

Virtual Sugarcane Biorefinery

– A computational tool to compare sustainability impacts of different production strategies in a biorefinery context



Otávio Cavalett

**Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais - CNPEM
Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol – CTBE**

Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais - CNPEM

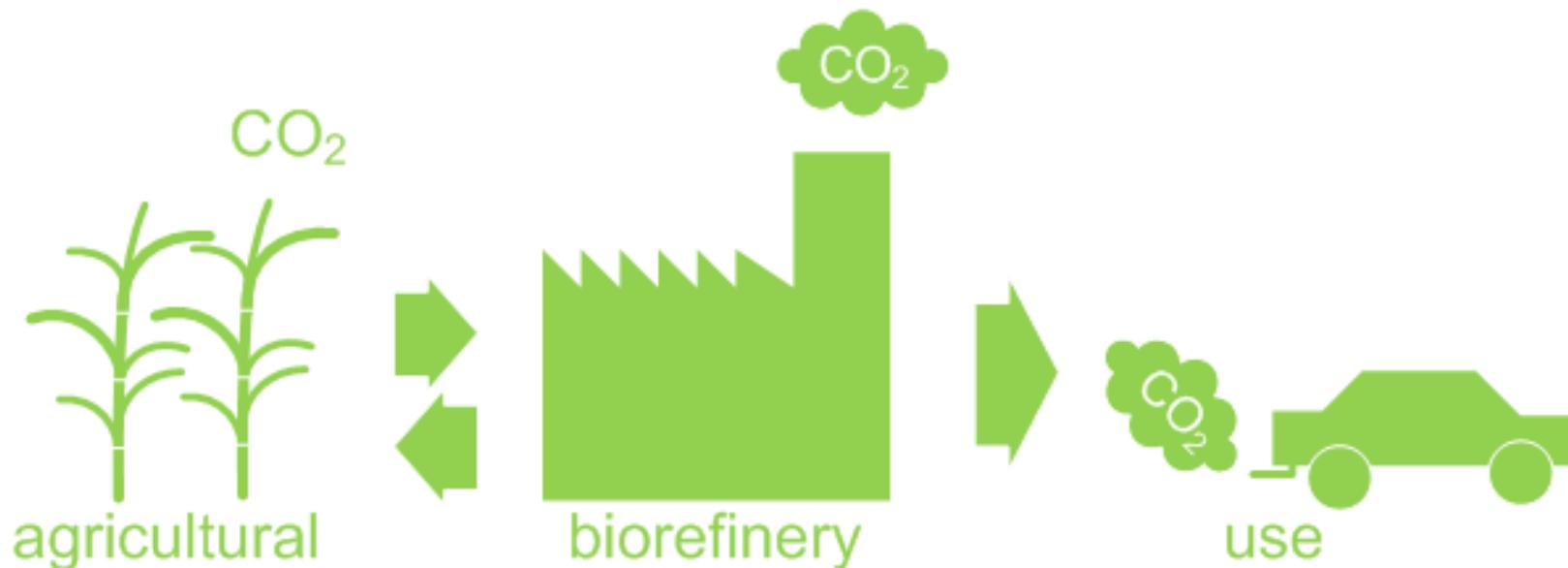
Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol - CTBE



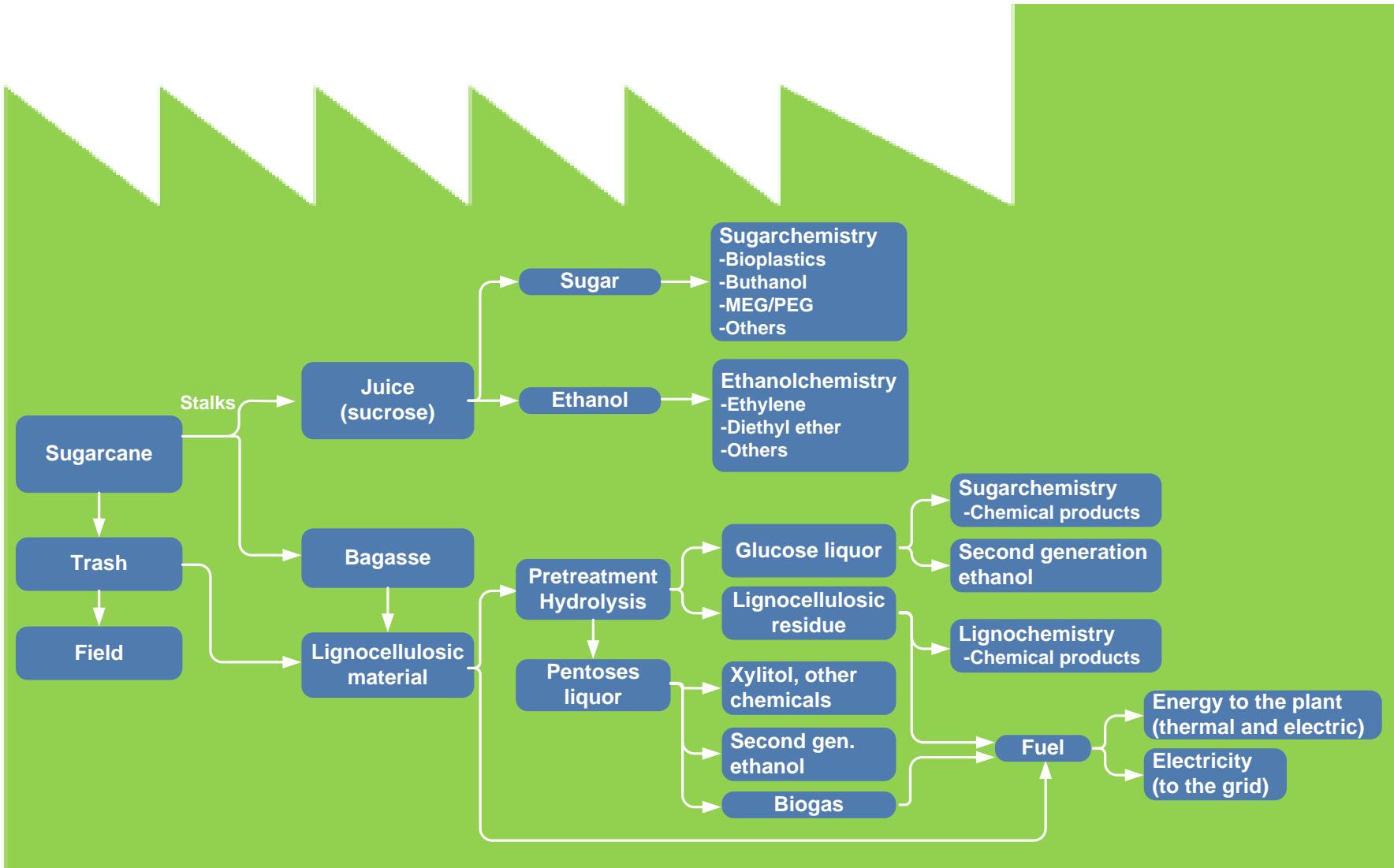
CTBE was founded to solve main technological bottlenecks of sugarcane ethanol

- ✓ Agriculture
- ✓ Industry
- ✓ Basic Science
- ✓ Sustainability
- ✓ Technological Assessment

