



COLHEITA DE CANA-DE-AÇÚCAR

LEB 432 – Máquinas e Implementos Agrícolas



Leandro M. Gimenez

2018

Bibliografia

Processos Agrícolas e
Mecanização da Cana-de-Açúcar

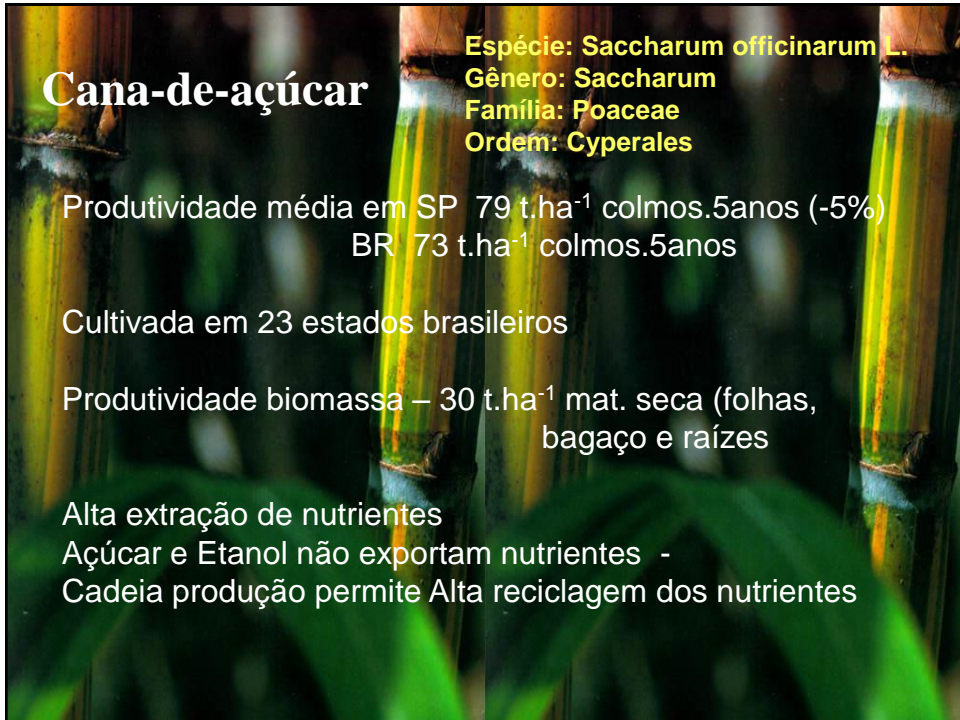
- Capítulo 15, p. 335 a 356



Biomassa de cana-de-açúcar:
colheita, energia e ambiente

- Capítulo 6, p. 86 a 131





Cana-de-açúcar

Espécie: *Saccharum officinarum* L.
 Gênero: *Saccharum*
 Família: Poaceae
 Ordem: Cyperales

Produtividade média em SP 79 t.ha⁻¹ colmos.5anos (-5%)
 BR 73 t.ha⁻¹ colmos.5anos

Cultivada em 23 estados brasileiros

Produtividade biomassa – 30 t.ha⁻¹ mat. seca (folhas, bagaço e raízes)

Alta extração de nutrientes
 Açúcar e Etanol não exportam nutrientes -
 Cadeia produção permite Alta reciclagem dos nutrientes



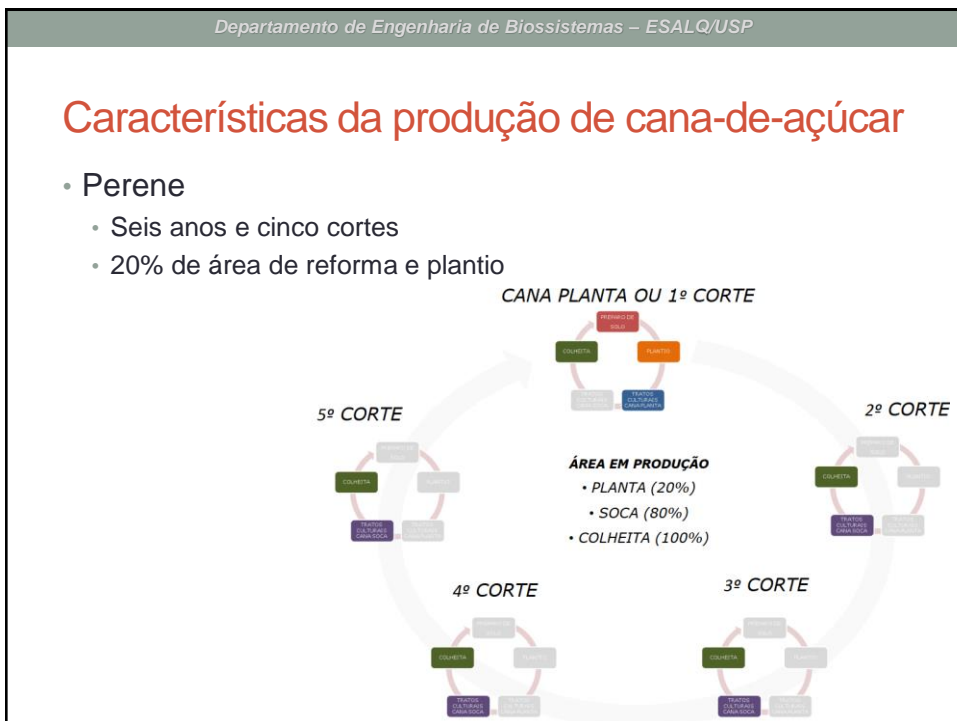
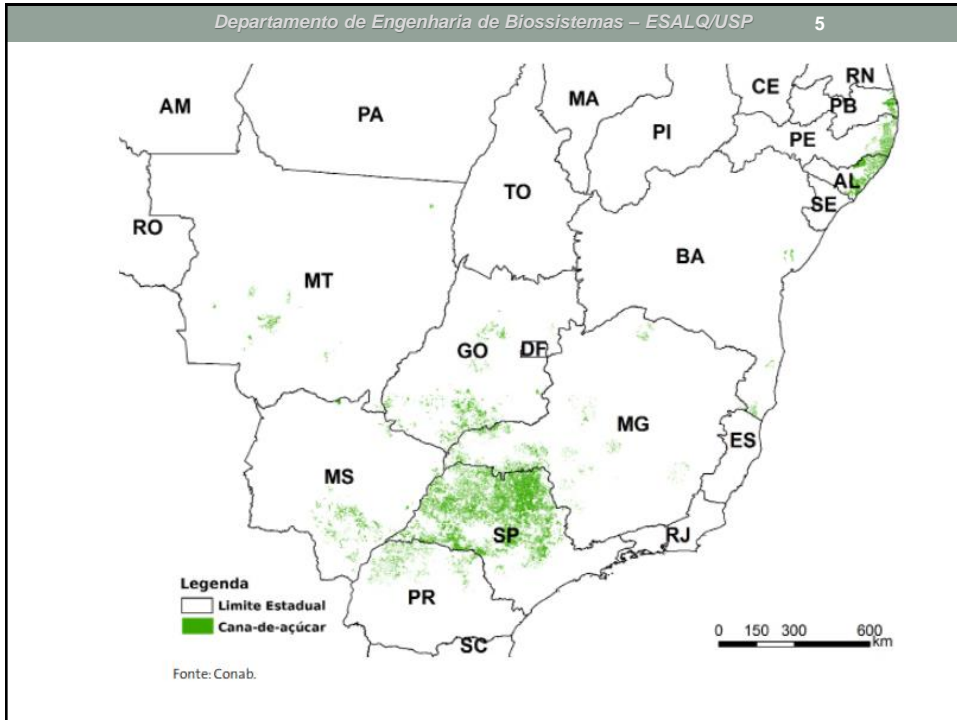
Cana no Brasil
 (2017/ 2018) Conab- 2018

Produção: 633 milhões t
 Área cultivada 8,7 milhões ha

Açúcar
 produção:
 37,8
 milhões t

Etanol
 produção:
 27,7 bilhões
 Litros

Geração de
 Energia Elétrica
 36 TWh de um total
 de 54 TWh
 5% da matriz
 energética do
 Brasil

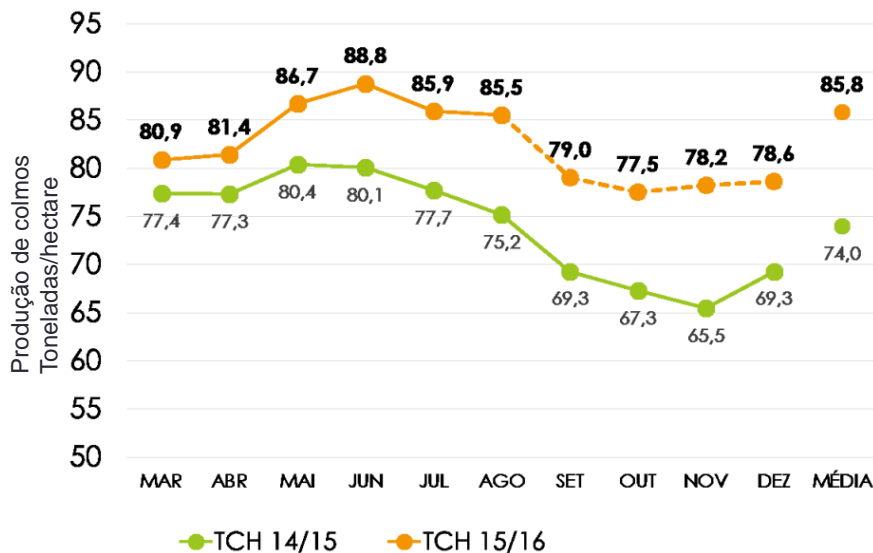


Características da produção de cana-de-açúcar

- **Cana de ano:** plantada pouco tempo após a última colheita e será colhida no ano seguinte; nesta opção, a terra será sempre cultivada com cana, mas a produtividade é mais baixa, 20% da área.
- **Cana de “ano e meio” ou 18 meses:** após a última colheita do canavial, a terra fica em pousio ou recebe uma cultura de rotação (amendoim, soja). A produtividade do primeiro corte é muito mais alta, mas haverá um espaço de cerca de dois anos entre o último corte do ciclo anterior e o primeiro corte do novo ciclo.

