Sugar Technology hugot Laboratory

MATÉRIAS-PRIMAS PARA A INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA

Prof. Claudio L. Aguiar

USP Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

USP ESALQ

LAN 1458 – AÇÚCAR & ÁLCOOL

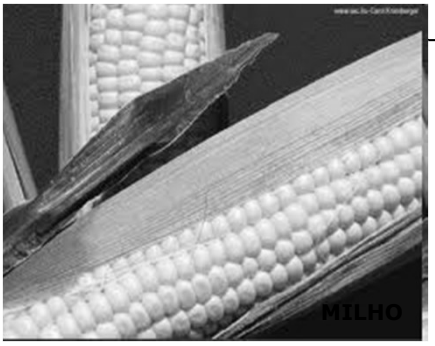
CLA'16

MATÉRIAS-PRIMAS

AÇÚCAR
ETANOL
ENERGIA – ÉTE
LEVEDURAS – RO
VINHAÇA – LIZANTES
MELAÇO – SUBSTRATO
ÓLEO FUS – OLVENTES
BAGAÇO – OL 2G

CLA'16

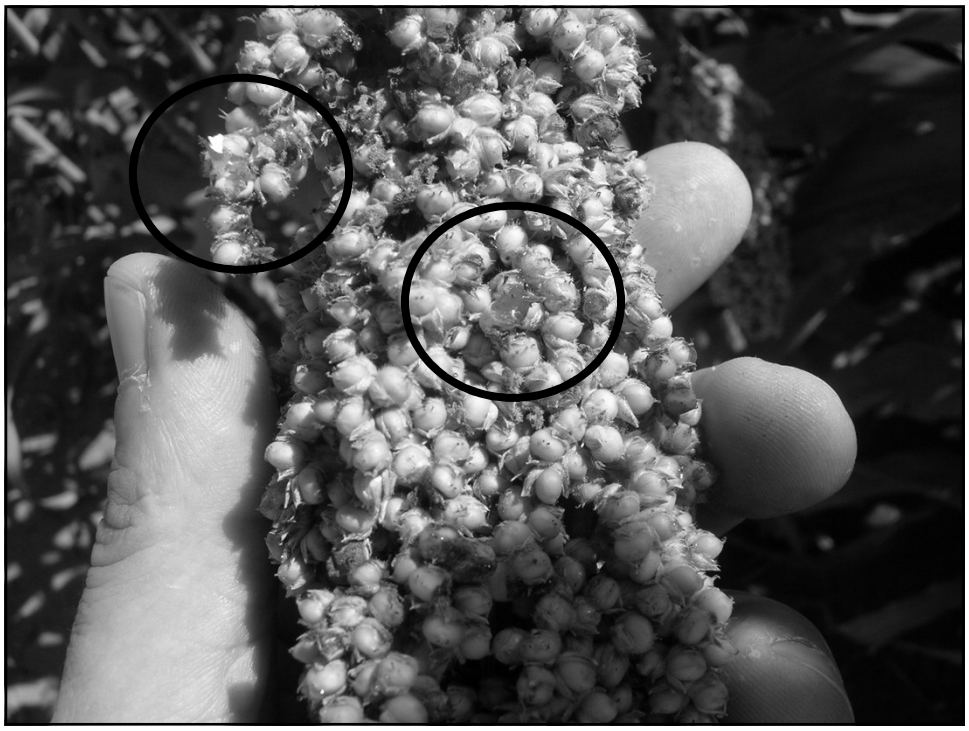
BIOCOMBUSTÍVEIS



BAGAÇO DE CANA – ETANOL 2G

AÇÚCAR & BIOETANOL

1
2
MELA DA PANÍCULA
Sphacelia soghi

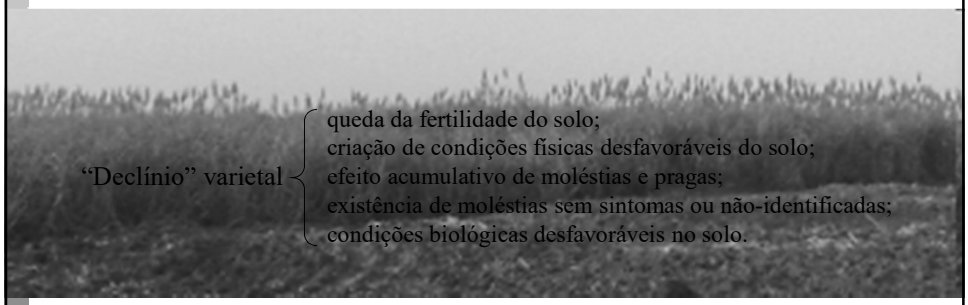


A FORÇA DA CANA

CLA'16

Produtividade

Produtividade média de 80 – 85 ton/ha



"Declínio" varietal
- queda da fertilidade do solo;
- criação de condições físicas desfavoráveis do solo;
- efeito acumulativo de moléstias e pragas;
- existência de moléstias sem sintomas ou não-identificadas;
- condições biológicas desfavoráveis no solo.

CLA'16

Cana-de-açúcar

BOTÂNICA

Família das Poacea

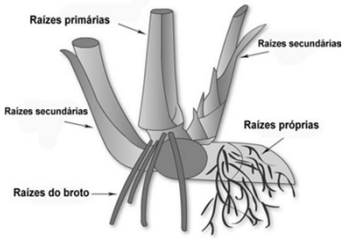
Capaz de sintetizar a SACAROSE.

SACAROSE

Este é o porquê !!!

