilhamento e a comparação com dados de literatura, acelerando o processo de construção do conhecimento e desenvolvimento de produtos nessa área.

Kleber Xavier Sampaio de Souza

Chefe-Geral

Embrapa Informática Agropecuária

Sumário

Introdução	9
O que são modelos baseados em processos?	10
Calibração de modelos	14
Procedimentos mínimos para coleta de dados experimentais.	15
Informações do experimento	15
Informações meteorológicas	17
Informações de solos	19
Medidas biométricas da cultura	19
Amostragem	19
Índice de área foliar de folhas verdes	20
Peso fresco e peso seco	22
Altura de colmo	22
Número de folhas verdes	23
Diâmetro de colmo	24
Número de perfilhos	24
Considerações finais	25
Referências	25

Padrões mínimos para coleta de dados experimentais para estudos sobre crescimento e desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar

Daniel Silveira Pinto Nassif

Fábio Ricardo Marin

Leandro Garcia Costa

Introdução

Estudos envolvendo o ciclo de desenvolvimento e crescimento de culturas agrícolas são importantes para a caracterização das espécies em diferentes ambientes e sistemas de produção agrícola. No campo da modelagem, a construção, a calibração e a avaliação de algoritmos que representem o sistema agrícola dependem também de observações de campo, realizadas com frequência determinada e monitorando características específicas da cultura. Modelos baseados em processos têm sido empregados no monitoramento agrícola, na previsão de safras, na avaliação de cenários e na análise de risco. Têm, também, importância científica, por permitir a avaliação de hipóteses, a sistematização do conhecimento na forma de algoritmos e a identificação de necessidades de pesquisa para ampliar a compreensão de um sistema.

No Brasil, contudo, o uso prático de modelos dessa natureza, tanto na pesquisa como na operação das empresas, é ainda limitado. No mundo, o uso de modelos física e fisiologicamente mais robustos tem dado suporte relativamente barato para a tomada de decisão e para impulsionar o avanço científico.

No caso da cana-de-açúcar, cultura de grande importância para a economia do Brasil, com estimativa de faturamento de 58 bilhões de reais em 2012, chegando a aproximadamente 2% do PIB nacional (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2012), sendo uma cultura

de ciclo relativamente longo, com estrutura que torna tais observações mais complicadas, diversas variáveis precisam ser monitoradas para a correta caracterização do sistema. Visando à obtenção de simulações consistentes e úteis, uma das etapas fundamentais é a obtenção de dados de campo que permitam calibrar os modelos para condições locais e avaliar seu desempenho, quantificando o erro associado às simulações.

Nesse contexto, esse roteiro de coleta de dados de campo foi elaborado, no intuito de dar suporte aos estudantes, pesquisadores e usuários de modelos para cana-de-açúcar interessados em conhecê-los com mais profundidade e simular o crescimento e a produção da cana-de-açúcar com qualidade. Outra finalidade é buscar um padrão mínimo na coleta de dados que permita aos interessados compartilhar e comparar dados de literatura, acelerando o processo de construção do conhecimento e desenvolvimento dessa área.

Para tanto, o documento foi organizado de modo a atender aos principais modelos disponíveis para uso ou mesmo publicados na literatura científica internacional, como exemplos os modelos DSSAT/Canegro, APSIM-sugar e Aquacrop.

Apesar de não se tratar de um levantamento exaustivo, partes das informações aqui abordadas não serão úteis para alguns modelos e, por isso, sugere-se aos leitores ter contato prévio com os modelos a serem utilizados para averiguar quais informações são de fato úteis.

O que são modelos baseados em processos?

Modelo pode ser definido como uma série de algoritmos que descrevem um sistema (JAME; CUTFORTH, 1996). Segundo Soler (2004), um modelo simula uma cultura pela estimativa do crescimento de seus componentes como folhas, raízes e caule. Assim, um modelo de crescimento de cultura não somente estima a biomassa total, mas também inclui mais informações quantitativas sobre a maioria dos processos envolvidos no crescimento e desenvolvimento vegetal.

Monteith (1996) definiu que modelos de simulação de cultura são como um conjunto de equações para estimar o crescimento, o desenvolvimento

e a produção de uma cultura a partir de coeficientes genéticos e variáveis ambientais, permitindo analisar diversos componentes da produção. A aplicação de modelos de simulação na agricultura é muito difundida entre as diferentes indústrias para diferentes usos (O'LEARY, 2000), como a própria cultura da cana-de-açúcar.

Muitos modelos de culturas têm sido desenvolvidos para ajudar os pesquisadores a compreender o funcionamento de vários processos dentro do sistema de cultivo agrônômico. Por exemplo, fluxo de água no solo, fotossíntese e crescimento de plantas e balanço de nutrientes são processos normalmente modelados (JAME; CUTFORTH, 1996). Modelos de simulação de culturas são considerados ferramentas que contribuem para a melhoria da previsão de safras e monitoramento das culturas.

