

Análise Quantitativa de Crescimento em Cana- de-açúcar: uma Introdução ao Procedimento Prático





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

ISSN 1678-1953

Dezembro, 2012

Documentos 168

Análise Quantitativa de Crescimento em Cana-de- açúcar: uma Introdução ao Procedimento Prático

Anderson Carlos Marafon

Embrapa Tabuleiros Costeiros
Aracaju, SE
2012

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Tabuleiros Costeiros

Av. Beira-mar, 3250, Caixa Postal 44, CEP 49001-970,
Aracaju, SE

Fone: (79) 4009-1300

Fax: (79) 4009-1369

sac@cpatc.embrapa.br

Comitê Local de Publicações

Presidente: *Ronaldo Souza Resende*

Secretária-executiva: *Raquel Fernandes de Araújo Rodrigues*

Membros: *Edson Patto Pacheco, Élio César Guzzo, Hymerson Costa Azevedo, Evandro Neves Muniz, Joézio Luiz dos Anjos, Josué Francisco da Silva Junior, Luciana Marques de Carvalho, Semíramis Rabelo Ramalho Ramos, Viviane Talamini*

Supervisão editorial: *Raquel Fernandes de Araújo Rodrigues*

Normalização bibliográfica: *Josete Melo Cunha*

Foto da capa: Anderson Carlos Marafon

Padronização de originais: Yann Dias da Silva Maia

1ª Edição (2012)

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 Tabuleiros Costeiros

Marafon, Anderson Carlos

Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar : uma introdução ao procedimento prático / Anderson Carlos Marafon. – Aracaju : Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 29 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 168).

Disponível em http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2012/doc_168.pdf

1. Cana-de-açúcar. 2. Biomassa. 3. Fisiologia. 4. Morfologia. 5. Ecofisiologia. I. Título. II. Série.

CDD 633.61

©Embrapa 2012

Autor

Anderson Carlos Marafon

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fisiologia Vegetal,
pesquisador da Unidade de Execução de Pesquisa de
Rio Largo da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Rio Largo-
AL, anderson.marafon@embrapa.br.

Apresentação

A análise do crescimento em cana-de-açúcar, em termos de produção e partição de biomassa pode ser de grande importância para o melhor entendimento dos mecanismos que proporcionam aumento na eficiência produtiva da cultura em resposta às condições ambientais. Através do estudo das interações entre os parâmetros de crescimento, os estádios de desenvolvimento da planta e os fatores ambientais, como luminosidade, temperatura, concentração de CO_2 , disponibilidade de água e nutrientes, podemos conhecer sua eficiência de crescimento e a habilidade de adaptação da planta ao ambiente produtivo.

Comumente, a análise de crescimento da cultura da cana-de-açúcar é realizada por meio da estimativa de índices morfofisiológicos, que necessitam de avaliações sequenciais, em intervalos regulares, do acúmulo de biomassa seca e da área foliar. Contudo, também é possível avaliar o crescimento da cana-de-açúcar por meio de análises dinâmicas de perfilhamento e de desenvolvimento das folhas, os quais condicionam a fração da irradiação solar fotossinteticamente ativa interceptada pela cultura e, conseqüentemente, a eficiência de seu uso para o acúmulo de biomassa e o incremento do rendimento industrial.

A dinâmica de crescimento dos colmos é a variável que apresenta maior correlação positiva com a produtividade, contudo, a mesma pode variar com a variedade e/ou as condições do ambiente de cultivo. A dinâmica foliar é também crucial na determinação da produtividade da cana-de-açúcar, uma vez que o baixo desenvolvimento foliar pode limitar expressivamente o rendimento da cultura, devido à redução na interceptação da irradiação solar incidente e, conseqüentemente, no menor acúmulo de biomassa.

O acúmulo de sacarose no colmo é determinado pela capacidade de armazenamento (morfolgia/anatomia dos colmos) e pelo metabolismo e transporte de açúcar tanto nos tecidos-fonte (folhas) quanto nos drenos (folhas, colmos, raízes e inflorescências). Nesse sentido, características morfológicas como área foliar, número de perfilhos, altura da planta e diâmetro dos entrenós, podem estar diretamente relacionadas ao acúmulo de sacarose, sendo determinantes da sua capacidade de armazenamento nas células do parênquima do colmo.

Dessa forma, o conhecimento da dinâmica de crescimento da cana-de-açúcar pode contribuir para o aprimoramento de práticas culturais, bem como no melhor aproveitamento das cultivares altamente produtivas mais adaptadas aos diferentes ambientes de produção.

Edson Diogo Tavares

Chefe-geral da Embrapa Tabuleiros Costeiros

Sumário

Introdução

Crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar.....	10
Morfologia e ecofisiologia.....	10
Estádios fenológicos.....	11
Fundamentos da análise de crescimento em plantas.....	13
Medidas de dimensões lineares.....	14
Medidas de superfície.....	14
Medidas de massa.....	15
Massa da matéria fresca.....	15
Massa da matéria seca.....	15
Medidas de volume.....	15
Medidas do número de unidades estruturais.....	15
Determinação em raízes.....	16
Crítérios de amostragem.....	16
Parâmetros da análise de crescimento.....	17
Taxa de Crescimento Absoluto (TCA).....	17

Taxa de Crescimento Relativo (TCR).....	18
Taxa de Assimilação Líquida (TAL).....	18
Área Foliar Específica (AFE).....	19
Razão de Massa Foliar (RMF).....	19
Razão de Área Foliar (RAF).....	19
Índice de Área Foliar (IAF).....	19
Taxa de Crescimento da Cultura (TCC).....	20
Índice de Colheita (IC).....	21
Procedimentos práticos em cana-de-açúcar	21
Análises biométricas e de produção de biomassa.....	21
Dados biométricos.....	21
Produção de biomassa.....	23
Estimativas dos índices morfofisiológicos e do rendimento da cultura.....	24
Índices morfofisiológicos (TCA, TCR, TAL, RAF, RMF e AFE).....	24
Produtividade da cultura.....	24
Determinação do índice de maturação (IM).....	25
Considerações finais	26
Referências	27

Análise Quantitativa de Crescimento em Cana-de-açúcar: uma Introdução ao Procedimento Prático

Anderson Carlos Marafon

Introdução

O sistema de produção da cana-de-açúcar, semelhante a outras culturas agrícolas, pode ser afetado por fatores relacionados à planta (cultivares, tipo de ciclo), ao solo (tipo, fertilidade), às práticas culturais (época de plantio, densidade de plantio, rotação de cultura) e, especialmente, às condições climáticas (temperatura, radiação, precipitação) (BELL; GARSIDE, 2005; BONNET et al., 2006; GILBERT et al., 2006; PARK et al., 2005).

