

**Universidade de São Paulo – USP**



Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Esalq  
Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição - LAN

## **QUALIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO MATÉRIA-PRIMA PARA A INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA**



**Prof. Antonio Sampaio Baptista**  
**LAN/ESALQ/USP**



# Qualidade da matéria-prima para a indústria sucroenergética

---



- 1 - Introdução
- 2 - Considerações gerais
- 3 - Parâmetros de qualidade da cana como matéria-prima
- 4 - Fatores que interferem na qualidade da matéria-prima e suas inter-relações com o processo industrial
- 5 - Indicadores de qualidade da matéria-prima
- 6- Considerações finais
- 7 - Referências



# Qualidade da matéria-prima para a indústria sucroenergética

---



## 1 - Introdução

Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima:

Refere-se a produzir e preservar as características tecnológicas que cana deve apresentar para se obter o máximo de rendimento e produtividade dos produtos de interesse (etanol, açúcar e eletricidade) quando do seu processamento.



# Qualidade da matéria-prima para a indústria sucroenergética

---



## 1 - Introdução

Os fatores que interferem na qualidade da matéria-prima podem ser entendidos como aqueles que atuam reduzindo ou melhorando a qualidade tecnológica da cana.



# Qualidade da matéria-prima para a indústria sucroenergética

---



## 1 - Introdução

Para facilitar a caracterização da qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima para a indústria sucroenergética são utilizados parâmetros, os quais servem como referência para entender se a cana em questão apresenta uma qualidade considerada baixa, média ou excepcional.

# Qualidade da matéria-prima para a indústria sucroenergética

---

## 1 - Introdução

Os parâmetros de qualidade podem e devem ter os seus índices ajustados a medida que se aumenta o conhecimento, a disponibilidade de recursos e as exigências de mercado, ou seja, é desejável que sofram aprimoramento com o decorrer do tempo.

## 2- Indicadores de qualidade da matéria-prima

### Matéria-prima: Cana-de-açúcar na usina

**Ideal** ⇒ cana  
limpa, madura e  
fresca.



**Realidade:** cana com  
impurezas  
minerais, vegetais e  
soqueiras



# Qualidade da matéria-prima para a indústria sucroenergética



## 1 - Introdução

Produtos de interesse para a indústria sucroenergética

- Açúcar (Sacarose -  $C_{12}H_{22}O_{11}$ )
- Álcool (Etanol -  $CH_3CH_2OH$ )
- Bioeletricidade (Energia da biomassa)



A cana-de-açúcar como matéria-prima representa 60 - 65 % do custo de obtenção desses produtos





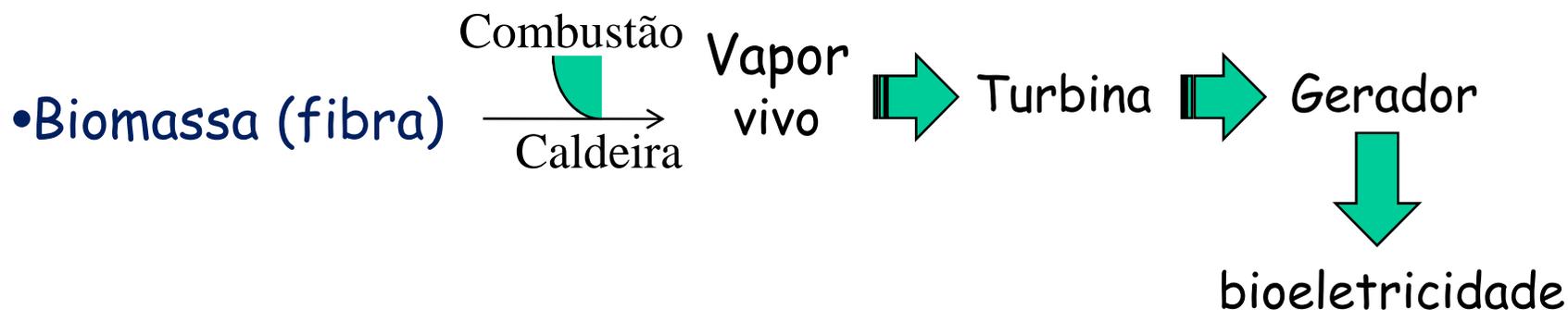


# Qualidade da matéria-prima para a indústria sucroenergética



## 1 - Introdução

### 3 Como é obtida a bioeletricidade?



✓ Em uma análise bem simples, o que é importante ter na cana para produzir eletricidade?

# Qualidade da matéria-prima

## 1 - Introdução

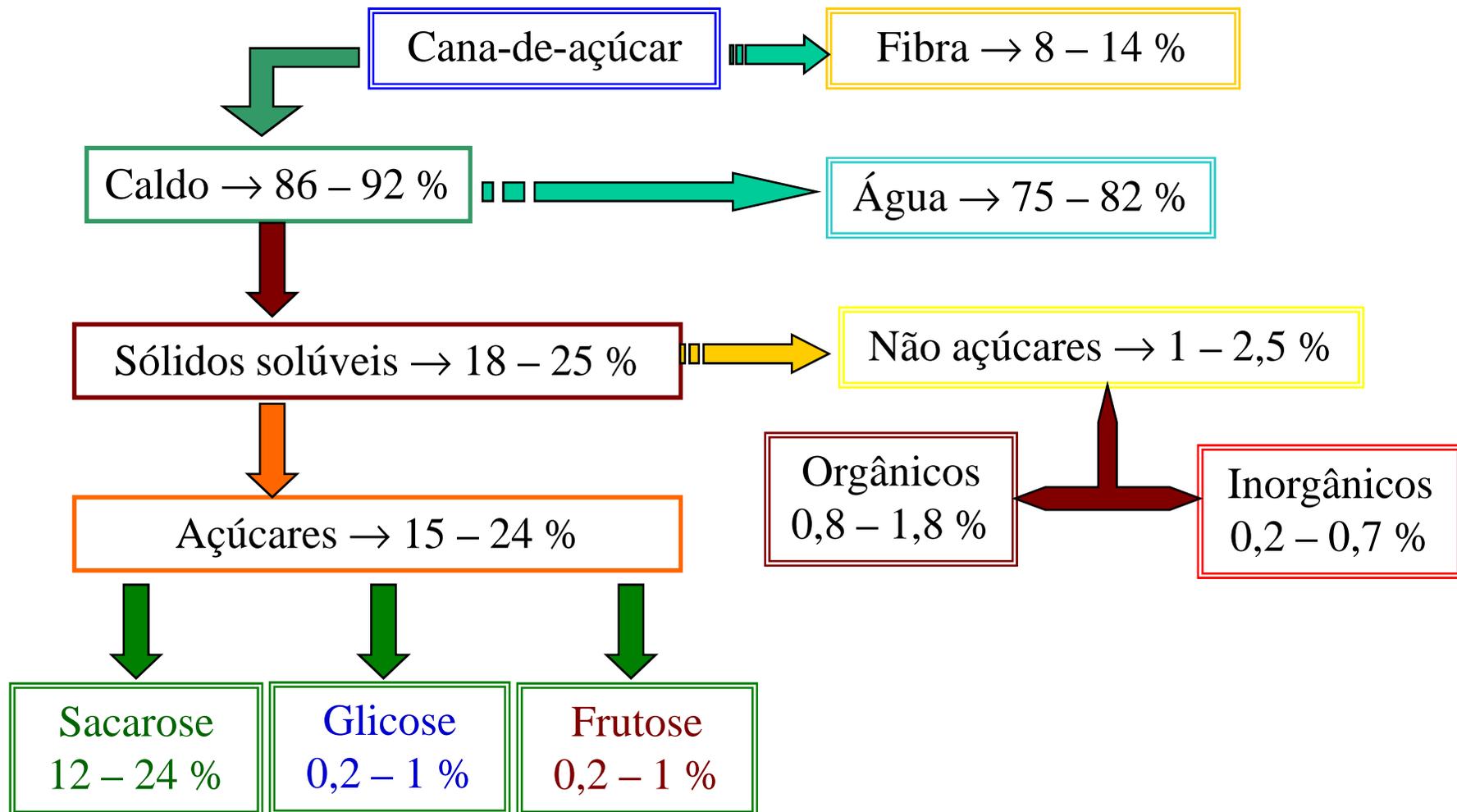


Figura 1 – Características tecnológica quantitativas da cana-de-açúcar

(Fonte: Waldemar, 2007)



# QUALIDADE DA MATÉRIA-PRIMA

---



## 2 - Considerações gerais

O que define a qualidade dessa matéria-prima?

- ❖ Teor de sacarose;
- ❖ Teores de açúcares redutores;
- ❖ Teor de fibra;
- ❖ Nutrientes;
- ❖ Impurezas.



# QUALIDADE DA MATÉRIA-PRIMA



## 2 - Considerações gerais

Qual é o comportamento dos açúcares na cana-de-açúcar?

❖ Varia com a idade da planta e com a época do ano.

✓ Período chuvoso e alta temperatura (verão)

↑[glicose e frutose] e ↓ [sacarose]

❖ Do ponto de vista técnico, o que é mais interessante produzir nessa época do ano, etanol ou açúcar? Qual é a consequência se priorizar a produção de açúcar?



# QUALIDADE DA MATÉRIA-PRIMA

---



## 2 - Considerações gerais

✓ Período seco (outono - primavera)

↑ [sacarose] e ↓ [glicose e frutose]

❖ Do ponto de vista técnico, o que é mais interessante produzir nessa época do ano, etanol ou açúcar?

❖ Tanto faz, açúcar ou etanol.

❖ Por que tanto faz produzir açúcar ou etanol?

❖ Por que a cana-de-açúcar normalmente é colhida na época seca do ano?



# QUALIDADE DA MATÉRIA-PRIMA



## 2 - Considerações gerais

✓ Estudo de caso 1:

❖ Há alguns projetos novos de usinas que pretendem estender a safra para 300 a 330 dias por ano. Qual é a consequência dessa decisão sobre a qualidade da matéria-prima?

❖ Do que foi discutido até agora, do ponto de vista gerencial, quais devem ser as decisões, considerando os aspectos tecnológicos da matéria-prima?



# QUALIDADE DA MATÉRIA-PRIMA

---



## 2 - Considerações gerais

- ✓ Durante o período seco do ano há diferença de comportamento dos açúcares na cana-de-açúcar.
- ❖ Isso ocorre porque há variação genética entre as plantas de cana-de-açúcar. Por isso, essas são agrupadas em variedades.
- ❖ Os principais grupos de variedades de cana-de-açúcar são: precoce, médias e tardias (Figura 1)

## 2 - Considerações gerais

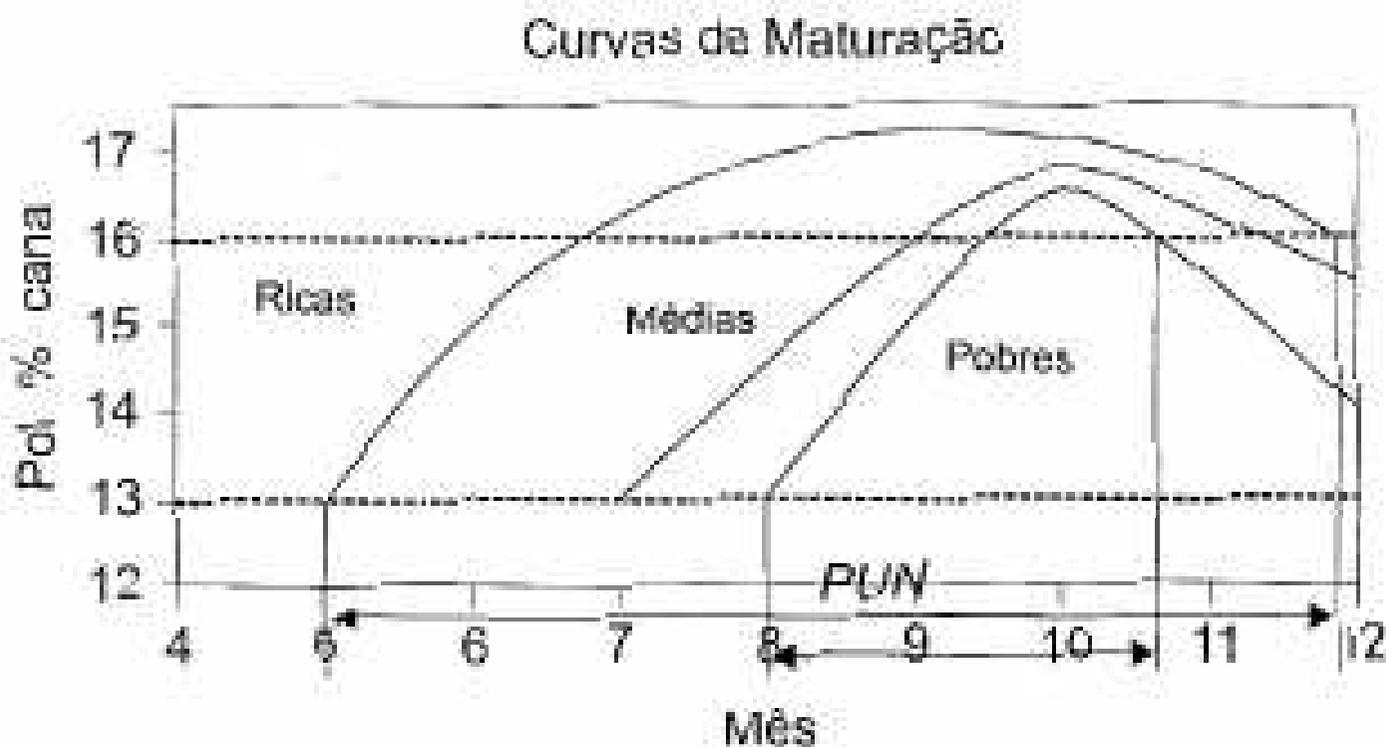


Figura 4. Curvas de maturação de variedades precoces, médias e tardias:



# QUALIDADE DA MATÉRIA-PRIMA

---

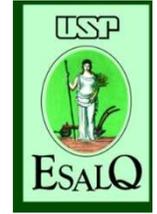


## 2 - Considerações gerais

- O planejamento do plantio de diferentes variedades de cana-de-açúcar é muito importante na definição da qualidade da matéria-prima .
- No planejamento é feita a setorização onde é definida a quantidade de cana que deve ser colhida por dia.
- Na escolha da variedade da cana, são preferíveis aquelas que apresentam altos teores de sacarose durante a safra. Além disso, que tenha quantidade o suficiente de fibra para garantir o balanço energético da usina;



# QUALIDADE DA MATÉRIA-PRIMA



## 2 - Considerações gerais

- No planejamento do plantio é muito importante prevê a logística de transporte, de modo que durante a safra a distância média e o tempo de transporte das diferentes frentes de colheita sejam semelhantes. Isso permite garantir um fornecimento uniforme e constante de matéria-prima na usina durante toda a safra. Além disso, facilita a entrega de cana de boa qualidade;
- No planejamento do plantio é fundamental prever o tipo de colheita a ser adotado. Isso vai permitir reduzir as quantidades de impurezas conduzidas à usina.