Segundo Thornley e Johnson (2000), existem diversos tipos de modelos, sendo didaticamente divididos em dois grupos: modelos empíricos e mecânicos. Modelos empíricos são fundamentalmente descrições diretas de dados observados em que todas as relações matemáticas são descritas a partir da observação do sistema, por informações biológicas ou por qualquer conhecimento da estrutura do sistema estudado, porém podem ser extremamente úteis. Em geral, considera-se que os modelos empíricos sejam mais convenientes para o produtor rural, por não necessitar de aquisição de informações detalhadas e serem normalmente mais simples que os modelos mecânicos.

Os modelos mecânicos, recentemente denominados em agricultura como modelos baseados em processos (do inglês process based crop models), são relativamente mais complexos que os modelos empíricos. Entretanto, seu conteúdo normalmente aplica-se a uma maior gama de fenômenos. Baseiam-se na física e nos processos fisiológicos envolvidos no crescimento da cultura e, por esse motivo, oferecem mais possibilidades para manipulação e melhoria do sistema. Wallach et al. (2001) afirmaram que os modelos mecânicos tornaram-se cada vez mais importantes nos últimos anos como ferramentas de ensino e pesquisa, bem como ferramentas de auxílio a tomada de decisão sobre o manejo de culturas.

Conforme apresentado na Figura 1, o modelo empírico procede diretamente para as variáveis de interesse sobre a cultura, conectando as variáveis de entrada e saída em qualquer caminho que apresente um bom ajuste dos dados.

O modelo baseado em processos, no entanto, tem uma rota relativamente mais tortuosa, já que em seus componentes precisam respeitar a ordem dos processos e suas respectivas propriedades, introduzindo variáveis extras no nível de órgãos, tecidos e agregados bioquímicos onde dados de observações adicionais geralmente também são disponíveis. Pela síntese e integração do conjunto de equações que definem o sistema, chega-se então às variáveis de interesse da cultura, como massa de colmos e teor de sacarose (O'LEARY, 2000), por exemplo.

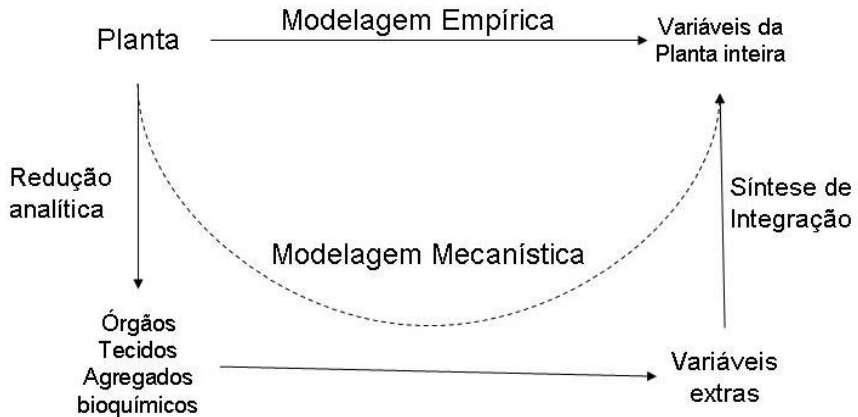


Figura 1. Representação esquemática da relação entre modelagem empírica e mecanística.

Fonte: Adaptado de Thornley e Johnson (2000).

Boote et al. (1996) consideraram que existem modelos simples e complexos, sendo que em alguns casos, os modelos simples não são apropriados por não serem programados para tratar de um fenômeno particular. Em outros casos, modelos mais complexos podem não ser recomendados porque requerem dados de entrada que não são práticos de se obter em uma situação de campo. Thornley e Johnson (2000) separaram os modelos em dois tipos, sendo os de aplicação em pesquisas e modelos de aplicação prática (Tabela 1). Os modelos aplicados em pesquisa, por serem

mais detalhados, baseados em processos, e possuem um maior número de parâmetros, tendem a apresentar respostas mais próximas da realidade. Já os modelos de aplicação prática, por serem mais simples e baseados em equações empíricas, resultam em aproximações mais superficiais, não sendo ideais para aplicações em pesquisas.

Tabela 1. Modelos de pesquisa e modelos aplicados: comparação das principais diferenças.

	Pesquisa	Aplicações Práticas
Hipóteses	Especulativa	Bem aceito
Conexões com dados observados	Tênue (geralmente)	Bom
Precisão das previsões	Variável	Bom
Escopo / Alcance	Amplo	Limitado
Complexidade	Complexo	Simple
Modelo	Mecanístico/ Baseado em processos	Empírico

Fonte: Adaptado de Thornley e Johnson (2000).