O conhecimento do ciclo da cultura e dos padrões de crescimento e desenvolvimento das plantas é importante para melhor manejá-la, pois se sabe que toda e qualquer produção vegetal que tenha em vista a máxima produtividade econômica, fundamenta-se na interação de três fatores: a planta, o ambiente de produção e o manejo. Neste sentido, de acordo com Câmara (1993), o processo canavieiro visa três objetivos básicos: (1) produtividade; (2) qualidade da matéria prima e (3) longevidade do canavial.

A análise de crescimento em plantas é considerada um método padrão para se medir a produtividade biológica de uma cultura em seu ambiente de produção (MAGALHÃES, 1985). O ambiente de produção consiste no conjunto de características físicas, hídricas, morfológicas, químicas e mineralógicas de superfície e subsuperfície dos solos e nas condições climáticas (pluviometria, temperatura, radiação solar e evaporação) de um local (PRADO, 2011). Esse método tem sido utilizado para investigar efeitos de fenômenos ecológicos (adaptabilidade, diferenças genótípicas na capacidade produtiva, efeitos de competição e influência de práticas agronômicas) sobre o crescimento das plantas. A análise de crescimento consiste na medida sequencial do acúmulo

de matéria orgânica na planta, considerando a produção de massa de matéria seca (biomassa) e descreve as condições morfológicas da planta em diferentes intervalos de tempo, permitindo avaliar o crescimento final da planta como um todo e a contribuição dos diversos órgãos no crescimento total. (MAGALHÃES, 1985). Destina-se à avaliação da produção líquida derivada do processo fotossintético, que é resultado do desempenho do sistema assimilatório durante certo período de tempo. O fundamento do método se baseia principalmente no fato de que cerca de 90% da massa seca produzida pela planta ao longo do seu crescimento resulta da atividade fotossintética (BENINCASA, 2003).

A fotossíntese líquida (FL) é definida como a diferença entre a fotossíntese bruta (tudo o que é produzido pela fotossíntese no interior dos cloroplastos) e o que é consumido pela respiração (R). Em algumas plantas, outro processo compete com a fotossíntese bruta (FB): a fotorrespiração (FR). Portanto, $FL = FB - (R + FR)$. A fotorrespiração corresponde à perda de CO_2 adicional à respiração mitocondrial e que ocorre na presença de luz. A respiração é um processo de combustão lenta dos carboidratos produzidos na fotossíntese, resultando na liberação de energia armazenada nesses compostos, a qual é utilizada para a manutenção do metabolismo vegetal e de todos os processos fisiológicos. Portanto, é de se esperar que, à medida que uma planta cresça, ocorra um aumento no processo respiratório, exigindo maior atividade fotossintética para atender às necessidades metabólicas do material existente e, ainda, promover adições de novos materiais (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Do ponto de vista agrônomo, a análise de crescimento atende aos interessados em conhecer diferenças funcionais e estruturais entre cultivares de uma mesma espécie, de forma a poder selecioná-las para melhor atender aos seus objetivos ou mesmo aplicá-los, por exemplo, em programas de melhoramento genético. Da mesma forma, pode ser muito útil no estudo do comportamento vegetal em diferentes condições ambientais, incluindo as condições de cultivo, de forma a selecionar cultivares ou espécie que apresente características funcionais mais apropriadas aos objetivos do experimentador.

Crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar

Morfologia e ecofisiologia

Como a maioria das plantas da família Poaceae (gramíneas), a cana-de-açúcar possui aparato fotossintético C_4 , assim chamada por formar compostos orgânicos com quatro carbonos. A cana apresenta alta taxa fotossintética e eficiência na utilização e resgate de CO_2 (gás carbônico) da e é adaptada à alta intensidade luminosa, altas temperaturas e relativa escassez de água, já que a cultura necessita de grandes quantidades de água para suprir suas necessidades hídricas, uma vez que somente cerca de 30% de sua massa total é representada pela matéria seca e, 70% pela água, dependendo do estágio fenológico (SEGATO et al., 2006).

As principais características das plantas pertencentes à família Poaceae são: inflorescências em forma de espiga, crescimento do caule em colmos, folhas com lâminas de sílica em suas bordas e bainhas abertas. A cana-de-açúcar na forma nativa é perene, de hábito ereto e levemente decumbente no estágio inicial de desenvolvimento. Já, nos estádios seguintes, a planta sofre seleção dos perfilhos por auto-sombreamento. O crescimento em altura continua até a ocorrência de alguma limitação no suprimento de água, de baixas temperaturas ou, ainda, devido ao florescimento, dependendo da responsividade de cada genótipo às diferentes condições ambientais (DIOLA; SANTOS, 2010).

A cana-de-açúcar desenvolve-se em forma de touceira, com a formação de perfilhos. A parte aérea da planta é composta por colmos (material de maior interesse econômico), que são segmentados em nós e entrenós, onde está localizada a inserção foliar. A intensidade de perfilhamento é importante para a produtividade do cultivo e a estrutura da touceira pode ser composta por colmos eretos, semi-eretos e decumbentes, características que são determinadas por aspectos genéticos. As folhas da cana são completas, isto é, são compostas por bainha, colar e lâmina foliar, apresentando inserção alternada no colmo. A lâmina foliar é alongada e relativamente plana, com comprimento que varia entre 0,5 e 1,5 m e largura variando de 2,5 a 10 cm, após estar totalmente expandida (SCARPARI; BEAUCLAIR, 2008).

Estádios fenológicos

Mediante o estudo da fenologia (ramo de ciência que se ocupa com as relações entre clima e fenômenos biológicos periódicos), pode-se observar que os processos de crescimento e desenvolvimento de um organismo resultam da ação conjunta de três níveis de controle (LUCCHESI, 1987): (a) intracelular ou genético, já que a atividade celular depende da ação gênica para a síntese protéica, (b) intercelular, que envolve substâncias reguladoras (fitohormônios) capazes de promoverem, retardarem ou inibirem processos fisiológicos e morfológicos e (c) extracelular ou ambiental, que envolve fatores do meio físico (climáticos e edáficos) e/ou do meio biológico (pragas, doenças, plantas daninhas, animais e o homem).