# QUALIDADE DA MATÉRIA-PRIMA



- ✓ Do ponto de vista agroindustrial é muito importante entender que a matéria-prima não deve ser analisada apenas em função da quantidade, por que?
- ✓ A cana-de-açúcar deve prover a indústria de matéria-prima o suficiente para a produção eficiente dos seus principais produtos, subprodutos e produtos secundários, de forma que haja aproveitamento industrial ecologicamente correto desse material, sem desperdício de energia sob qualquer forma. Para que isto ocorra além de apresentar características tecnológicas adequadas, é preciso que a matéria-prima esteja disponível durante toda a safra e sem variação de oferta.
- ✓ A qualidade da matéria-prima deve atender às necessidades da usina.



## Parâmetros de qualidade da matéria-prima



✓ Dois tipos de fatores afetam a qualidade da matéria-prima destinada à indústria:

- 1) **Fatores intrínsecos**: relacionados à composição da cana (teores de sacarose, açúcares redutores, fibras e minerais), sendo estes afetados de acordo com a variedade da cana, variações de clima (temperatura, umidade relativa do ar, chuva), solo e tratamentos culturais;
- 2) **Fatores extrínsecos**: relacionados a materiais estranhos ao colmo (terra, pedra, restos de cultura, plantas invasoras) ou compostos produzidos por microrganismos devido à sua ação sobre os açúcares do colmo.



## 3 Parâmetros de qualidade da matéria-prima



### 3.1 Pol (pol%caldo):

- ✓ É a percentagem de sacarose aparente contida no caldo.
- ✓ Sendo determinada por métodos polarimétricos (sacarímetros ou polarímetros).
- ✓ Para a indústria, quanto mais elevados os teores de Pol , melhor.
- ✓ Em geral, as variedades de cana-de-açúcar apresentam de 12 a 24 % de Pol. Do ponto de vista técnico-econômico, recomenda-se iniciar a colheita quando esta apresentar mais de 13 % de Pol.
- ✓ Qual é a consequência para o processo industrial quando realiza a colheita da cana com baixo teor de Pol ( $\leq 12$  %)?



## 3 Parâmetros de qualidade da matéria-prima



### 3.2 Brix:

- ✓ É o parâmetro mais utilizado na indústria do açúcar e álcool.
- ✓ Expressa a percentagem (p/p) dos sólidos solúveis contidos em uma solução açucarada impura.
- ✓ O brix normalmente é determinado por aparelhos denominados refratômetros.
- ✓ É primeiro parâmetro analisado para verificar se a cana está madura.



### 3.3 Pureza aparente

- ✓ Reflete a relação da POL sobre os demais sólidos solúveis ( $POL/BRIX*100$ ).
- ✓ A pureza é um valor calculado e não avaliado diretamente.
- ✓ Quando a cana está madura a pureza é maior do que a cana está verde.
- ✓ O valor de pureza é sempre menor do que 100 %. Porque a sacarose é apenas um entre todos os sólidos solúveis.
- ❖ A pureza aparente na madura é maior do que 85 %;



## Parâmetros de qualidade da matéria-prima



### 3.3 Pureza aparente

- ✓ No pico da maturação essa relação (Pol/Brix) chegar a ser maior que 95 %
- ✓ Um canavial foi colhido em época na programada em função de um incêndio clandestino, ao verificar a análise química você observa que a pureza aparente é de 55 %. É preferível destinar essa cana para produção de açúcar ou etanol? Por que?



## Parâmetros de qualidade da matéria-prima



### 3.4 Fibra:

- ✓ É a matéria insolúvel em água contida na cana;
- ✓ Plantas mais ricas em fibras são mais tolerantes ao tombamento e mais tolerantes à entrada de pragas e doenças;
- ✓ No início de safra - usar variedades mais ricas em fibras
- ✓ Do ponto de vista industrial - importante para o balanço energético.



## 3.4 Fibra:

- ✓ Teor de fibra na cana pode ser determinado por relação matemática de acordo com o Consecana (2006)

$$\% \text{ de fibra} = 0,08 \times \text{PBU} + 0,876$$

- ✓ PBU = peso do bagaço úmido (obtido de uma amostra de 500 g cana desfibrada prensada);

Nota: embora a fibra seja utilizada para a geração de energia na usina. No cálculo da quantidade de açúcar total recuperável (ATR) por tonelada de cana, ela entra reduzindo a quantidade do ATR. Por que isso acontece?



## 3 Parâmetros de qualidade da matéria-prima



### 3.5 Açúcares redutores:

Este termo é empregado para designar os açúcares na forma de glicose e frutose, contidos no caldo.

Em geral, no caldo de cana o teor de glicose é maior do que o de frutose. A relação G/F, decai de 1,6 (cana verde) para 1,1 na cana madura.

- ✓ Cana verde: elevados teores de AR ( $> 1,5 \%$ )
- ✓ Cana madura: baixos teores de AR ( $< 1,5 \%$ )
- ✓ Maturação da cana ocorre da base para o ponteiro;
- ✓ Altos teores de AR aumentam a cor do açúcar e dificultam a cristalização da sacarose.



### 3.6 Açúcares redutores totais (ART):

- ✓ Representa o somatório dos açúcares redutores presentes nessa forma no caldo da cana e a glicose mais a frutose que se originaram da hidrólise da sacarose, ou seja, representa todos os açúcares do material na forma invertida.

Os açúcares redutores totais presentes no caldo podem ser obtidos através da seguinte relação:

$$ART = \%AR + 1,05 \times \%Pol$$

%AR = percentagem de açúcares redutores no caldo

%Pol = percentagem de Pol no caldo



### 3.7 Açúcares totais (AT):

- ✓ Referem-se a concentração de total de açúcares no caldo, o somatório de glicose+frutose+sacarose  
Os açúcares totais presentes no caldo podem ser obtidos através da seguinte relação:

$$\%AT = \text{Sacarose\% no caldo} + \text{açúcares redutores\% no caldo}$$



### 3.8 Açúcares totais recuperáveis (ATR):

- ✓ É a quantidade de açúcares redutores totais (ART) recuperada da cana colhida até a formação do xarope. Em geral, o ATR total dos produtos é semelhante ao ART da cana considerando perdas de 8,5%.
- ✓ Essa quantidade de açúcar é obtida por cálculos e representa o quanto do açúcar existente na cana que a indústria realmente consegue aproveitar. Em geral, quanto maior esse valor melhor é a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar



### 3.9 Impurezas minerais e vegetais (IPMV):

- ✓ Impurezas: todo material não colmo presente na matéria-prima.
- ✓ Impurezas minerais: terra, pedregulhos e metais (equipamentos)  
Derivadas das operações de corte e carregamento da cana.
- ✓ Impurezas vegetais: folhas da cana (secas, verdes, parcialmente secas), cartucho de folhas enroladas, plantas daninhas, etc.



## 3 Parâmetros que definem a qualidade da matéria-prima

---



### 3.9 Impurezas minerais e vegetais (IPMV):

- ✓ Oriundas da própria cana, restos de outras culturas ou plantas daninhas.
- ✓ Estas impurezas estão presentes na cana entregue na usina independente do tipo de colheita adotado, cana crua ou queimada.



## 4) Fatores que afetam a quantidade de ATR por tonelada de cana

---



### 4.) Colheita e transporte

- Tempo decorrido da queima/colheita à entrada da cana na usina, em horas;

### 4.22) Laboratório da indústria

- Deve obter as seguintes informações tecnológicas
  - ✓ Brix do caldo, °Brix
  - ✓ Pol do caldo, % de pol
  - ✓ Fibra da cana, % de fibra



## 5 Fatores que interferem na qualidade da matéria-prima



- 1) Queima da cana-de-açúcar
- 2) *Maturação*
- 3) *Matéria estranha ou impurezas*
- 4) Sanidade da cultura
- 5) *Altura de desponte*
- 6) *Deterioração (fisiológica ou microbiana)*
- 7) Inversão da sacarose



## 4 Fatores que interferem na qualidade da matéria-prima



### 1) Queima da cana-de-açúcar

Tabela 4. Quantidade de impurezas vegetais em função do sistema e do horário de colheita (Fonte: Adaptado de Mazzi, 1992).

Horário da queima	% impurezas vegetais		Eficiência de queima (%)
	Cana crua	Cana queimada	
12 h	23,04 a	8,24 b	64,20 b
18 h	22,60 a	9,03 b	60,00 b
24 h	22,21 a	8,87 b	60,10 b
06 h	22,38 a	13,96 a	37,60 a

Valores seguidos por letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

✓ Colheita da cana sem queima é o ideal para manter a qualidade da matéria-prima;

### Desvantagens associadas

- ✓ Redução de produtividade do trabalhador
- ✓ Acidentes de trabalho

### 2) Maturação

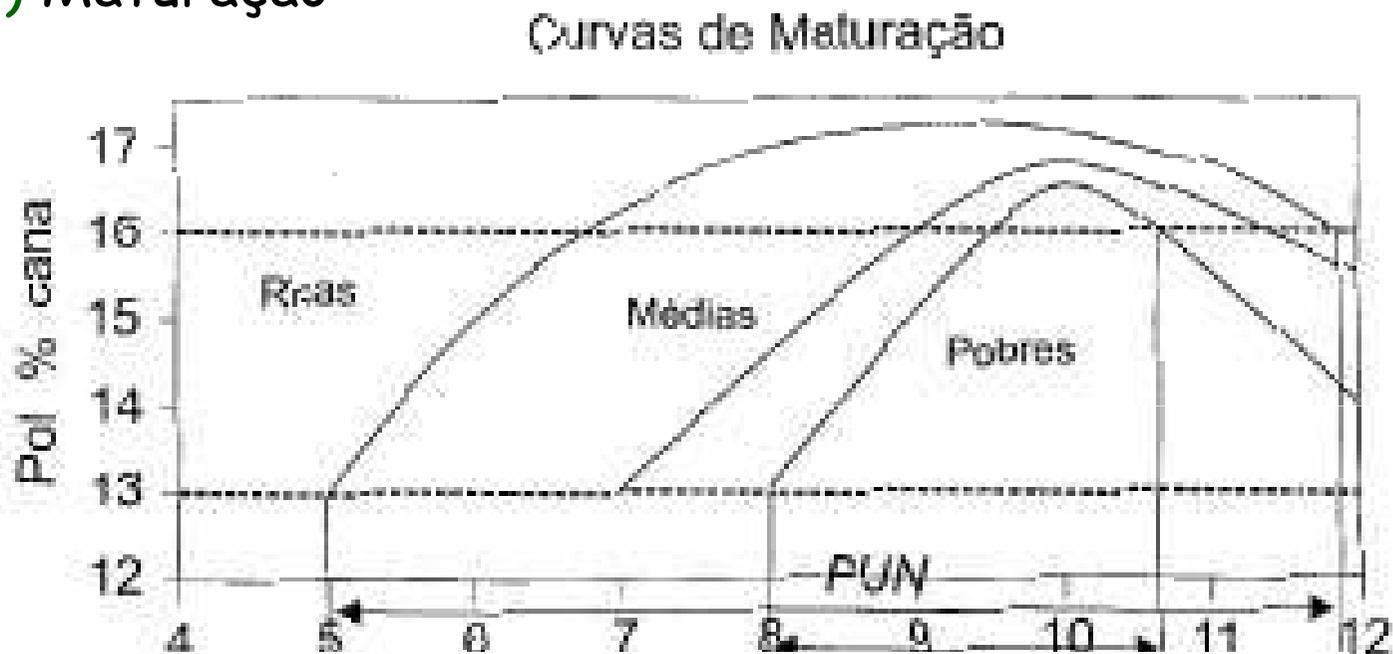


Figura 4. Curvas de maturação de variedades precoces, médias e tardias:

- É importante a setorização do plantio, a fim de que se tenha cana para colher no pico da maturação durante toda a safra.
- Isso garante uma matéria-prima de melhor qualidade e um maior rendimento industrial.