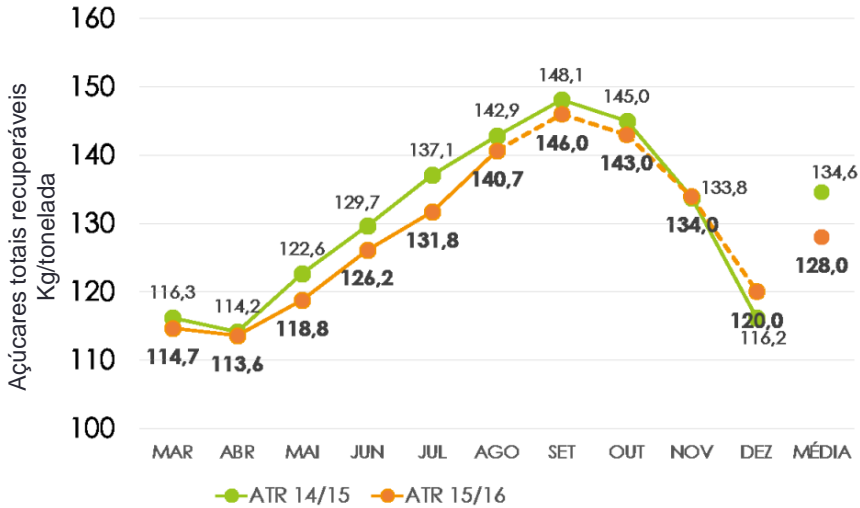
7

Sazonalidade na produção de Biomassa de Colmos



8

Sazonalidade na produção de ATR



9

Época de realização do preparo e plantio

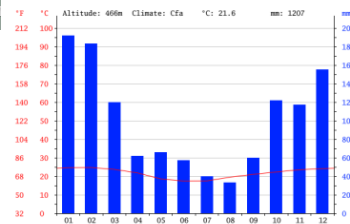


Tabela 1. Épocas de preparo de solo para distintas regiões edafoclimáticas, considerando-se os riscos de erosão das unidades de manejo

UNIDADE DE MANEJO	MESES DO ANO											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Região Oeste Paulista												
LVe md-ar/md	x	x	x	x	x					x	x	x
LVd md-ar/md	x	x	x	x	x					x	x	x
PVe arênico ar/md	x	x	x	x	x					x	x	x
PVd arênico ar/md	x	x	x	x	x					x	x	x
PVe ar/md		x	x	x						x	x	
PVd ar/md		x	x	x						x	x	

Mazza, 2015

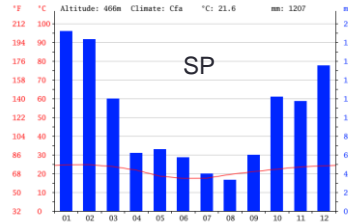
Tabela 2. Épocas de plantio de cana-de-açúcar para distintas regiões edafoclimáticas, considerando-se os riscos de erosão, o potencial de brotação e o potencial de produção das unidades de manejo.

UNIDADE DE MANEJO	MESES DO ANO											
	Ep.1			Ep.2			Ep.3					
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Região Oeste Paulista												
LVe md-ar/md		x	x	x	x	x	x	x	x			
LVd md-ar/md			x	x	x	x	x					
PVe arênico ar/md	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
PVd arênico ar/md	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
PVe ar/md		x	x	x	x	x	x	x	x			
PVd ar/md		x	x	x	x	x	x	x	x			

Época de realização da colheita

Tabela 3. Épocas de colheita da cana-de-açúcar para distintas regiões edafoclimáticas, considerando-se o potencial de produção e a suscetibilidade à compactação das unidades de manejo.

UNIDADE DE MANEJO	MESES DO ANO											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Região Oeste Paulista												
LVe md-ar/md			X	X	X	X	X	X	X	X		
LVd md-ar/md				X	X	X	X					
PVe arênico ar/md	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
PVd arênico ar/md		X	X	X	X	X	X	X	X	X		
PVe ar/md		X	X	X	X	X	X	X	X			
PVd ar/md			X	X	X	X	X	X	X			



Mudanças no sistema de cultivo



Eliminação da Queima → Inviabilizou colheita manual

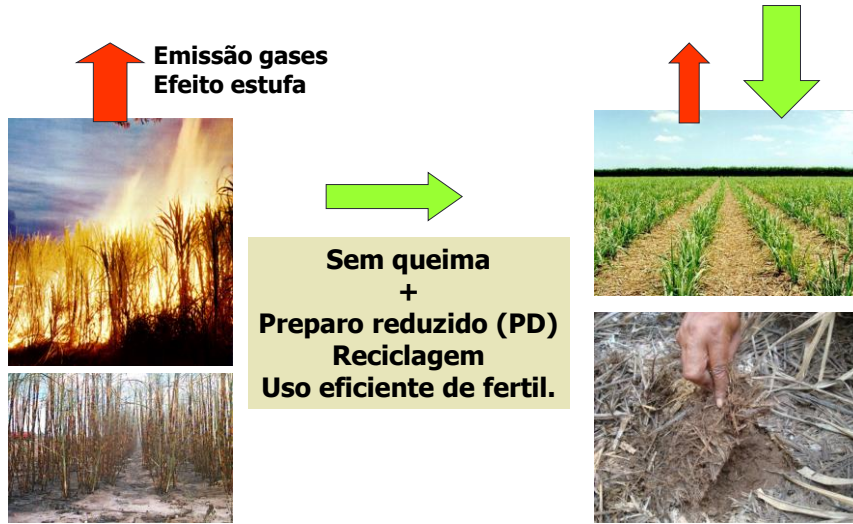


Foto: Eduardo Lima

Sequestro de C no solo e na biomassa

Recolhimento da palha



Evolução da colheita

30 t/hora
600 t/dia

10 t/dia

2 t/dia

15

a

b

c

d

16

Conservação do solo



Foto. J.C. Dalben

Porém...

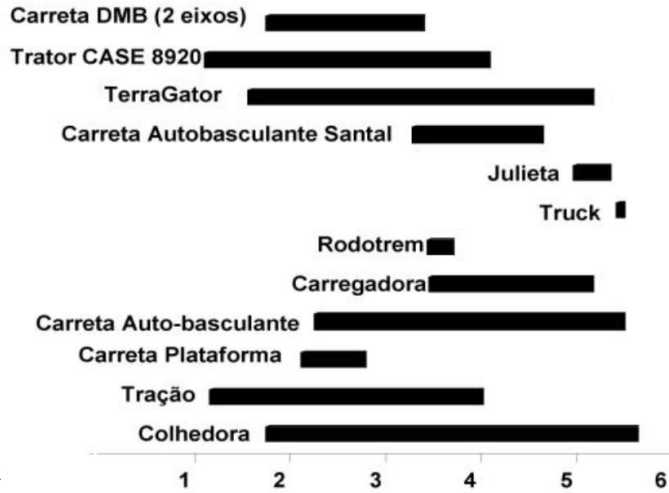
Histórico brasileiro de produção de cana-de-açúcar



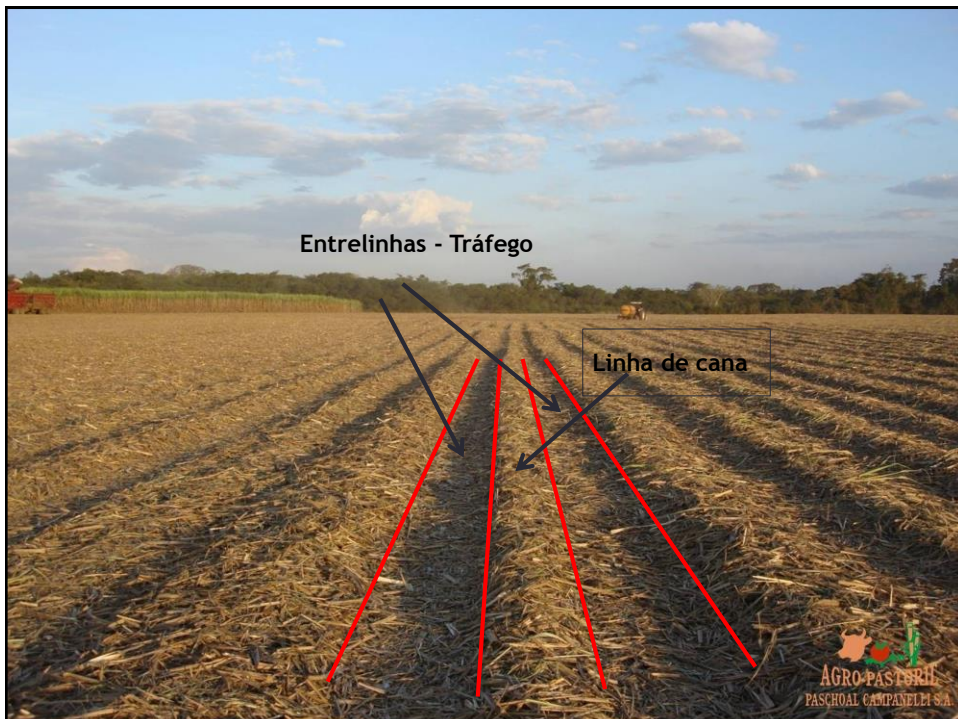
Fonte: FAO e Conab / Elaboração: novacana.com

novaCana.com

Pressão no solo por alguns veículos e pneus (kg/cm²)