A modelagem agrícola baseada em processos, isto é, realizada por modelos mecanísticos, apresenta diversas aplicações, sendo algumas delas descritas por Lisson et al. (2005) como: a) impacto do plantio e da colheita sobre a produtividade da cana-de-açúcar, onde os dados podem ser analisados para tomada da melhor decisão sobre melhor época de plantio e colheita; b) benchmarking dos limites de produção, potenciais e atingíveis, onde o conhecimento dos limites de produção permite o estudo da produtividade potencial em diferentes regiões; c) melhoria da eficiência do uso da água; d) previsão de produtividade. Em Liu e Bull (2001), por exemplo, tem-se um bom exemplo sobre a descrição do processo de simulação mecanística da acumulação de biomassa e sacarose na cana-de-açúcar. Modelos de simulação do crescimento da cana-de-açúcar poderiam simular diferentes cenários e otimizar recursos financeiros e humanos, pelo direcionamento de pesquisas do setor, além de aumentar o entendimento

dos processos envolvidos no crescimento e produtividade. No Brasil, o uso de modelos de simulação de crescimento ainda não é rotina. São muitas as pesquisas relevantes com a cultura da cana-de-açúcar, mas os experimentos que inter-relacionam fatores como solo, clima e variedades com a fenologia da cana-de-açúcar ainda são poucos (SUGUITANI, 2006).

Calibração de modelos

Modelos mecanísticos normalmente contêm um grande número de parâmetros, sendo cada parâmetro identificado pelo fato de ter um valor fixo para todas as localidades e/ou anos, gerando acúmulo de erros por parte destes. O acúmulo de erros nos diferentes parâmetros, além dos erros nas equações do modelo, pode levar a resultados muito diferentes em relação aos dados medidos em campo. Uma solução para esse problema é a calibração do modelo, que consiste na estimativa de alguns ou de todos os parâmetros do modelo para melhoria do ajuste entre os dados modelados e medidos em campo (WALLACH et al., 2001).

Conforme Jame e Cutforth (1996), a calibração é um ajuste de parâmetros do sistema, de modo que os resultados simulados cheguem a um nível geralmente baseado em observações de campo, em que a calibração deve ser conduzida utilizando-se um experimento definido onde o solo e as condições agrometeorológicas são monitoradas e o crescimento da cultura acompanhado detalhadamente.

A calibração apresenta algumas indefinições e dificuldades, como saber quais parâmetros devem ser ajustados com os dados de campo. Wallach et al. (2001) propuseram que uma abordagem poderia ser feita escolhendo-se, a priori, um pequeno número de parâmetros para serem ajustados e, em seguida, realizar o ajuste dos demais, e uma outra abordagem seria a de ajustar os parâmetros mais sensíveis do modelo, selecionando-os com base em análise de sensibilidade. Adicionalmente, os parâmetros mais sensíveis do modelo têm uma maior influência sobre a variável de estado, identificando quais variáveis devem ser medidas preferencialmente (DRECHSLER, 1998).

Lisson et al. (2000) avaliaram a performance de sistemas de modelagem de cana-de-açúcar concluindo que as dificuldades na parametrização

de modelos muitas vezes surgem devido a deficiências na qualidade e extensão dos dados medidos, e salientaram que as variáveis de saída do modelo utilizado diferiram significativamente conforme houve mudanças em determinados parâmetros. Isso reforça a importância da realização da análise de sensibilidade como etapa introdutória no uso de modelos de culturas, como observados por Marin et al. (2011), Nassif et al. (2012) e Costa (2012) que utilizaram os modelos DSSAT/CANEGRO e APSIM-Sugar para diferentes modelos para a cultura da cana-de-açúcar, porém recomenda-se essa análise com qualquer modelo que for utilizado.

Procedimentos mínimos para coleta de dados experimentais

Informações do experimento

As informações do experimento são importantes para montagem da simulação e, principalmente, quando for necessária uma calibração de um determinado modelo. Inicialmente é necessário obter-se informações gerais como: localização do experimento (local e dados de latitude, longitude e altitude), identificação da área experimental e identificação do experimento realizado. Essas informações são importantes para o correto cadastramento nos modelos, em que a nomenclatura de cada experimento segue um padrão básico. Os dados de localização do experimento também são importantes por se tratarem de variáveis utilizadas na estimativa da radiação, quando esta não for medida.

Outras informações sobre a condução do experimento devem ser consideradas, como descritas em seguida:

- **Data de início:** a data de início do experimento é a mesma do plantio onde ocorre o início da simulação nos modelos. Caso a simulação seja realizada com áreas de cana-soca, o início do experimento é a mesma data da colheita.

- **Data da emergência:** é a data onde inicia-se a emergência da cultura plantada no campo, ou no caso de soqueira, é a data do início da rebrota da cana-de-açúcar.