## Evolução Mensal da Precipitação – Centro-Sul

✓ Precipitações acima da média de jul - dez

✓ Reflexo na oferta de matéria-prima

✓ Reflexo na qualidade tecnológica



2º semestre de 2009: precipitação pluviométrica no Centro-Sul atingiu níveis muito superiores a média histórica registrada para o período

1ª metade da safra 2010/11: precipitação pluviométrica no Centro-Sul atingiu níveis muito inferiores a média histórica



## 3 - Fatores que interferem na qualidade da matéria-prima

---

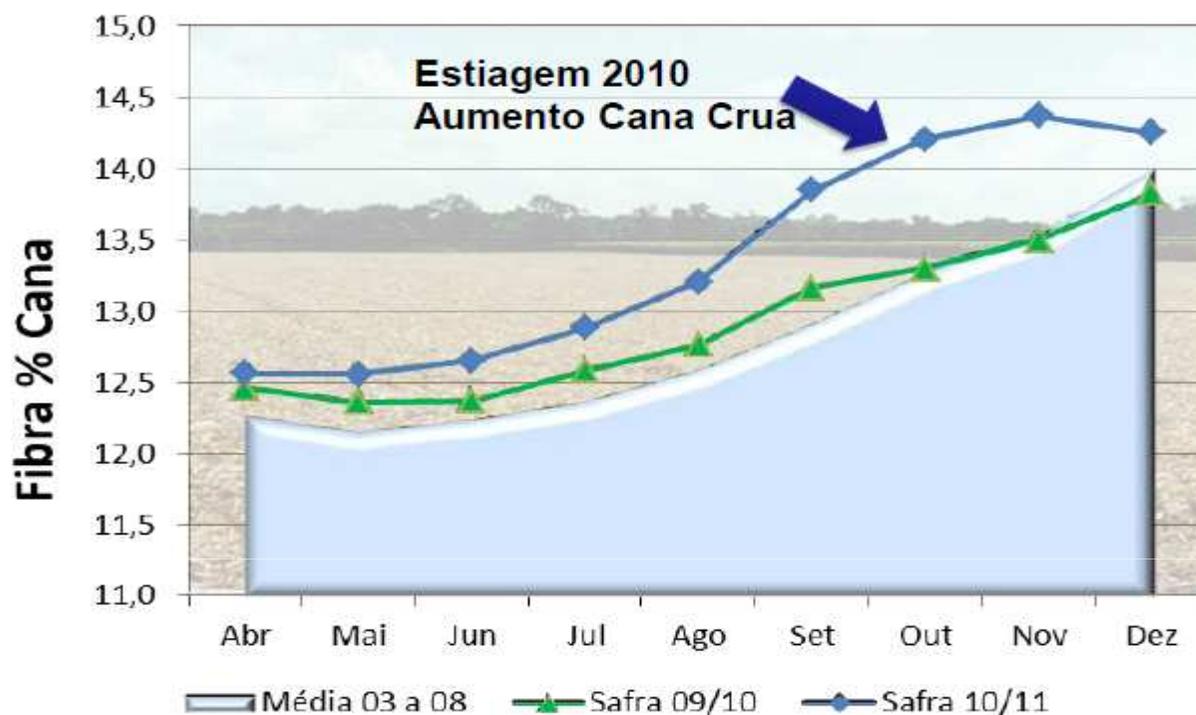


### EFEITOS DOS ÍNDICES PLUVIOMÉTRICOS SOBRE OS TEORES DE FIBRA DA CANA.

- ✓ Em anos mais secos, a cana tende a apresentar maiores teores de fibra e vice-versa.
- ✓ No mesmo ano, em períodos com maiores déficit hídricos, a cana apresenta maiores teores de fibra.



## Qualidade da Cana - FIBRA % cana



- ✓ Em 2010, os teores médios de fibra foram maiores do que em 2009.
- ✓ No decorrer do período de safra, com aumento do déficit hídrico, há aumento nos teores de fibra cana, naquele ano.



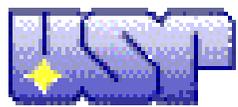
## 3 - Fatores que interferem na qualidade da matéria-prima

---



### EFEITOS DOS ÍNDICES PLUVIOMÉTRICOS SOBRE OS TEORES DE IMPUREZAS DA CANA.

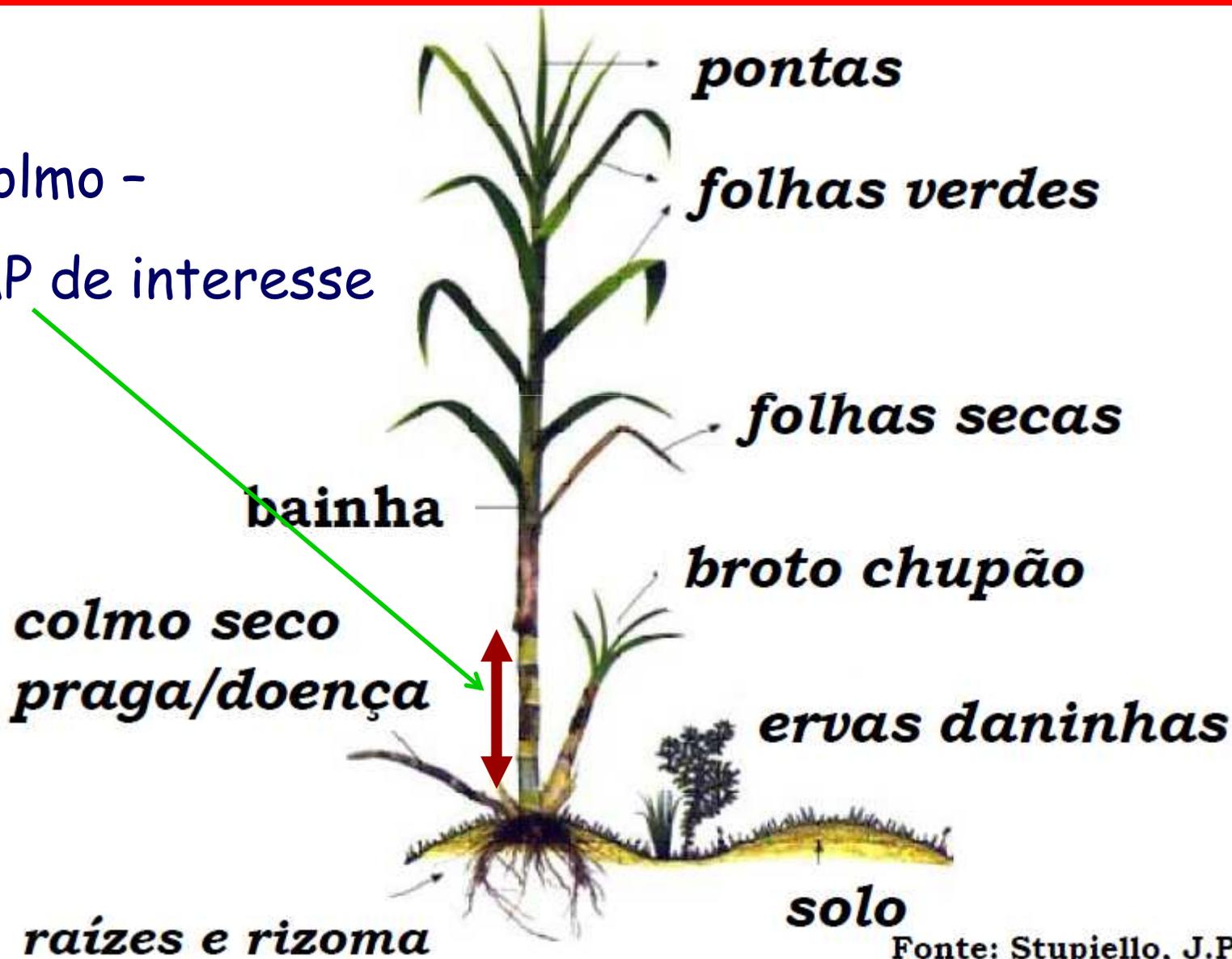
- ✓ Em anos mais secos a cana tende a apresentar menores teores de impurezas e vice-versa.



### 3 - Fatores que interferem na qualidade da matéria-prima



Colmo -  
MP de interesse



Fonte: Stupiello, J.P.

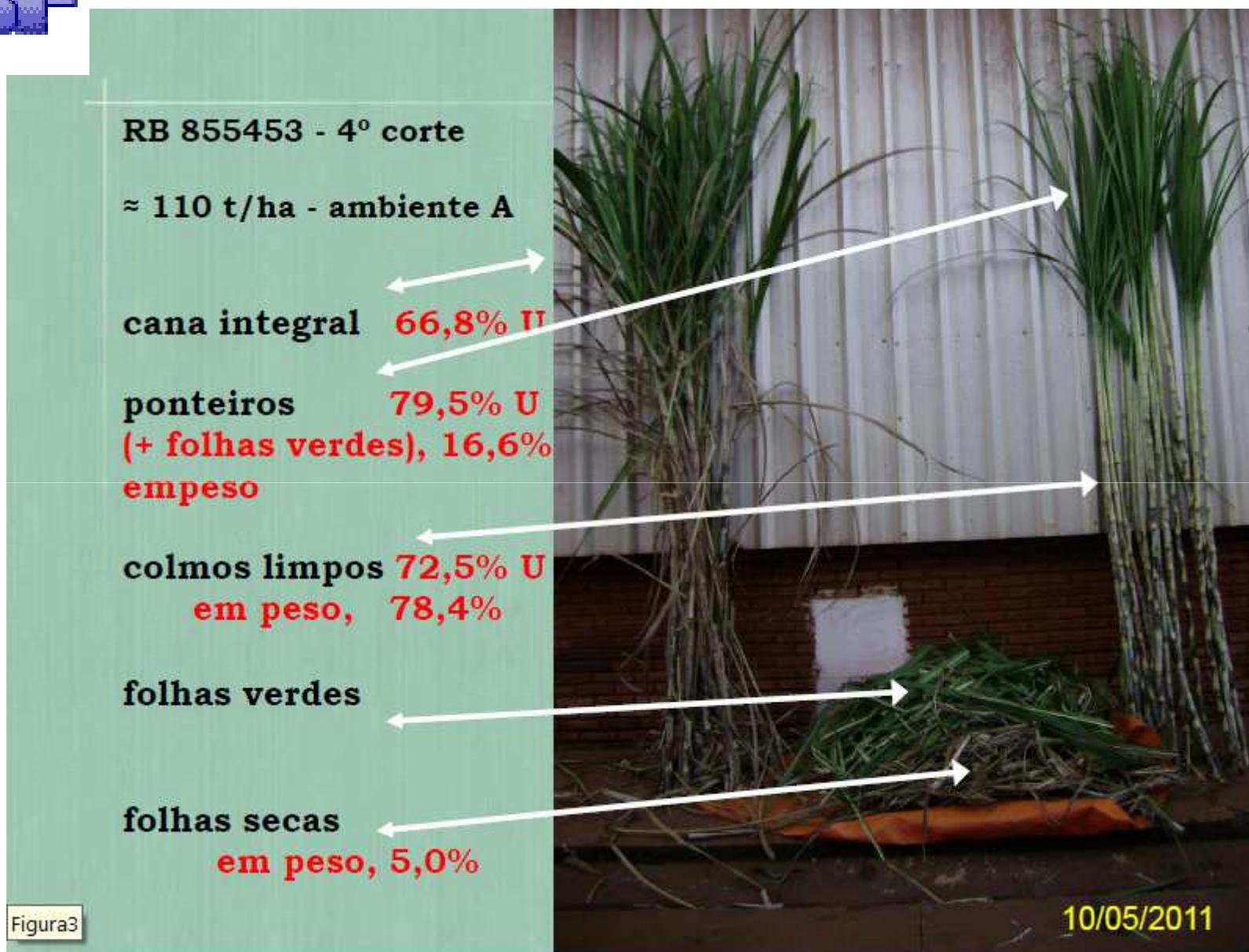


Figura3



Quanto maior a quantidade de material não colmo junto com a cana, após o preparo maior é a diferença em relação a cana limpa e menor é qualidade dessa matéria-prima.



Partes verde, apresentam maiores teores de umidade e menores teores de açúcares fermentecíveis.





O colmo isolado também pode depreciar a qualidade da cana como matéria-prima quando sofre alterações fisiológicas, com o florescimento, que pode levar ao chochamento do colmo.



- ✓ Pode aumentar os teores de fibra e diminuir os teores de açúcares disponíveis.





O colmo também pode estar acompanhado de impurezas minerais.



Fonte: Stupiello, J.P.

O colmo também pode estar acompanhado de frações vegetais que não contribuirão positivamente para a extração do açúcar ou produção do etanol.



Fonte: Stupiello, J.P.

Usina São Luiz 04



Impurezas dificultando o processo industrial.





## Efeito das impurezas minerais na cor do caldo.



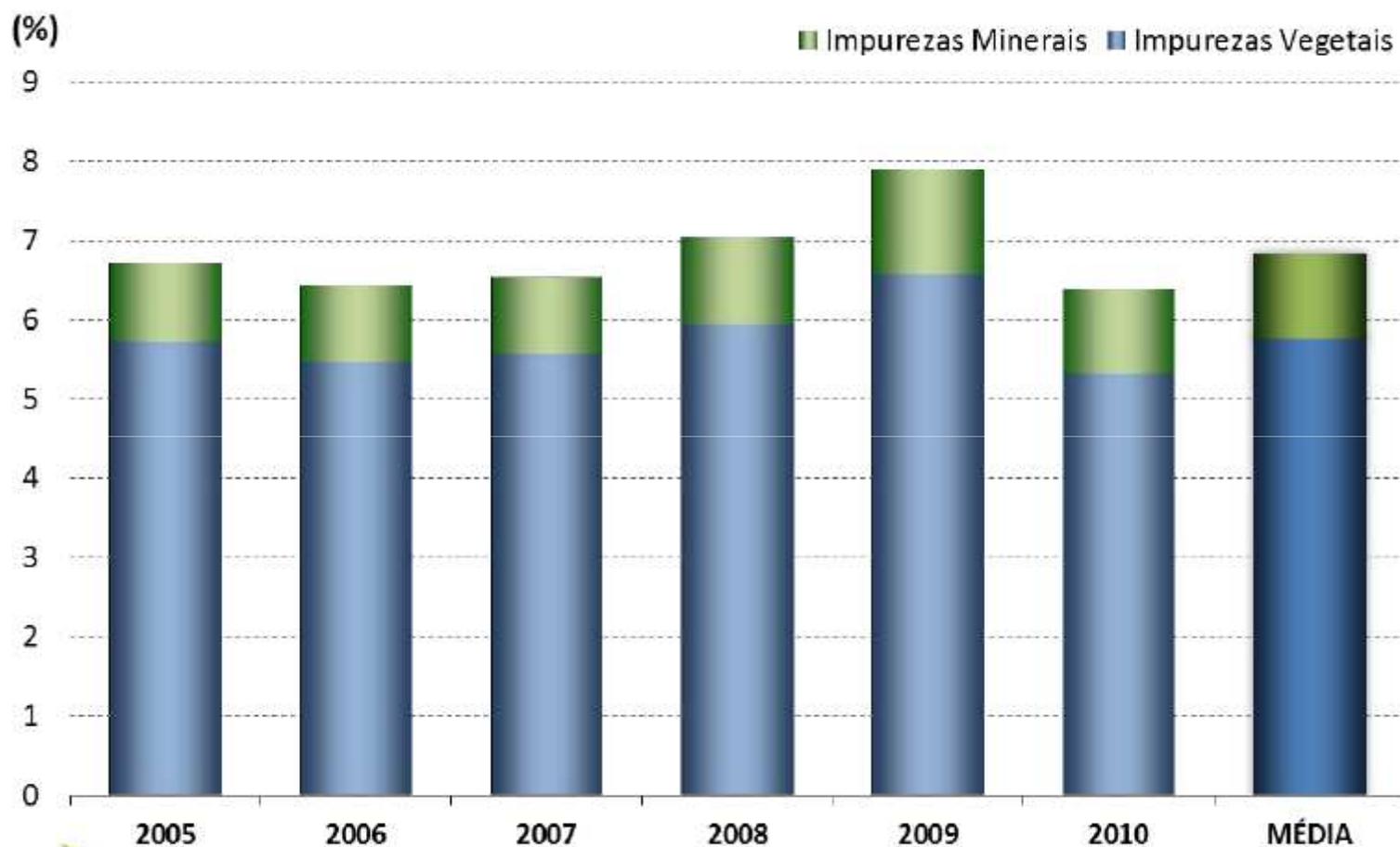
Volume excessivo de impurezas vegetais na matéria-prima.