sugarcane production chain

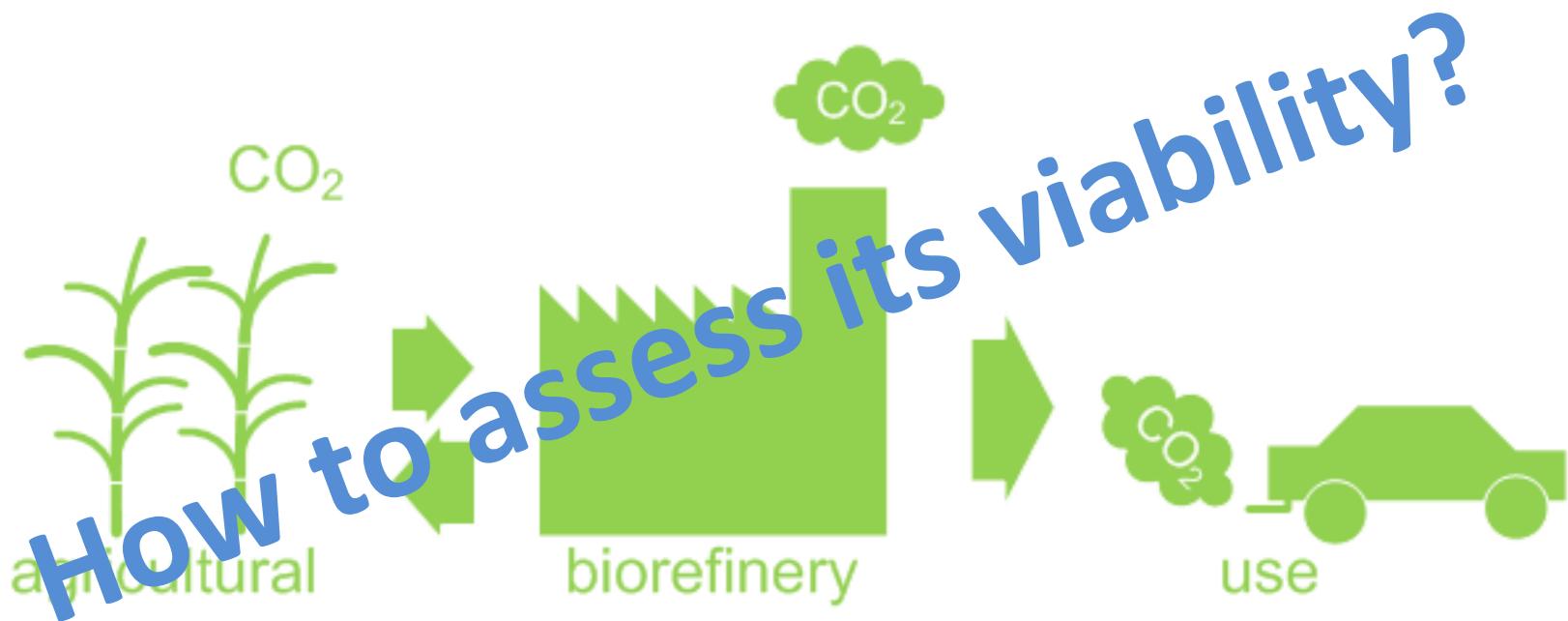


sugarcane biorefinery

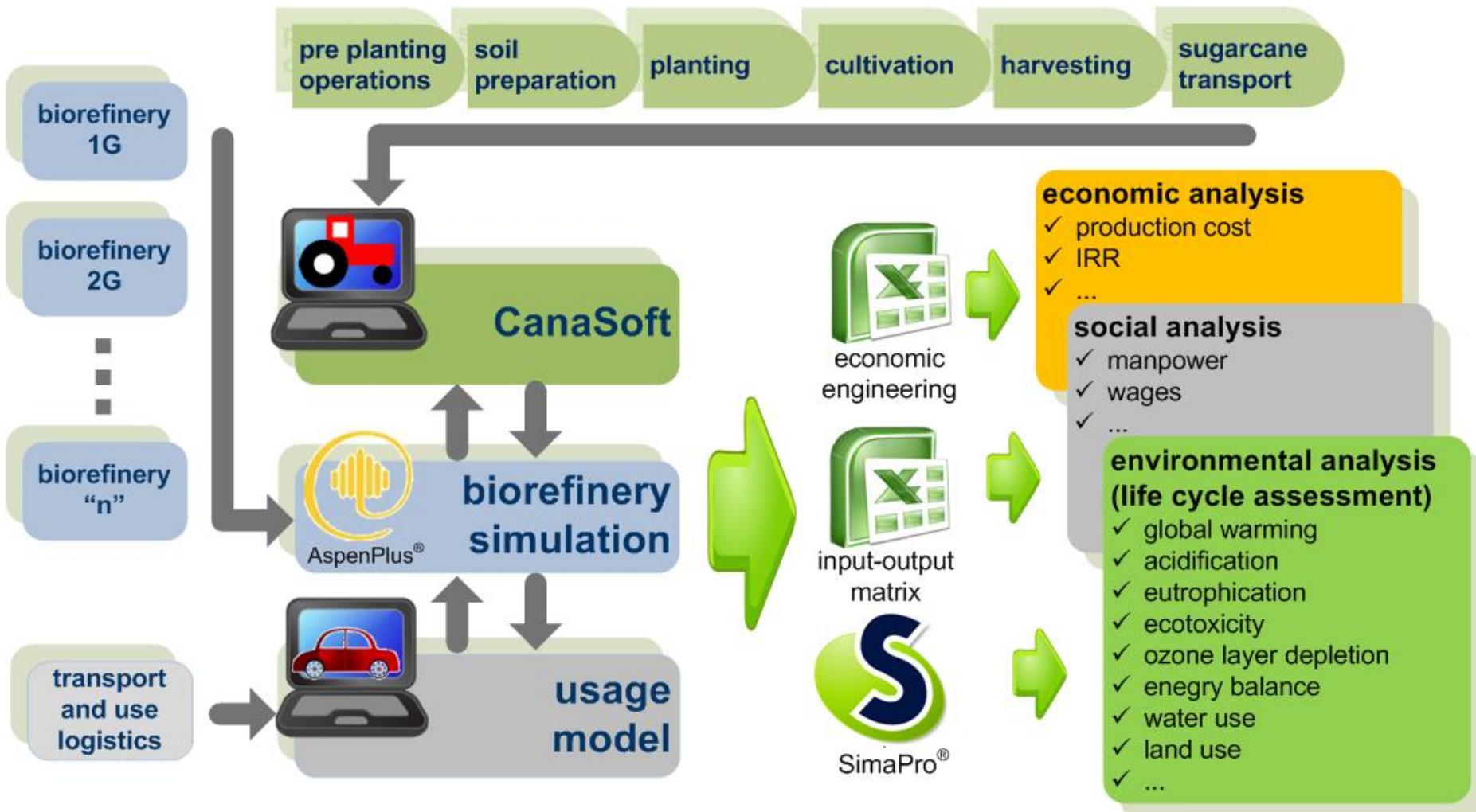


Source: Lago et al., 2012. Sugarcane as a carbon source. Biomass and Bioenergy.

sugarcane production chain



virtual sugarcane biorefinery





CanaSoft

Biorrefinaria Virtual de Cana-de-Açúcar



A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z AA AB AC AD AE AF AG AH AI AJ AK AL AM AN AO AP AQ AR AS AT AU AV AW AX AY AZ BA BB BC BD BE BF BG BH BI BJ BK BL BM BN BO BP BQ BR

Entrada de dados



Resultados





CanaSoft

Bioestatística Virtual da Escola de Enfermagem



F305 fx APTA, 2007. Workshop Tecnológico sobre vinhaça. Painel 2: Métodos de Utilização e Aplicação de Vinhaça. Palestrante: Sérgio Antônio Veronez de Souza

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
157									
158	5 Colheita								
159	5.1 Forma de colheita			Referência:					
160	0 Fração da área com colheita manual								
161	0 Fração da área com colheita mecanizada								
162	1 Fração da área com colheita com ETC								
163	5.2 Queima			Referência:					
164	1 Fração de queima em área de colheita manual								
165	0 Fração de queima em área de colheita mecanizada								
166	0 Fração de queima em área de colheita com ETC								
167	0 Fração de cana crua em área de colheita manual								
168	1 Fração de cana crua em área de colheita mecanizada								
169	1 Fração de cana crua em área de colheita com ETC								
170	0,000 Fração da área com cana queimada								
171	1,000 Fração da área com cana crua								
172	5.3 Perdas			Referência:					
173	0,1 Fração de perdas em colheita manual								
174	0,1 Fração de perdas em colheita mecanizada								
175	0,05 Fração de perdas em colheita com ETC								
176									
177	Voltar								
178									
179									
180									
181									
182									
183									
184									
185	6 Palha								
186	6.1 Produção			Referência:					
187	139 Palha produzida por toneelada de cana	kg(bs)/tc							
188	13,28 Quantidade de palha produzida por hectare	t bs/(ha.ano)							
189	6.2 Transporte de palha aderida aos colmos			Referência:					
190	0,048 % de palha na carga	%							
191	4,336 Quantidade (bu) de palha na carga	t bu/(ha.ano)							
192	0,521 Umidade da palha (limpeza convencional)	%							
193	2,1 Quantidade (bs) de palha na carga	t bs/(ha.ano)							
194	6.3 Disponibilidade e recolhimento			Referência:					