Barbosa, 2002



Tráfego intenso na colheita = compactação

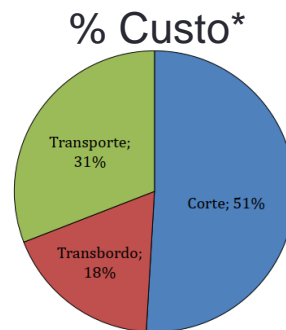


**Camada Compactada
0 a 35 cm**

Foto: J.C. Dal Bem - Agrícola Rio Claro

Etapas da operação de colheita

- CCT
 - Corte
 - Carregamento
 - Transporte



PECEGE: 2012

*Colhedora combinada

Departamento de Engenharia de Biosistemas – ESALQ/USP

Tabela 14. Custos de produção de cana-de-açúcar de usinas das regiões Centro-Sul Tradicional e Centro-Sul Expansão para o acompanhamento da safra 2011/12.

Descrição	Tradicional		Expansão	
	RS/t	RS/ha	RS/t	RS/ha
Mecanização	17,16	1.243,42	16,52	1.189,19
Mão-de-obra	10,56	764,96	10,22	735,52
Insumos	5,63	408,08	5,88	423,14
Arrendamento	12,03	871,26	7,91	569,74
Despesas administrativas	2,41	174,50	1,98	142,87
Custo Operacional Efetivo (COE)	47,79	3.462,22	42,50	3.060,46
Depreciações	14,25	1032,12	12,47	906,00
Formação do Canavial	11,81	855,67	11,14	802,16
Máquinas	2,03	147,40	1,13	81,44
Benfeitorias	0,19	13,95	0,21	15,46
Irrigação	0,21	15,10	0,10	6,95
Custo Operacional Total (COT)	62,04	4.494,34	55,09	3.966,46
Remuneração da terra	4,32	312,77	2,44	175,43
Remuneração do capital	3,70	268,27	3,00	215,98
Formação do canavial	2,13	154,02	2,01	144,39
Irrigação/fertirrigação	0,13	9,06	0,06	4,17
Máquinas e implementos	1,22	88,44	0,68	48,86
Benfeitorias	0,23	16,74	0,26	18,56
Custo Total (CT)	70,06	5.021,10	60,52	4.357,86

Fonte: PECEGE/CNA (2012).

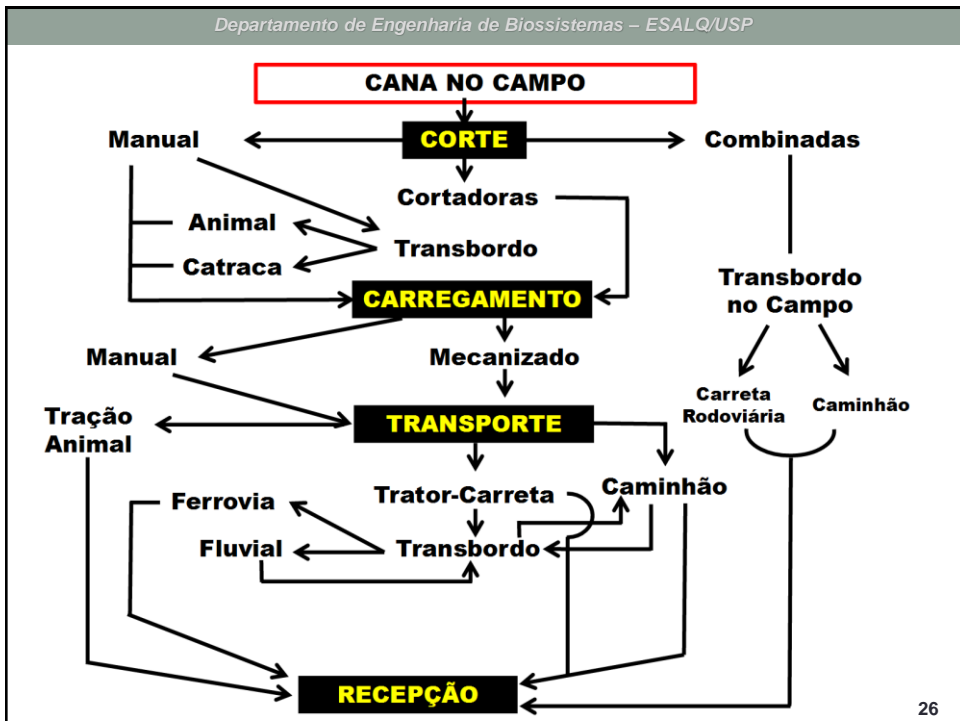
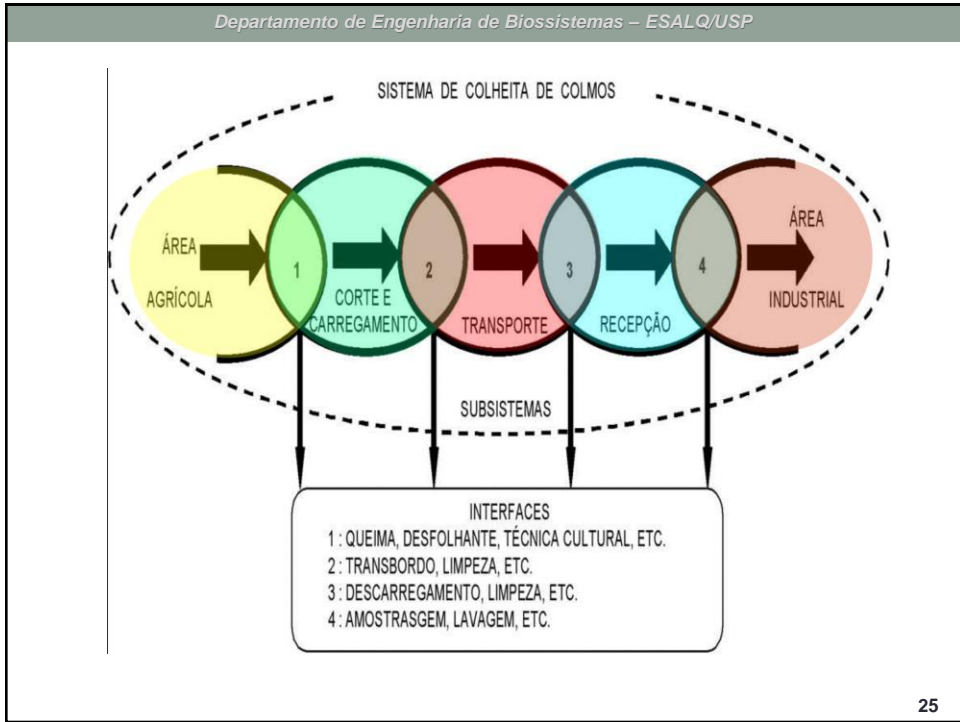
Departamento de Engenharia de Biosistemas – ESALQ/USP

Preparo do solo			Plantio			Tratos culturais cana planta			Tratos culturais cana soca			Colheita		
	RS/ha	RS/ton		RS/ha	RS/ton		RS/ha	RS/ton		RS/ha	RS/ton		RS/ha	RS/ton
Formação do canavial	855,67	11,81	Remuneração da terra	1.184,03	16,34									
Mecanização	395,69	5,46	Área própria	312,77	4,32									
Mão de obra	226,37	3,12	Área arrendada	871,26	12,03									
Insumos	233,60	3,22				Custos administrativos	174,50	2,41						
						Despesas administrativas	174,50	2,41						
Tratos cult. cana planta	68,55	0,95												
Mecanização	22,82	0,31				Depreciação	176,46	2,44						
Mão de obra	21,51	0,30				Benfeitorias	13,95	0,19						
Insumos	24,23	0,33				Irrigação/Fertirrigação	15,10	0,21						
						Máquinas e implementos	147,40	2,03						
Tratos cult. cana soca	788,40	10,88												
Mecanização	278,94	3,85				Remunerações de Capital	268,27	3,70						
Mão de obra	125,61	1,73				Lavoura fundada	154,02	2,13						
Insumos	383,85	5,30				Irrigação/Fertirrigação	9,06	0,13						
						Máquinas e implementos	88,44	1,22						
						Benfeitorias	16,74	0,23						
Colheita	1.706,90	23,56												
Mecanização	1.089,06	15,03				Custo Total	5.075,38	70,06						
Mão de obra	617,84	8,53												
Insumos	0,00	0,00												