Fonte: Stupiello, J.P.



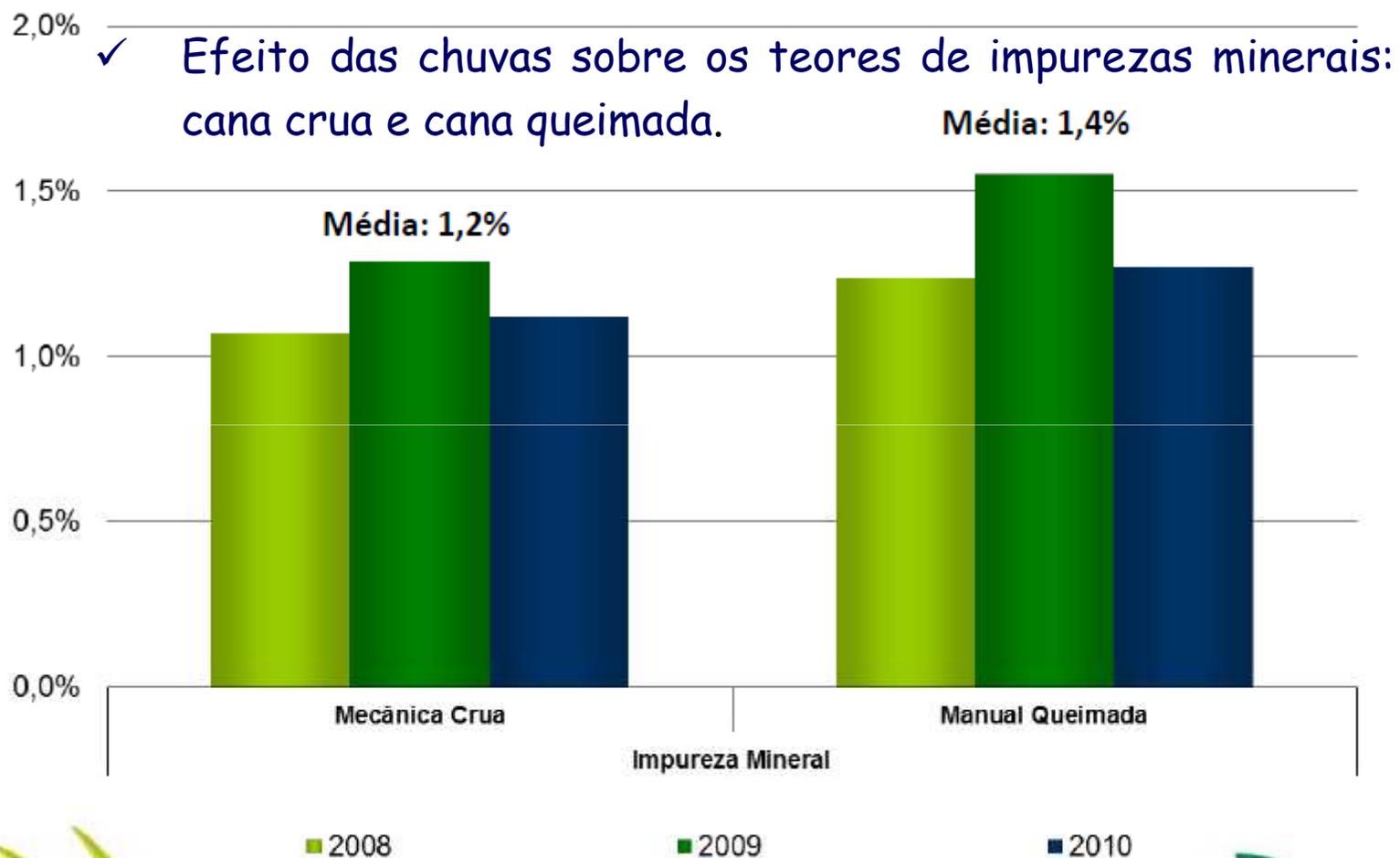
## Histórico de Impurezas no Centro-Sul



Em anos mais chuvosos as: quantidades de impurezas na cana.



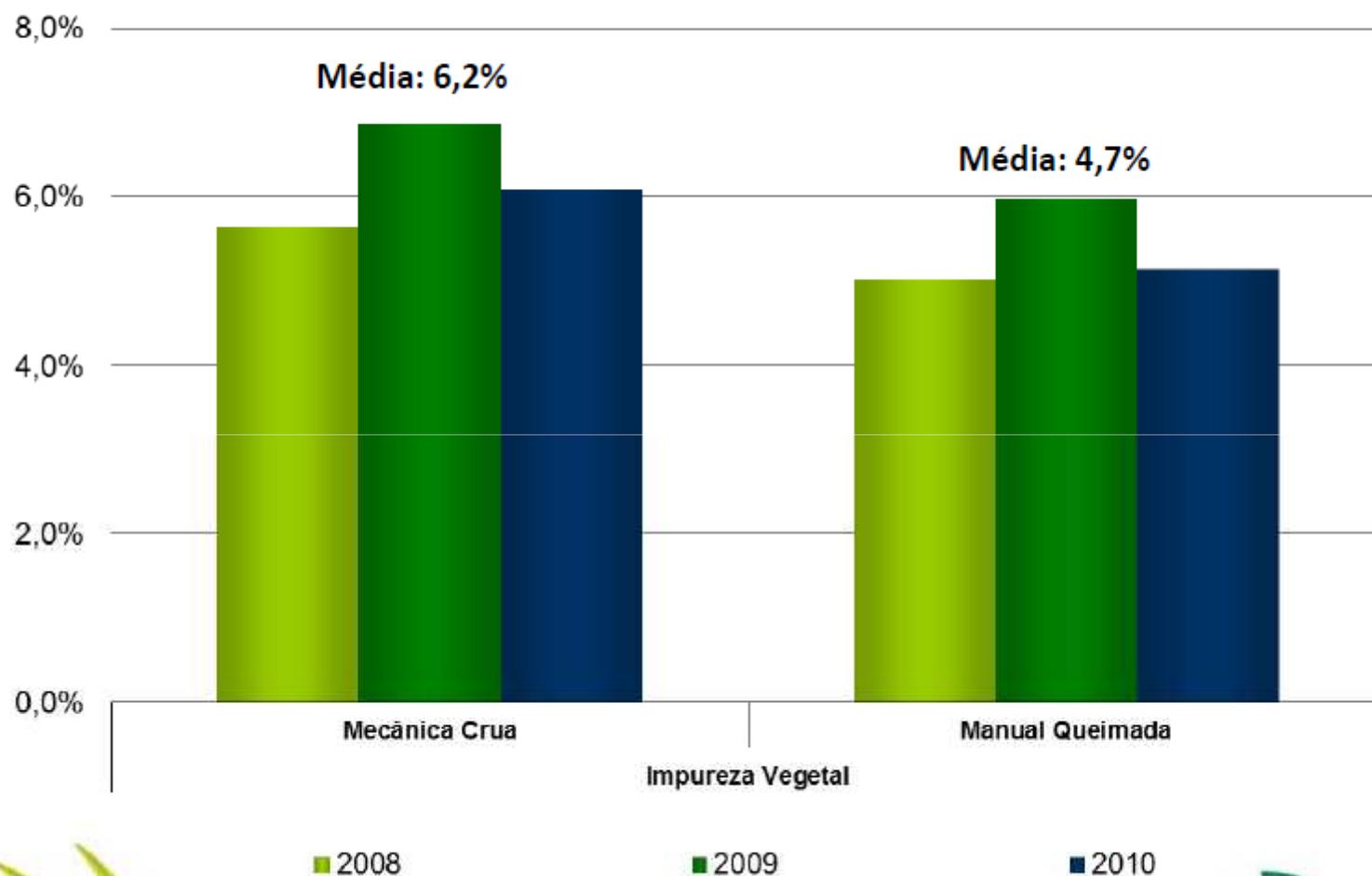
## Impurezas Minerais – 3 Safras



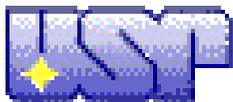
✓ Cana queimada: sempre maiores teores de impurezas minerais.



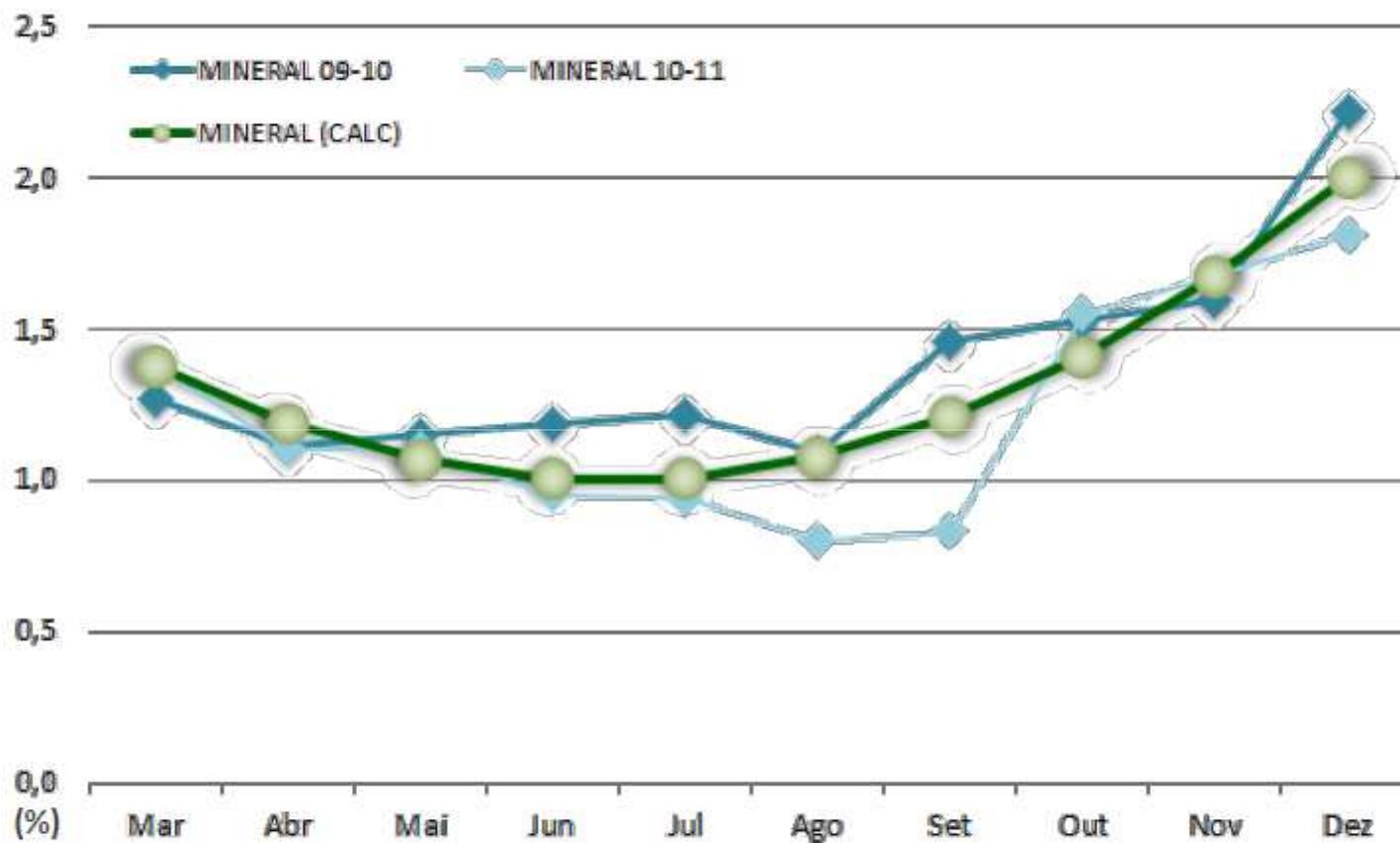
## Impurezas Vegetais – 3 Safras



✓ Efeito dos índices pluviométricos os teores de impurezas vegetais: cana crua e cana queimada.