Fraction of area with
mechanical harvesting

Quantity of straw
transported with stalks

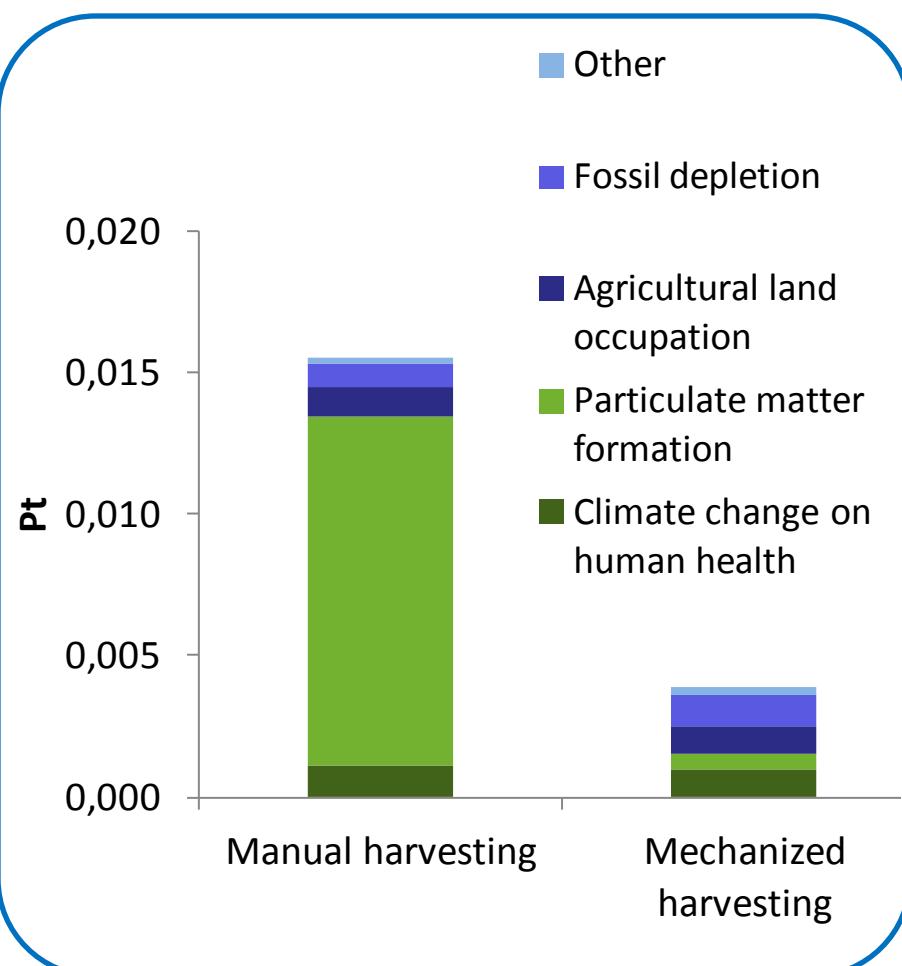
Planilha Agrícola - BVC_V16 [Somente leitura] - Microsoft Excel							
Início Inserir Layout da Página Fórmulas Dados Revisão Exibição Aspen ASW							
Recortar		Calibri	11	A A	Quebrar Texto Automaticamente	Geral	
Colar		N N	I I	S S	Mesclar e Centralizar	Formato Condicional	
Formatar Pincel		Fonte	Alinhamento	Número	Formatar Célula	Inserir	Excluir
Área de Transferência					Formatar	Formatos de Célula	Formatar
Fonte					Células		
G123		f x	Trator pneu 75 cv (4x4)				
A	B	C	D	E	F	G	H
106	Operação Mecanizada		Ocorre em:	Mão de obra	Type de Maquinário	Maquinário	Implemento
107				Descrição	R\$ / h		
108							
112	Gessagem	Pré-plantio/Preparo	Operador máquinas e implementos	7,24	Trator	Trator pneu 88 cv (4x4)	Distr. Calcareo 2,3 m3 - 4 pneus (
113	Contrução de carreadores	Pré-plantio/Preparo	Operador máquinas e implementos	7,24	Trator	Trator pneu 125 cv (4x4)	Plaina 2,3 m/PTL Marchesan
114	Manutenção de estradas	Toda a área	Operador máquinas e implementos	7,24	Outros	Retroescavadeira Cat 416 E (Caterpillar)	-
115	Terraceamento	Pré-plantio/Preparo	Operador máquinas e implementos	7,24	Trator	Trator pneu 125 cv (4x4)	Terracea. 20x26" TACR Baldan ser
116	Gradagem pesada	Pré-plantio/Preparo	Operador máquinas e implementos	7,24	Trator	Trator pneu 280 cv (4x4)	Grade pesada 32"x 9,0 mm (GAPM
117	Subsolagem	Pré-plantio/Preparo	Operador máquinas e implementos	7,24	Trator	Trator pneu 220 cv (4x4)	Subsolador SP 9x9, 9 hastas / Picc
118	Gradagem niveladora	Pré-plantio/Preparo	Operador máquinas e implementos	7,24	Trator	Trator pneu 125 cv (4x4)	Grade niveladora mancal graxa /
119	Abertura dos sulcos	Plantio	Operador máquinas e implementos	7,24	Trator	Trator pneu 125 cv (4x4)	Sulc/adub. 2 linhas leve Marches
120	Aplicação de torta de filtro	Plantio	Operador máquinas e implementos	7,24	Trator	Trator pneu 88 cv (4x4)	Distr. Torta de filtro (Com sulcado
121	Operação de cobrição	Plantio	Operador máquinas e implementos	7,24	Trator	Trator pneu 75 cv (4x4)	Cobridor de 2 linhas (linha cana/
122	Plantio Mecanizado	Plantio	Operador máquinas e implementos	7,24	Trator	Trator pneu 175 cv (4x4)	Plantadeira de Cana Picada - PCP
123	Aplicação de Herbicida			7,24	Trator	Trator pneu 75 cv (4x4)	lv. barra 18 m Advance 3000 Vc
124	Operação quebra lombo (nívelamento)			7,24	Trator	Trator pneu 75 cv (4x4)	tivador c/ quebra (linha cana/
125	Adubação da soqueira (triplice operação)			7,24	Trator	Trator pneu 85 cv (4x4)	tivador c/ quebra (linha cana/
126	Enleiramento da Palha			7,24	Trator	Trator pneu 88 cv (4x4)	erador Giro-palha (linha cana
127	Carregamento com carregadora - Colheita manual	CCT	Operador máquinas e implementos	7,24	Carregadora	Trator pneu 120 cv (4x4)	Transbordo de arrasto para cana
128	Transbordo - Colheita manual	CCT	Operador máquinas e implementos	7,24	Trator	Trator pneu 125 cv (4x4)	
129	Colheita mecanizada	CCT	Operador de colhedora	7,24	Colhedora	Trator pneu 130 cv (4x4)	
130	Transbordo - Colheita mecanizada	CCT	Operador máquinas e implementos	7,24	Trator	Trator pneu 140 cv (4x4)	
131	Colheita mecanizada de mudas	Plantio	Operador de colhedora	7,24	Colhedora	Trator pneu 150 cv (4x4)	
132	Aplicação de cinzas	Plantio				Colhedora esteira A 8800 (Case)	
133	Plantio com ETC	Plantio				Trator pneu 180 cv (4x4)	Transbordo de arrasto para cana
134	Subsolagem com ETC	Pré-plantio				Colhedora esteira A 8800 (Case)	-
135	Colheita com ETC	CCT				Trator pneu 88 cv (4x4)	Distr. Calcareo 2,3 m3 - 4 pneus (
136	Colheita com ETC - integral	CCT				ETC	Módulo de plantio da ETC
137	Colheita com ETC - integral sem ponteiro	CCT	Operador máquinas e implementos	7,24	Outros	ETC	Módulo de subsolagem da ETC
138	Colheita com ETC - integral sem ponteiro repicada	CCT	Operador máquinas e implementos	7,24	Outros	ETC	Módulo de colheita da ETC (2 linh
139	Colheita com ETC - enfardamento	CCT	Operador máquinas e implementos	7,24	Outros	ETC	Módulo de colheita da ETC (2 linh
140	Transbordo - ETC	CCT	Operador máquinas e implementos	7,24	Trator	Trator pneu 180 cv (4x4)	Transbordo de arrasto para ETC 2
141	Aplicação de fertilizantes com pulverizador autopropelido	Toda a área	Operador máquinas e implementos	7,24	Outros	Pulverizador Jacto Uniport 3030	-
142	Enfardamento da palha	Toda a área	Operador máquinas e implementos	7,24	Trator	Trator pneu 175 cv (4x4)	Enfardadora New Holland BB9080C
143	Enfardamento da palha - ETC	Toda a área	Operador máquinas e implementos	7,24	Trator	Trator pneu 175 cv (4x4)	Enfardadora New Holland BB9080C
144	Carregamento dos fardos (palha)	Toda a área	Operador máquinas e implementos	7,24	Carregadora	Carregadora Civemasa CIV 180 (com trator) - fardo -	

Herbicide application

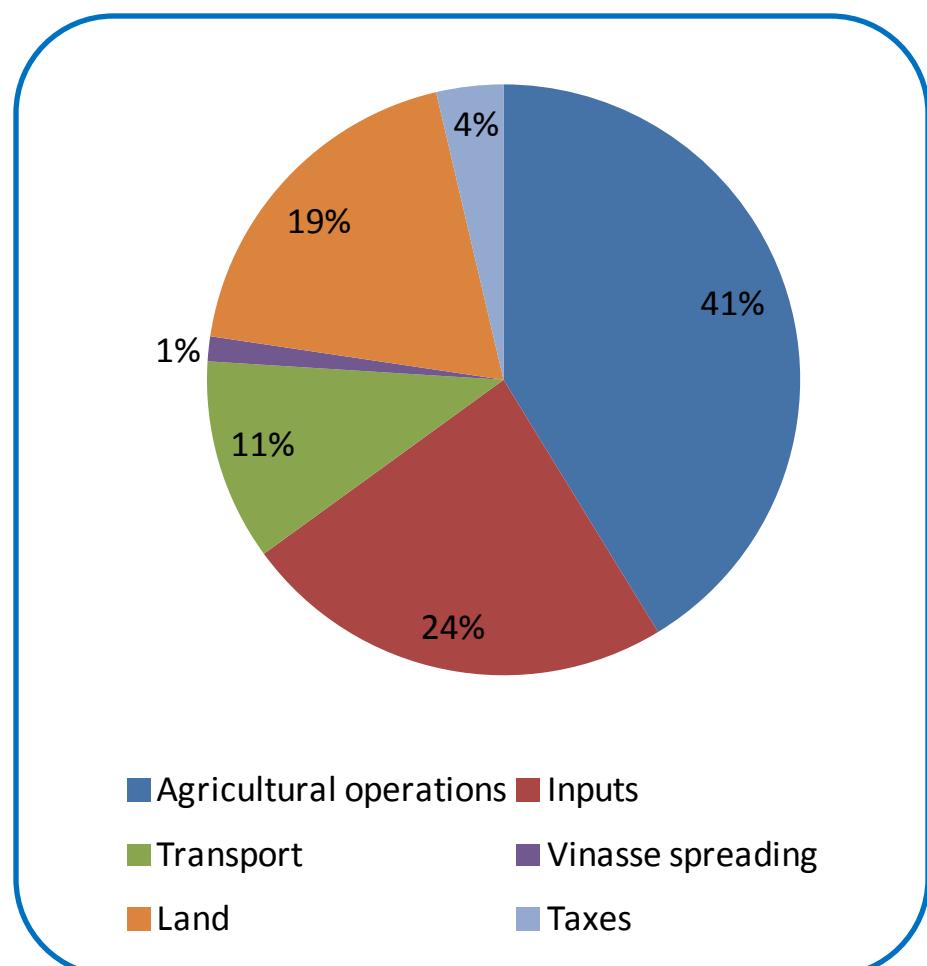
Selecting type of tractor
for this operation