As fases de crescimento de uma planta representam as modificações no tamanho, na massa ou no volume de toda a planta, ou de qualquer órgão dela, em função do tempo. O conhecimento da variação dos estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar (Figura 1) durante o seu ciclo é fundamental para que se possa modelar e quantificar o crescimento das plantas nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura (TERUEL et al., 1997).

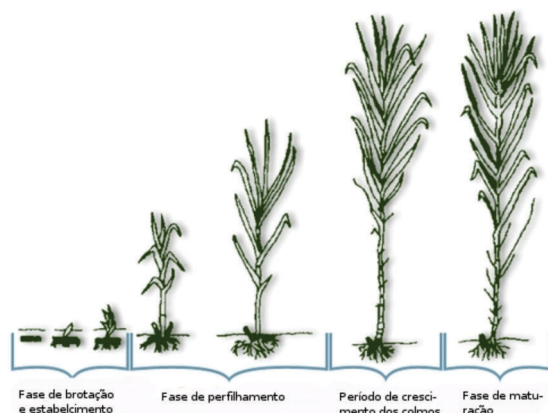


Figura 1. Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar.

Fonte: Gascho e Shih (1993).

O desenvolvimento da cana-de-açúcar é dividido em quatro estádios: (1) brotação e estabelecimento – onde o crescimento é lento e depende da umidade do solo, levando de 20 a 30 dias para a ocorrência da brotação; (2) perfilhamento - que tem início em torno de 40 dias após o plantio e pode durar até 120 dias; (3) crescimento dos colmos - começa a partir dos 120 após o plantio (ou corte) e dura

por até 270 dias, em um cultivo de 12 meses, sendo o estágio mais importante do cultivo, pois é quando se acumulam aproximadamente 75% da matéria seca total e o estágio (4) maturação dos colmos - quando ocorrem reduções nas taxas de crescimento da planta e aumento no acúmulo de sacarose nos colmos, tendo início de 270 a 360 dias após o plantio e podendo se prolongar por até 6 meses (DIOLA, SANTOS, 2010).

No início do desenvolvimento, a maior parte da fitomassa produzida pela cana-de-açúcar é destinada à formação e crescimento de folhas, o que simultaneamente leva à formação de novos perfilhos que, por sua vez, depende da formação dos restolhos (parte do colmo das gramíneas que fica enraizada após a colheita). O perfilhamento é o processo de emissão de brotações, colmos ou hastes laterais por uma mesma planta, os quais recebem a denominação de perfilhos. O perfilhamento ocorre a partir das porções subterrâneas dos colmos (restolhos) anteriormente formados, e é governado, inicialmente, pela temperatura e pela radiação, porém, também é afetado pela variedade e a densidade de plantio, pelo ciclo (cana-planta ou cana-soca) e pela disponibilidade de água e de nitrogênio no solo. A cana-de-açúcar perfilha nos primeiros meses após o plantio (ou rebrota), e esse perfilhamento intensifica-se à medida que as condições de temperatura e a disponibilidade hídrica são favorecidas. Após este período, o número de perfilhos diminui até se estabilizar (SUGUITANI; MATSUOKA, 2001).

A interpretação fisiológica das diferentes fases do crescimento pode ser compreendida da seguinte forma:

a) No início, a planta depende das reservas da semente (tolete) para a produção dos diferentes órgãos componentes. Cada nova folha que é formada contribui para maior interceptação da luz, não havendo ainda sombreamento mútuo. A taxa de crescimento relativa é constante e a cultura é principalmente vegetativa, caracterizando a fase exponencial.

b) Após o desenvolvimento do sistema radicular e a expansão das folhas, a planta retira água e nutrientes do solo e inicia os processos anabólicos dependentes da fotossíntese, passando a uma fase de crescimento linear, com o maior incremento na taxa de matéria seca (MS). As folhas vão sendo gradualmente auto-sombreadas, aumentando o índice de área foliar (IAF), o que, contudo, pode não significar maior aumento em fitomassa.

c) Ao atingir o tamanho definitivo, a planta entra para a fase de senescência foliar e maturação dos colmos, com menor interceptação da energia luminosa, decréscimo no acúmulo de matéria seca e translocação de açúcares para os órgãos de armazenamento.

Fundamentos da análise de crescimento em plantas

O crescimento de uma planta caracteriza-se pelo aumento irreversível de tamanho e/ou peso e tem caráter quantitativo. Em geral, o crescimento contrapõe-se ao desenvolvimento, que é um termo mais abrangente e envolve todas as mudanças qualitativas (diferenciação) e quantitativas experimentadas pela planta durante o seu ciclo (NOGUEIRA et al., 2006). O desenvolvimento da planta é um processo complexo que envolve fatores externos e internos, compreendendo mecanismos de crescimento e diferenciação celular. Se, por um lado, o crescimento reflete um aumento em tamanho e peso (massa), sendo, por isto, um processo quantitativo, a diferenciação é qualitativa, constituída por modificações internas e externas na forma e posição relativa de várias partes da planta durante seu ciclo de vida.

As técnicas de análise de crescimento foram desenvolvidas, no início do século XX, por investigadores britânicos (BLACKMAN, 1919; BRIGGS et al., 1920; WEST et al., 1920) que além de apresentarem as fórmulas de análise de crescimento, suas derivações e condições necessárias para seu uso correto, discutem alternativas e métodos que envolvem uma descrição matemática do peso da matéria seca e da área foliar em função do tempo, seguida de cálculos de diferentes parâmetros de crescimento. O fundamento dessa análise é a medida seqüencial da acumulação de matéria orgânica na planta, sendo sua determinação feita, normalmente, considerando a massa da matéria seca ou fitomassa (MAGALHÃES, 1985).

A medida da massa da matéria seca das diferentes partes da planta é simples e exige poucos equipamentos (régua graduada em milímetros, tesouras, paquímetro, estufas de aeração forçada, sacos plásticos, sacos de papel, etc.) (MAGALHÃES, 1985).

Basicamente, os parâmetros utilizados para medir o crescimento vegetal abordam a área foliar (AF ou L) e matéria seca (MS ou W) acumulada pela planta por

representarem esses fatores a “fábrica” e o “produto final”, respectivamente. Na prática, as principais medidas de W e L são o peso da matéria seca total (MST) e a área foliar total (AF) da planta.

A determinação da superfície foliar é muito importante no que diz respeito a inúmeros parâmetros fisiológicos como: taxa de crescimento relativo, taxa assimilatória líquida e índice de área foliar, entre outros. A área foliar representa a matéria prima para a fotossíntese e, como tal, é de grande importância para a produção de carboidratos, óleos, proteínas e fibras.