## Evolução da Impureza Mineral na Safra

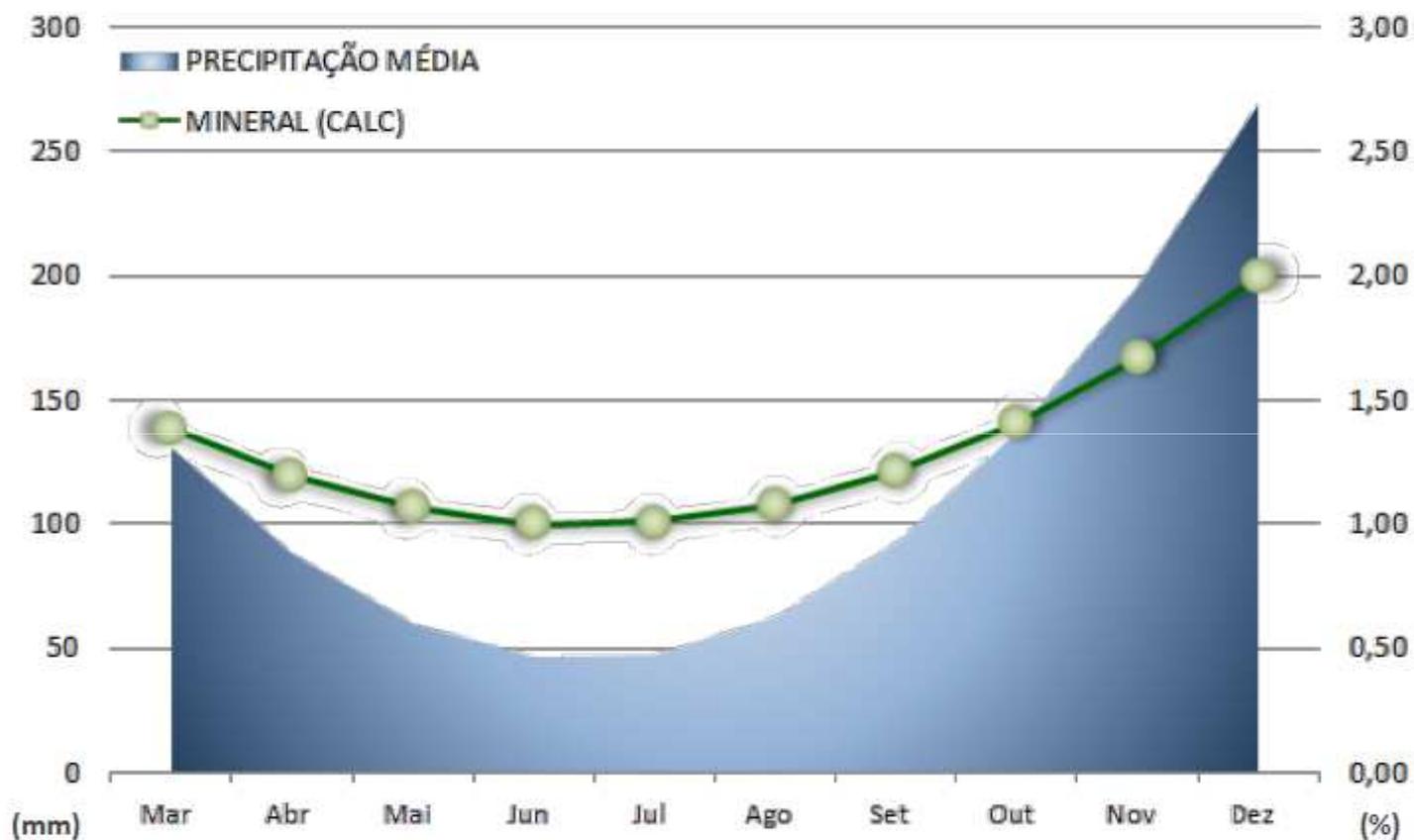


Fonte: CTC (Controle MUTUO)





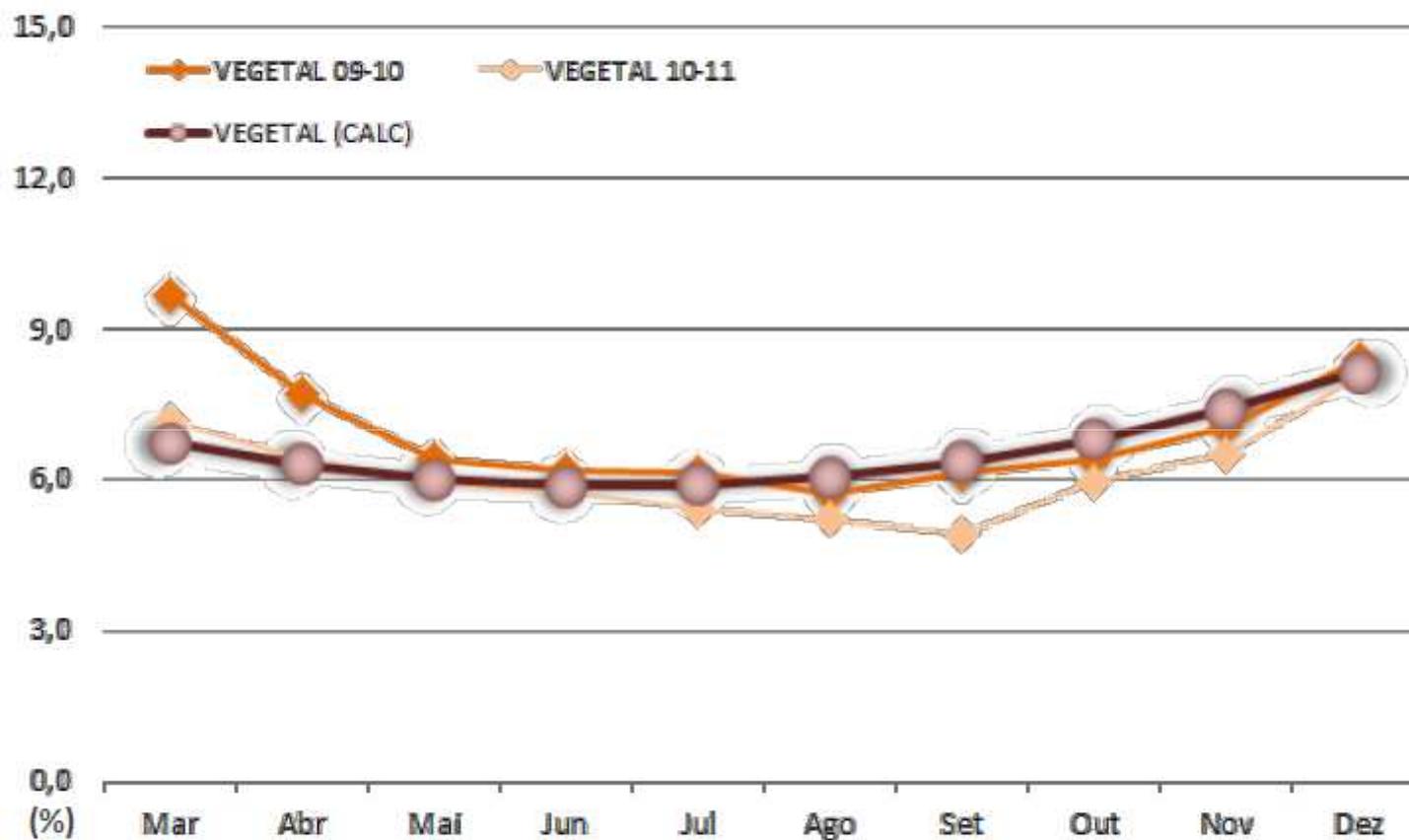
## Evolução da Impureza Mineral na Safra



O comportamento da entrada de impurezas minerais nas usinas é semelhante ao regime de distribuição de chuvas no decorrer do ano.



## Evolução da Impureza Vegetal na Safra

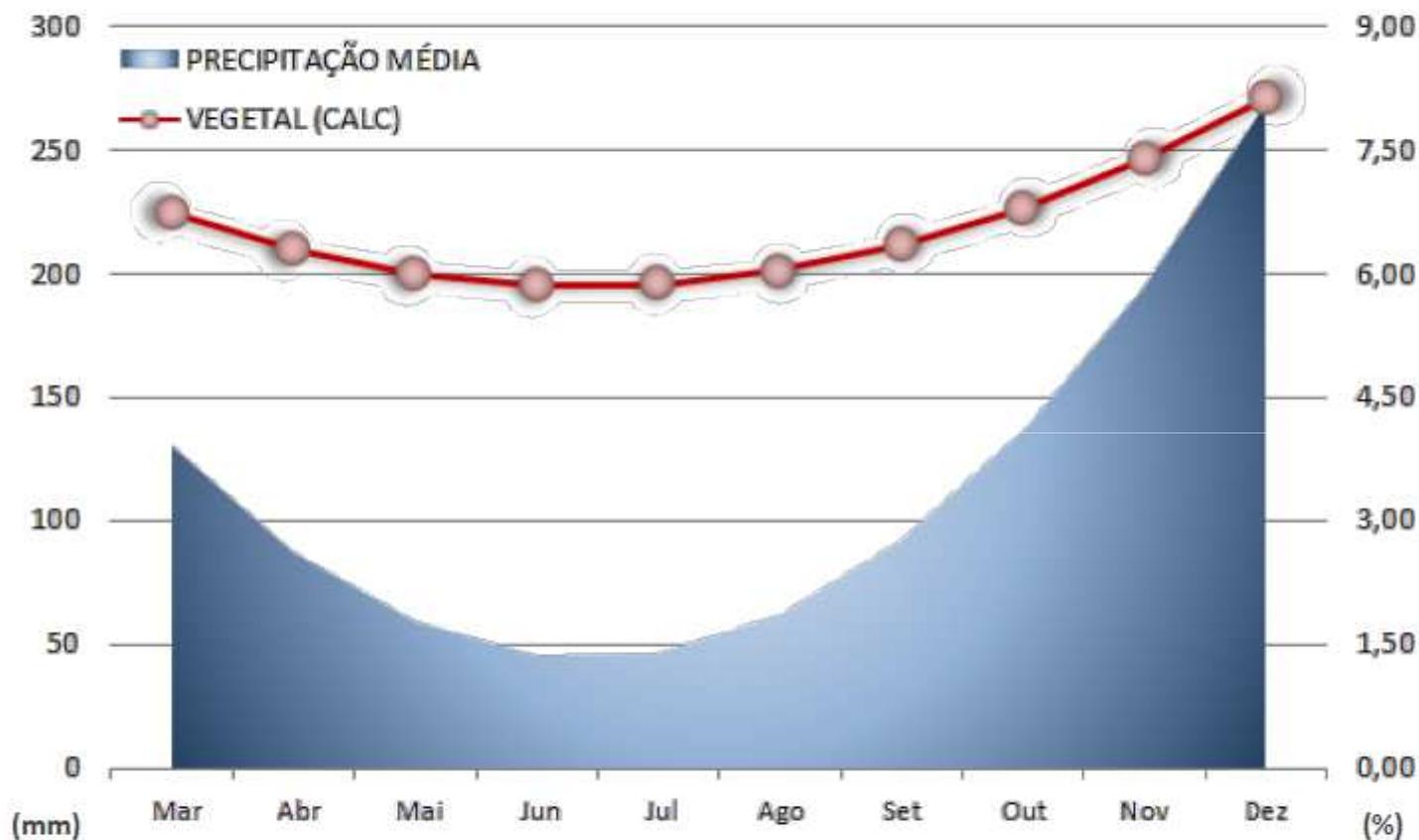


Fonte: CTC (Controle MUTUO)





## Evolução da Impureza Vegetal na Safra



As impurezas vegetais tendem a serem maiores nos períodos do ano com maiores índices pluviométricos. Contudo, não são tão afetadas quanto as impurezas minerais.



# EFEITOS DOS ÍNDICES PLUVIOMÉTRICOS SOBRE OS TEORES DE IMPUREZAS DA CANA



### 3 - Efeitos dos índices pluviométricos sobre os teores de impurezas da cana

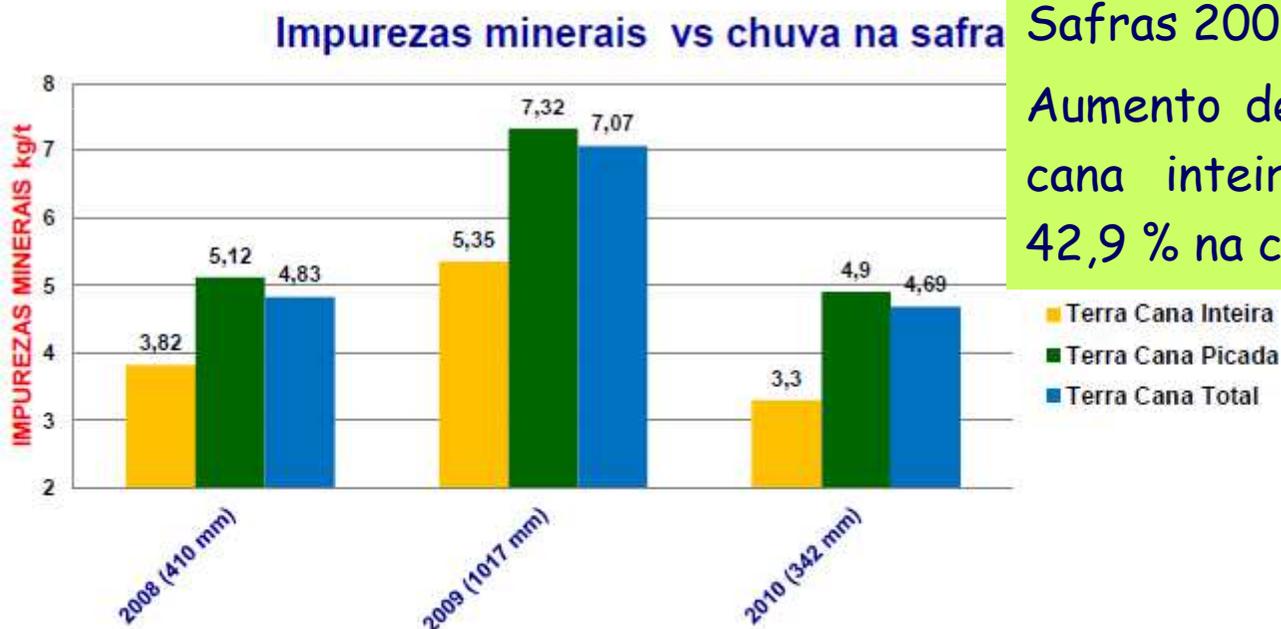


Impurezas e qualidade da cana colhida mecanicamente



IMPUREZAS NA MATÉRIA-PRIMA "CANA-DE-AÇÚCAR"

Teores – minerais (quantidade vs chuva) – USM/Qualidade Agrícola:



Safras 2008 e 2009  
Aumento de 40 % na cana inteira e de 42,9 % na cana picada

Há uma correlação positiva entre índices pluviométricos e presença de impurezas minerais na cana.