PECEGE, 2012

21 %

24



OPERAÇÃO
MANUAL



OPERAÇÃO
SEMI-MECANIZADA



OPERAÇÃO
MECANIZADA



27

COLHEITA MANUAL

Corte e
carregamento



Rendimento

-cana crua: 2 a 2,5 t/homem/dia

-cana queimada: 6 a 13 t/homem/dia (centro-sul)

5 a 7 t/homem/dia (nordeste e leste)

**Transporte pode ser realizado
por animais ou máquinas**



CANA ERETA
CORTE MANUAL
QUEIMADA



10 A 12 t/DIA



Semi-mecanizada



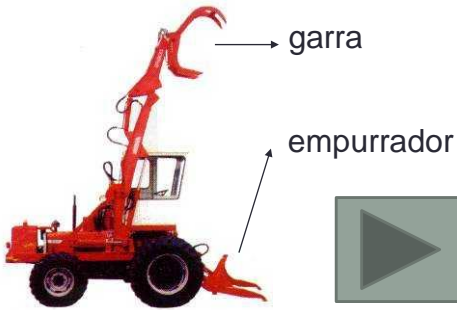
Corte Manual



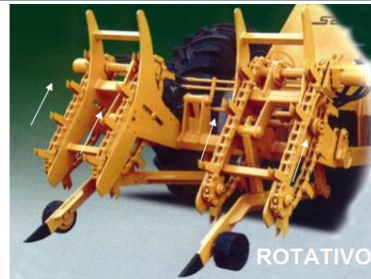
Carregamento
Transporte mecanizados



Carregadoras



Acoplada no chassi do trator



TIPOS DE RASTELOS DE CARREGADORAS

Colheita Mecanizada

Todas as operações realizadas por máquinas

Caracterização de colhedoras combinadas

Quanto ao rodado

pneus, semi-esteiras, esteiras

Quanto ao número de fileiras cortadas por vez

uma, duas, três

Quanto ao tipo de matéria prima fornecida

de colmos inteiros (“cana inteira”), de colmos fracionados (“cana picada”)

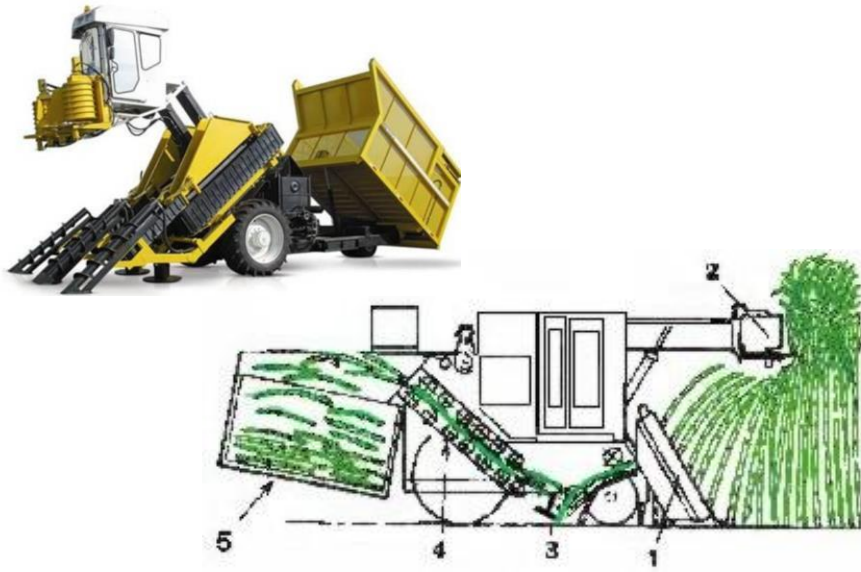
Cortadoras de Colmos Inteiros



Cortam e enleiram



Cortadora amontoadora



Cortadora de cana inteira

Vantagens

- Os colmos colhidos não se deterioram tão rapidamente quanto os picados, podendo ser estocados por períodos mais longos e não precisam de depósitos especiais.
- Podem ser introduzidas na presença de sistemas de transporte distintos
- Corte e carregamento são independentes

Desvantagens

- Necessidade de utilização de carregadoras, para pegar o material depositado no terreno, favorecendo a incorporação de matéria estranha.
- Menor eficiência no transporte devido à variação na densidade das cargas.
- Se há interrupção nos subsistemas de carregamento, transporte ou recebimento na usina a cana pode ficar tempo no campo, gerando perdas.
- Tendência de maior quantidade de impurezas serem levadas do campo, dada a necessidade de carregadoras.
- Dificuldade para colher cana deitada.

Colhedora de cana picada



Colhedora de cana picada

Vantagens

- Eliminam o uso de carregadoras, depositando a cana picada diretamente no sistema de transporte
- Cortam todo o tipo de cana, desde eretas até deitadas
- Maior massa específica das cargas no transporte (500 kg m^{-3})
- Material colhido chega sempre fresco na usina, facilitando o processamento
- Interrupção nos demais subsistemas não levam à presença de material cortado no campo

Desvantagens

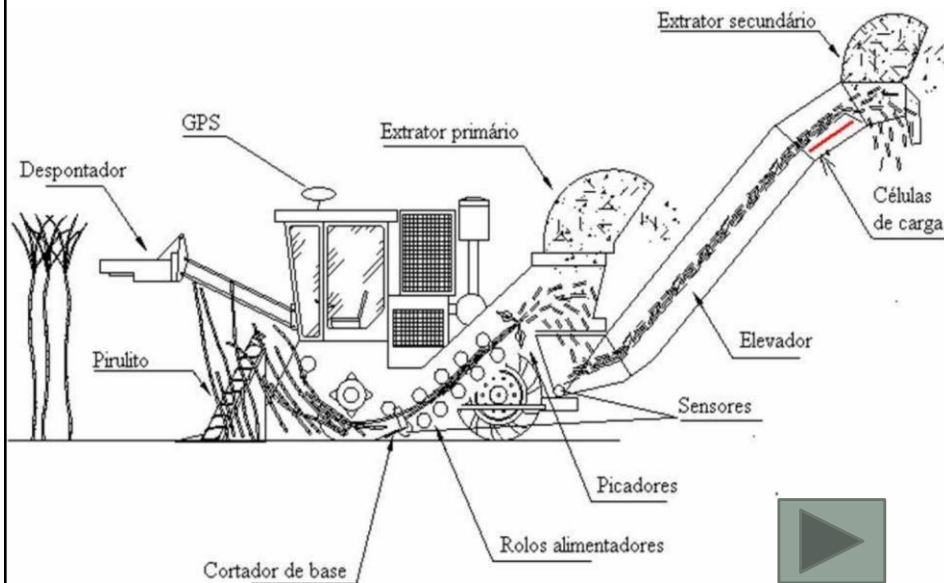
- Operação de corte e transporte está estreitamente ligadas
- Implica em uso de estrutura específica para transporte, com carrocerias fechadas
- Se o órgão picador não é eficiente, ou está inadequado, o cisalhamento inadequado dos colmos resulta em perdas invisíveis



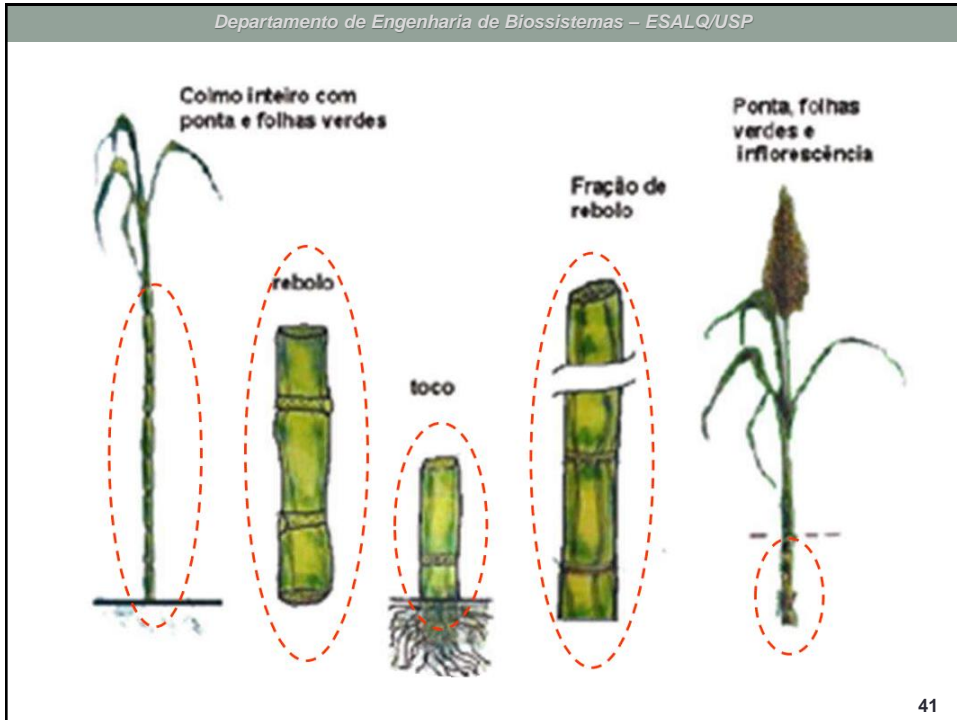
Desponta
Corte
Fracionamento
Limpeza
Carregamento