Constituição morfológica:

Raízes



Colmo, flores e folhas

CLA'16

Cana-de-açúcar

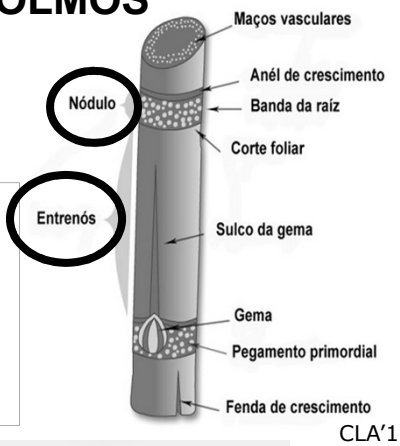
PONTO DE VISTA INDUSTRIAL

COLMOS

Órgão de armazenamento de sacarose (principalmente).

Funções:

1. Suportar as folhas e flores
2. Conduzir água e nutrientes
3. Translocar os nutrientes para outras partes da planta
4. Armazenar SACAROSE e outros nutrientes



CLA'16

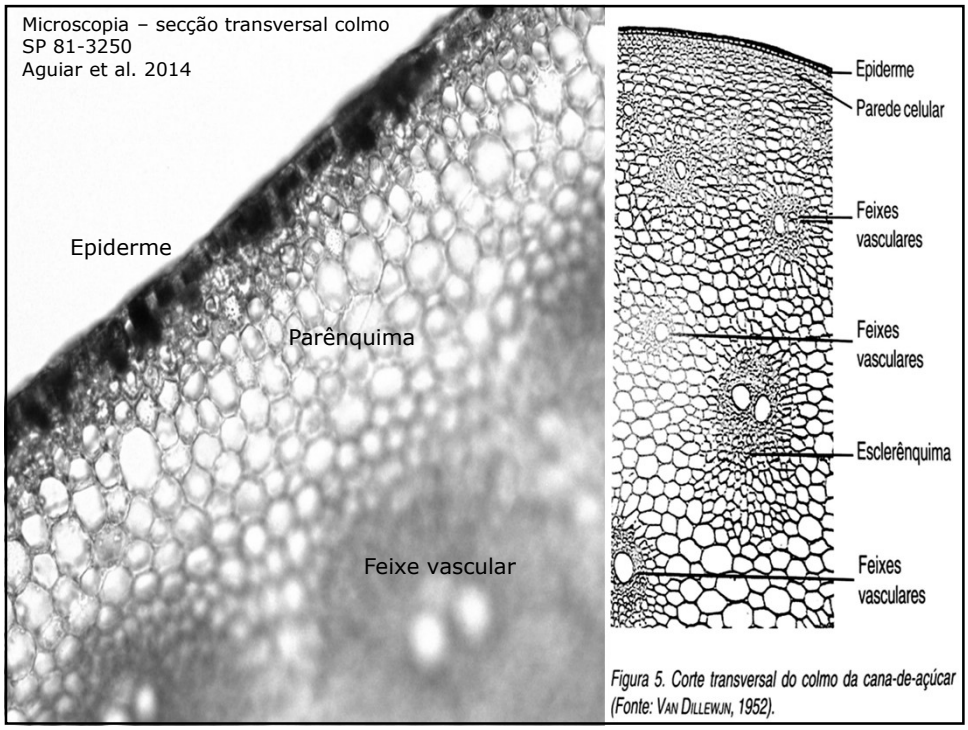
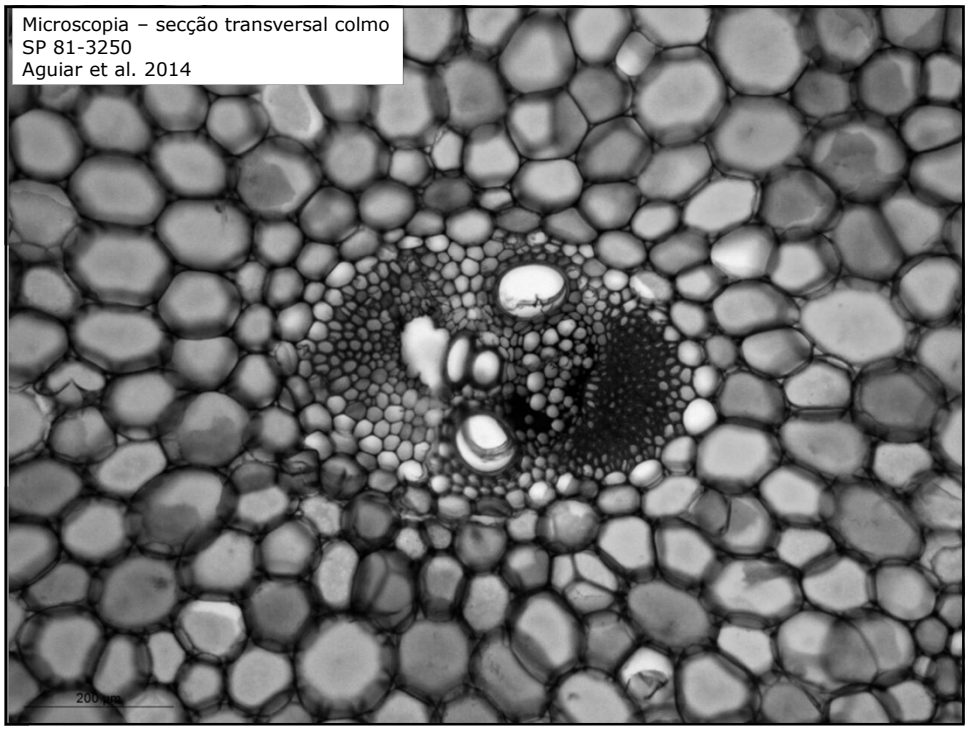
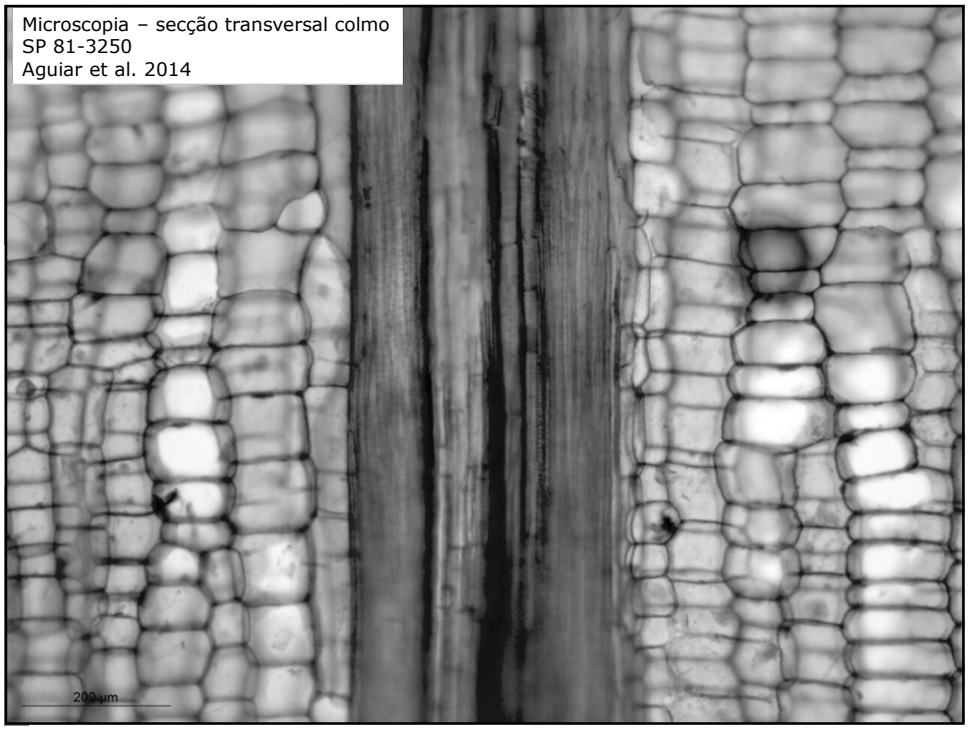