Manechini, 2011.





# 3 - Efeitos dos índices pluviométricos sobre os teores de impurezas da cana

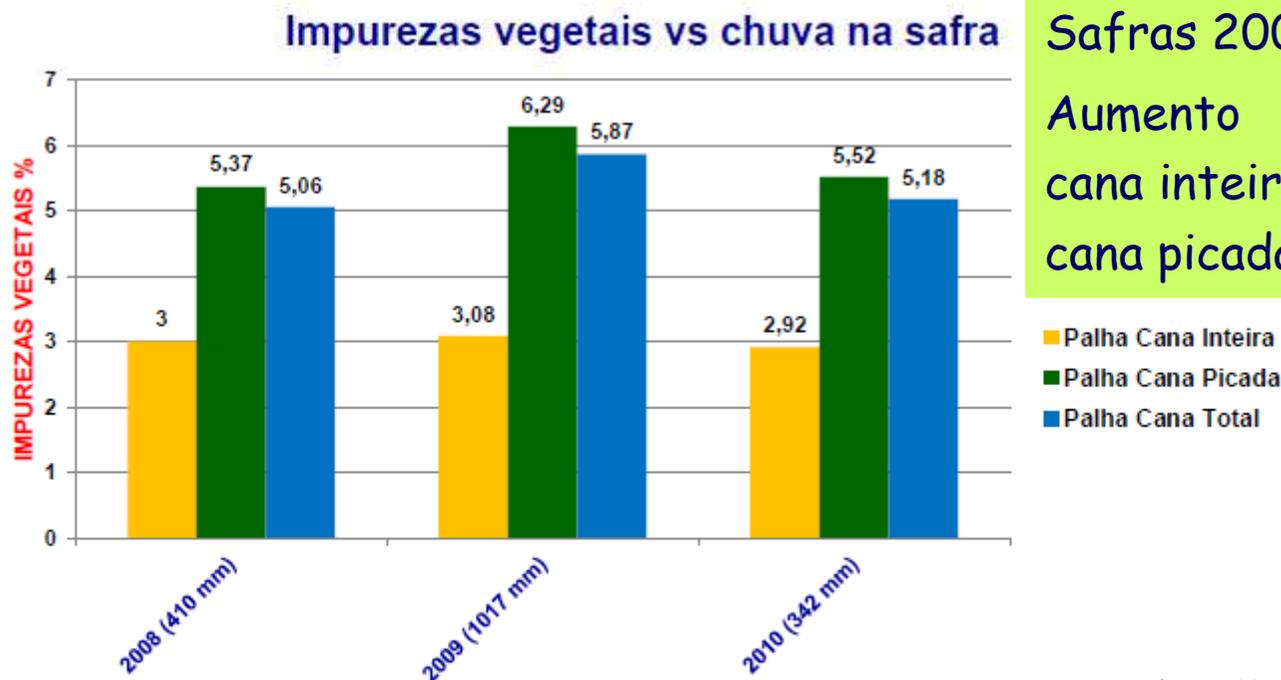


Impurezas e qualidade da cana colhida mecanicamente



IMPUREZAS NA MATÉRIA-PRIMA "CANA-DE-AÇÚCAR"

Teores – vegetais (quantidade vs chuva) - USM/Qualidade Agrícola:



Safras 2008 e 2009

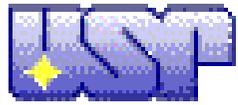
Aumento de 2,6 % na cana inteira e de 16,76 % cana picada.

Palha Cana Inteira  
Palha Cana Picada  
Palha Cana Total

A cana picada é mais sensível às mudanças climáticas

✓ Manechini, 2011.





## 3 - Fatores que interferem na qualidade da matéria-prima

---



### EFEITOS DOS SISTEMAS DE COLHEITAS SOBRE OS TEORES DE IMPUREZAS DA CANA.

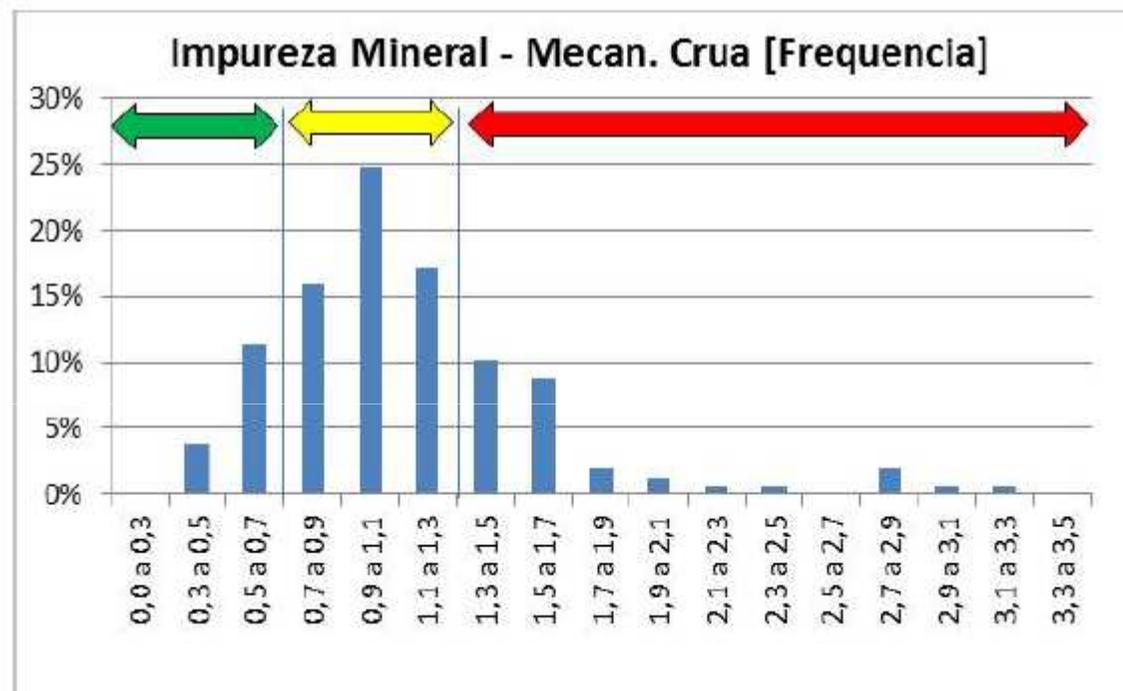
- ✓ Colheita mecanizada: impurezas vegetais e minerais;
- ✓ Colheita manual: impurezas minerais



## Distribuição Impureza Mineral – Safra 10/11



### Colheita Mecanizada



- ✓ Apenas 15 % das usinas: <0,7 % de impurezas minerais.
- ✓ 58 % das usinas entregam cana com 0,7 a 1,3 % de impurezas minerais;
- ✓ Cerca de 27 % das usinas entregaram cana com mais de 13 kg de impurezas minerais por tonelada de cana. ✓ Fonte: CTC, 2011.



# Consideração sobre os níveis de impurezas minerais



## Impureza Mineral – Classificação

TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DAS IMPUREZAS MINERAIS - CTC

CLASSIFICAÇÃO	PORCENTAGENS
BAIXA	< 0,7 %
MÉDIA	0,7 a 1,20 %
ALTA	> 1,20 %

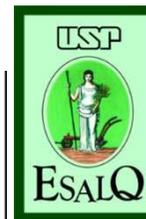


Fonte: CTC (Controle MUTUO)



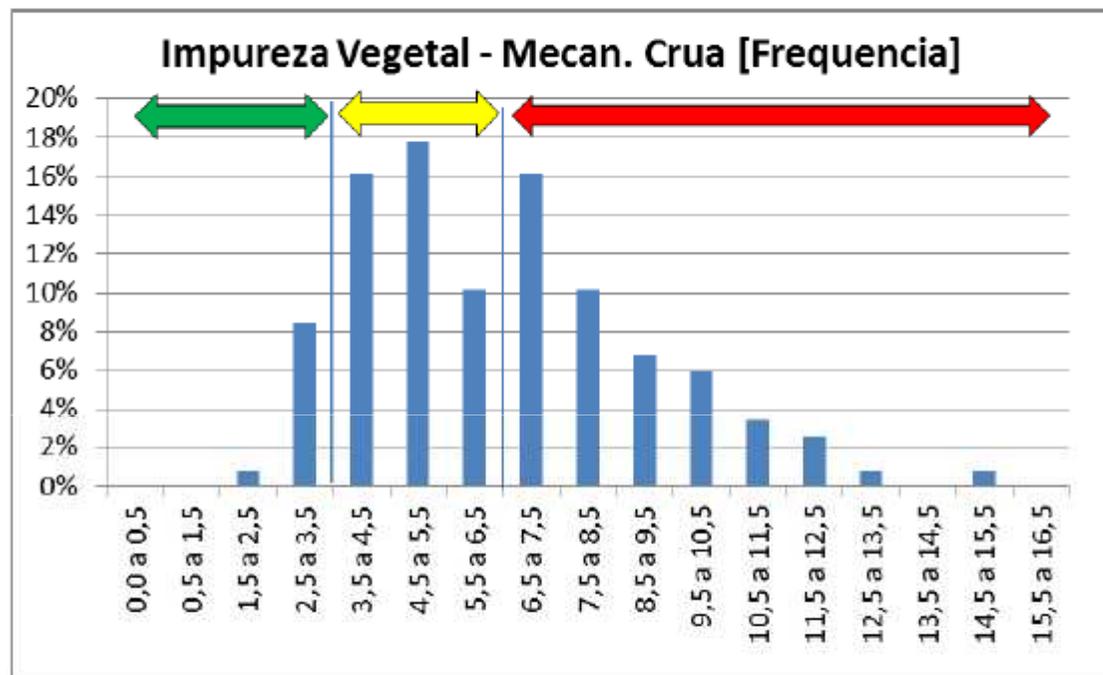


## Distribuição Impureza Vegetal – Safra 10/11



### Colheita Mecanizada

✓ Fonte: CTC, 2011.

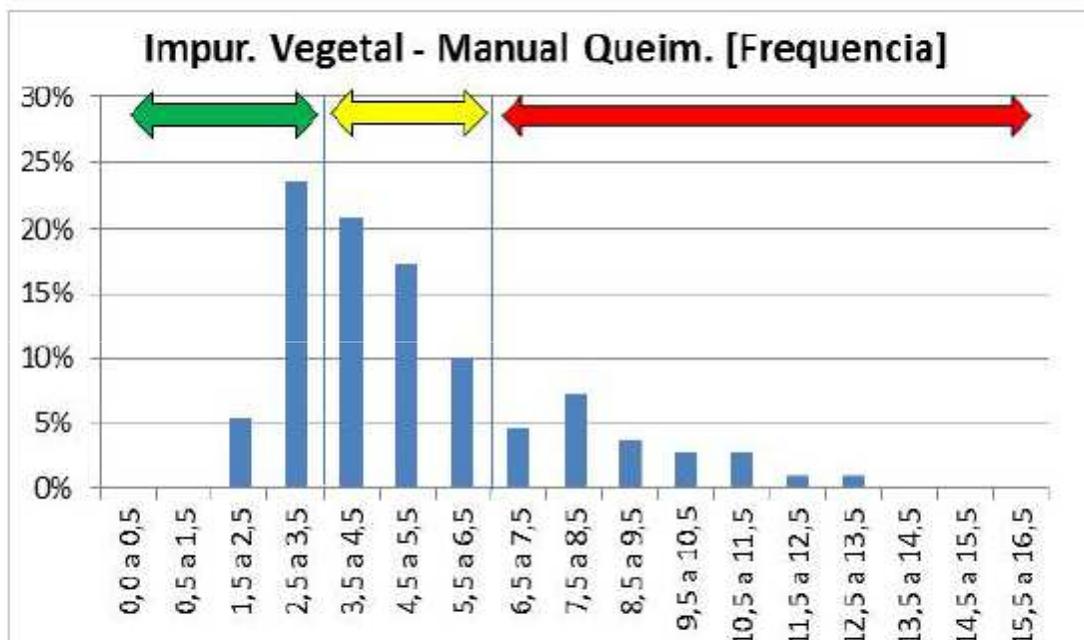


- ✓ Apenas 9 % das usinas: < 3,5 % de impurezas vegetais.
- ✓ 44 % das usinas receberam cana com 35 a 65 kg de impurezas vegetais por tonelada de cana
- ✓ Cerca de 53 % das usinas receberam cana entregaram cana com mais 65 kg de impurezas minerais por tonelada de cana.



## Distribuição Impureza Vegetal – Safra 10/11

### Colheita Manual



- ✓ 29 % das usinas: < 3,5 % de impurezas vegetais.
- ✓ 48 % das usinas receberam cana com 35 a 65 kg de impurezas vegetais por tonelada de cana
- ✓ Cerca de 23 % das usinas receberam cana entregaram cana com mais 65 kg de impurezas minerais por tonelada de cana.



# Consideração sobre os níveis de impurezas vegetais



## Impureza Vegetal – Classificação

TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DAS IMPUREZAS VEGETAIS - CTC

CLASSIFICAÇÃO	PORCENTAGENS
BAIXA	< 3,5 %
MÉDIA	3,5 a 6,0 %
ALTA	> 6,0 %



Fonte: CTC (Controle MUTUO)





## Impactos das Impurezas

- Perda de capacidade de moagem
- Perda de extração
- Aumento consumo energia no preparo cana
- Desgaste de equipamentos
- Dificuldade para tratamento do caldo
- Dificuldade para fabricação de açúcar de qualidade
- Redução do rendimento da fermentação
- Problemas operacionais com a caldeira
- Redução na densidade da carga /aumento do custo de transporte.





## 4 Fatores que interferem na qualidade da matéria-prima

### 3) Matéria estranha ou impurezas

Tabela 8. Limites toleráveis de impurezas vegetais e minerais em função do tipo de colheita

Tipo de corte	Tipo de impureza	Percentagens
Manual	Impurezas vegetais (dependendo do horário de queima)	3 – 5 %
	Impurezas minerais	0,4 – 0,7 %
Mecanizado	Impurezas vegetais	4 – 6 %
	Impurezas minerais	0,8 – 1,5 %

(Fonte: CANA LIMPA, 2006).