- **Data da emergência de 50%:** é a data onde 50% da área apresenta emergência da cultura, ou no caso de cana-soca, apresentando 50% de início de rebrota.
- **Início do crescimento do colmo:** é a data onde as plantas primárias apresentam a folha +1, indicando o início do crescimento do colmo desta.
- **Data de término:** o término do experimento ocorre no dia da colheita da cana-de-açúcar, independentemente de ser um ciclo de cana-plantar ou cana-soca.
- **Datas de coletas de dados:** durante o ciclo da cultura, ocorrem as coletas de dados biométricos ou análises tecnológicas com coletas destrutivas, sendo que as suas datas devem ser inseridas no modelo para uma calibração ou comparação de dados.
- **Datas de cortes anteriores:** no caso de cana soca, é importante ter a informação da data de todos os cortes anteriores, de modo a ser possível simular o ciclo de desenvolvimento/crescimento da soqueira em análise até o ano corrente.
- **Variedade utilizada:** necessário para diferenciação nas simulações que forem realizadas e, em alguns modelos, identifica os parâmetros específicos a serem utilizados na modelagem.
- **Espaçamento:** os dados de entrada dos modelos recebem a informação sobre o espaçamento utilizado no plantio. Quando o espaçamento for em linhas duplas, como exemplo, o dado de entrada deve ser a média do espaçamento utilizado se o modelo utilizado não tiver a opção de linhas duplas. Ex: espaçamento duplo de 1,4 m x 0,6 m – utiliza-se na entrada do modelo o espaçamento de $(1,4+0,6)/2 = 1\text{m}$.
- **Número de gemas:** os modelos utilizam o dado de número de gemas plantadas por metro linear ou metro quadrado.
- **Profundidade de plantio:** na estimativa de emergência da cultura, ou rebrota, é necessário o dado de entrada da profundidade de plantio da cultura.

- **Adubação:** devem-se anotar as datas de adubação, tanto de plantio como de cobertura, e as formulações e quantidades utilizadas. Esse dado pode ser utilizado ou não, dependendo do modelo escolhido para as simulações.

- **Ambiente de produção:** informações que permitam caracterizar ou ao menos inferir sobre o ambiente de produção, no qual o experimento foi realizado, é também muito útil para análise dos dados, porém a simulação pode ser realizada sem este.

- **Ocorrência de pragas, doenças e outros eventos:** Em condições experimentais, normalmente não se considera estresses decorrentes de pragas e doenças, ou mesmo florescimento e geadas. Contudo, caso tenham sido identificados eventos dessa natureza, é importante que o registro seja feito.

- **Irrigação:** as datas de irrigação e lâmina de água utilizada são de extrema importância para todos os modelos de cana-de-açúcar. Caso não ocorra irrigação na área ou simulação, a informação deverá ser indicada nos modelos.

Informações meteorológicas

Considerados os dados mais importantes para a utilização nos diferentes modelos de simulação da cultura da cana-de-açúcar, os dados meteorológicos devem ser coletados diariamente, sendo no mínimo:

- Temperatura Máxima (°C)
- Temperatura Mínima (°C)
- Chuva (mm)
- Radiação Solar (MJ m-2d-1)
- Vento e umidade relativa não são essenciais, mas devem ser utilizados sempre que possível.

No caso da radiação solar, os dados podem ser medidos por meio de sensores encontrados em estações meteorológicas ou estimados pelo método de Bristow e Campbell (1984) com parametrização descrita por Conceição e Marin (2007) conforme a equação 1:

$$Q_g = A \left[1 - \exp \left(-B (T_{\max} - T_{\min})^C \right) \right] \quad (1)$$

em que: Q_g é a radiação global ($\text{MJ m}^{-2} \text{D}^{-1}$), A é o coeficiente empírico de valor 0,7 (adimensional), B é o coeficiente empírico de valor 0,005 (adimensional), C é o coeficiente empírico de valor 2,4 (adimensional), T_{\max} é a temperatura máxima do dia ($^{\circ}\text{C}$) e T_{\min} é a temperatura mínima do dia ($^{\circ}\text{C}$).

Os dados de radiação também podem ser estimados por meio do sistema de estimativa de radiação da National Aeronautics and Space Administration (Nasa) (Nasa-power), necessitando somente da localização da região, com latitude e longitude, e informações do início e do final do período desejado. A metodologia da Nasa foi a primeiramente avaliada para o Brasil por Medeiros et al. (2012) obtendo valores considerados razoáveis para fins de modelagem agrícola. O sistema pode ser acessado em: Nasa Climatology Resource for Agroclimatology¹

Para a estimativa da eficiência do uso da radiação, as medidas devem ser realizadas com radiômetros, inserindo-os diagonalmente nas linhas de cana, ao nível do solo, quando no início da cultura. Conforme ela cresce, o radiômetro deve ser movimentado com a finalidade de obter-se a radiação interceptada pelas folhas verdes, sem a interferência dos colmos e da palhada/folhas secas (ROBERTSON et al., 1996). Atenção especial deve ser dada à qualidade dos sensores radiométricos, uma vez que nem todas as marcas e todos os modelos são adequados para medidas de radiação interceptada. Normalmente, essa informação fica disponível no manual do fabricante e, quando apenas sensores com essa limitação estiverem disponíveis, uma calibração específica seria necessária.