Figura 5. Corte transversal do colmo da cana-de-açúcar (Fonte: Van Dillewjn, 1952).





Microscopia – secção transversal colmo
SP 81-3250
Aguiar et al. 2014

COMO MATÉRIA-PRIMA

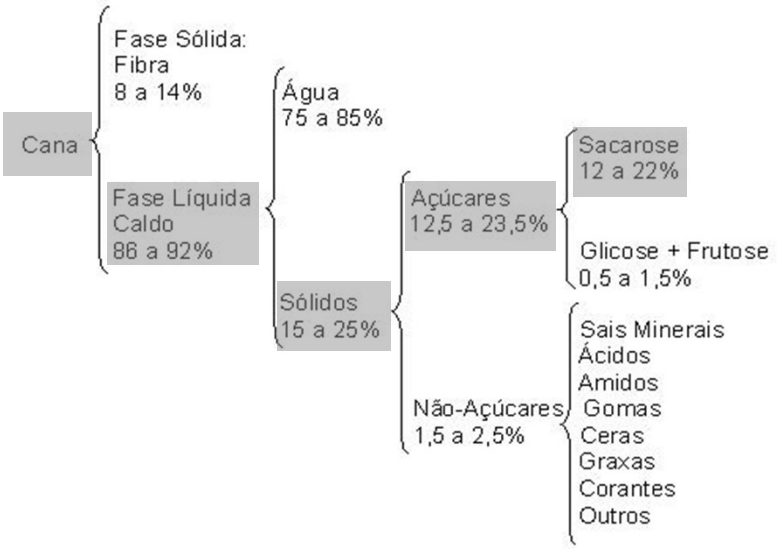
A cana-de-açúcar, no Brasil, constitui a principal matéria-prima para a indústria sucroenergética, sendo a utilização de outros vegetais (milho e sorgo) ainda inexpressivos.

Principais motivos desta opção:

1. Alta produtividade: ~85 ton/ha
2. Constituição do caldo: ~17% (m/m) sacarose
3. Geração de bagaço: fonte de energia térmica (MANUTENÇÃO ENERGÉTICA)
4. Clima e solo favoráveis: cana vegeta durante os meses de primavera e verão, e acumula sacarose nas estações de outono e inverno;
5. Facilidade de cultivo e de colheita: rapidez de corte e carregamento
6. Tradição: + de 4 séc. de cultura sucroalcooleira

CLA'16

COMPONENTES QUÍMICOS E TECNOLÓGICOS



CLA'16

COMPOSIÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR

VARIA DE ACORDO COM:

Composição (varia)

- variedade
- época do ano (colheita)
- tipo de colheita
- queima (frio/quente) ???
- carregamento/transporte
- condição edafoclimática
- entre outros.

Implicações tecnológicas

CLA'16

CONSTITUIÇÃO DO CALDO

O açúcar, entretanto, só pode ser produzido a partir de matérias-primas sacarinas.

Brasil: o açúcar é produzido a partir da cana-de-açúcar.