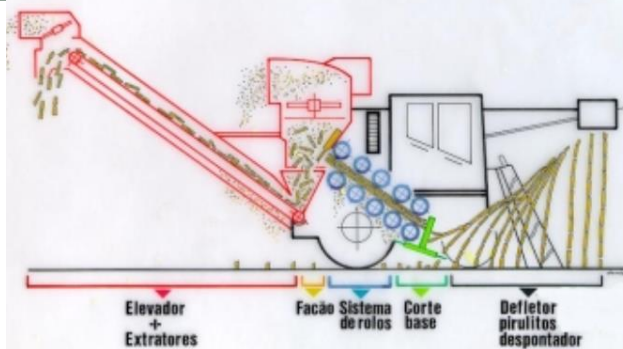
39



40



Etapas:

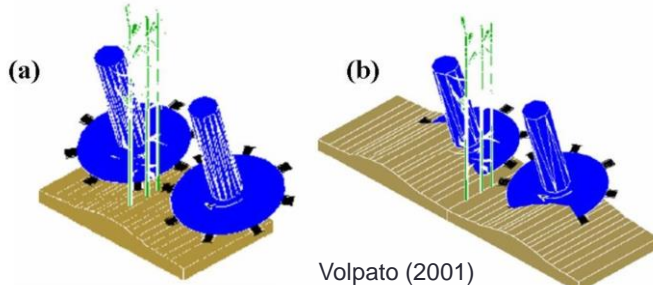
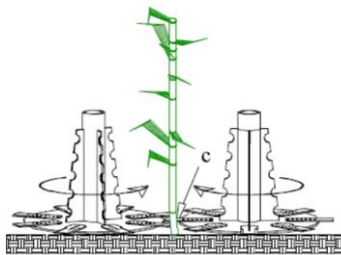


1. Corte dos ponteiros
2. Levantamento e alinhamento dos colmos
3. Tombamento dos colmos
4. Corte de base dos colmos
5. Levantamento da base dos colmos
6. Transporte dos colmos com separação de parte da terra
7. Picagem dos colmos
8. Ventilação e limpeza primária
9. Transporte dos rebolos através do elevador
10. Ventilação e limpeza secundária
11. Descarga a granel dos rebolos no veículo de transbordo



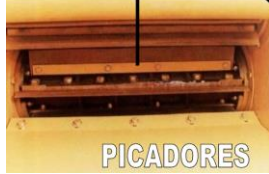
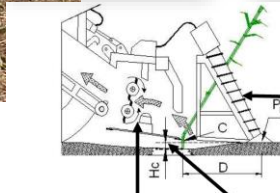
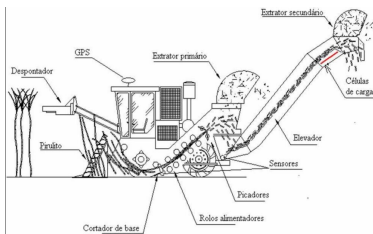
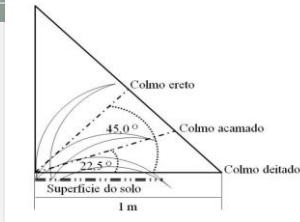
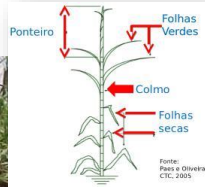
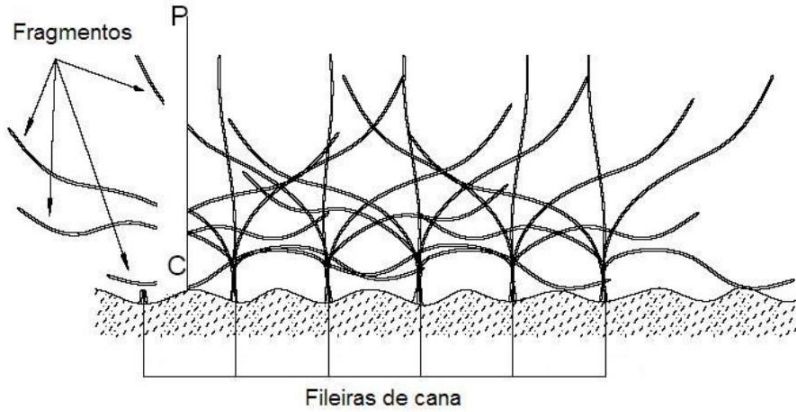
43

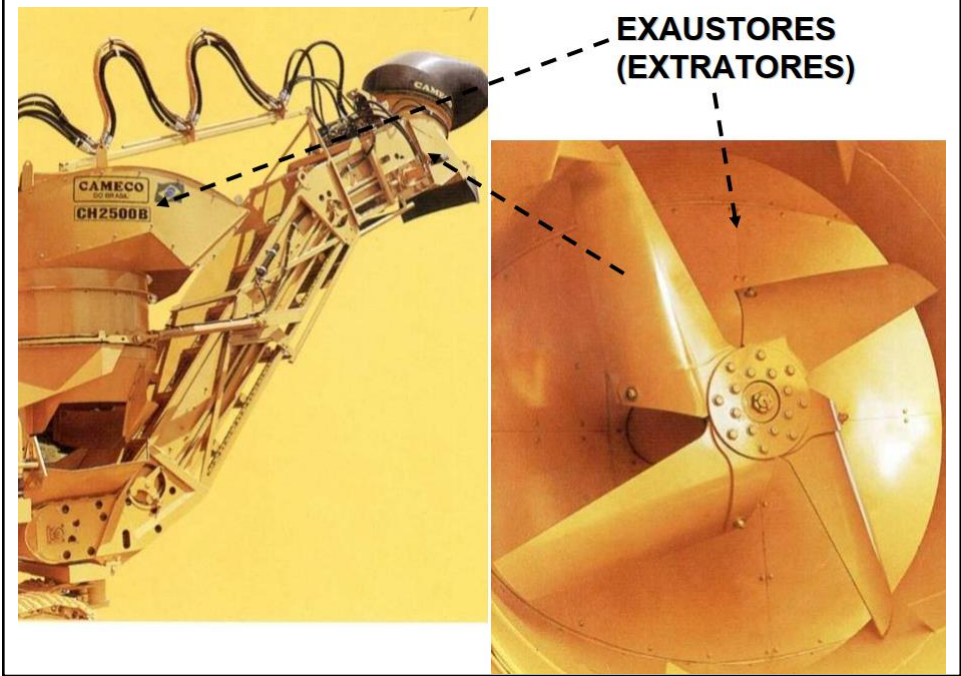
Cortador de base



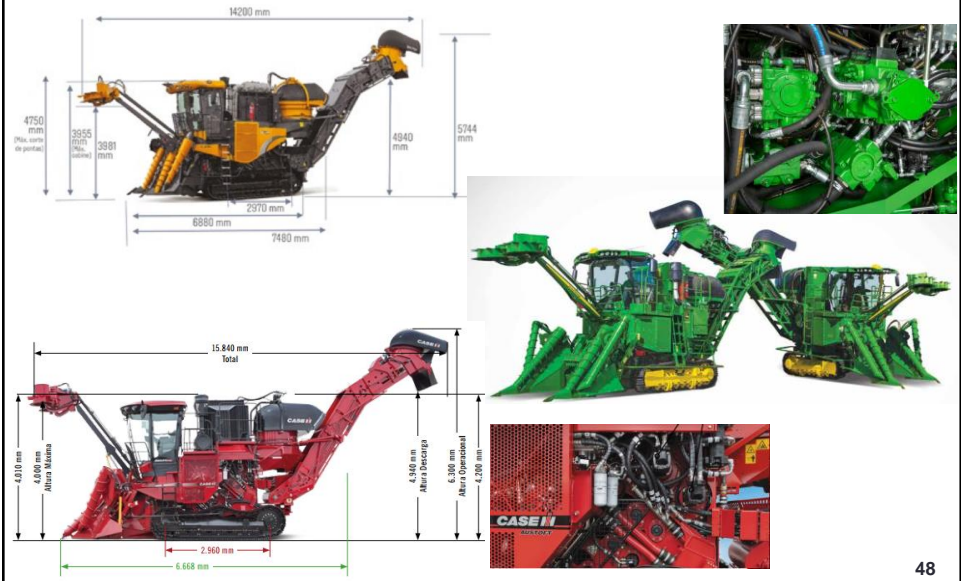
Volpato (2001)