CanaSoft outputs

environmental results



economic results



sensitivity analysis - Morris method

top 15 variables at the sugarcane agricultural sector

1. intensification factor of sugarcane area
2. yield
3. processing capacity of the plant
4. cost of trucks
5. global agricultural operation efficiency (man, maintenance, operational)
6. cost of land
7. effective days of the harvesting season
8. number of harvestings per cycle
9. life spam of trucks
10. number of harvesting lines for the harvester
11. salvage value of trucks
12. fraction of cane transported by truck with trailer
13. fraction of mechanical harvesting
14. fraction of sugarcane harvest with 12 months
15. cost of diesel

agricultural technological alternatives assessed

harvesting
systems



sweet
sorghum



reduced
tillage



straw
recovery



agricultural technological alternatives assessed

harvesting
systems



sweet
sorghum



reduced
tillage

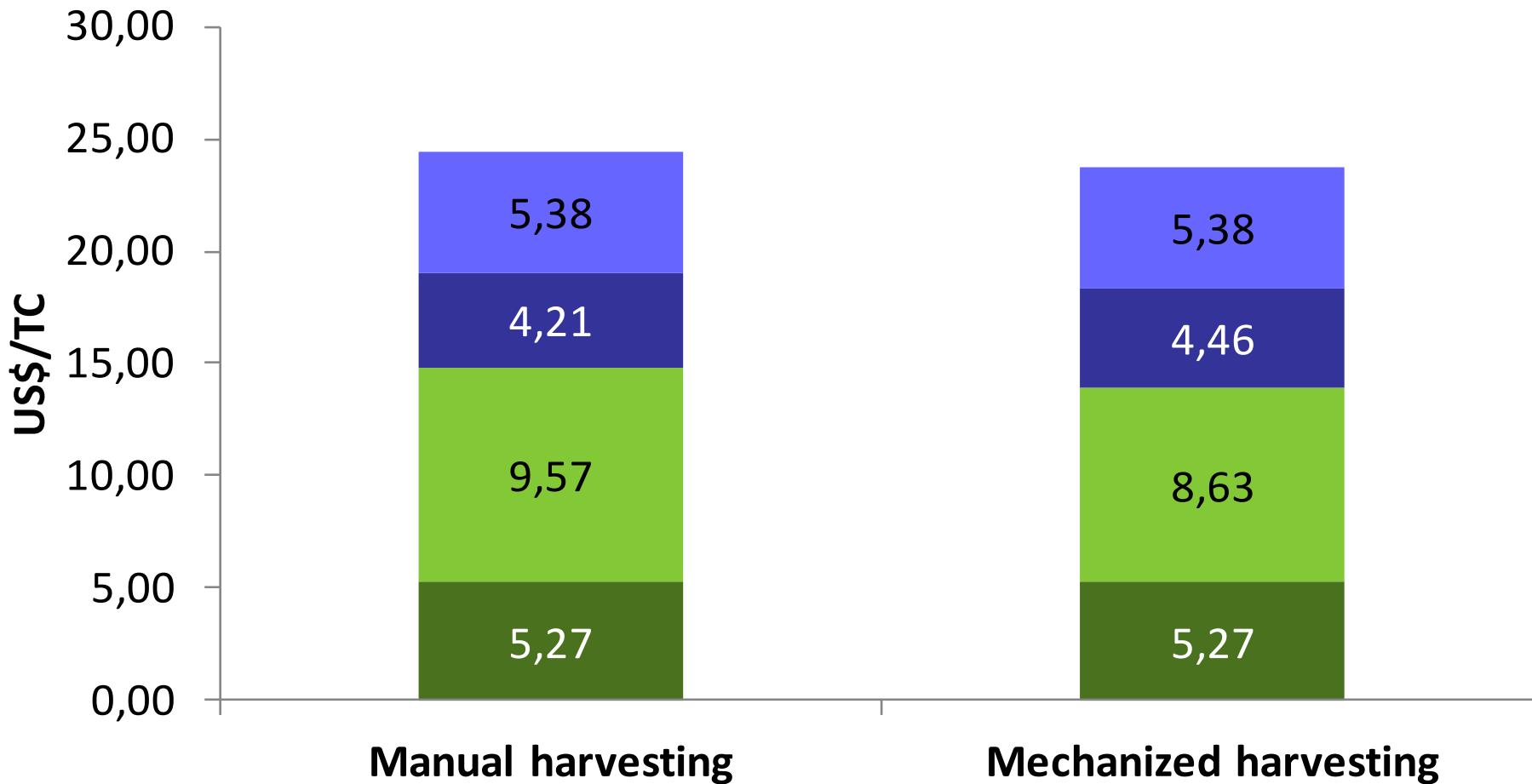


straw
recovery

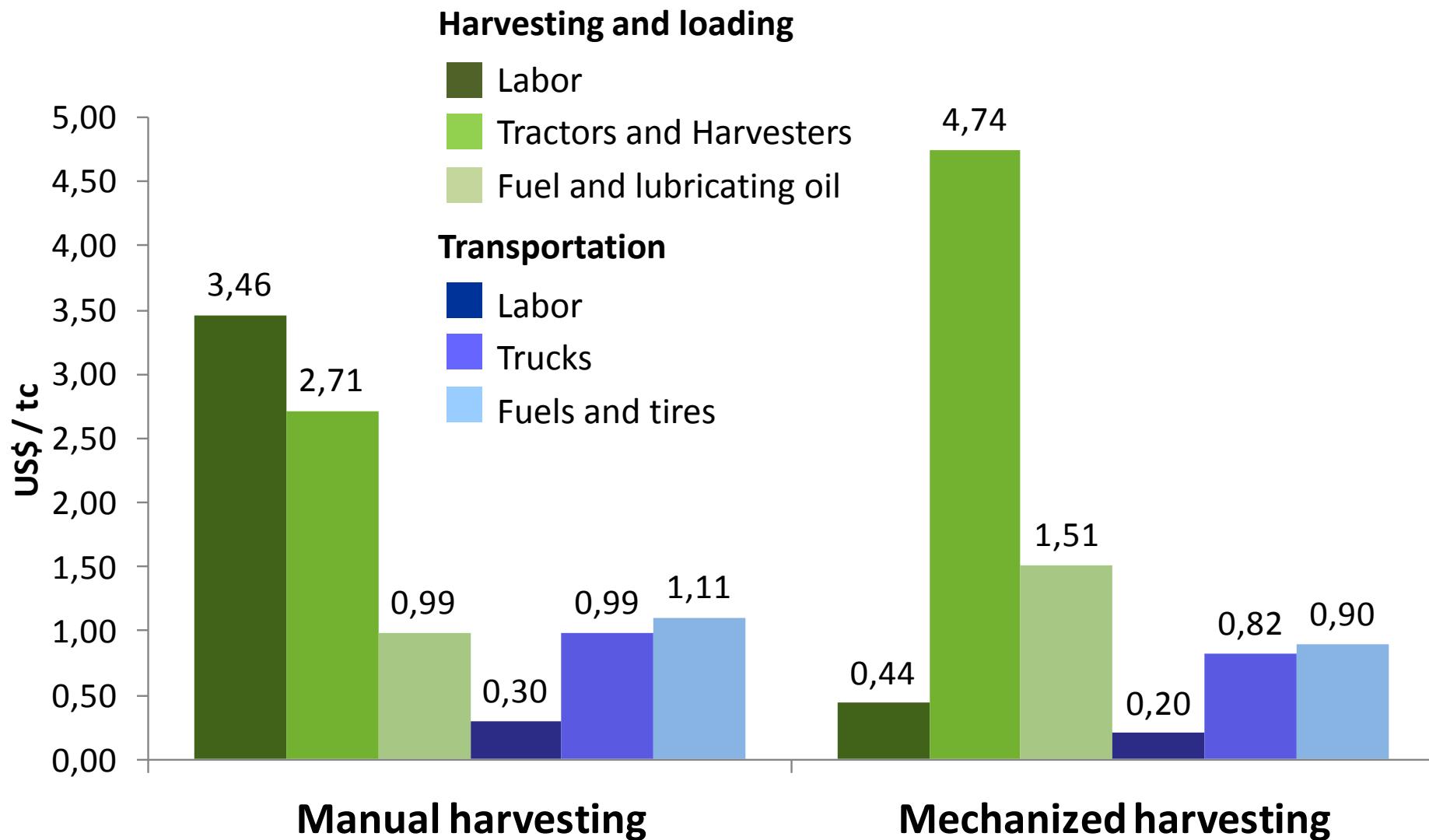


sugarcane production costs

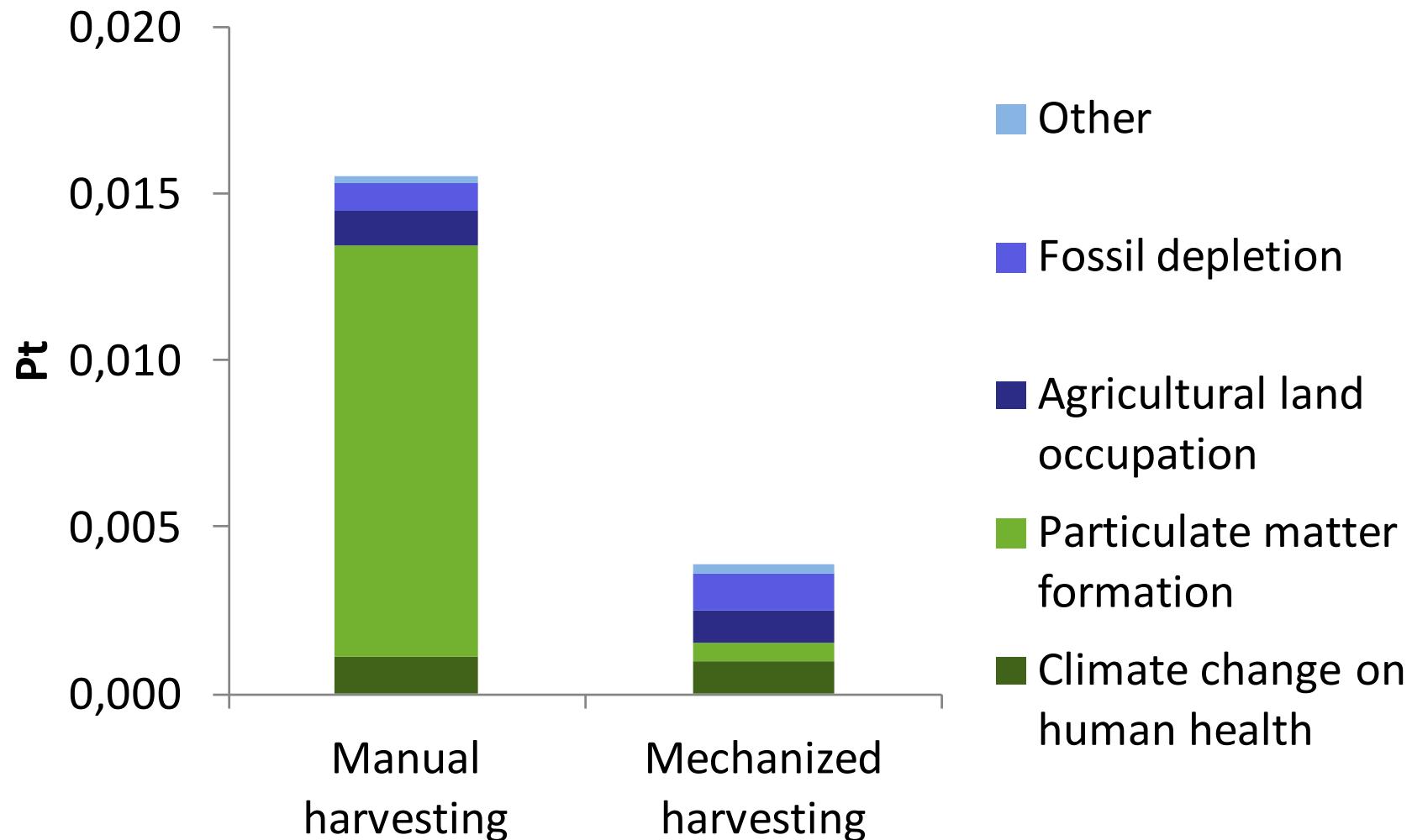
■ Planting ■ Harversting, loading and transportation ■ Cultivation ■ Land and taxes



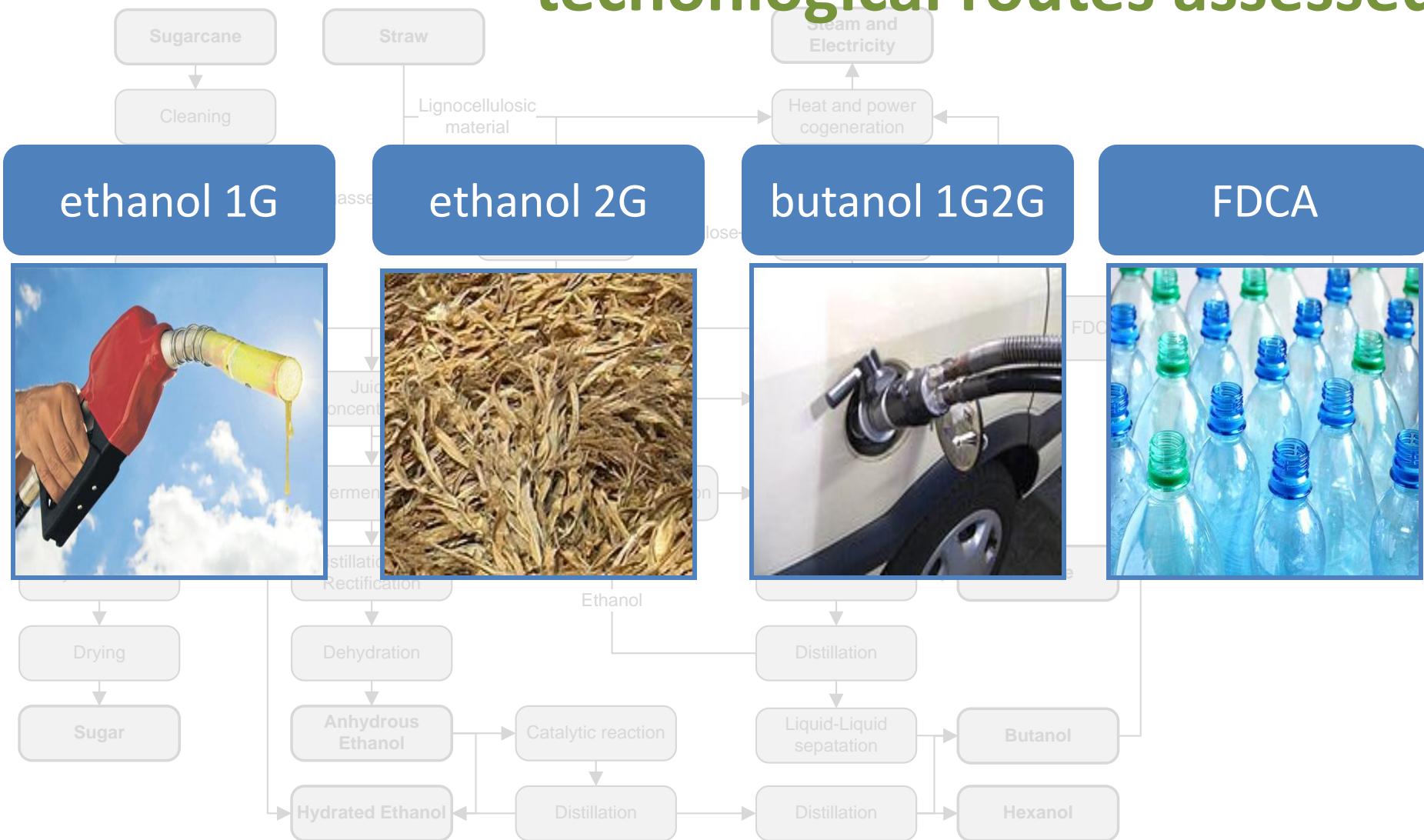
harvesting, loading and transportation costs