De acordo com Benincasa (2003), o crescimento de uma planta pode ser estudado através de medidas lineares (altura, peso, comprimento, diâmetro de inflorescência, etc.), superficiais, de peso, volumétricas e número de unidades estruturais.

Medidas de dimensões lineares

Entre as dimensões lineares, podemos citar: altura da planta, comprimento do caule, comprimento e largura de folhas, comprimento de ramificações, diâmetro de caules, comprimento de entrenós, comprimento e diâmetro de inflorescência e infrutescências, etc.

Essas medidas das dimensões lineares podem ser feitas em plantas intactas ou não. Elas são muito úteis, principalmente, onde se tem pouco material vegetal disponível. Neste caso, dependendo do número de plantas, pode-se marcar um número determinado de plantas, que será medido durante todo o período de observação (medidas não-destrutivas).

Medidas de superfície

Estas medidas estão relacionadas principalmente à determinação ou estimativa da superfície fotossinteticamente ativa. A superfície das lâminas foliares ou área foliar (AF) pode ser determinada diretamente ou estimada por meios indiretos.

A estimativa da área foliar (AF) de uma planta ou de uma comunidade de plantas pode ser feita por meio de medidas diretas das lâminas, em folhas não-destacadas, usando-se um medidor portátil de área foliar, ou então indiretamente, pelo uso de fatores de correção, a partir de dimensões lineares da lâmina foliar (geralmente comprimento e largura máxima).

A determinação da área foliar das plantas é muito importante porque as folhas são responsáveis pela produção da maior parte dos carboidratos essenciais ao crescimento e desenvolvimento dos vegetais. Desta forma, o estudo da área foliar em cultivares de cana-de-açúcar permite correlacioná-la com o seu potencial produtivo.

Medidas de peso

Massa da matéria fresca

É a massa do material vegetal em equilíbrio com o ambiente, a qual geralmente é acompanhada pelas variações nos teores de água dos tecidos da planta.

Massa da matéria seca

É a massa seca constante de determinada amostra, obtida após a secagem do material vegetal à temperatura de mais ou menos 70 °C (graus Celsius) por pelo menos 48 h. Após a secagem, o material é pesado frio, após ser mantido em dessecador para evitar sua reidratação.

A relação entre a massa fresca e a massa seca pode nos informar sobre o Teor de Água (TA) ou Conteúdo Relativo de Água (CRA) nos tecidos, este último é considerado mais preciso (envolve o “peso túrgido”), sendo um indicativo do “status” de água na planta.

Medidas de volume

É uma medida tridimensional, muitas das vezes obtida por deslocamento de água. Exemplo: volume de raízes (imersão em água para conhecimento de seu volume).

Medidas do número de unidades estruturais

O crescimento pode ser acompanhado a partir da contagem de unidades estruturais morfológicas ou anatômicas (ramificações, folhas, flores, raízes, entrenós ou internódios) que podem fornecer informações sobre a fenologia ou serem usadas para detectar diferenças entre tratamentos.

Número e distribuição de estômatos, número e distribuição de células do parênquima clorofiliano, número e densidade de células do tecido condutor, em cortes transversais de folhas e caules, acompanhadas ou não de outras medidas destes órgãos, que dão importantes informações sobre as diferenças funcionais entre plantas ou interações destas com o ambiente.

Determinação em raízes

A fim de que o crescimento total da planta possa ser estimado, as raízes devem ser consideradas como importantes componentes do vegetal. No entanto, em geral, a recuperação das raízes, principalmente no campo, pode se tornar um trabalho adicional, o que faz com que esta parte da planta seja desconsiderada nos cálculos de análise de crescimento. Por outro lado, em determinados vegetais onde as raízes são responsáveis pela produção econômica, faz-se necessário que a tomada de suas medidas, seja em massa, volume, diâmetro ou tamanho.

As medidas de raízes ou do sistema radicular são bastante difíceis de serem feitas, principalmente quando se trabalha em condições de campo. Quando se trabalha com plantas dispostas em vasos, essas medidas tornam-se bastante viáveis, podendo ser detectada quase que integralmente. Neste caso, o tipo de recipiente é fundamental, sendo comum o uso de tubos com altura e diâmetros diferentes e conexões para permitir estudos de profundidade. Em déficit hídrico, é importante estabelecer a relação ou razão de massa de matéria seca entre o sistema radicular e a parte aérea, para se determinar a gravidade do estresse.

Crítérios de amostragem

O tamanho da área experimental em estudo (homogênea ou não), o ciclo da cultura, o tipo de planta e o seu hábito de crescimento são alguns dos aspectos que vão determinar os critérios para obtenção dos dados da análise de crescimento.

Quanto ao tamanho da amostra, o número de plantas a serem colhidas vai depender basicamente de três fatores: a) número de plantas disponíveis; b) área total a ser amostrada; c) tempo disponível pelo observador para a realização das amostragens. Os dados poderão ser obtidos em plantas colhidas (avaliações destrutivas) ou intactas (avaliações não-destrutivas). Neste último caso, as plantas devem ser previamente marcadas para que seu crescimento seja acompanhado. Entretanto, ela possibilita apenas a execução de medidas lineares e de superfície, já que os dados da massa de matéria fresca e seca não são obtidos.

O intervalo de tempo (em dias) decorrido entre uma amostragem e outra vai depender da disponibilidade de plantas que possam ser colhidas sem influenciar a representatividade do experimento e do tempo do pesquisador, respeitando o ciclo das plantas. Entretanto, as plantas tomadas como amostra a cada tempo, devem representar a população em estudo.

Parâmetros da análise de crescimento

As medidas obtidas ao longo do ciclo da cultura, em plantas intactas ou colhidas, são tabeladas de forma que possam ser analisadas por meio de fórmulas matemáticas e/ou graficamente. Para tanto, podem ser utilizados várias funções, equações ou programas. A utilização de equações de regressão não só corrige as oscilações normais, como permite avaliar a tendência do crescimento em função dos tratamentos (BENINCASA, 2003).

De acordo com Benincasa (2003) e Magalhães (1985), tendo-se obtido a massa da matéria seca (MS) e a área foliar (AF) em intervalos regulares pré-estabelecidos, podem ser determinados os parâmetros da análise de crescimento: Taxa de Crescimento Absoluto (TCA), Taxa de Crescimento Relativo (TCR), Taxa Assimilatória Líquida (TAL), Área Foliar Específica (AFE), Razão de Massa Foliar (RMF), Razão de Área Foliar (RAF), Índice de Área Foliar (IAF) e Taxa de Crescimento da Cultura (TCC) e o Índice de Colheita (IC).