Se caso não possuir uma estação na própria localidade onde será feita a simulação, os dados meteorológicos devem ser coletados da estação mais próxima.

¹ Disponível em: <<http://power.larc.nasa.gov/cgi-bin/cgiwrap/solar/agro.cgi?email=agroclim@larc.nasa.gov>>

Informações de solos

Nos principais modelos de crescimento de cana-de-açúcar, observa-se a necessidade de inserir dados referentes ao tipo de solo utilizado. A realização de análise de solo da região onde é conduzido o experimento é importante, para obtenção de dados como fertilidade, pH, e se possível a realização de análise física do solo. Conforme Marin et al. (2011), as medidas com tensiômetros podem ser convertidas para conteúdo de água no solo com a equação de Genuchten (1980) para curva de retenção de água no solo e valores de -10 kPa (capacidade de campo – CC) e -1500 kPa (ponto de murcha permanente – PMP).

Em virtude de alguma dificuldade para a realização das análises, é possível a utilização de valores obtidos em literatura para cada tipo de solo, porém é necessário saber qual é exatamente o tipo do solo a ser estudado. Informações sobre o limite máximo de crescimento e distribuição radicular no perfil de solo são também úteis. No caso dos parâmetros de capacidade de campo, ponto de murcha permanente, recomenda-se a utilização de equações de pedotransferência locais, como de Tomasella et al. (2000) e Reichert et al. (2009) para a definição da CC, PMP e saturação.

Feito isso, é importante conhecer a abordagem utilizada no algoritmo do componente solo utilizado no modelo, para que as informações cadastradas sejam feitas da melhor forma possível.

Medidas biométricas da cultura

Amostragem

O procedimento de amostragem do canavial com a finalidade de medições de biometria e tecnológica é de extrema importância, com intuito de que as amostras utilizadas sejam as representativas do sistema. A amostragem é dividida também em tamanho de área disponível no experimento. Em parcelas pequenas, é necessário o mínimo de 15 m² de área, contendo pelo menos 4 linhas de cana-de-açúcar com 2,5 m lineares cada uma, excluindo-se as linhas de bordadura, e o início de cada uma das linhas mais centrais (MUCHOW et al., 1996a, 1996b, 1997; ROBERTSON, et al., 1996; WOOD et al., 1996). Em grandes áreas, Muchow et al. (1994) indicaram a escolha aleatória de 4 linhas dentro do canavial, excluindo-se as bordaduras, e nelas, a realização de amostragens de 5 m em cada linha, com 4 repetições ao longo desta, totalizando 20 m lineares por linha.

Índice de área foliar de folhas verdes

Medida que pode ser realizada com equipamentos de medida direta do índice de área foliar, como o LAI 2000 (LICOR, 1992), estimada a partir da medida de área foliar, obtida por equipamentos integradores de área foliar, como LAI 3100, ou por meio de equações utilizando-se o comprimento e largura das folhas.

Também existem métodos destrutivos por técnica de pesagem de superfície foliar conhecida e a partir de dados de sensoriamento por meio de índices de vegetação, como o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

- Medidores diretos de área foliar – O sistema de medidas constitui-se em 8 pontos diferentes realizando-se a sequência de uma medida padrão fora da parcela, 4 medidas dentro da parcela em localizações diferentes, abaixo do nível das folhas verdes (Figura 2) (na linha de plantio, $\frac{1}{4}$ distante da linha de plantio, na entrelinha, $\frac{3}{4}$ da linha de plantio, distantes de um passo aproximado em 1 m cada medida); em seguida, é feita mais uma medida padrão fora da parcela e em outra linha de plantio na mesma parcela realizada mais 4 medidas conforme descrito (Figura 3). As medidas devem ser feitas no período do início da manhã, ou final de tarde, ou mesmo durante um dia nublado, sem muita variação na densidade de nuvens, em que o equipamento utiliza-se de radiação difusa para os cálculos do IAF.

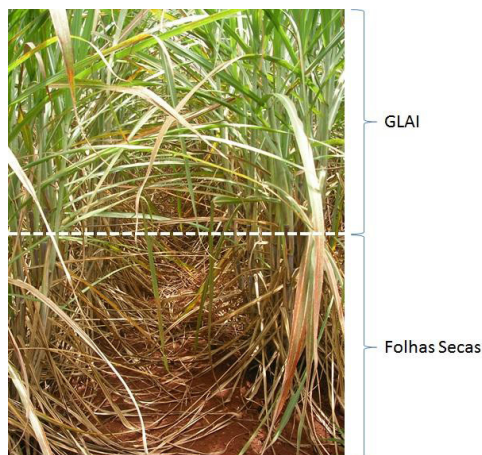


Figura 2. Subdivisão do dossel de um canavial em folhas verdes (GLAI) e folhas secas.