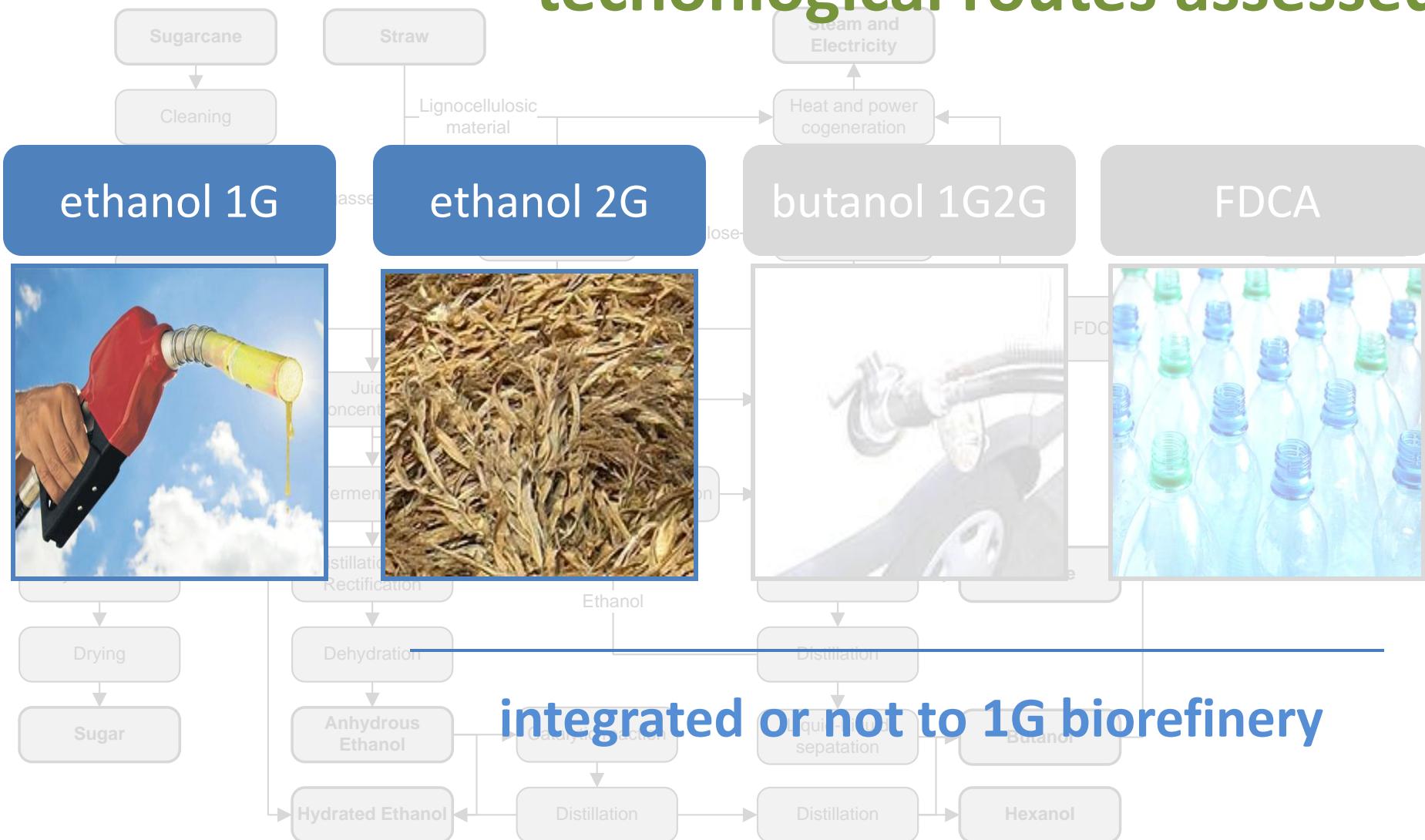
relative environmental impacts - ReCiPe

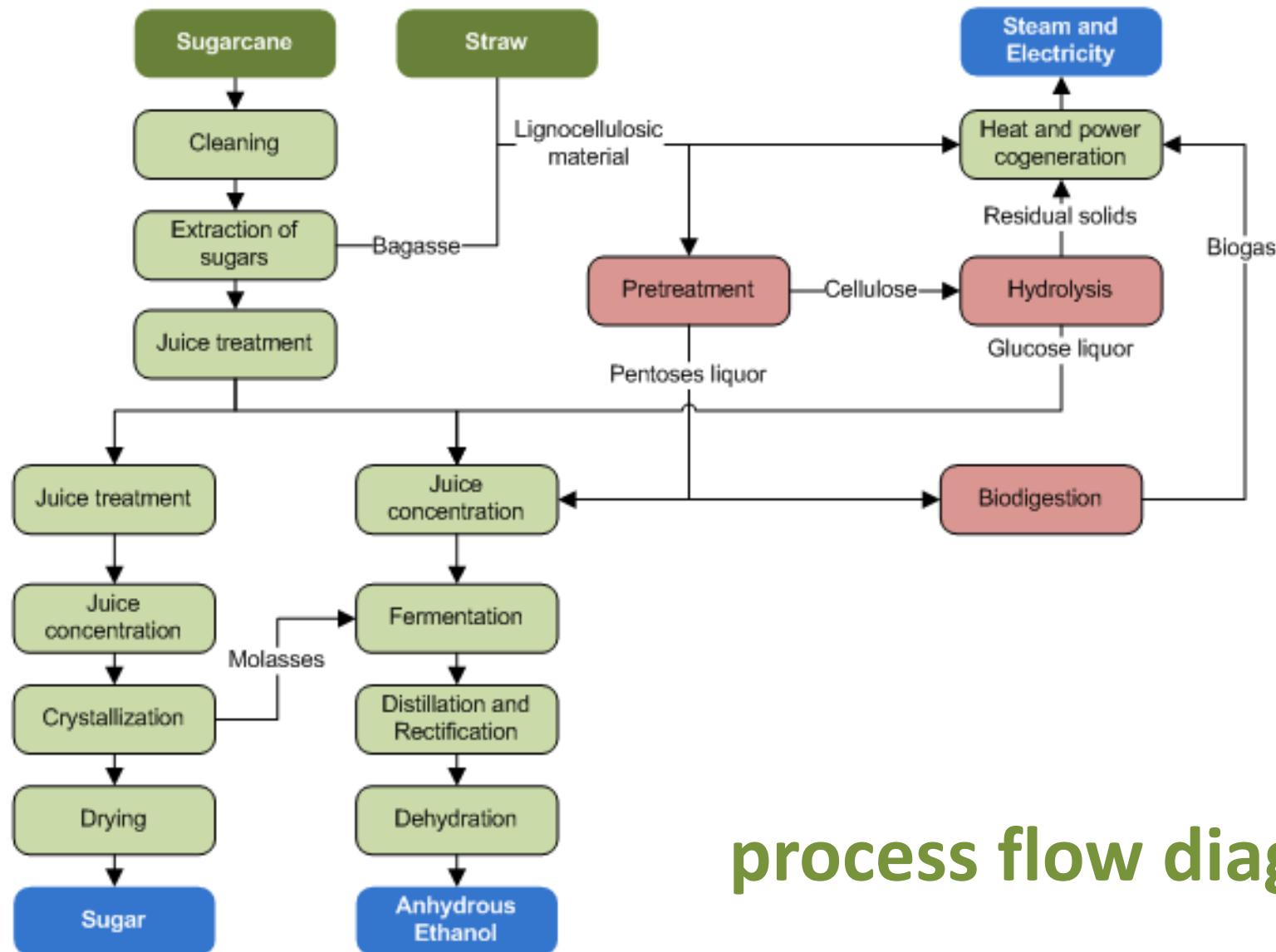


technological routes assessed



technological routes assessed





Main Technical Parameters

Parameter	Value
Plant operation – sugarcane processed (TC/year)	2,000,000
Sugarcane quality - fibers content (%)	13
- TRS content (%)	15.3
- trash produced in the fields (kg/TC, dry basis)	140
Efficiency – sugar extraction in the mills (%)	96
– fermentation (%)	90
– boiler 90 bar (LHV basis) (%)	87
Sugarcane bagasse/trash – cellulose content (dry basis) (%)	40.7
– hemicellulose content (dry basis) (%)	26.5
– lignin content (dry basis) (%)	21.9
Sugarcane bagasse/trash moisture (%)	50/15
Steam explosion – hemicellulose conversion (%)	70
– cellulose conversion (%)	2
Enzymatic hydrolysis (current/future technology) – cellulose conversion (%)	60/70
– solids loading	10/15
– reaction time	72h/48h
Pentoses fermentation to ethanol conversion (%)	80

evaluated scenarios



1G optimized

- ✓ use of trash (50%)
- ✓ surplus electricity
- ✓ 90 bar boilers
- ✓ dehydration using molecular sieves
- ✓ reduction on steam consumption



1G2G current technology

- ✓ 60% hydrolysis yield
- ✓ 10% solids
- ✓ pentose biodigestion
- ✓ high investment and enzyme costs



1G2G future technology

- ✓ 70% hydrolysis yield
- ✓ 15% solids
- ✓ pentose fermentation to ethanol
- ✓ lower investment and enzyme costs