Taxa de Crescimento Absoluto (TCA): Representa o ganho de matéria seca (MS) de uma planta sem levar em consideração o material inicial existente que deu origem a esse ganho, ou seja, é a variação ou incremento entre duas amostragens que indica a velocidade de crescimento da planta. Ao longo do ciclo da cultura determinamos a TCA pela expressão:

$$TCA \text{ (g dia}^{-1}\text{)} = \frac{MS_2 - MS_1}{t_2 - t_1}$$

Onde:
 MS_1 e MS_2 representam a massa da matéria seca nos tempos t_1 e t_2 .

Taxa de Crescimento Relativo (TCR): É a medida mais apropriada para avaliação do crescimento vegetal, que é dependente da quantidade de material acumulado gradativamente. A TCR ($\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) expressa o incremento na massa de matéria seca por unidade de massa inicial, em um dado intervalo de tempo.

Onde:

$$\text{TCR (g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}) = (\ln MS_2 - \ln MS_1) / (t_2 - t_1)$$

ln = logaritmo neperiano;

MS₁ e MS₂ = massas de matéria seca nos tempos t1 e t2.

A TCR varia ao longo do ciclo vegetal, dependendo de dois outros fatores do crescimento: a razão de área foliar (RAF) e a taxa assimilatória líquida (TAL). Portanto, a taxa de crescimento relativo poderá ser obtida utilizando-se as equações: TCR = TAL x RAF. A TCR diminui à medida que a planta cresce em virtude do auto-sombreamento das folhas. Nas variedades mais produtivas, que geralmente desenvolvem mais rapidamente o seu Índice de Área Foliar (IAF), os valores de TCR são maiores. Portanto, a TCR exerce maior influência na fase de desenvolvimento da área foliar. Quando a planta alcança um IAF relativamente elevado, a correlação entre TCR e produtividade econômica, se reduz.

Taxa de Assimilação Líquida (TAL): Também denominada Taxa de Assimilação Aparente (TAA), a TAL (g m⁻² dia⁻¹) representa o incremento em massa de matéria seca acumulada na planta (MSP) por unidade de área foliar disponível (AF), durante um determinado intervalo de tempo. A Taxa de Assimilação Líquida (TAL) é calculada por seus valores médios através da seguinte expressão:

Onde:

$$\text{TAL (g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}) = (MS_2 - MS_1 / t_2 - t_1) \times (\ln AF_2 - \ln AF_1 / AF_2 - AF_1)$$

MS₁ e MS₂ = massas de matéria seca da planta (g) nos tempos t1 e t2 (dias);

AF1 e AF2 = áreas foliares das plantas (dm²) nos tempos t1 e t2 (dias)

ln = logaritmo neperiano.

Os valores da TAL são especialmente altos durante a fase de intenso crescimento, que no caso das plantas C4, fica entre 40 e 80 g m⁻² dia⁻¹. Neste mesmo grupo de plantas, a TAL média, durante toda o período de crescimento, é de 20 e 30 g m⁻² dia⁻¹ (LARCHER, 2000). Segundo Magalhães (1985), a TAL reflete a dimensão do sistema assimilador que é envolvido na produção de matéria seca, ou seja, é uma estimativa da fotossíntese líquida. A TAL depende de fatores ambientais, principalmente da radiação solar. No decorrer do crescimento de uma planta, sua capacidade de produção aumenta (maior IAF), mas a sua TAL diminui em virtude do auto-sombreamento. Entretanto, de acordo com este autor, uma planta com baixa TAL, não será, necessariamente, uma planta pouco

produtiva. O cafeeiro e o cacauieiro, por exemplo, são plantas com baixas taxas assimilatórias líquidas, por possuírem baixo ponto de compensação, ou seja, mesmo com pouca energia solar recebida, a fotossíntese é capaz de compensar perfeitamente a demanda energética da respiração.

Área Foliar Específica (AFE)

A AFE ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$) relaciona a superfície ou área foliar (AF) com a massa da matéria seca da própria folha ($\text{AF}/\text{MS}_{\text{folha}}$). Esta medida é um indicativo da espessura foliar, a qual é determinada pelo número e tamanho de células do mesófilo.

$$\text{AFE} (\text{m}^2 \text{g}^{-1}) = \text{AF} / \text{MS}_{\text{folha}}$$

Quando as folhas são submetidas ao sombreamento, estas tendem a aumentar sua AFE visando interceptar mais radiação solar, diminuindo a espessura da folha e, com isso, a TAL.

Razão de Massa Foliar (RMF): Corresponde à fração da massa de matéria seca retida nas folhas em relação à massa de matéria seca acumulada na planta ($\text{MS}_f / \text{MS}_t$), expressando a fração de matéria seca não exportada.

$$\text{RPF} (\text{g g}^{-1}) = \text{MS}_f / \text{MS}_t$$

Onde:

MS_f = massa de matéria seca da folha;

MS_t = peso de matéria seca total da planta.

Razão de Área Foliar (RAF): A RAF ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$) é definida como o quociente entre a Área foliar específica (AFE) e a Razão de massa de folha (RMF), representando a área foliar disponível para ocorrer fotossíntese. A RAF é calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$\text{RAF} (\text{m}^2 \text{g}^{-1}) = \text{AFE} \times \text{RMF}$$

Índice de Área Foliar (IAF): A área foliar de uma planta constitui sua matéria prima para fotossíntese e, como tal, é muito importante para a produção de carboidratos, lipídeos e proteínas. O IAF representa a área foliar total por unidade de área do terreno e funciona como um importante indicador da superfície foliar disponível para interceptação e absorção de luz.

O IAF pode ser calculado através da expressão: $IAF (m^2 m^{-2}) = NPI \times AF / S$, onde NPI corresponde ao número de perfilhos, AF à área foliar por perfilho (m^2) e S é a área do terreno em m^2 utilizada para a avaliação.

O IAF também pode ser calculado através da sua relação com a TCR e a RAF, pela seguinte equação: $IAF = TCR \times RAF$. O IAF avalia a capacidade ou a velocidade com que as partes aéreas do vegetal ocupam a área de solo disponível àquele vegetal. As folhas vão cobrindo a área disponível, aumentando gradualmente a capacidade do vegetal em aproveitar a energia solar. A interceptação da luz pelas folhas é influenciada pelo seu tamanho, forma e ângulo de inserção.