Composição química é muito variável, em função das condições climáticas, das propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo, do tipo de cultivo, da variedade, do estádio de maturação, etc.

CANA: 74,5% de água, 25% de matéria orgânica e 0,5% em matéria mineral.

diferentes proporções no colmo

SORGO

CLA'16

CANA

PONTO DE VISTA INDUSTRIAL

Seja para fabricação de açúcar ou de etanol, a cana é constituída de:

FIBRA E CALDO

FIBRA: todo material insolúvel em água

Celulose, lignina e pentosanas.

O seu teor depende da variedade, da idade e de muitos outros fatores, variando de 10-16%.

CALDO: é o conjunto da água e de todos os sólidos solúveis (açúcares, cinzas, materiais nitrogenados e outros)

Água (70-80%) e de sólidos solúveis – **Brix** - (20-30%).

Açúcares e não-açúcares orgânicos e inorgânicos.

CLA'16

AÇÚCARES E NÃO-AÇÚCARES

Açúcares: representados pela sacarose, glicose e frutose.

~17%

Dependendo do estágio de maturação:

0,2% - frutose

0,4% - glicose

NÃO-AÇÚCARES INORGÂNICOS

Representados pelas cinzas, têm como componentes principais: sílica, potássio, fósforo, cálcio, sódio, magnésio, ferro, cloro, alumínio, enxofre e outros.

NÃO-AÇÚCARES ORGÂNICOS

Constituídos de substâncias nitrogenadas (proteínas, aminoácidos, etc), gorduras, ceras, ácidos (málico, succínico, aconítico, etc) e de materiais corantes (clorofila, sacaretina e antocianina).

Umidade % = 70

Fibra % = 14,7

Açucares (pol) % = 13

Não-açúcares % = 2,3

} Matéria seca = a 30%

CLA'16

GERAÇÃO DE BAGAÇO

Teor de fibra: parâmetro importante!

- Fornece a quantidade de bagaço importante para o equilíbrio térmico;
  No entanto, dificulta a extração da sacarose.

Fonte de Receita – Venda *in natura* do bagaço (substituto de lenha ou óleo combustível; substituto de volumoso como ração animal; como combustível para cogeração; etc.)

Queima do Bagaço – em caldeiras fornece grande parte da energia utilizada na produção do açúcar ou álcool (vapor e energia elétrica).

Energia fornecida a partir do bagaço é potencialmente MAIOR que a contida no álcool.

EtOH: 26-28 MJ/kg

790-810 kg/m3

Bagaço: 5,6 a 8,9 MJ/kg (b.u.)

~130 kg/m3

QUALIDADE DA MATÉRIA-PRIMA

Para a indústria não pode ser avaliada simplesmente pelo seu teor de sacarose, mas por uma série de outras variáveis, como o teor de,

FIBRA

É tão importante o teor como a sua natureza!!!

Altos teores de fibra dificultam a extração do caldo, exigindo um melhor preparo de cana, bem como uma maior embebição.

Baixos teores de fibra diminuem a quantidade de bagaço, ocasionando o desequilíbrio térmico da fábrica.

CLA'16

FIBRA

Usina consome 550 *kg* de *vapor* por *tonelada* de cana

~421 *Kg* de *bagaço* a 50% de umidade, são necessários para *gerar* 1 *ton* de *vapor*

1 *tonelada* de *bagaço* gera 85,6 kWh para exportação !!!

FIBRA

Nas variedades que florescem, e que sofrem o fenômeno do "chochamento" ou "isoporização", ocorre um aumento do teor de fibra.

Ocorre em algumas variedades e caracteriza-se pelo secamento do interior do colmo, a partir da parte superior.

A quantificação do grau de "isoporização", e das possíveis modificações na qualidade da matéria-prima, pode fornecer dados para o dimensionamento da área a ser plantada de cada variedade, bem como os períodos para a industrialização.

A intensidade do processo de florescimento variam com a variedade e com o clima.

A redução do volume de caldo é o principal fator no qual o florescimento interfere.

Salata e Ferreira (1977)

CLA'16

CALDO

Cuja composição depende da cana, interessa o teor de sacarose, de açúcares redutores e de cinzas.

A quantidade de sacarose presente no caldo é fundamental para um bom processamento e rendimento.

Os açúcares redutores - glicose e frutose - quando em teores elevados, mostram um estádio de cana imatura, ou, por outro lado, estádio avançado de deterioração.

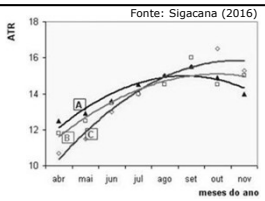
Os componentes das cinzas do caldo, com exceção do fósforo, comportam-se como fatores negativos de recuperação de sacarose, especialmente no processo de cristalização, por serem melacigênicos.