2G stand alone

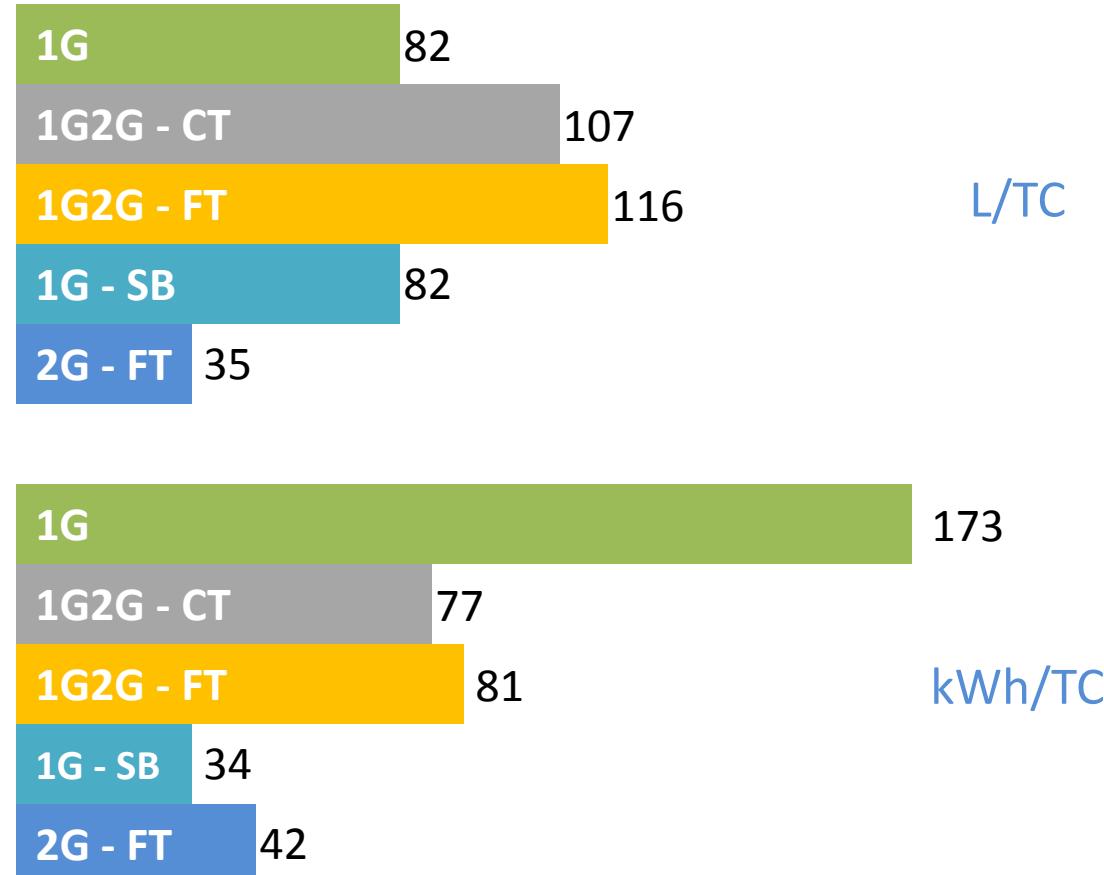
- ✓ Future technology
- ✓ Receiving feedstock from a 1G (optimized) with surplus bagasse

outputs

ethanol
(anhydrous)



electricity



Source: Dias et al., 2012. Integrated versus stand-alone second generation ethanol production from sugarcane bagasse and trash. *Bioresource technology*

economic impacts

(anhydrous ethanol)

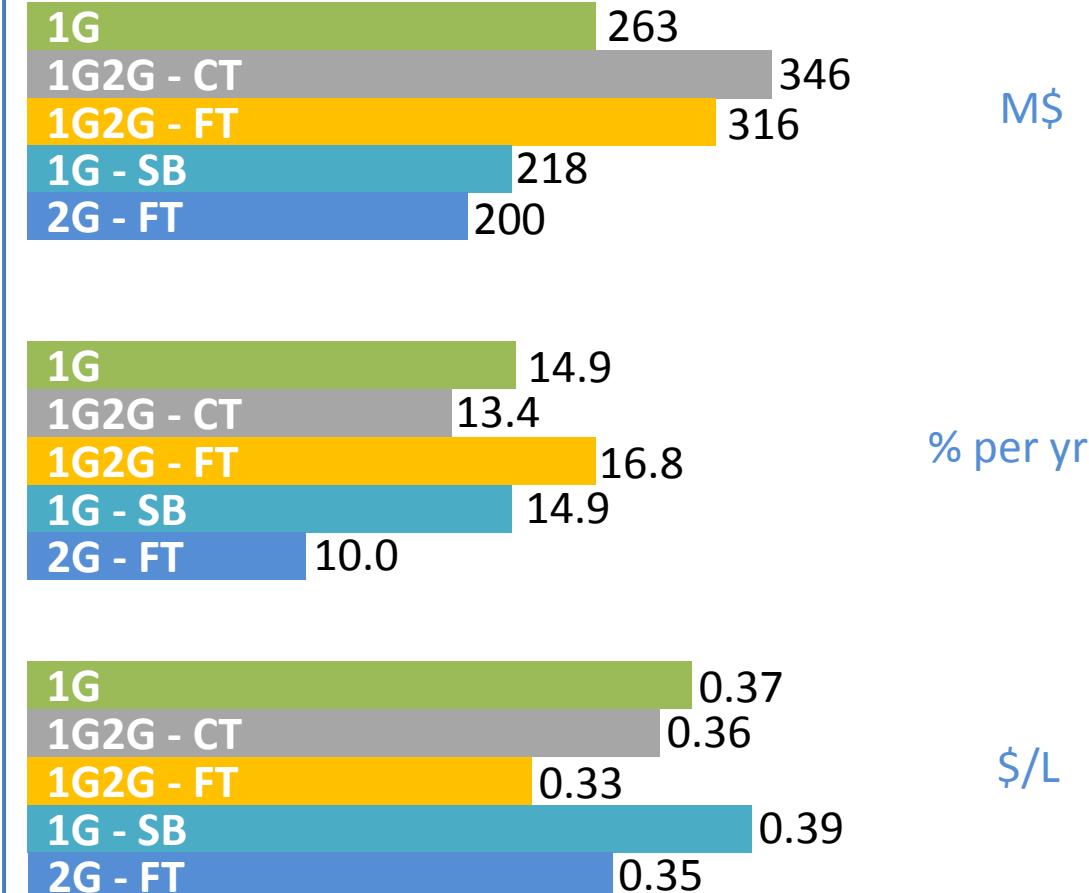
investment



internal rate of return



ethanol cost



Source: Dias et al., 2012. Integrated versus stand-alone second generation ethanol production from sugarcane bagasse and trash. *Bioresource technology*

estimated costs of second generation ethanol

Integrated to 1st generation plant

- 1G ethanol → \$ 0.37/L
- 2G ethanol (current technology) → \$ 0.39/L
- 2G ethanol(future technology) → \$ 0.35/L

Future technology allows a competitive production cost.