Ao contrário do que se pode pensar, o IAF ótimo, isto é, o que permite o máximo de fotossíntese, não é aquele em que se obtém uma maior produção de biomassa e, conseqüentemente a produtividade máxima. Isto pode ser explicado pelo fato de que a partir de um dado momento, o aumento no IAF pode fazer com que ocorra o auto-sombreamento pelas folhas, diminuindo a eficiência fotossintética da planta. Geralmente o IAF ótimo ocorre nas primeiras fases do crescimento, quando o sombreamento e o auto-sombreamento são mínimos (Figura 1).

Um IAF próximo à 4 é suficiente para a cana-de-açúcar interceptar 95% da radiação solar incidente (MACHADO et al., 1985). Em relação à distribuição espacial das folhas, com relação à interceptação da radiação na faixa do visível, ocorre o fechamento quase completo do dossel em IAF maiores que 4, sendo que, superfícies foliares com IAF superiores, resultam em valores praticamente não são assimilatórios. Durante o perfilhamento, valores de IAF acima de dois (2) já ocasionam a morte de perfilhos, em função da competição por luz, visto que, a quantidade de luz que atravessa a camada de folhas que compõem o dossel da planta é de apenas 20 a 30% da radiação solar incidente (BARBIERI, 1993).

Taxa de Crescimento da Cultura (TCC): Representa a quantidade total de matéria seca acumulada por unidade de área de solo (S), em um determinado tempo. A TCC corresponde à taxa de produção de matéria seca de uma comunidade vegetal, expressa em $g m^{-2} dia^{-1}$, e é obtida através da equação: $TCC = (MS_2 - MS_1) / S / (t_2 - t_1)$, onde S representa a área amostrada ocupada pela cultura (m^2) no terreno e MS_1 e MS_2 , as massas de matéria seca nos tempos inicial (t_1) e final (t_2) da avaliação. A TCC também pode ser obtida pela expressão: $TCC = TAL \times IAF (g m^{-2} dia^{-1})$.

De acordo com Larcher (2000), uma associação de gramíneas C_4 , desenvolvendo-se nos trópicos e sub-trópicos, alcança valores máximos para a TCC de 50 a 60 $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$, durante o principal período de crescimento. No caso da cana-de-açúcar, o máximo rendimento obtido por área pode atingir até 8 quilogramas de massa seca por metro quadrado ($Kg\ m^{-2}$).

Índice de Colheita (IC)

O índice de colheita (IC) é um quociente frequentemente utilizado para medir a eficiência de conversão de produtos sintetizados em material de importância econômica. Em relação à uma cultura madura, o IC é definido como a razão entre a massa de matéria seca da fração economicamente rentável ($MS_{econômica}$) e a fitomassa seca total colhida (MS_{total}).

$$IC = MS_{econômica} / MS_{total}$$

Procedimentos práticos em cana-de-açúcar

Análises biométricas e produção de biomassa

Para análise dos padrões de crescimento da cana-de-açúcar devem ser realizadas medições de variáveis biométricas, de biomassa e de rendimento da cana-de-açúcar.

Dados biométricos

Estes dados são coletados em plantas intactas (avaliações não-destrutivas) ou colhidas (avaliações destrutivas). Podem ser monitorados os seguintes parâmetros: número de perfilhos industrializáveis por metro linear ($NPI\ m^{-1}$), diâmetro médio dos colmos (DMC), estatura média dos colmos (EMC), número de folhas verdes completamente abertas (NFVA), de folhas emergentes (NFE) e de folhas mortas (NFM), o comprimento (C) e a largura (L) da folha +3 (terceira folha superior completamente desenvolvida, contada a partir da folha +1, a primeira com a lígula visível).

As folhas da cana-de-açúcar podem ser ordenadas através do 'sistema de Kuijper' que pode auxiliar nos estudos de crescimento e de nutrição. Ordenadas, de cima para baixo, a folha de inserção mais alta, que se encontra completamente aberta e apresenta a primeira aurícula visível recebe a denominação de folha +1,

conhecida como TVD (*Top Visible Dewlap*). Abaixo dela, as folhas recebem, sucessivamente, os números +2, +3 e +4 (Figura 2).

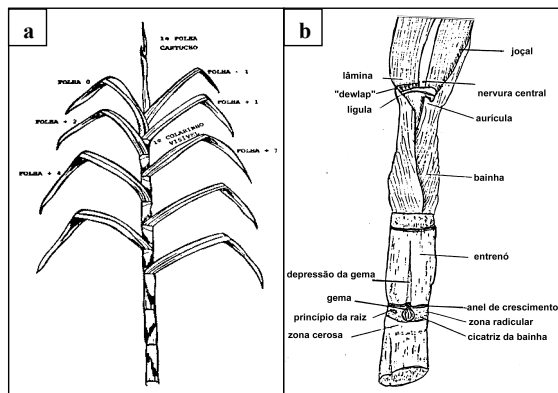


Figura 2. a) Sistema Kuyjper de numeração de folhas (adaptado de Dillewijn, 1952); b) Colmo, bainha e lâmina foliar de cana-de-açúcar. Fonte: Artschwager (1925).

O NPI é obtido por meio da contagem dos perfilhos ao longo da linha de cultivo, iniciada 2 meses após a germinação. O DMC é medido na base dos colmos, com o auxílio de um paquímetro, a EMC por meio da utilização de uma trena, medindo-se da base do colmo até a inserção da folha +1 (primeira folha superior desenvolvida e com a lígula visível).

O NFV e o NFM são contados em cada um dos perfilhos selecionados, considerando-se como folhas verdes, aquelas com pelo menos 50% de área foliar verde. O NFE é contabilizado considerando-se as folhas acima da folha +1 que não se apresentam completamente expandidas. Os dados de L e C são obtidos por meio de medições na porção mediana e nos pontos extremos das folhas +3, respectivamente, utilizando paquímetro e trena.

Os valores de C e L são utilizados para calcular a área foliar (AF) e o índice de área foliar (IAF). A área foliar por perfilho (AF) é determinada por meio da contagem do número de folhas verdes (folha totalmente expandida com o mínimo de 50% de área verde, contada a partir da folha +1) e pelas medições do comprimento e da largura da porção mediana das folhas +3, segundo metodologia descrita por Hermann & Câmara (1999), aplicando-se a fórmula: $AF = C \times L \times 0,75 \times (N + 2)$, onde C é o comprimento, L a largura, N é o número de folhas verdes abertas, 2

o fator de ponderação para as folhas que ainda não estão totalmente expandidas e 0,75 o fator de correção para a cultura. A AF tem grande importância para os valores da fração da radiação fotossinteticamente ativa interceptada, que pode ser afetada pelo espaçamento de plantio, tipo de ciclo (planta ou soca), data de início do ciclo e variedade.