Sais de Ca, Mg, Fe, Si ↓ Qualidade de cor e polarização

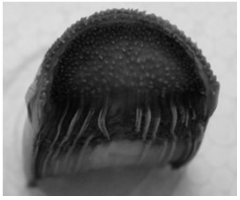
FATORES RESPONSÁVEIS PELA QUALIDADE

1. MATURAÇÃO
2. MATÉRIA ESTRANHA
3. DETERIORAÇÃO E ALTERAÇÃO DE PARÂMETROS TECNOLÓGICOS E FISIOLÓGICOS
4. SANIDADE
5. FLORESCIMENTO

Fonte: Sigacana (2016)



Fonte: CanaOnLine (2016)



Fonte: Arquivo pessoal (2015)

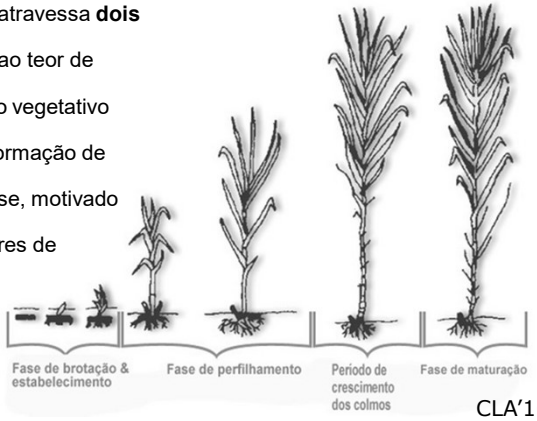
Sugar Technology hugot Laboratory FAPESP

CLA'16

MATURAÇÃO

Determinação da maturação é importante dentre as operações preliminares de fabricação.

No decorrer do seu ciclo, a cana atravessa **dois períodos distintos** com relação ao teor de sacarose. **1°:** intenso crescimento vegetativo acompanhado por uma gradual formação de sacarose; **2°:** acúmulo de sacarose, motivado pela escassez dos principais fatores de desenvolvimento vegetativo.



CLA'16

FATORES NATURAIS DO PROCESSO FISIOLÓGICO DA MATURAÇÃO

Fatores naturais:
- condições climáticas,
- tipo de solo,
- tratos culturais, e
- própria variedade.

Limitam-se apenas ao controle das ervas daninhas, adubação em cobertura e adoção de uma vigilância fitossanitária para controlar a incidência do carvão.
O período crítico da cultura, devido à concorrência de ervas daninhas, vai da emergência aos 90 dias de idade.

As variedades comerciais de cana-de-açúcar têm comportamentos distintos, apresentando níveis diferentes de sacarose mesmo quando cultivadas nas mesmas condições, constituindo-se como base para o planejamento agrícola, o que possibilita o processamento de matéria-prima de bom teor de sacarose no decorrer de toda a safra, garantindo, desta maneira, um bom rendimento em todos os meses de processamento.

CLA'16

Fatores naturais:
- condições climáticas,
- tipo de solo,
- tratos culturais, e
- própria variedade.

Dentre as várias maneiras para classificação dos cultivares de cana, a mais prática é quanto à época da colheita.

Cultivares mais indicados para São Paulo e Estados Limítrofes são:

para início de safra: SP80-3250, SP80-1842, RB76-5418, RB83-5486, RB85-5453 e RB83-5054.

para meio de safra: SP79-011, SP80-1816, RB85-5113 e RB85-5536.

para fim de safra: SP79-1011, SP79-2313, SP79-6192, RB72-454, RB78-5148, RB80-6043 e RB84-5257.

Os cultivares SP79-2313, RB72-454, RB78-5148, RB80-6043 e RB83-5486 caracterizam-se pela baixa exigência em fertilidade de solo.

CLA'16

Variedades

Características CTC 17

PRODUTIVIDADE	
Cana-planta	Alta
Cana-soca	Alta
Exigência em fertilidade do solo	Baixa
Brotação de soqueira	Boa
Perfilhamento	Médio/Alto
Fechamento nas entrelinhas	Bom
Tombamento	Médio
Florescimento	Raro
Isoporização	Pou
Teor máximo pol	Alto
Teor fibra % cana	Méd
Sensibilidade a herbicidas	Não
REAÇÃO ÀS DOENÇAS E PRAGAS	
Ferrugem	Mod. Resist.
Carvão	Intermediária
Escaldadura	Resistente
Mosaico	Resistente
Amarelecimento	Não
Reação à broca dos colmos	Intermediária

CLA'16

PERÍODO ÚTIL DE INDUSTRIALIZAÇÃO
(PUI)

Por exemplo:

Região Sul: a safra inicia-se em abril-maio e termina em novembro-dezembro;

Região Nordeste: vai de Agosto/setembro a março/abril.

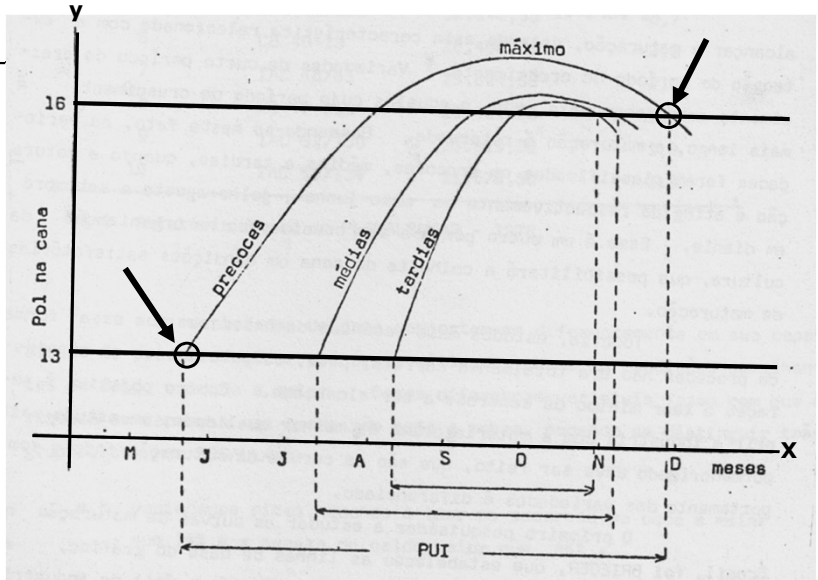
Por isso, é necessário o cultivo de variedades que atinjam um nível ideal de açúcar para industrialização em diferentes épocas.