### Efeitos negativos

Arraste de sacarose no bagaço final, maior consumo de energia, desgaste de equipamentos, aumento da cor do açúcar, amido e cinzas no caldo.

Efeito do teor de amido no decantador:



## 4 Fatores que interferem na qualidade da matéria-prima

---



### 4) Sanidade da cultura

A presença de pragas e doenças na cana-de-açúcar afeta negativamente a qualidade da matéria-prima.

- ✓ Consumo de energia;
- ✓ Abertura de galerias;
- ✓ Formação de compostos secundários pelas plantas.

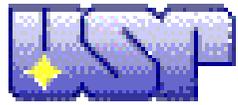
## DANOS DA BROCA



Abertura  
de Galerias



Podridão Vermelha



## 3 - Fatores que interferem na qualidade da matéria-prima

---



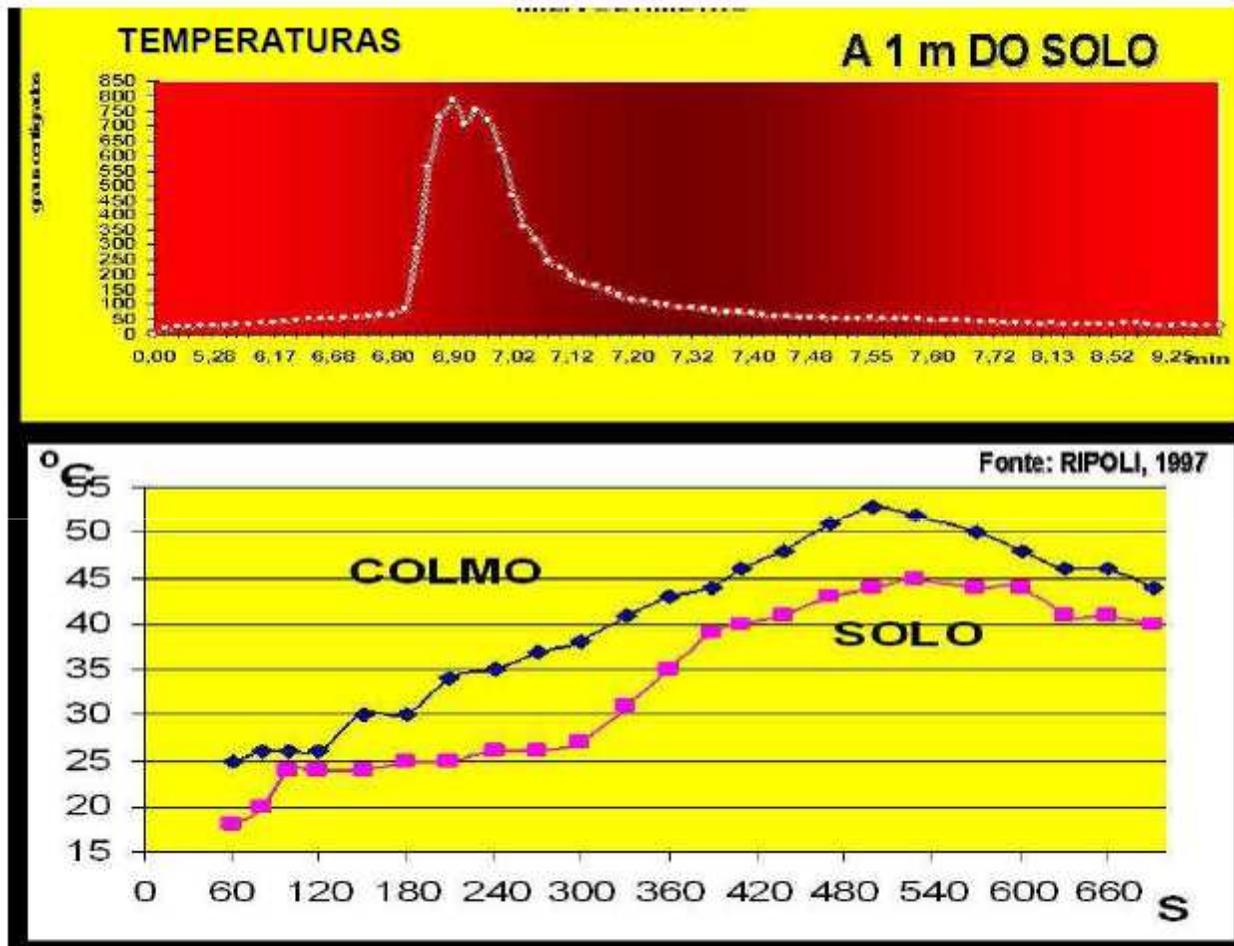
### EFEITOS DOS SISTEMAS DE DESPALHA SOBRE A QUALIDADE DA MATÉRIA-PRIMA.

- ✓ O sistema de desfolha adotado pela usina também pode influenciar na qualidade da matéria-prima.

## Fogo !!!

- Causa injúrias à cana e sua extensão depende da intensidade deste.
- A perda de massa neste caso varia de 0,3 a 2,6%.
- As perdas de ATR podem ser atribuídas a:
  - i) destruição térmica da sacarose.
  - ii) diluição por fluxo de água nas fibras,
  - iii) possível perda de solução de açúcar pelo fluxo através das raízes imediatamente após o fogo,
  - iv) perda física de açúcar pela ebulição do suco no tecido queimado da cana.
  - v) perda de açúcar per exsudação na superfície cana.

FOSTER & IVIN (1981)



11



## Exsudação



a alteração da qualidade da matéria prima em função direta da queimada como processo de pré-limpeza do canavial indicam que em média se perde 1,3% do ATR e variam em função das condições climáticas e outras características correlacionadas com as condições de campo.

RIPOLI et al. (1996)



### 3 - Efeitos dos sistemas de despalha sobre a qualidade da matéria-prima.



#### Impureza - Valores Médios 2008 a 2010

- ✓ Influência do sistema de desfolha nas quantidade de impurezas da cana de açúcar na região Centro-Sul.

TIPO DE COLHEITA	MINERAL (%)	VEGETAL (%)
MECÂNICA CRUA	1,2	6,2
MECÂNICA QUEIMADA	1,2	4,7
MANUAL QUEIMADA	1,4	5,4





## 3 - Efeitos dos sistemas de despalha sobre a qualidade da matéria-prima.



Impurezas e qualidade da cana colhida  
mecanicamente



IMPUREZAS NA MATÉRIA-PRIMA "CANA-DE-AÇÚCAR"

Manechini, 2011.

Fatores que interferem na quantidade de impurezas:

**ALTURA DE  
DESPONTE**





## 3 - Efeitos dos sistemas de despalha sobre a qualidade da matéria-prima



### Composição do colmo, palmito e folhas

Parâmetros	Unidade	Colmo	Palmito	Folhas	Rel.*
Composição do caldo					
Brix do caldo	%	23,6	13,1	12,3	-45
Pol do caldo	%	21,6	7,9	7,0	-64
Sacarose (cromatografia)	%	21,2	7,4	6,6	-65
Pureza do caldo	%	91,4	59,0	56,3	-35
AR (Lane & Eynon)	%	0,16	1,11	0,47	594
Glucose + frutose (cromatografia)	%	0,17	1,79	0,79	953
Açúcares redutores totais	%	22,9	10,1	8,4	-56
pH		5,35	5,00	5,16	-7
Cinzas condutimétricas	%	0,37	1,35	1,51	265
Cor ICUMSA	U.I.	7 361	100 956	122 722	1272
Turbidez	U.I.	45 389	104 766	126 056	131
Composição % cana					
Umidade % cana	%	67,3	75,4	67,8	12
Fibra (Tanimoto)	%	12,2	14,0	26,1	15
Pol na cana	%	18,2	6,5	4,5	-64
ATR (PCTS)	kg/t cana	169,8	68,0	44,7	-60

\* relação percentual entre o palmito e o colmo



## 3 - Efeitos dos sistemas de despalha sobre a qualidade da matéria-prima



Tabela 5. Teores médios obtidos das determinações tecnológicas efetuadas em cana crua e queimada, integral, sem desponte e despontada. Melo et al. (1998)

Determinações	Cana crua		Cana queimada	
	Integral	Despontada	Sem desponte	Despontada
Brix % caldo	15,98	18,00	15,12	15,90
Pol % caldo	13,44	15,90	12,01	13,01
Pol % cana	11,33	13,96	10,24	11,20
Fibra % cana	16,68	12,19	14,74	13,90
Pureza	83,96	88,34	79,09	81,99
Umidade % cana	70,64	71,88	72,40	72,70
A,R, % caldo	0,96	0,84	1,24	1,00
A,R, % cana	0,77	0,69	1,11	0,91
AT%	12,10	14,65	11,35	12,14

Tabela 6. Teores médios obtidos da fermentação de cana crua, "integral" e "despontada" e de cana queimada "sem desponte" e "despontada". Melo et al. (1998).

Determinação	Cana crua		Cana queimada	
	Integral	Despontada	Sem desponte	Despontada
Velocidade de fermentação (gCO <sub>2</sub> /h)	3,23	3,35	3,22	3,34
Brix final	1,14	0,83	1,24	0,87
% fermento	13,45	11,60	14,10	11,65
% fermento seco	1,888	1,718	1,874	1,610
Eficiência de fermentação	84,76	82,62	82,69	82,30

# Impactos em Equipamentos

Desgaste em tubos de caldeira

Foto: CTC (Linero)



Desgaste de Bombas

Foto: Equipav (Luiz Paulo)



Desgaste em Válvula

Foto: ETH (Galvani)



Acúmulo de terra



# Impactos em Equipamentos



**Desgaste na mesa alimentadora**



**BUCHA NA MOEGA**

**Desgaste dos martelos do picador.**



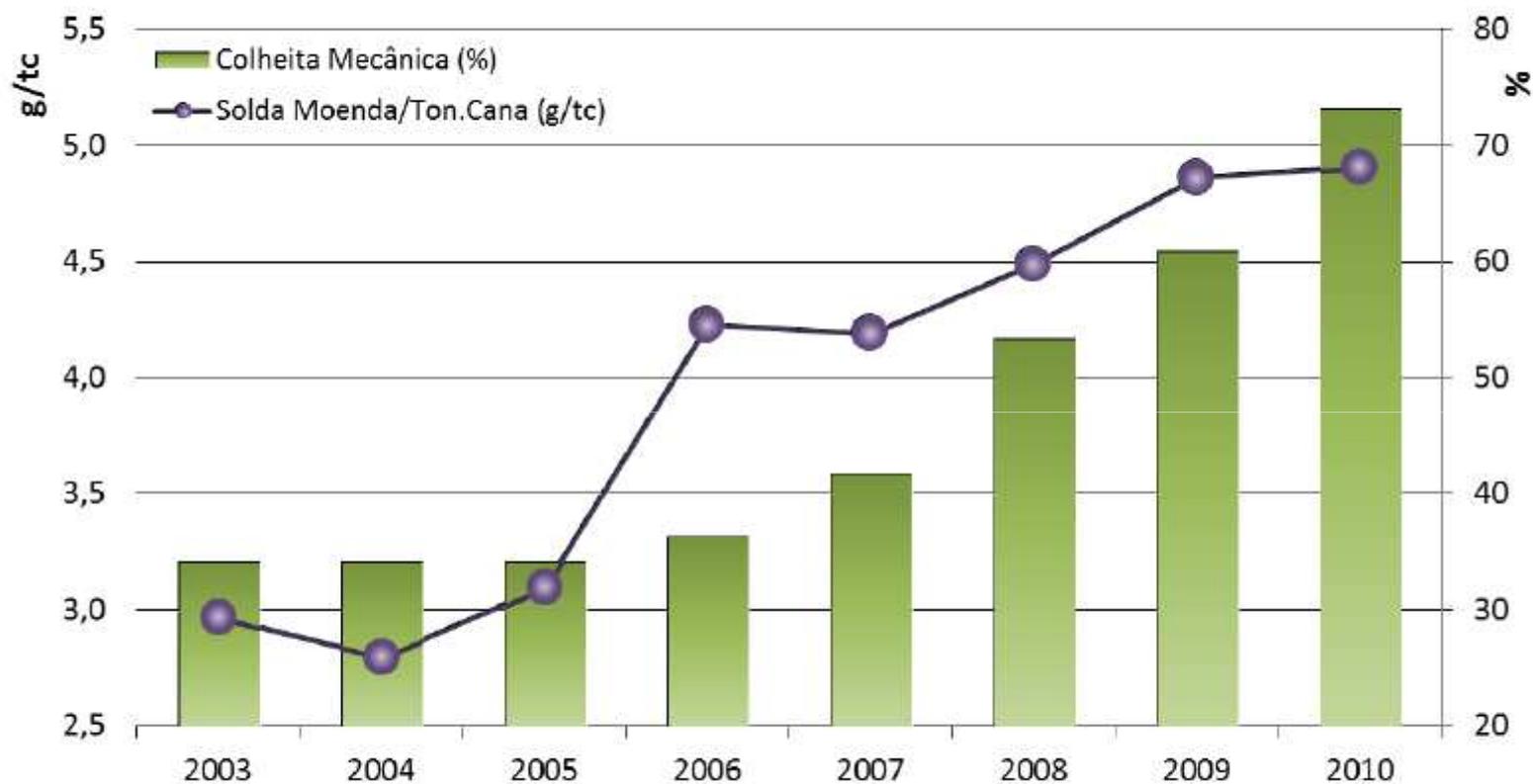
**Desgaste dos rolos de moenda.**



Fotos: ETH (Galvani)