Cana Entrelaçada





Colhedoras atuais

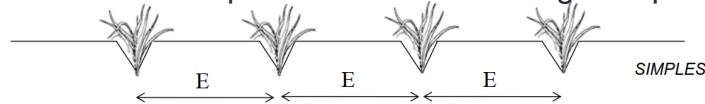


Colhedora 2 linhas

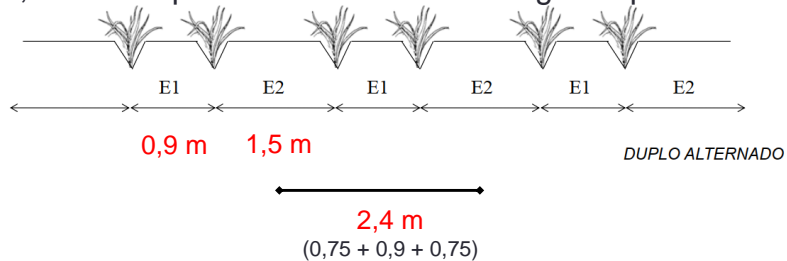


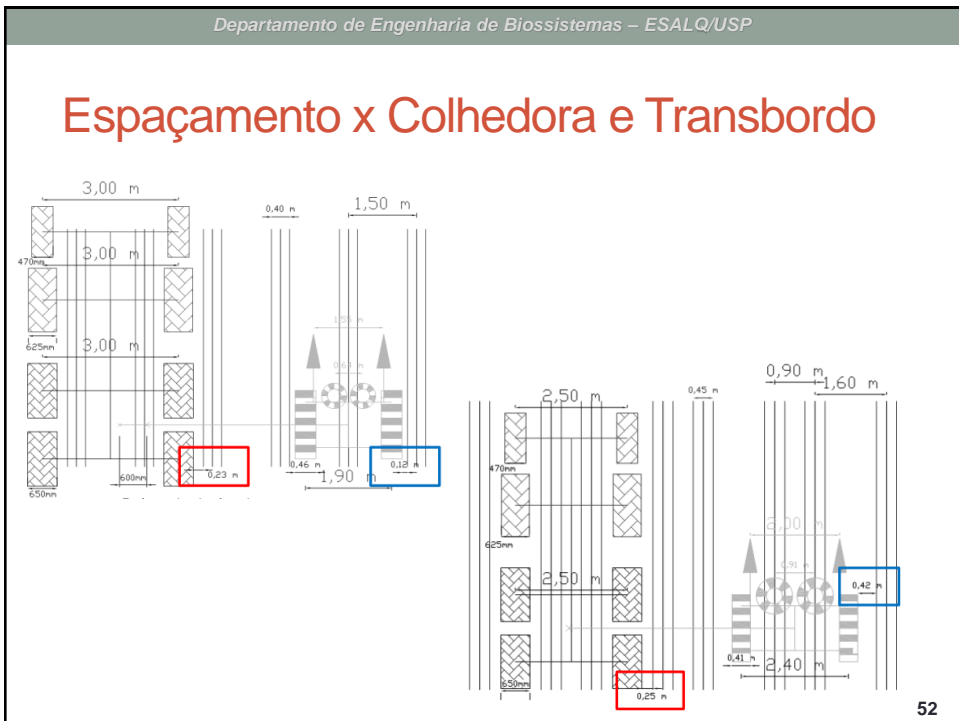
Espaçamento x Colhedora

1,5 m entre fileiras de plantas = **6.666 m** trafegados por hectare



2,4 m entre passadas = **4.166 m** trafegados por hectare





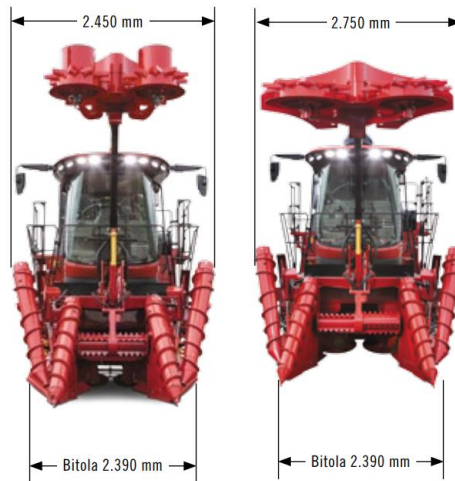
Colhedoras com duas linhas

- Considerando uma situação de canaviais similares, o custo por hora de trabalho de uma colhedora de uma linha de R\$ 360 por hora e o custo por hora de trabalho de uma máquina de duas linhas de R\$ 385 por hora e, considerando a média de 500 t por dia da colhedora de uma linha e 650 t por dia da máquina de duas linhas
- “Se as colhedoras trabalharem 13 horas por dia, o custo por tonelada da colhedora de uma linha será de R\$ 9,36 por t. Já o custo da colhedora de duas linhas será de R\$ 7,70 por t, logo, a colhedora de duas linhas apresentará um custo de C, do CTT, 17,7% menor do que o da colhedora de uma linha nesta situação.”

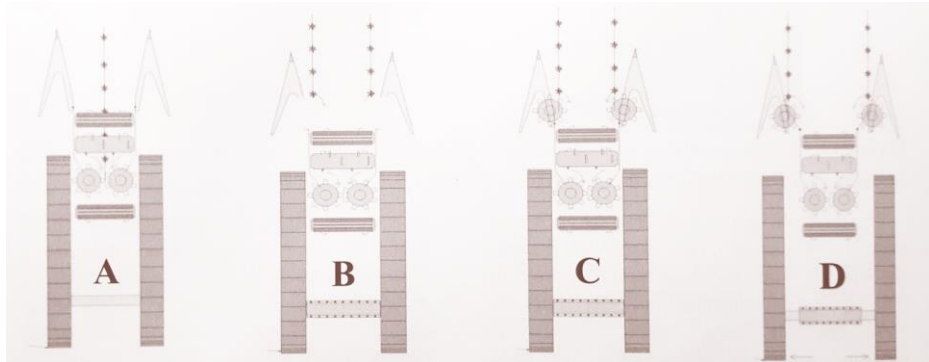
Fonte: Idea

Limitações

- Máquinas de 2 linhas ainda são adaptações das de 1 linha
 - Mesma Potência – necessário reduzir velocidade
 - Corte de base “solidário”
 - Necessidade de sistematização
 - Necessidade de controle da qualidade das operações
 - **PERDAS**



Disposição das fileiras x colhedora



55

Bitola transbordo e colhedora: 3,0 m



56

Bitola x Compactação

Bitola (m)	Espaçamento (m)	Solo Trafegado (%)
1,85	1,524	70
1,85	1,40	70
1,85	1,85	70
1,85	0,50/1,35	35
2,00	0,80/1,20	35
2,40	1,20	24
2,40	0,90/1,50	24
3,0	1,50	18

57



14.000 kg
35m³

21.000 kg
50m³



30.000 kg
60 m³



Transbordos



59

Desempenho na Colheita

- Capacidade
 - Quantidade de material processado no tempo
- Qualidade
 - Perdas
 - Danos à soqueira
 - Matéria Estranha
- Custo
 - Por tonelada de material colhido

60

Capacidade

- Determinada em função de características da máquina e do ambiente
 - Máquina
 - Potência - 340 a 380 cv
 - Velocidade de colheita
 - Características construtivas – linha simples ou dupla
 - Ambiente
 - Inclinação do terreno
 - Sistematização
 - Operações anteriores

61

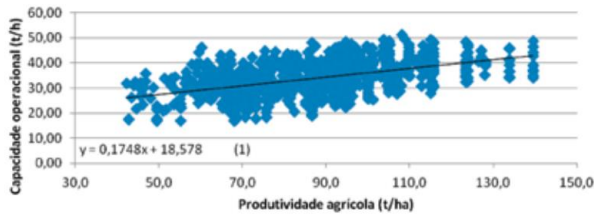
Capacidade

- Canavial:
 - “Porte”
 - Cultivar
 - Produtividade
 - Acamamento:
 - Ereto > 45°
 - Acamado entre 22,5° e 45°
 - Deitado < 22,5°

62

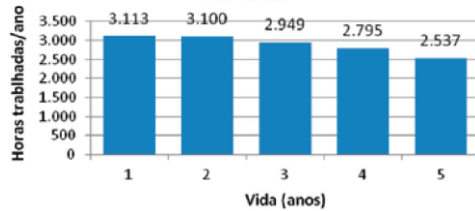
Capacidade

Capacidade operacional de colheita em função da produtividade agrícola



Entre 200.000 e 250.000 toneladas/ano

Média de uso, por equipamento, ao longo das safras

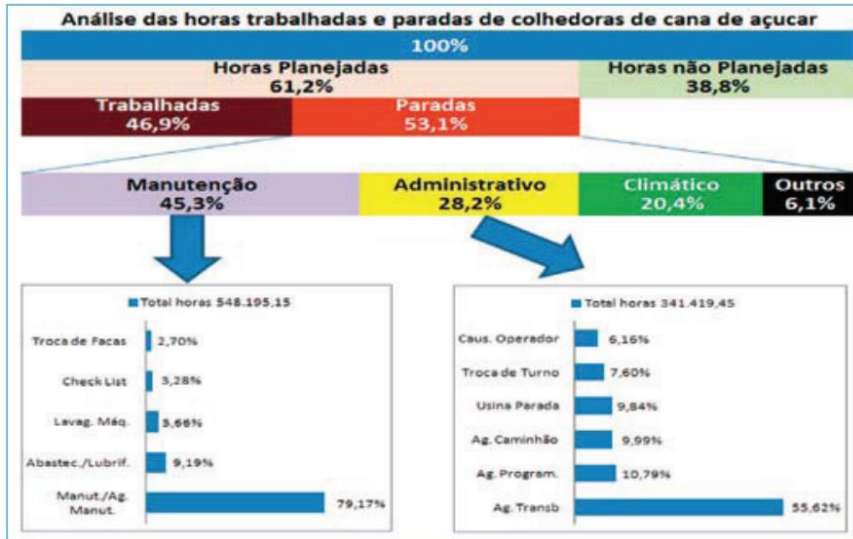


Custo

CUSTO EFETIVO DE COLHEITA

DETALHAMENTO	PARTICIPAÇÃO RELATIVA - %
CUSTO TOTAL	100,00%
CUSTO FIXO 1/3	36,41%
DEPRECIAÇÃO	19,63% 3º
JUROS	2,75%
ALOJAMENTO, SEGUROS E TAXAS	1,91%
OPERADOR	12,12%
CUSTO VARIÁVEL 2/3	63,59%
COMBUSTÍVEL	37,61% 1º
LUBRIFICANTES	4,36%
REPAROS E MANUTENÇÃO	21,62% 2º