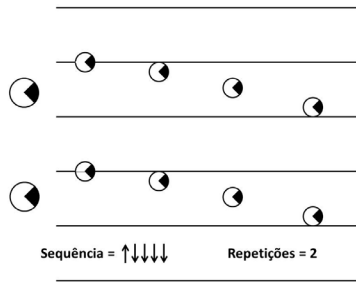


Figura 3. Esquema de utilização de equipamento de medição direta de IAF em cana-de-açúcar.

Fonte: Licor (1992).

- **Integradores de área foliar** – A metodologia utilizada para esse tipo de equipamento trata-se de amostragem destrutiva, sendo necessária a coleta das folhas de canavial para a medida, com no mínimo amostra de 10 colmos seguidos. As folhas coletadas devem ser inseridas no equipamento, o qual resultará em área da folha, seu comprimento e sua largura e, somando-se todas as folhas de um colmo, temos a área foliar (AF), podendo ser estimado o IAF conforme equação 2. Existem integradores de área foliar que realizam as medições de forma não destrutiva, sendo portáteis para utilização em áreas experimentais.

$$IAF = AFm * n^{\circ}perf \quad (2)$$

Em que, *IAF* é o índice de área foliar ($m^2 m^{-2}$); *AFm* é a área foliar média dos colmos amostrados (m^2); *n^operf* é o número de perfilhos por m^2 .

- **Estimativa do IAF pelas medidas do comprimento e largura das folhas** – No caso de não existir a possibilidade de medições diretas da área foliar, ou do índice de área foliar, uma metodologia aceita pode ser a que utiliza o comprimento (C) e a maior largura (L) da folha +3, conforme equação 3 (HERMANN; CÂMARA, 1999):

$$AF = C * L * 0,75 * (NF + 2) \quad (3)$$

em que AF é a área foliar, C é o comprimento da folha +3, L é a maior largura da folha +3, 0,75 é o fator de forma da folha da cana-de-açúcar, NF é o número de folhas verdes da planta.

Essa mesma metodologia também é citada por Mazzucchelli et al. (1997), em que nesse caso o fator de forma é de 0,62 e, devido a grande quantidade de variedades de cana-de-açúcar, o fator de forma apresenta-se com valores diversos, sendo necessária uma análise prévia do fator a ser utilizado.

Peso fresco e peso seco

As medidas de peso fresco e peso seco podem ser separadas conforme objetivo do experimento, sendo possível a pesagem da amostra inteira, ou de parte desta, com a finalidade de particionamento da massa encontrada entre as diferentes partes de uma planta de cana-de-açúcar.

- **Peso fresco da amostra:** é a pesagem da amostra cortada em campo, com todas as estruturas da planta, realizada normalmente com célula de carga, na própria área experimental.

- **Peso fresco particionado:** da amostra retirada do campo, faz-se uma subamostra com 10 a 15 colmos de cana-de-açúcar representativos, separando-os em folhas verdes, folhas secas, colmo industrializável e ponteiro (“palmito”). A pesagem deve ser feita de cada uma das partes retiradas.

- **Peso seco particionado:** Com a subamostra de 10 a 15 colmos pronta e separada, realiza-se a desfibrção das partes, tomando 2 subamostras, pesando-as antes de colocá-las em estufa a 80°C para secagem, até que se atinja peso constante, o que ocorre entre 2 a 3 dias. No caso da não utilização do desfibrador, o tempo para que ocorra peso constante é de 5 a 7 dias.

Altura de colmo

Para a medida de altura do colmo, devem ser utilizadas plantas demarcadas para tais medidas, sendo no mínimo 5 por repetição. A medida constitui em, com uma fita métrica, medir a distância do solo até a inserção da folha +1 (Figura 4) como padrão de altura de colmo das plantas.

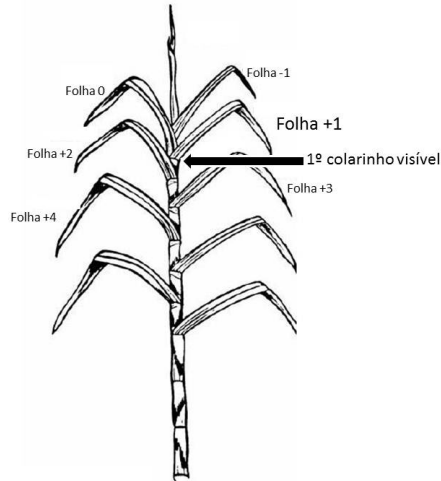


Figura 4. Representação de uma planta de cana-de-açúcar e a localização de suas folhas.