Período em que a cana pode ser processada: PUI

Estabelece-se o mínimo de 13% para Pol da cana, como sendo satisfatório para a industrialização de diferentes variedades.

CLA'16

PERÍODO ÚTIL DE INDUSTRIALIZAÇÃO (PUI)



Adaptado de Delgado & César (1990)

CLA'16

CONDIÇÕES CLIMÁTICAS	PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO
Têm influência marcante na maturação e sob **condições de alta umidade no solo e elevada temperatura a cana-de-açúcar tem o seu crescimento intensificado**, enquanto que em **condições limitantes**, **aumenta a concentração de sacarose com conseqüente redução do teor de açúcares redutores**. Em regiões irrigadas, a maturação é controlada pelo fornecimento de água.	Nos **solos porosos e secos** a maturação é **mais rápida** do que em solos compactos e úmidos. A **adubação** influi nas propriedades químicas do solo **provocando um retardamento da maturação** sendo o **mesmo efeito verificado em solos ricos em matéria orgânica**. O efeito combinado de água-fertilizante-matéria orgânica, pode ser ocasionado pela aplicação de doses elevadas de vinhaça aos solos, responsável por altas produtividades agrícolas, mas por baixos teores de sacarose na matéria-prima. Além disso, tratos culturais ou idade da cultura podem afetar a maturação.

CLA'16

MATÉRIA ESTRANHA

A quantidade de impurezas carreadas nas fases de corte-carregamento compromete a qualidade da cana.

É afetada pelas **condições edafo-climáticas**, aumentando em **períodos chuvosos** pelas condições deficientes de queima e carregamento.

Obriga a lavagem de cana INTEIRA para o processamento, operação que acarreta perda de sacarose (1 a 2%). As impurezas causam o desgaste dos equipamentos, prejudicam o processamento e afetam a qualidade do produto final. **Na cana picada** (**não pode ser lavada**) carreando **maior teor de impurezas (5 a 7%)**, constituídas por impurezas orgânicas como folhas, reduzindo a capacidade de moagem e a produção industrial.

CLA'16

Impurezas Vegetais

CLA'16

Impurezas Minerais

CLA'16

Impurezas na Cana

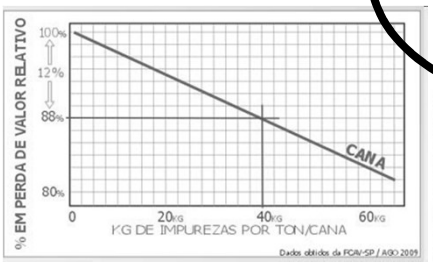
Impurezas da cana

As impurezas minerais podem acelerar o desgaste das moendas e diminuir a sua capacidade de extrair a sacarose. As impurezas vegetais tendem a aumentar o volume de bagaço gerado e conseqüentemente desenvolver as perdas de açúcar

Valores toleráveis:

1. Corte manual
- impurezas vegetais - 3% a 5%
  (De acordo com a hora da queima)
- impurezas minerais - de 0,4% a 0,7%

2. Corte mecanizado
- impurezas vegetais 4% a 6%
- impurezas minerais - 0,8% a 1,5 %



Ex: Para cada **40 kg** de impurezas por ton de cana haverá **12%** de perda no valor relativo do produto final (álcool ou açúcar).

Interferência do amido e dextrana nos parâmetros de qualidade da cana

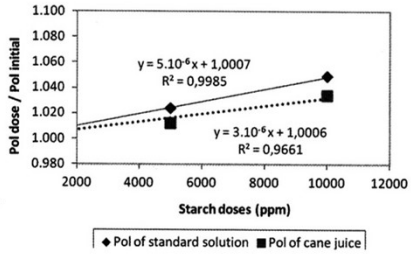


Figure 1: Effects of starch doses on pol readings in relation to a specific dose / pol of control (without addition) in the analysis with the sucrose standard solution (19% w/w) and sugarcane juice
Figura 1: Interferência das doses de amido sobre a relação Pol em uma dose específica / Pol do controle (adição zero) no teste com solução padrão de sacarose (19% m/m) e com o caldo de cana

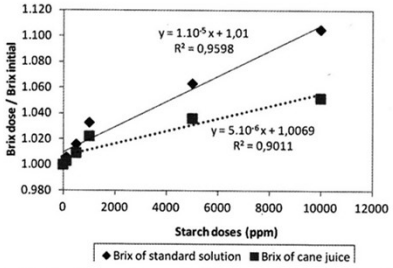


Figure 3: Effects of increasing starch doses on Brix ratios of dose/ control Brix (without addition) of the sucrose standard solution (19% w/w) and sugarcane juice.
Figura 3: Interferência de doses crescentes de amido sobre a relação Brix em uma dose específica / Brix do controle (adição zero) da solução padrão de sacarose (19% m/m) e do caldo de cana

Aguiar et al., 2013

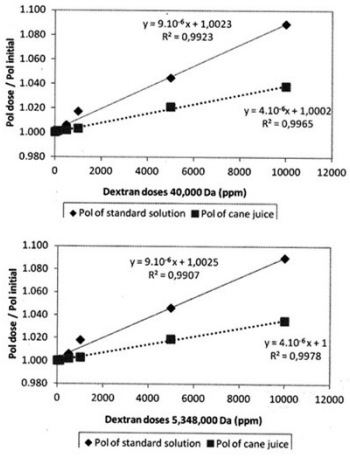


Figure 2: Effects of increasing doses of dextranase on ratio of pol dose/ pol control (without addition) in the sucrose standard solution (19% w/w) and sugarcane juice: A) Dextran of 40,000 Da and B) Dextran of 5,348,000 Da.
Figura 2: Interferência das doses crescentes de dextrana sobre a relação Pol em uma dose específica / Pol do controle (adição zero) da solução padrão de sacarose (19% m/m) e do caldo de cana, sendo: A) Dextrana de 40.000 Da e B) Dextrana de 5.348.000 Da.