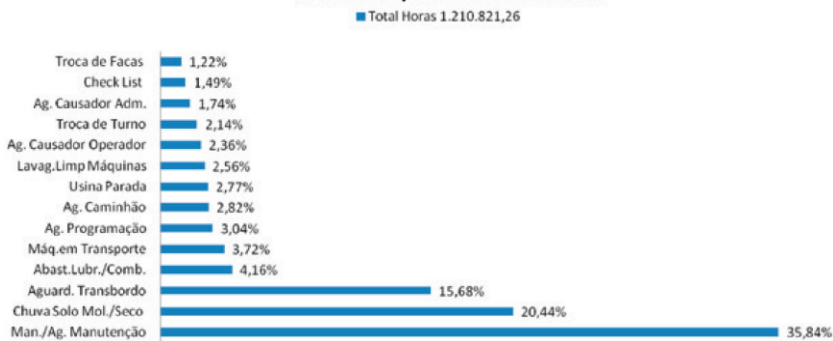
Rosa (2013)



Fonte: Assiste

65

Motivos de parada das colhedoras

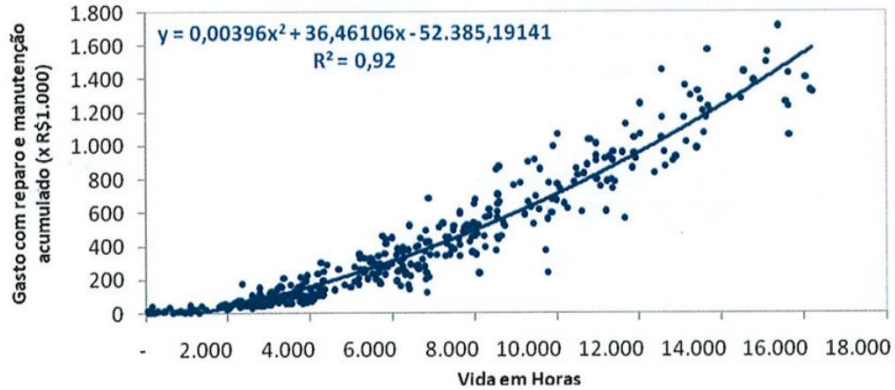


Fonte: Assiste

Responsáveis	Tempo (eficiências)	Motivos de Parada
Administração	Perda de horas produtivas/trabalho	Fila de descarregamento Aguardando programação Troca de turno Usina parada Falta de transbordo/caminhão
Manutenção	Manutenção	Manutenção / oficina Abastecimento de combustível e lubrificação Lavagem e limpeza da máquina Troca de facas "Check list"
Condição climática	Inaptidão	Chuva
Operacional	Auxiliar	Abastecimento de insumos Regulagem do implemento
Equipamento	Perdido	Transporte de Máquinas e/ou Implementos

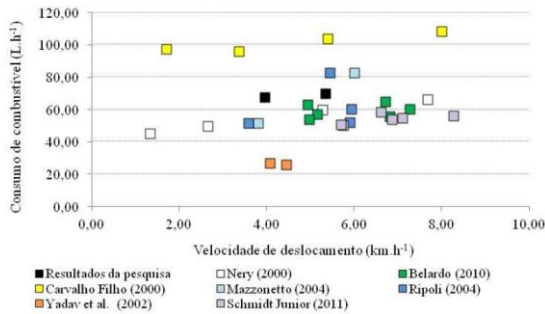
Custo com reparos

Evolução do CRM acumulado em função da vida - Colhedora

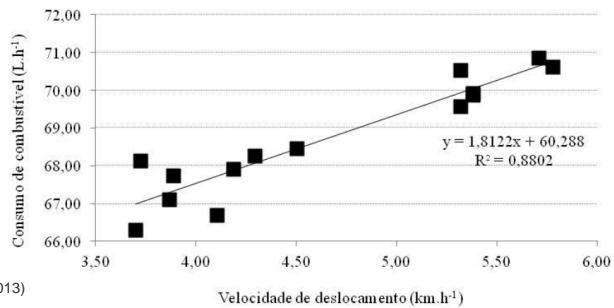


Fonte: Assiste

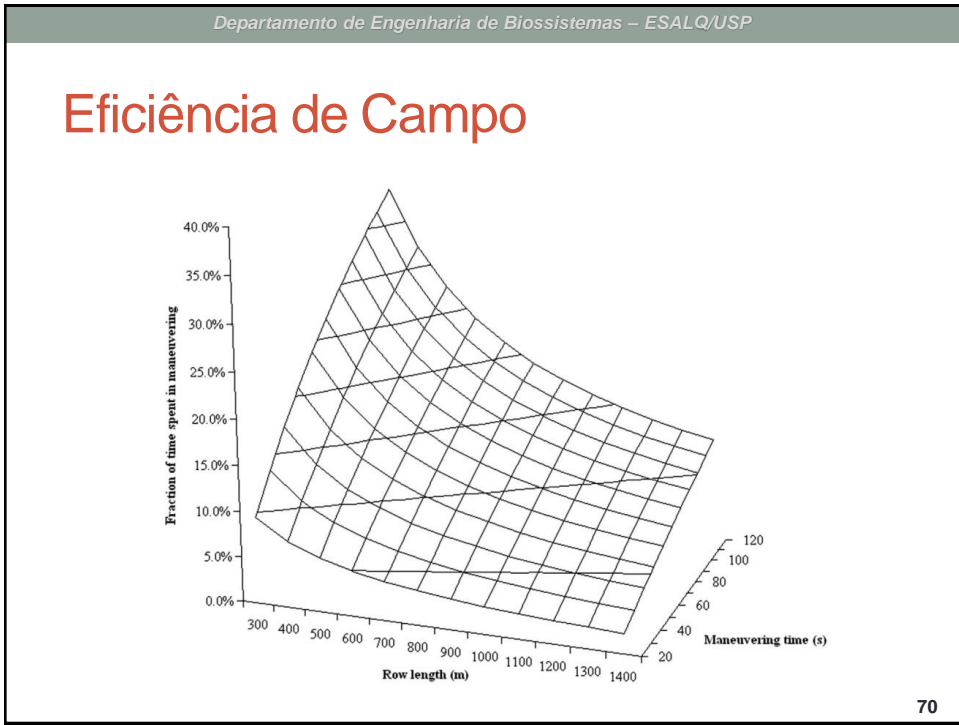
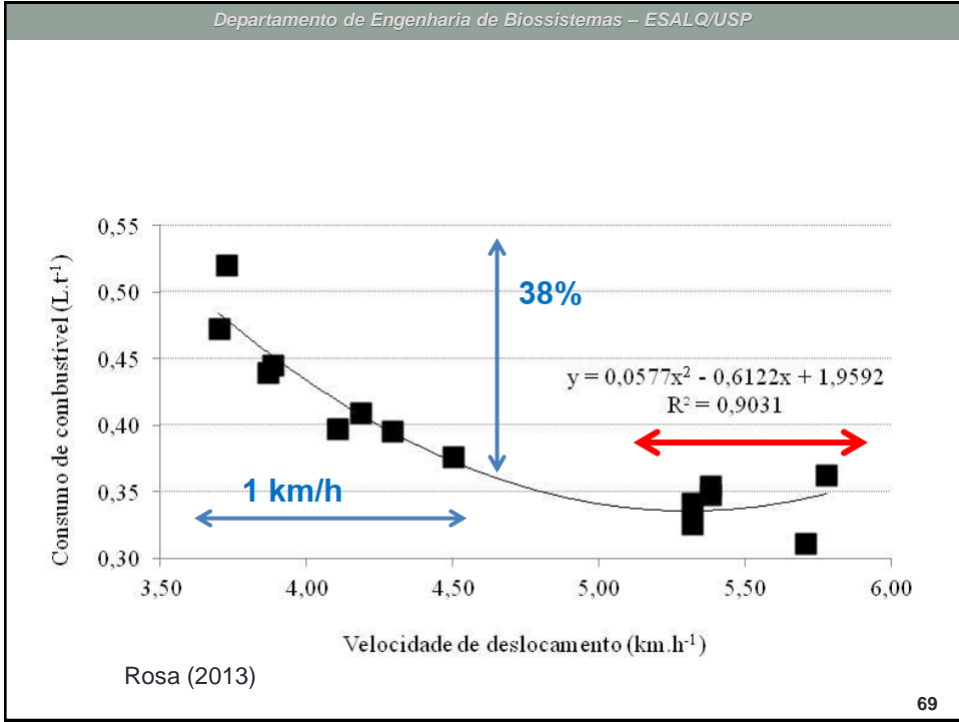
67