Número de folhas verdes

Nas mesmas plantas demarcadas para a medida de altura de colmo, devem ser feitas contagem de folhas verdes totalmente abertas capazes de realizar fotossíntese. Considera-se folha verde a folha que possui mais de 50% de área fotossinteticamente ativa, isto é, área com mais de 50% de coloração verde (MAZZUCHELLI et al., 1997). As demais folhas são consideradas folhas mortas (Figura 5).

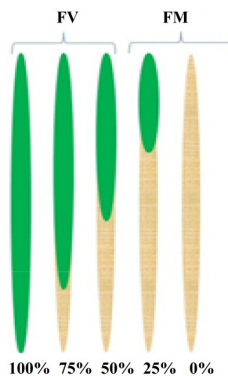


Figura 5. Diferenciação entre folhas verdes (FV) e folhas mortas (FM) em cana-de-açúcar.

Diâmetro de colmo

Medida que pode ser realizada, porém não é utilizada em alguns modelos. Nas mesmas plantas demarcadas para medições de altura de colmo, e contagem de folhas verdes, realiza-se a medida do diâmetro do colmo, com paquímetro, no terço médio do colmo, ou outro método que julgar mais conveniente, com intuito de estimativa de produtividade ($t\ ha^{-1}$) do canavial, podendo ser realizado pela equação 4:

$$prod = 0,9 * 10000 * pm2 * \left\{ h * \left[\pi * \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right] \right\} \quad (4)$$

em que: 0,9 é a densidade média do colmo da cana-de-açúcar ($t\ m^3$); 10000 é a área em m^2 de 1 ha; pm^2 é o número de perfilhos por metro quadrado; h é a altura de colmo (m) e D é o diâmetro de colmo (m).

Número de perfilhos

Devem ser contados o número de perfilhos vivos (qualquer perfilho que contenha folhas vivas ou em crescimento ativo) seguidos na linha da cultura, com no mínimo 5 m lineares de comprimento, em quatro repetições. Posteriormente deve ser feito o cálculo de perfilhos por metro linear para perfilhos por metro quadrado (perfilhos m^2), conforme equação 5. Devem-se marcar os locais para contagem dos perfilhos e no ciclo do canavial as contagens devem ser feitas sempre nos mesmos locais. Linhas que apresentarem falhas de perfilhamento, isto é, distância maior que 50 cm sem nenhuma planta, devem ser descartadas.

$$\frac{\frac{10000m^2 * PC}{ESP * C}}{10000m^2} = \frac{10000m^2 * PC}{ESP * C} * \frac{1}{10000m^2} = \frac{PC}{ESP * C} = \text{perfilhos} / m^2 \quad (5)$$

em que: $10000m^2$ é a área em m^2 de um ha, ESP é o espaçamento de plantio da cana-de-açúcar (m), PC é o número de perfilhos em C m lineares e C é a distância utilizada na contagem de perfilhos (m).

Considerações finais

A padronização da coleta de dados para a simulação na cultura da cana-de-açúcar é importante para comparações de informações geradas em pesquisas e utilização dos modelos, e com este trabalho buscou-se um primeiro passo para tal finalidade.

Referências

BOOTE, K. J.; JONES, J. W.; PICKERING, N. B. Potential uses and limitations of crop models. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, p. 704-716, 1996.

BRISTOW, K. K. L.; CAMPBELL, G. S. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 31, n. 2, p. 159-166, 1984.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; MARIN, F. R.; Avaliação de modelos para a estimativa de valores diários da radiação solar global com base na temperatura do ar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 15, n. 1, p. 103-108, 2007.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Bioetanol – o futuro renovável**. Brasília, DF, 2012. 78 p. Fórum Nacional Sucroenergético 78 p. (Cadernos setoriais Rio+20).

COSTA, L. G. **Simulação do efeito de palhada e adubação nitrogenada na produtividade de cana-de-açúcar**. 2012. 92 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.

DRECHSLER, M. Sensitivity analysis of complex models. **Biological Conservation**, Barking, v. 86, p. 401-412, 1998.

GENUCHTEN, M. T. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Journal Soil Science Society of America**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **Stab**: acucar, alcool e subprodutos, Piracicaba, v. 17, n. 5, p. 32-34, 1999.

JAME, Y. W.; CURTFORTH, H. W. Crop growth models for decision support systems. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 76, p. 9-19, 1996.

LICOR. **LAI-2000 plant canopy analyzer**: operating manual, Li-Cor, 1992, 173 p.

LISSON, S. N.; INMAN-BAMBER, N. G.; ROBERTSON, M. J.; KEATING, B. A. The historical and future contribution of crop physiology and modeling research to sugarcane production systems. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, n. 2/3, p. 321-335. 2005.