## Impacto na Moenda



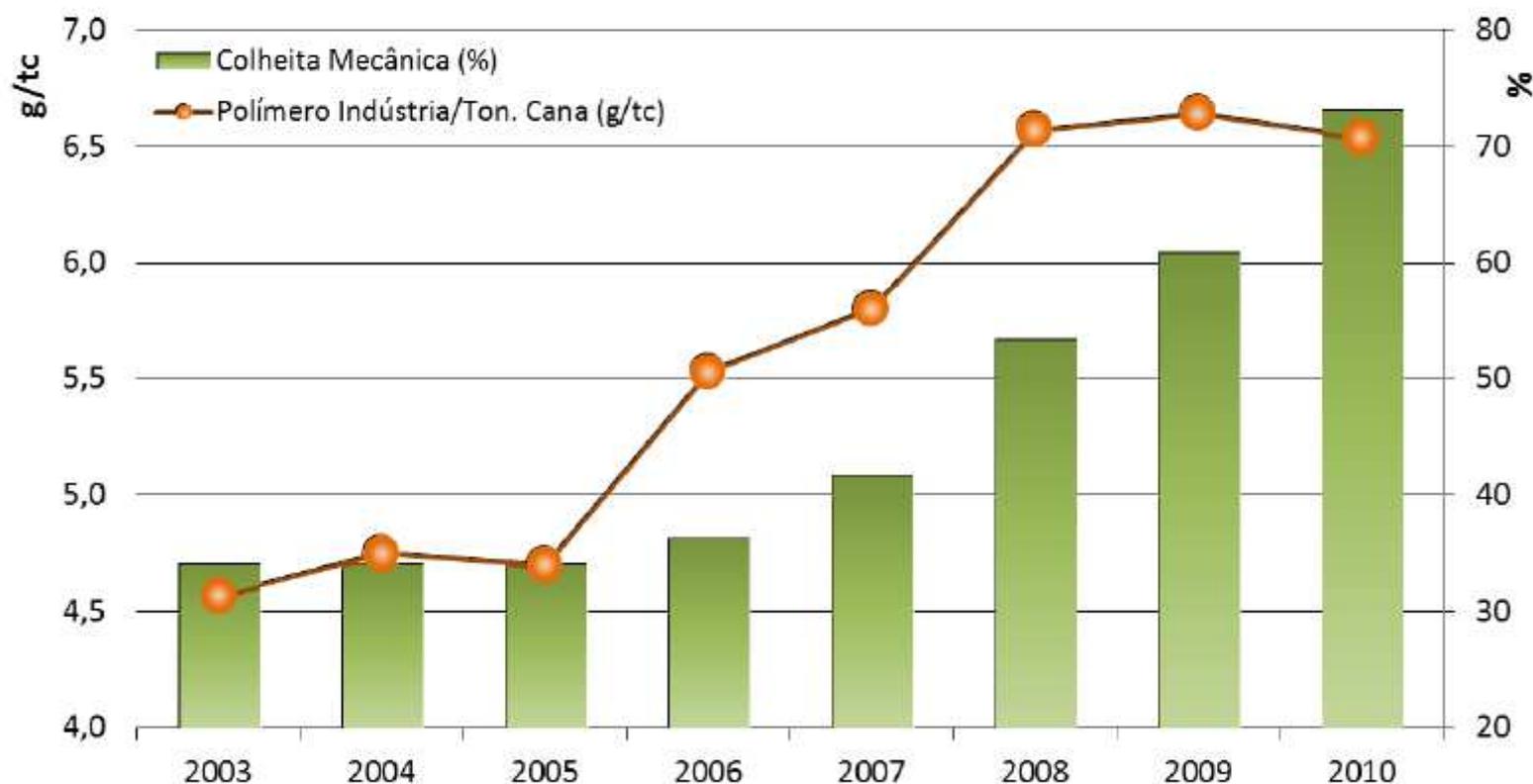
Aumento da colheita mecanizada e aumento do desgaste de moendas



# QUALIDADE DA MATÉRIA-PRIMA



## Impacto no Tratamento de Caldo



Aumento da colheita mecanizada e aumento no uso de polímeros.



## 3 - Efeitos dos sistemas de despalha sobre a qualidade da matéria-prima



### Impacto na Densidade de Carga



A redução na densidade de carga pode ser superior a 10 %.



## 4 Fatores que interferem na qualidade da matéria-prima

### 5) Deterioração fisiológica

Tabela 12. Parâmetros tecnológicos obtidos de análise de colmos, pontas e chupões (Fonte: Ivin e Doyle, 1989, citados por STUPIELLO, 1992).

	<b>Brix (%)</b>	<b>Pol (%)</b>	<b>Sacarose (%)</b>	<b>Açúcares Redutores (%)</b>	<b>Pureza (%)</b>	<b>Fibra (%)</b>
Colmos	16,58	15,06	15,11	0,33	90,80	12,50
Pontas	5,53	1,99	2,28	36,00	1,23	14,80
Chupões	6,59	3,02	3,39	1,64	45,08	9,80

✓ A cana bisada por possuir muitos ramos chupões e pontas, apresenta-se como uma matéria-prima de baixa qualidade, com teores de Pol e pureza aparente muito baixos e teores de AR muito altos. Esse tipo de matéria-prima, normalmente, produz caldo melaçogênico, o qual dificulta muito o processo de cristalização do açúcar.

✓ Apresenta efeito negativo sobre o processo de extração do caldo.



## 4 Fatores que interferem na qualidade da matéria-prima

### 5) Deterioração microbiana

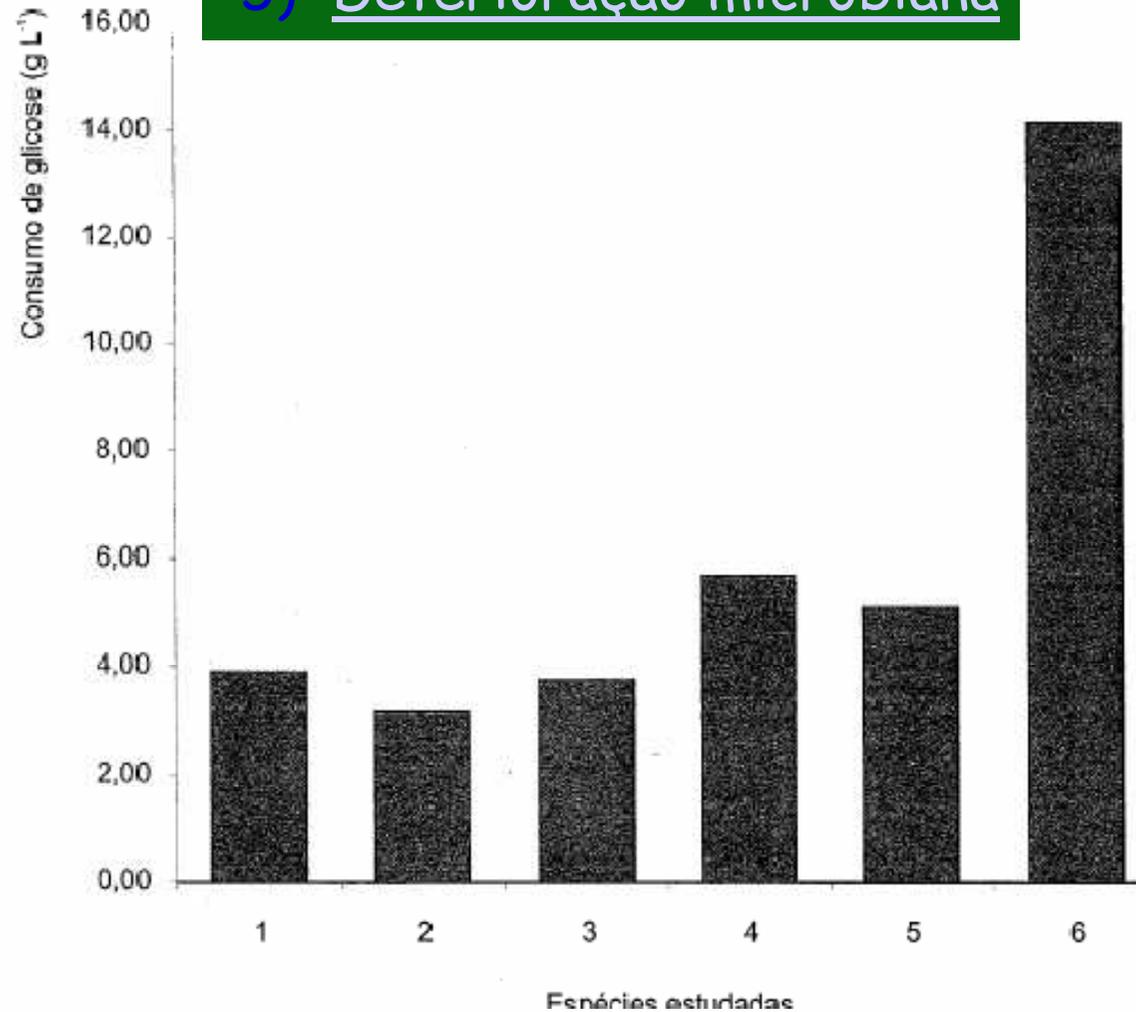


Figura 8. Consumo de glicose (g L<sup>-1</sup>), em 48 horas, pelas bactérias (1) *Lactobacillus fermentum*, (2) *L. plantarum*, (3) *L. buchneri*, (4) *Bacillus coagulans*, (5) *B. megaterium* e (6) *B. subtilis* (Fonte: Adaptado de STROPPA et al., 1998).



## 4 Fatores que interferem na qualidade da matéria-prima



### 5) Deterioração Tecnológica

#### Respiração e transpiração

- ✓ Aumento do teor de fibra (desgastes de equipamentos)
- ✓ Exsudados (queima) aumento de impurezas minerais
- ✓ Problemas na fermentação



## 4 Fatores que interferem na qualidade da matéria-prima

---

### 6) Inversão da sacarose

Na cana como matéria-prima para a indústria, a inversão da sacarose pode ocorrer no interior dos colmo e isso é indesejável.

#### Fatores estimulantes:

- ✓ Ação de microrganismos (fungos e bactérias)
- ✓ Retomada do crescimento (ciclo vegetativo)
- ✓ Brotação lateral (tombamento da planta)
- ✓ Geada com morte apical
- ✓ Aplicação de maturadores e adiantamento da colheita
- ✓ Queima da cana e armazenamento (em pé ou cortada)
- ✓ Danos mecânicos na colheita



## 5- Indicadores de qualidade da matéria-prima



Indicadores	Valores recomendados
Pol	> 14%
Pureza	> 85%
ART	> 15% (maior possível)
AR	< 0,8%
Fibra	11 - 13 %
Tempo queima/colheira ao processamento	< 35 h corte manual < 10 h corte mecânico
Impurezas minerais	< 5 kg/t de cana
Palhiço	< 5%
Contaminação microbiana	< $10^5$ UFC mL <sup>-1</sup>
Broca	< 1%
Dextrana	< 500 ppm/Brix <sup>90</sup>



## 4 Fatores que interferem na qualidade da matéria-prima



### 4) Sanidade da cultura

**Exemplo: Infestação de canavial com 1% de broca gigante.**

**Perdas: 0,43 % na produtividade agrícola;**

**0,63 % na produtividade industrial;**

**Em dinheiro???**

Considere uma usina que processa 3 milhões de toneladas cana safra e tem infestação de 2 % de broca gigante em área total. A cana apresenta um ATR médio de 140,5 kg/tc. A usina possui um mix de 50 % para etanol (EHC = 70 % e EAC = 30%) e 50 % para açúcar (Cristal=30 % e VHP = 70%). Se a usina controlar totalmente a incidência da praga, qual é a quantidade de ATR que vai processar a mais? Qual o faturamento que vai ter a mais?

**Dados:**

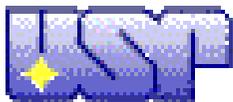
Para produzir 1L EHC = 1,6761 kg ATR, 1L EAC = 1,7492 kg ATR, 1kg de açúcar cristal = 1,0495 kg ATR e 1kg de VHP = 1,0453 kg ATR.

Preço pago à usina: 1L EHC R\$ 1,2589, 1L EAC = R\$ 1,3534, 1kg de açúcar cristal = R\$ 1,04 e 1kg de VHP = R\$ 0,9580.



## 6. Considerações finais

- ✓ A matéria-prima tem participação importante na confecção dos preços dos açúcares e do etanol; por isso é muito importante que a cana que entra na usina seja de boa qualidade;
- ✓ A cana-de-açúcar deve ser fornecida de forma contínua e uniforme durante toda a safra;
- ✓ Do ponto de vista tecnológico, a cana-de-açúcar é caracterizada pelos teores de açúcares e de fibra;



## 6. Considerações finais

- ✓ Os principais parâmetros utilizados para avaliar a qualidade da cana-de-açúcar são: pol, brix, fibra, AR, ART, AT, ATR, pureza e impurezas;
- ✓ Os principais fatores que afetam a qualidade da cana-de-açúcar para a indústria são: queima da cana, tipo de colheita, maturação, matérias estranhas ou impurezas, sanidade da cultura, altura de desponte, deterioração (fisiológica ou microbiana) e inversão da sacarose;



## 6. Considerações finais

- ✓ Matérias-primas de baixa qualidade refletem diretamente sobre a produtividade e o rendimento industrial. Além de aumentar os custos com manutenção, ainda reduz as quantidades obtidas dos produtos finais e o faturamento da usina;
- ✓ Para o sucesso técnico e econômico de uma usina é fundamental priorizar a qualidade da matéria-prima.



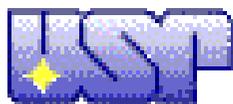
## 7. Referências

1- <http://www.apta.sp.gov.br/cana/workshops.php>. Acesso em 02/03/2010;

2 - RIBEIRO, C., BLUMER, S., HORII. **Fundamentos de tecnologia sucroalcooleira: tecnologia do açúcar.** Piracicaba: ESALQ/Depto de Agroindústria, Alimentos e Nutrição, V.2, 1999. 66p.

3 - USHIMA, A.K., RIBEIRO, A.M.M., SOUZA, M.E.P., SANTOS N.F. **Conservação de energia na indústria do açúcar e do álcool.** São Paulo, IPT, 1990. 796p.

4 - DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. **Cana-de-açúcar.** Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. 882 p.



---

**Muito obrigado pela atenção!**

**Prof. Antonio Sampaio Baptista**

**Setor de Açúcar e Álcool - LAN/ESALQ/USP**

**E-MAIL: [asbaptis@usp.br](mailto:asbaptis@usp.br)**