O índice de área foliar (IAF) em cana-de-açúcar pode ser obtido multiplicando-se a AF pelo NPI (colmos viáveis) e dividindo-se este valor pela área da superfície do terreno ocupada pelas plantas (AS), através da expressão: $IAF = (AF \times NPI) / AS$. O IAF também pode ser obtido a partir de medições feitas com um integrador de área foliar. O IAF é efetivo para avaliar a rendimento final, sendo que os maiores valores durante o ciclo de desenvolvimento estariam relacionados com a maior produção final de colmos.

Produção de biomassa

Os dados de biomassa seca da cana-de-açúcar são obtidos após a colheita das plantas, ou seja, são avaliações destrutivas. Os componentes estruturais da parte aérea compreendem as folhas verdes (FV), as bainhas (B), as folhas e bainhas mortas (FBM), o pseudocolmo (PC), o colmo (C) e a parte emergente (PE). O pseudocolmo (PC), também conhecido por 'palmito', corresponde à parte do colmo acima do ponto de quebra, onde se inicia a parte ainda em maturação, ou seja, onde há internódios em formação. A parte emergente (PE), conhecida como 'cartucho', corresponde às folhas em expansão existente acima do pseudocolmo. A soma destes dois componentes da parte aérea (PC e PE) é que chamamos de 'ponteiro'.

As coletas são realizadas, ao nível do solo, de dois a cinco metros ao longo da fileira de cultivo, dependendo do tamanho de cada sub-área. O material é separado em seus componentes (FV, B, FBM, PC, C e PE) e pesado separadamente de modo a se obter a biomassa fresca. Sub-amostras de cada um destes componentes são conduzidas ao laboratório para a obtenção dos teores de umidades e o cálculo da biomassa seca dos diferentes componentes da parte aérea: MS_{FV} (biomassa seca das folhas verdes); MS_B (biomassa seca das bainhas); MS_{FBM} (biomassa seca das folhas e bainhas mortas); MS_C (biomassa seca dos colmos); MS_p (biomassa seca dos pseudocolmo) e MS_{PE} (biomassa seca da parte emergente).

A soma dos valores correspondentes à biomassa de cada componente estrutural das plantas ($MS_{FV} + MS_B + MS_{FBM} + MS_{PC} + MS_{PE}$) possibilita a determinação

da biomassa seca total da parte aérea (MS_{TPA}), utilizada nos cálculos dos parâmetros de crescimento.

Estimativas dos índices morfofisiológicos e do rendimento da cultura

Índices morfofisiológicos

A partir da obtenção dos dados biométricos (IAF, EMC, DMC e NPI) e de biomassa (BSTPA) da cana-de-açúcar são calculados os seguintes índices morfofisiológicos da cultura: taxa de crescimento absoluto - TCA ($g \text{ dia}^{-1}$), taxa de crescimento relativo - TCR ($g \text{ g dia}^{-1}$), taxa de assimilação líquida - TAL ($g \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), razão de área foliar - RAF ($\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$), razão da massa foliar - RMF ($g \text{ g}^{-1}$), área foliar específica - AFE ($\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$), conforme as expressões matemáticas descritas no item 3 (Parâmetros da análise de crescimento em plantas).

Produtividade da cultura

Os componentes da produtividade da cana-de-açúcar são: diâmetro e estatura dos colmos, número de colmos por área e densidade do colmo. Utilizando-se dos feixes de colmos (oito a dez) utilizados para as análises tecnológicas, ainda no campo e antes de amarrá-los, quantifica-se o diâmetro e estatura média. A mensuração do diâmetro é realizada no terço médio do colmo, utilizando-se um paquímetro. Para determinar a estatura média dos colmos, mede-se o comprimento médio do feixe de colmos com auxílio de uma trena.

O parâmetro que apresenta maior correlação com a produção é o número de colmos, seguido pela estatura, pelo diâmetro e pela densidade dos colmos. O número de colmos por hectare é estimado através da contagem dos colmos totais da parcela ou das três linhas centrais, o que pode ser realizado na hora da colheita. Esta contagem também poderá ser feita aos 8 a 10 meses, pois o número de colmos já estará definido e estes ainda estarão eretos.

De posse dos dados acima descritos e, considerando a densidade do colmo igual a um (1), aplica-se a fórmula descrita por Martins e Landell (1995) e citada por Oliveira et al. (2007; 2011) para se determinar a produtividade estimada do canavial (TCHe), de acordo com a expressão: $TCHe = D^2 \times NPI \times EMC \times (0,007854/ESP)$, em que a TCHe corresponde à produtividade estimada em toneladas de cana por hectare, D ao diâmetro dos colmos (cm), NPI ao número

de perfislos industrializáveis por metro linear, EMC à estatura média dos colmos (cm), ESP ao espaçamento entre sulcos (m) e 0,007854 ao fator de correção apropriado para a cana-de-açúcar. Para determinar a TChE são considerados os dados médios referentes à uma ou mais avaliações, efetuadas a partir do oitavo mês após o corte ou plantio.

Determinação do índice de maturação (IM)

Em condições normais, a cana-de-açúcar tem a sua maturação influenciada por fatores como umidade do solo, temperatura, características físicas e químicas, tratos culturais e diferenças entre variedades. Desses, a temperatura e a umidade dos solos são os que maiores influências exercem sobre a planta, pois os períodos de intensa umidade e alta temperatura correspondem aos de maior atividade vegetativa.

A qualidade da cana-de-açúcar é medida pelo teor de sacarose, que depende do estágio de maturação, do estado sanitário e das condições de conservação dos colmos. Durante a maturação da cana a sacarose aumenta até atingir limites extremos de 12 a 18%, ao passo que os outros açúcares, glicose e frutose, diminuem até limites de 0,2%.

O momento ideal para iniciar a colheita da cana-de-açúcar é quando a planta encontra-se com a maior concentração de açúcares (sacarose, glicose e frutose). Este momento depende de diversos fatores, tais como: região de cultivo, condições climáticas, idade da cultura, variedade, tipo de solo, ocorrência de pragas e doenças.

A determinação do Índice de Maturação (IM) da cana pode ser realizada mediante refratometria, realizando-se os seguintes procedimentos:

1. No início da safra, percorrer o talhão e colher ao acaso de 10 a 12 colmos;
2. Extrair algumas gotas de caldo da base do colmo e medir o °Brix em refratômetro. Em seguida, extrair algumas gotas de caldo da ponta do colmo (último internódio, do qual a bainha se desgarra facilmente) e medir o °Brix no refratômetro.