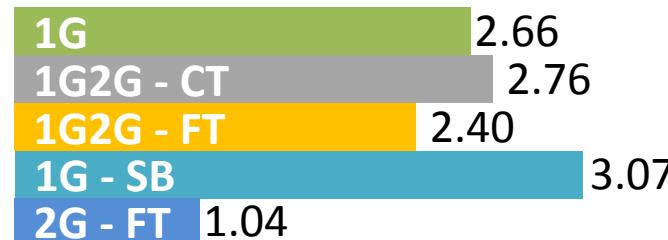
environmental impacts

global warming potential



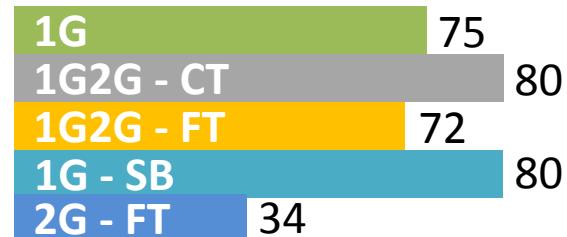
kg CO₂eq

energy use



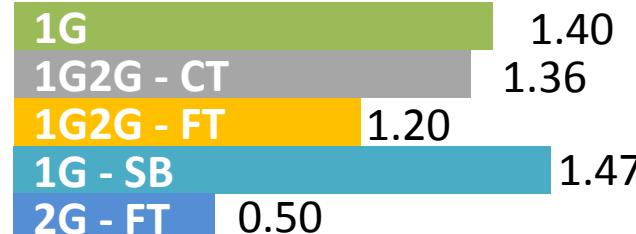
MJ

(human)toxicity



g 1,4-DBeq

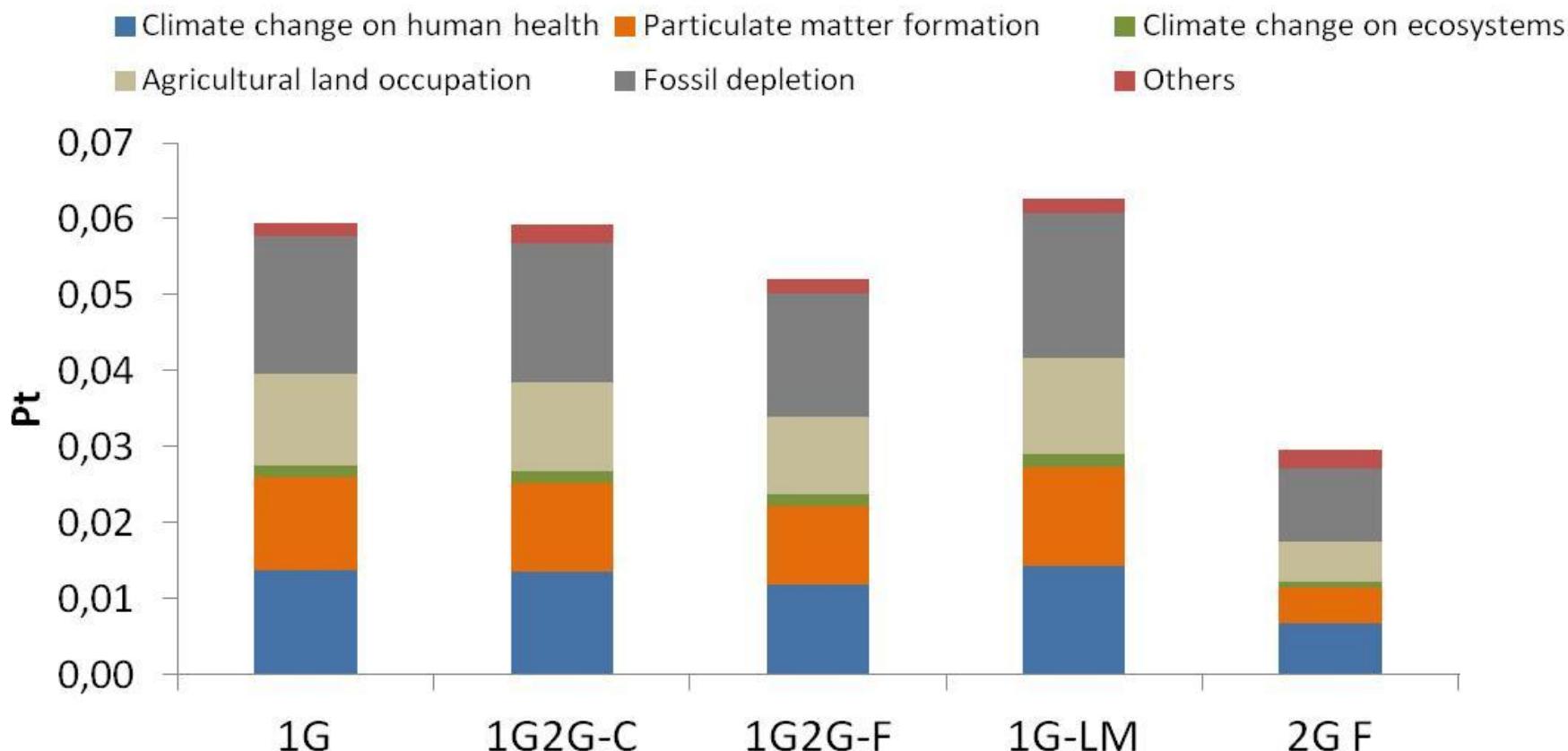
land use



m²/year

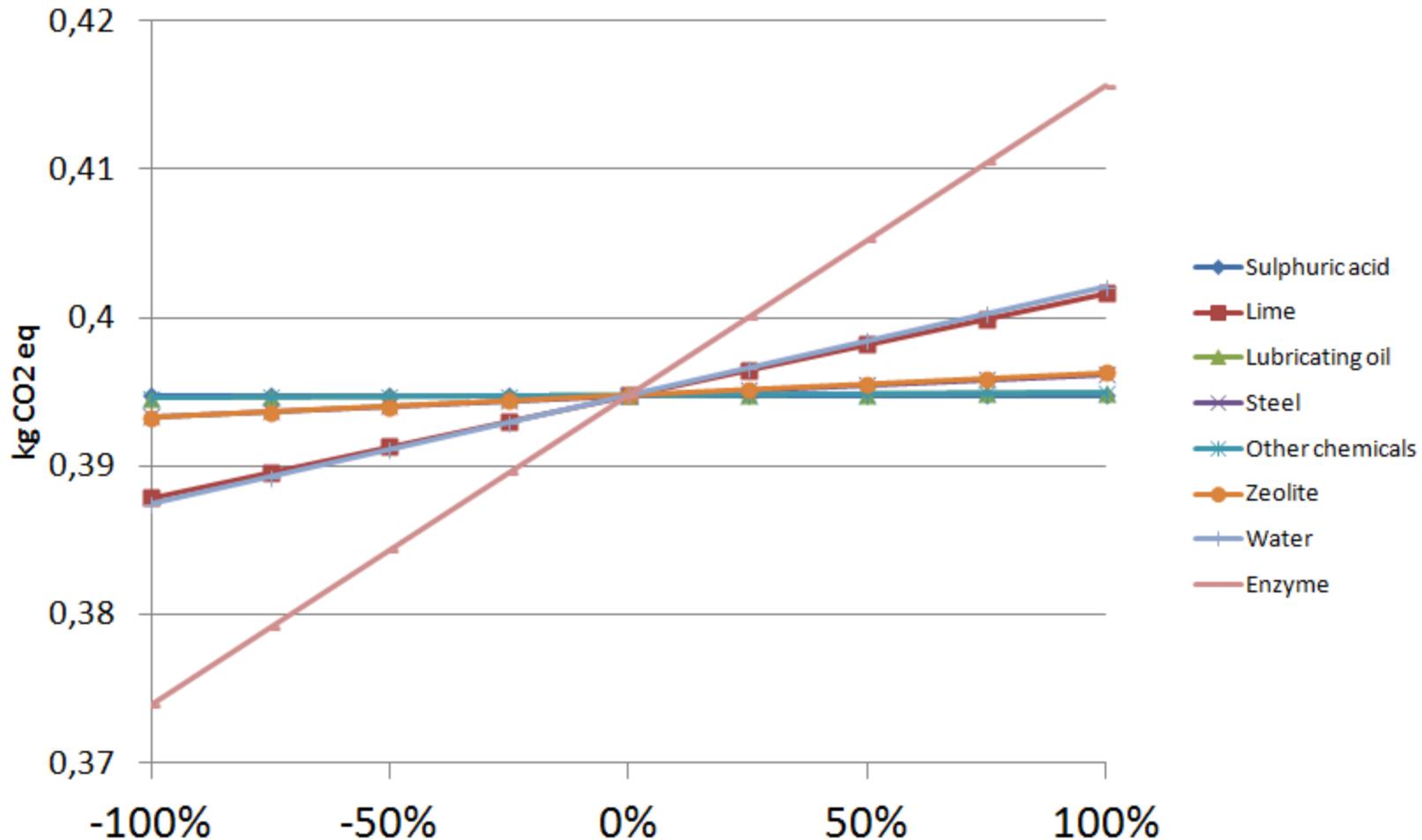
Source: Based on Dias et al., 2012. Integrated versus stand-alone second generation ethanol production from sugarcane bagasse and trash. *Bioresource technology*

environmental impacts



1G: Autonomous Distillery **1G2G-C:** Integrated 1st and 2nd Gen Ethanol Production (Current Technology) **1G2G-F:** Integrated 1st and 2nd Gen Ethanol Production (Future Technology) **1G-LM:** Autonomous Distillery with Surplus Lignocellulosic Material **2G-F:** 2nd Gen Ethanol Production (Future Technology)

environmental impacts sensitivity global warming potential



Obrigado!!

otavio.cavalett@bioetanol.org.br

Antonio Bonomi

Bruna Morais

Charles D.F. Jesus

Edgardo O. Gomez

Edvaldo R. Morais

Elmer C. Rivera

Henrique C. J. Franco

Isabelle L. M. Sampaio

João Luis Nunes Carvalho

Lucas G. Pavanello

Lucas G. Pereira

Marcelo P. Cunha

Marcelo Zaiat

Marcos B. D. Watanabe

Marina O.S. Dias

Mateus F. Chagas

Mylene C. A. F. Rezende

Nathalie Sanghikian

Otávio Cavalett

Paulo Eduardo Mantelatto

Rubens Maciel Filho

Tassia L. Junqueira

Terezinha F. Cardoso

Vera L. R. Gouveia

Investment data

1G - Autonomous distillery

US\$ 150 million – Dedini (2010)

- 2,000,000 TC/year
- 22 bar boiler
- Azeotropic distillation

Technological improvements (optimized 1G):

- ✓ + 40 % on distillation sector (molecular sieves)
- ✓ + 40 % on cogeneration sector (90 bar boilers)
- ✓ + 10% on distillation sector (heat exchanger network)

Transmission lines – electricity credit

- Costs (R\$/km): R\$ 480,000/km
- Length: 40 km
- R\$ 19.2 million for transmission lines

2G / Biodigestion

- Current technology: US\$ 70 million – 268,350⁽¹⁾ t bagasse/year (US\$525/t dry bagasse)
- Future technology: US\$ 76 million – 462,451(1) t bagasse/year (US\$ 327/t dry bagasse)
- Pentoses biodigestion⁽²⁾: US\$ 13 million for processing 76,000 Nm³ biogas/day

Enzyme Costs

- Current technology: US\$ 0.11/L cellulosic ethanol (producer's estimate)
- Future technology : US\$ 0.05/L cellulosic ethanol (CTBE estimate)

⁽¹⁾ Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil, CGEE, 2009

⁽²⁾ Dedini – turn key stillage biodigestion unit