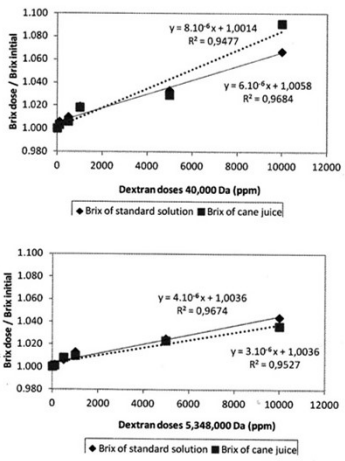


Figure 4: Effects of increasing doses of dextran on Brix ratio of specific dose /control Brix (without addition) of the sucrose standard solution (19% w/w) and sugarcane juice: A) Dextran 40,000 Da and B) Dextran 5,348,000 Da.
Figura 4: Interferência de doses crescentes de dextrana sobre a relação Brix em uma dose específica / Brix do controle (adição zero) da solução padrão de sacarose (19% m/m) e do caldo de cana, sendo: A) Dextrana de 40.000 Da e B) Dextrana de 5.348.000 Da.

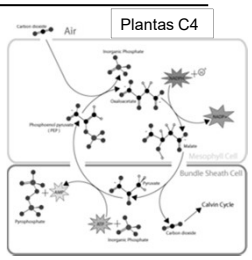
16 SugarJournal.com

Aguiar et al., 2013

DETERIORAÇÃO E ALTERAÇÃO DE PARÂMETROS TECNOLÓGICOS E FISIOLÓGICOS

COLMO: processo de respiração tem continuidade, com consumo de açúcares - forma de deterioração. A transpiração ocorre ocasionando perda de água e conseqüente concentração do caldo, o que muitas vezes é **interpretado erroneamente como benéfico - causa assim um aumento relativo de fibra da cana**, que além de **dificultar a moagem**, provoca uma **maior retenção de sacarose no bagaço**.

Plantas C4



Via de Hatch-Slack

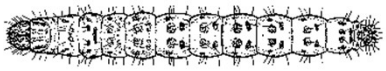
DETERIORAÇÃO MICROBIOLÓGICA DA CANA:

Decorrente da atividade microbiana que contamina o colmo após a queima e o corte, resultando no **consumo de açúcares e na formação de substâncias como gomas** (dextrana e levanas), **ácidos orgânicos** (láctico e acético), além da **presença do próprio microrganismo**.

Com relação à cana picada, o processo de deterioração pode ser agravado devido a maior área de exposição que favorece a contaminação com microrganismos pelo próprio equipamento de colheita, obrigando que o processamento seja efetuado o mais rápido possível, após o corte.

SANIDADE

Diatraea saccharalis



Complexo broca-podridão

Fusarium moniliforme
Colletotrichum falcatum

Causa a depreciação da qualidade da cana, causando danos, **diretamente proporcionais à intensidade de infestação**. A queda de qualidade é verificada pela **diminuição da pol da cana e pureza**, e **aumento do teor de açúcares redutores**, **fibra** e **gomas**. As **galerias abertas** no colmo pela broca constituem **porta de entrada para microrganismos deterioradores**.

Cigarrinha-das-raízes

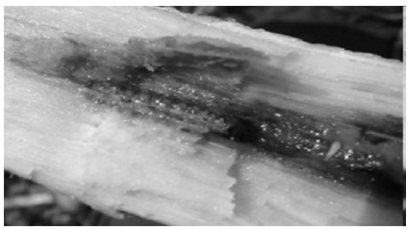
Uma praga até então de pouca importância econômica vem causando sérios danos.

Formas jovens: extrai grande quantidade de água e nutrientes das raízes.

Adultos: sugam a seiva das folhas, injetam saliva nos estomas (local onde são armazenadas a água e as substâncias que se transformarão em nutrientes para a planta, durante a fotossíntese).

CLA'16

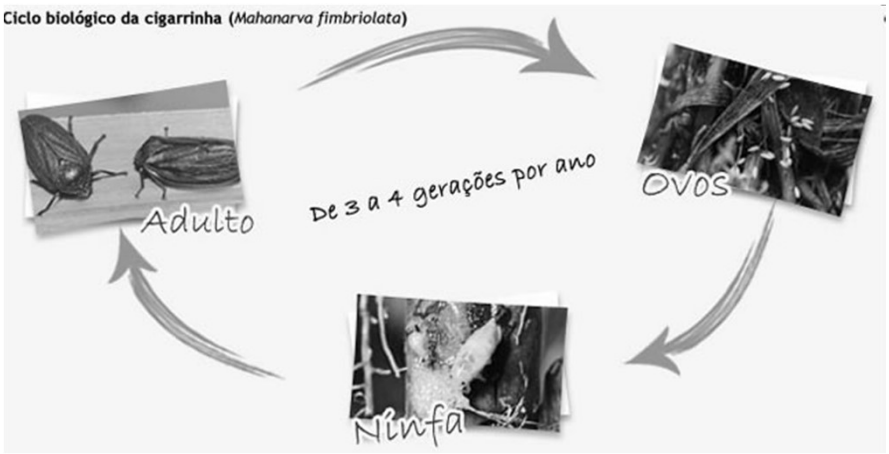
Diatraea saccharallis



Controle Biológico

Broca-Podridão

Mahanarva fimbriolata (cigarrinha-da-raiz)



CLA'16

Uso de variedades resistentes
Uma ferramenta de difícil utilização, devido que dados experimentais e de áreas comerciais mostram que quase a totalidade das variedades cultivadas comercialmente é atacada pela praga.