LISSON, S. N.; ROBERTSON, M. J. ; KEATING, B. A.; MUCHOW, R. C. Modelling sugarcane production systems. II: analysis of system performance and methodology issues. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 68, p. 31-48, 2000.

LIU, D. L.; BULL, T. A. Simulation of biomass and sugar accumulation in sugarcane using a process-based model. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 144, p. 181-211, 2001.

MARIN, F. R.; JONES, J. W.; ROYCE, F.; SUGUITANI, C.; DONZELI, J. L.; PALLONE FILHO, W. J.; NASSIF, D. S. P. Parameterization and evaluation of predictions of DSSAT/CANEGRO for sugarcane Brazilian production systems. **Agronomy Journal**, Madison, v. 103, p. 100-110, 2011.

MAZZUCHELLI, D. K.; SPILLMAN, M. F.; MUCHOW, R. C. **Minimum dataset manual for the collection of crop, soil and climate data in sugarcane field experimentation**, CSRIO Tropical Agriculture, 1997, 65 p.

MEDEIROS, S. R. de; PINTO, H. M. S.; MARIN, F. R. Evaluation of the model NASA/POWER for the estimate daily radiation data versus radiation daily observed data of the weather stations in Brazil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 17.; ENCONTRO DE METEOROLOGIA DOS PAÍSES DO MERCOSUL E ASSOCIADOS, 1.; ENCONTRO SUL AMERICANO DE APLICAÇÕES DO SISTEMA EUMETCast PARA O MONITORAMENTO METEOROLÓGICO E AMBIENTAL, 4.; ENCONTRO DE METEOROLOGIA OPERACIONAL, 2., 2012, Gramado. **Anais...** Gramado: UFRGS, 2012. 1 CD-ROM.

MONTEITH, J. The quest balance in crop modeling. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, p. 695-697, 1996.

MUCHOW, R. C.; EVENSEN, C. I.; OSGOOD, R. V.; ROBERTSON, M. J. Yield accumulation in irrigated sugarcane: II. Utilization of interception radiation. **Agronomy Journal**, n. 89, p. 646-652, 1997.

MUCHOW, R. C.; ROBERTSON, M. J.; WOOD, A. W.; KEATING, B. A. Effect of nitrogen on the time-course of sucrose accumulation in sugarcane. **Field Crops Research**, Amsterdam, n. 47, p. 143-153, 1996a.

MUCHOW, R. C.; ROBERTSON, M. J.; WOOD. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia. II. Sucrose accumulation and commercial yield. **Field Crops Research**. n. 48, p. 27-36, 1996b.

MUCHOW, R. C.; SPILLMAN, M. F.; WOOD, A. W.; THOMAS, M. R. Radiation interception and biomass accumulation in a sugarcane crop grown under irrigated tropical conditions. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 45, p. 37-49, 1994.

NASSIF, D. S. P.; MARIN, F. R.; PALLONE FILHO, W. J.; RESENDE, R. S.; PELLEGRINO, G.Q. Parametrização e avaliação do modelo DSSAT/Canegro para variedades brasileiras de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 3, p. 311-317, 2012.

O'LEARY, G. J. A review of three sugarcane simulation models with respect to their prediction of sucrose yield. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 68, p. 97-111, 2000.

REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; URACH, F. L.; CARLESSO, R. Estimation of water retention and availability in soils of Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1547-1560, 2009.

ROBERTSON, M. J.; WOOD, A. W.; MUCHOW, R. C. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia. I. Radiation use, biomass accumulation and partitioning. **Field Crops Research**, Amsterdam, n. 48, p. 11-25, 1996.

SOLER, C. M. T **Uso do modelo CERES-MAIZE para previsão de safra do milho “safrinha”**. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004, 146 p.

SUGUITANI, C. **Entendendo o crescimento e produção da cana de açúcar**: avaliação do modelo Mosicas. 2006. 60 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

THORNLEY, J. H. M.; JOHNSON, I. R. **Plant and crop modelling** – A mathematical approach to plant and crop physiology. New Jersey: The Blackburn, 2000. 669 p.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M. G.; ROSSATO, L. Pedotransfer functions for the estimation of soil water retention in Brazilian soils. **Soil Science Society of American Journal**, v. 64, p. 327-338, 2000.

WALLACH, D.; GOFFINET, B.; BERGES, J. E.; DEBAEKE, P.; LEENHARDT, D.; AUBERTOT, J. N. Parameter estimation for crop models: a new approach and application to a corn model. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, n. 4, p. 757-766, 2001.

WOOD, A. W.; MUCHOW, R. C.; ROBERTSON, M. J. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia. III. Accumulation, partitioning and use of nitrogen. **Field Crops Research**, Amsterdam, n. 48, p. 223-233, 1996.



Infomática Agropecuária

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**



CGPE 10232