FONTE: ROSA (2013)



Rosa (2013)



PERDAS PROVOCADAS PELA COLHEITA MECANIZADA

Visíveis: canas inteiras, rebolos, pedaços de cana, ponteiros, tocos e canas esmagadas, que ficam perdidas no campo ou presas na colhedora

Invisíveis: perdas que ocorrem durante a colheita sob formas de serragem e caldo, sendo impossíveis de serem quantificadas, podem chegar a 10%

PERDAS VISÍVEIS

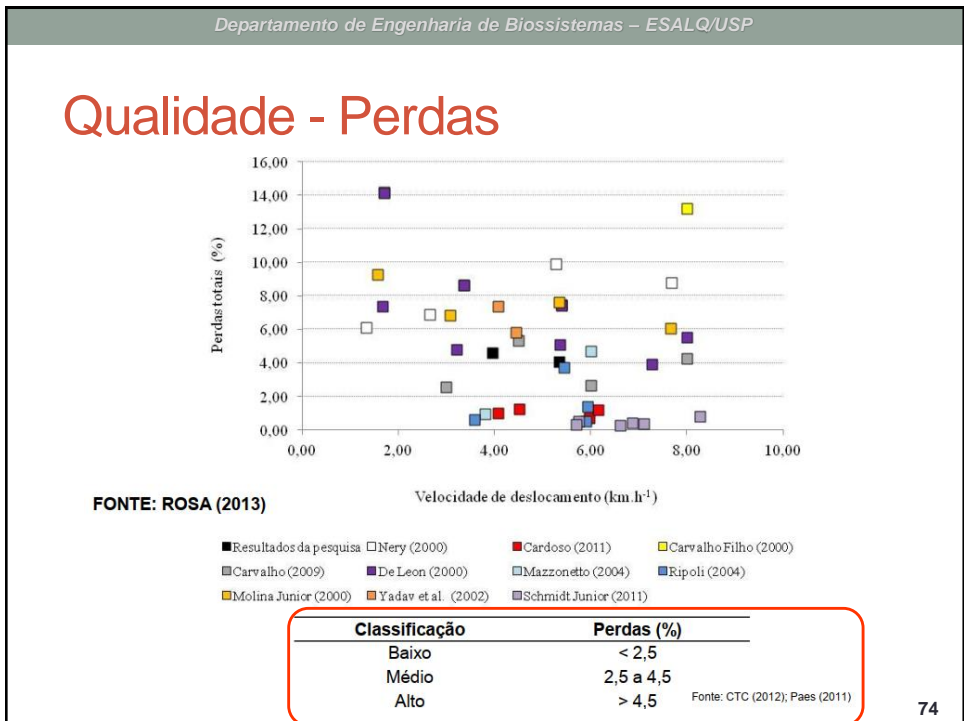
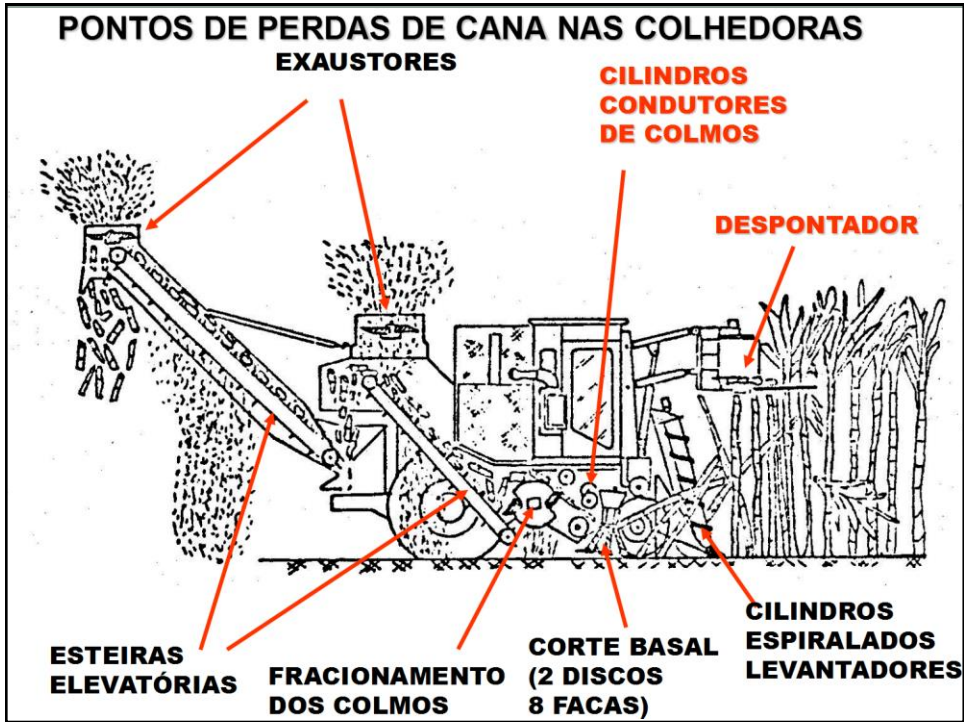
Colmos inteiros: tamanho superior a 2/3 do original. Ocorre após o corte e pelo não recolhimento

Frações de rebolos: fragmentos de cana e rebolos dilacerados. Material que passou pelo sistema de limpeza e também colmos repicados no corte de base

Rebolos: perdas relacionadas ao elevador, principalmente durante a transferência de carga e falta de sincronismo entre colhedora e transbordo.

Ponteiros: pedaços de colmos aderidos aos palmitos. Relacionado à regulagem da altura de corte de pontas.

Tocos: frações de colmos cortados acima da superfície do solo, presas às raízes não arrancadas, comprimento > 2 cm





Matéria Estranha

- Todo componente de matéria prima colhida e posta na indústria que não seja colmo industrializável

Vegetal



Mineral

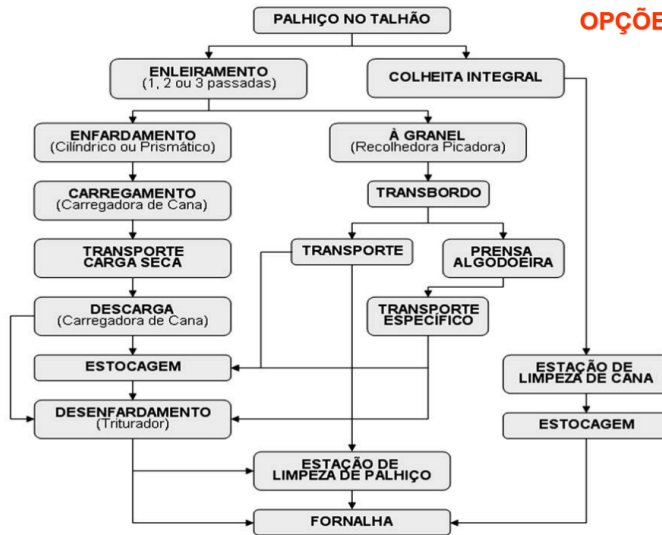




Magalhães, 2008

Recolhimento de Palhiço

OPÇÕES



**ANCINHO
ROTATIVO
VERTICAL**



79



Exercício

- Considerando:
 - Eficiência operacional = 45 %
 - Dias trabalháveis na safra = 150
 - Jornada de trabalho = 24 h
 - Largura efetiva de trabalho = 1,5 m
 - Velocidade de trabalho efetiva = 5 km h⁻¹
 - Produtividade média do canavial = 75 t ha⁻¹
- Quantas colhedoras são necessárias para uma área de 12.000 ha?
- Considerando um custo horário de R\$400,00 para a colhedora, qual o custo da tonelada colhida?

81

Solução

Número de Colhedoras:

Ritmo Operacional = A_t/TD

$$RO = 12.000 \text{ ha} / (150 \text{ d} \times 24 \text{ h}) = 3,33 \text{ ha h}^{-1}$$

$$NC = RO / Cco$$

$$Cco = Cce \times Efc$$

$$Cce = 1,5 \text{ m} \times (5 \text{ km h}^{-1} / 3,6 \text{ ms}^{-1}) = 2,08 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

$$Cce = 2,08 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \times 3600 \text{ s h}^{-1} / 10.000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} = 0,75 \text{ ha h}^{-1}$$

$$Cco = 0,75 \text{ ha h}^{-1} \times 0,45 = 0,34 \text{ ha h}^{-1}$$

$$NC = 3,33 \text{ ha h}^{-1} / 0,34 \text{ ha h}^{-1} = 9,8 \rightarrow 10 \text{ Colhedoras}$$

Custo Hora:

Se em 1 ha -----> 75 t

0,34 ha -----> X
(Área colhida em uma hora)

$$X = 25,5 \text{ t h}^{-1}$$

$$\text{Custo por tonelada colhida} = 400 \text{ R\$ h}^{-1} / 25,5 \text{ t h}^{-1} = 15,8 \text{ R\$ t}^{-1}$$

82

Departamento de Engenharia de Biosistemas – ESALQ/USP



FIM

Leandro M. Gimenez

lmgimenez@usp.br