3. Calcular o IM, dividindo-se os valores °Brix encontrados na ponta pelos encontrados na base, tirando-se a média das amostras.

Os resultados devem ser interpretados da seguinte maneira:

- IM menor que 0,60: cana verde.
- IM entre 0,60 e 0,85: cana em maturação.
- IM entre 0,85 e 1,00: cana madura, pronta para ser cortada.
- IM maior que 1,00: cana em declínio de maturação.

Considerações finais

A análise quantitativa do crescimento constitui-se numa ferramenta que possibilita estimar a partição do carbono entre as partes da planta e o rendimento agrícola da cana-de-açúcar, sendo o meio mais acessível e bastante preciso para avaliar o desenvolvimento vegetal. Sua principal vantagem está na obtenção de informações a intervalos regulares, sem a necessidade de laboratórios e/ou equipamentos sofisticados, uma vez que as informações necessárias para sua determinação referem-se à massa da matéria seca (fitomassa) e à dimensão do aparelho fotossintetizante (área foliar) da planta.

O conhecimento do desenvolvimento temporal das variáveis agrônômicas da cana-de-açúcar é um aspecto preponderante para o desenvolvimento de modelos de entendimento e predição da produção da cultura, os quais podem minimizar riscos ambientais, reduzir custos de produção e proporcionar maior sustentabilidade ao setor. Os modelos de simulação do crescimento são simplificações dos processos de crescimento das plantas e consistem numa descrição quantitativa dos mecanismos e processos que desencadeiam respostas da planta em função das suas interações com o meio ambiente, bem com as práticas de manejo adotadas. Assim, os dados provenientes da análise de crescimento podem contribuir na construção de modelos de simulação que possibilitem economia de tempo, trabalho e quantidade de recursos para a tomada de decisões de manejo no setor agrícola, para a análise dos fatores que podem aumentar a produção de culturas e a transferência de tecnologia para o sistema de produção.

Referências

- ARTSCHWAGER, E. Anatomy of the vegetative organs of sugar cane. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 30, n. 3, p. 197-221, 1925.
- BARBIERI, V. **Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.): um modelo matemático-fisiológico de estimativa**. 1993. 142 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p. BLACKMAN, V. H. The compound interest law and plant growth. **Annals of Botany**, London, v. 33, p. 353-60, 1919.
- BONNET, G. D.; HEWITT, M. L.; GLASSOP, D. Effects of high temperature on the growth and composition of sugarcane internodes. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 57, p. 1087-1095, 2006.
- BRIGGS, G. E.; KIDD, F. A.; WEST, C. A quantitative analysis of plant growth. Part I. **Annals of Applied Biology**, Cambridge, v. 7, p. 202-23, 1920.
- CÂMARA, G.M.S Ecofisiologia da cultura da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.S **Produção da cana-de-açúcar**. ESALQ: Piracicaba, 1993, p. 31-64.
- DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool: tecnologias e perspectivas**. Viçosa: Editora UFV. p. 25-49, 2010.
- DILLEWIJN, C. van **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica, 1952. 371 p.
- GASCHO, G. J.; SHIH, S. F. Sugarcane. In: TEARE, I. D.; PEET, M. M. (Ed.). **Crop-water relations**. New York: Wiley-Interscience, 1983. p. 445-479.
- GILBERT, R. A.; SHINE JÚNIOR, J. M.; MILLER, J. D.; RAINBOLT, C. R. The effect genotype, environmental and time of harvest on sugarcane yields in Florida, USA. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 95, p. 156-170, 2006.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **Revista STAB**, Piracicaba, v. 17, p. 32-34, 1999.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RiMa, 2000. 531 p.

LUCCHESI, A. A. Utilização prática da análise de crescimento vegetal. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 41, n. 1, 1984.

MACHADO, E. C.; PEREIRA, A. R.; PAES CAMARGO, M. B.; FAHL, J. I. Relações radiométricas de uma cultura de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 44, p. 229-238, 1985.

MAGALHÃES, A. C. N. **Análise quantitativa do crescimento**. In: FERRI, M. G. *Fisiologia Vegetal*. 2. ed. São Paulo: Editoras EPU; EDUSP, 1985. v. 1, p. 331-350.

MARTINS, L. M.; LANDELL, M. G. A. **Conceitos e critérios para avaliação experimental em cana-de-açúcar utilizados no Programa Cana IAC**. Pindorama: Instituto Agrônômico – IAC, 1995. 45 p.

NOGUEIRA, R. C.; PAIVA, R.; OLIVEIRA, L. M.; GAVILANES, M. L. Bases do crescimento e desenvolvimento vegetal. In: PAIVA, R.; OLIVEIRA, L. M. **Fisiologia e Produção Vegetal**. Lavras: Editora UFLA, 2006. p. 17-29.

OLIVEIRA, F. M.; ASPIAZÚ, I.; KONDO, M. K.; BORGES, I. D.; PEGORARO, R. F.; VIANNA, E. J. Crescimento e produção de variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e estresse hídrico. **Revista Trópica**, Chapadinha, v. 5, p. 56-67, 2011.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; ZUFELLATO-RIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S.; SILVA, D. K. T. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Brasília, DF, v. 37, n. 2, p. 71-76, 2007.

PARK, S. E.; ROBERTSON, M.; INMAN-BAMBER, N. G. Decline in the growth of a sugarcane crop with age under high input conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 305-320, 2005.

PRADO, H. **Pedologia Fácil**: aplicações. 3. ed. Piracicaba: H. do Prado, 2011. 180 p.

SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. Anatomia e botânica. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008, p. 47-56.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 19-36.

SUGUITANI, C.; MATSUOKA, S. Efeitos do fósforo nas características industriais e na produtividade agrícola em cana-de-açúcar (cana-planta) cultivada em duas regiões do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001, Londrina. **Ciência do solo**: fator de produtividade competitiva com sustentabilidade: resumos. Londrina: SBCS, 2001. p. 119.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2009. 719 p.

TERUEL, D. A.; BARBIERI, V.; FERRARO JR., L. A. Sugarcane leaf area index modeling under different soil water conditions. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, p. 39-44, 1997.

WEST, C.; BRIGGS, G. E.; KIDD, F. Methods and significant relations in the quantitative analysis of plant growth. **New Phytologist**, Oxford, v. 19: p. 200-207, 1920.



Tabuleiros Costeiros

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