Levantamentos populacionais
O levantamento é realizado para identificar onde, quando e como fazer o manejo da cigarrinha, a fim de minimizar os prejuízos. Os levantamentos devem ser iniciados cerca de 15 a 20 dias após as primeiras chuvas da primavera, quando as primeiras ninfas são observadas em campo. Devem ser amostrados dois pontos por ha, sendo cada ponto constituído por 2m de sulco. Em cada ponto, deve-se contar os adultos nas folhas e cartuchos das plantas e em seguida, afastar com cuidado a palha entre os colmos, dispondo-a na entrelinha, a fim de que os pontos de espuma possam ser visualizados. Depois disso, conta-se as ninfas e adultos nas raízes. A ocorrência de inimigos naturais, especialmente da mosca Salpingogaster nigra (Diptera, Syrphidae) e de ninfas e adultos de ci-garrinha mortos pela ação de fungos, tais como Metarhizium anisopliae e Batkoa, poderá ser anotada. O registro dos dados observados deve ser feito em ficha apropriada.

Nível de controle e de dano econômico
Muito se discute sobre a densidade populacional de cigarrinha-das-raízes (Mahanarva fimbriolata) acima da qual se deve entrar com medidas de controle, sejam elas químicas ou biológicas. Esse valor é sempre inferior ao nível de dano econômico (NDE), que, por definição, é a densidade populacional da praga na qual ela causa prejuízo à cultura semelhante ao custo de adoção de uma medida de controle. Por outro lado, vários estudos mostram que determinada variedade sofre maiores danos quanto mais tarde se dá sua colheita. Portanto, o NDE é menor para colheitas de final de safra do que de início.

Controle biológico
Uso do fungo *Metarhizium anisopliae*.

Controle químico
Uso de inseticidas Thiamethoxam 250WG e Imidacloprid 480SC.

Retirada ou afastamento da palha
A retirada ou afastamento da palha de cima da linha de cana contribui para reduzir as populações da praga, por manter as linhas de cana mais secas, devido à maior incidência dos raios solares sobre ela.

Fogo
Apesar de eficiente no controle da cigarrinha, em algumas situações, o fogo na pré-colheita é de uso bastante restrito, por força da legislação ambiental. Além disso, com esta prática perdem-se os benefícios da colheita da cana crua.

Antecipação de colheita em áreas severamente atacadas
A antecipação da colheita reduz as perdas de provocadas pela praga, embora não seja uma medida de controle da cigarrinha.

São ainda importantes as doenças fúngicas (carvão, ferrugem), bacterianas (escaldadura, raquitismo) e viroses (sintomáticas ou assintomáticas) que contribuem para a senescência precoce das variedades.

CLA'16

FLORESCIMENTO

Apontado como um defeito varietal e, sendo assim, a área de plantio das variedades floríferas deveria ser reduzida.

Pode trazer como conseqüência o "chochamento".

CLA'16

Obrigado pela Atenção!

Prof. Claudio L. Aguiar

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição
3447-8682
claguiar@usp.br

CLA'16

O PUI foi estabelecido para valores de sacarose na cana medidos em Pol entre 13 e 16%. O valor 13% corresponde a linha de base, e somente após a cana ultrapassar este valor é que deve-se iniciar o corte. O corte deve ser feito antes que se inicie a queda do Pol para abaixo de 16%.

NO ENTANTO, o limite mínimo de 13% não pode ser considerado rígido, devido às variações climáticas anuais. Em determinadas safras, este valor poderá ser menor ou maior; ex.: 12%.

As **variedades precoces** atingem a linha de base logo no início da safra por volta de abril-maio e a sua riqueza em sacarose continua a crescer até atingir a um máximo em agosto-setembro, para depois iniciar o declínio demonstrando possuir um **PUI longo**, acima de 150 dias. Deve-se ressaltar que existem muitas exceções a esse comportamento, isto é, variedades precoces de PUI curto.

As **variedades médias** irão alcançar o valor de 13% somente mais tarde, ao redor do mês de julho, mas, atingem o máximo de maturação em setembro, sem, contudo ultrapassar a curva das precoces e, logo entram em declínio, mostrando um **PUI de 120 a 150 dias**.

As **canas tardias** alcançam o valor mínimo para industrialização por volta de agosto-setembro; o **PUI é curto**, entre 70 a 120 dias e, de um modo geral, a sua riqueza em sacarose é inferior ao das variedades precoces de PUI longo. Desta forma, as variedades tardias têm um menor interesse industrial.

CLA'16

Hoje ...

... com a monocultura implantada, apareceram novas necessidades e, conseqüentemente, novos critérios de seleção para atendê-las, não se conseguindo, até então, satisfazê-las com uma única variedade. Isso obriga o plantio de um grande número de variedades para que se consiga garantir o abastecimento da indústria com matéria-prima de qualidade durante todo o decorrer da safra, para se diminuir os efeitos negativos de clima, solo, pragas e doenças.

CLA'16