



*Tendencias en el tratamiento
Integral de Aguas Residuales*

Congreso Internacional Ambiental Manizales

“Tendencias en el tratamiento integral de aguas residuales”

Manizales, septiembre 18 - 21 de 2017



Instituto de Estudios Ambientales IDEA
Sede Manizales



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Universidad®
Católica
de Manizales





APROVECHAMIENTO DE BIOMASA PARA LA PRODUCCIÓN DE MOLÉCULAS DE INTERÉS BIOTECNOLÓGICO

Jhon Fredy Betancur P.

Jorge William Arboleda V.

Ricardo Sposina Sobral Teixeira



**UNIVERSIDAD DE
MANIZALES**



**Universidad
del Atlántico**



**UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO**



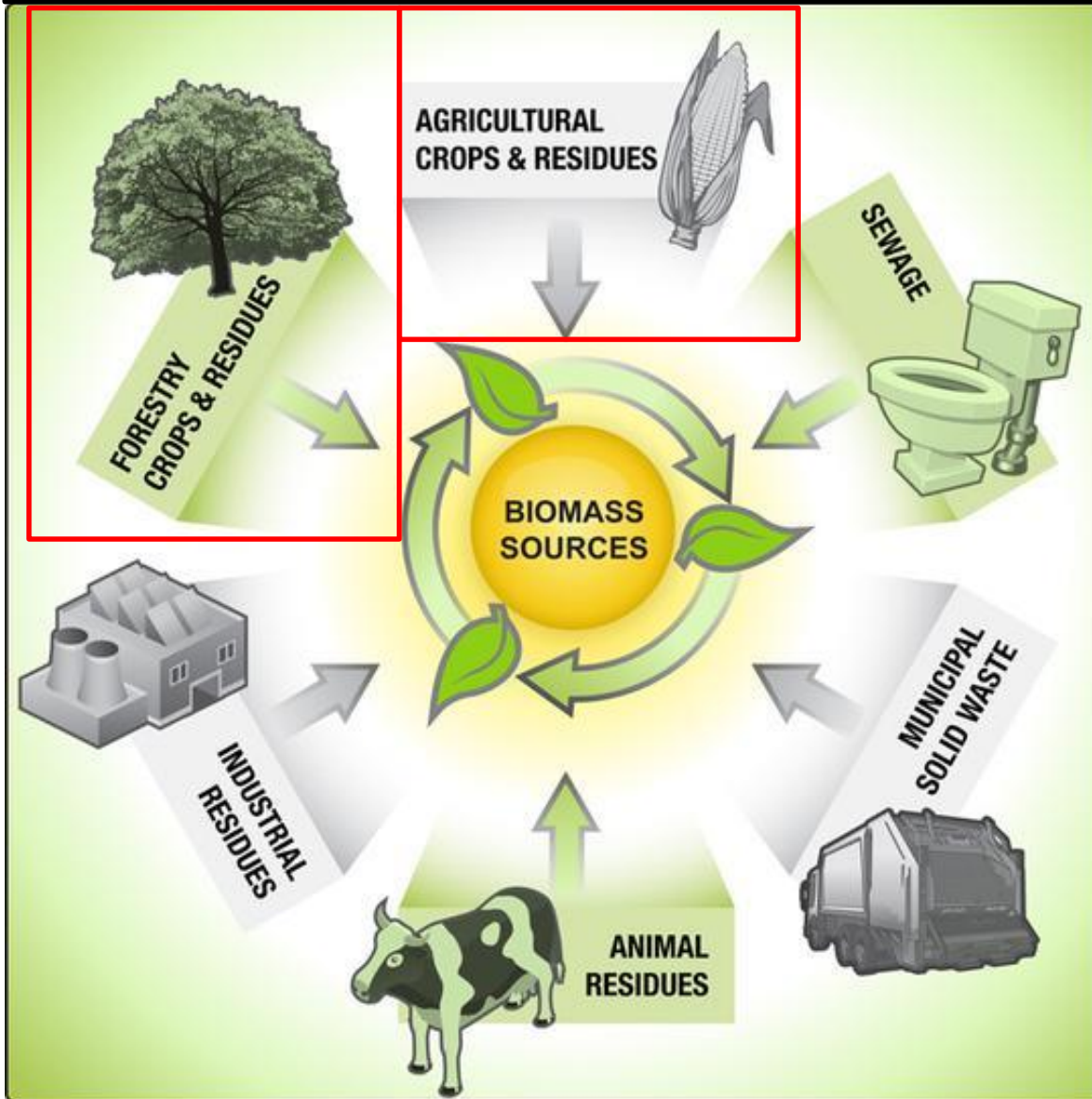
BIOMASSA → ENERGIA E BIOPRODUTOS

Processo Sustentável:

- **Ecologicamente correto**
- **Economicamente viável**
- **Socialmente justo**



Qual a origem da BIOMASSA?



Bagasse



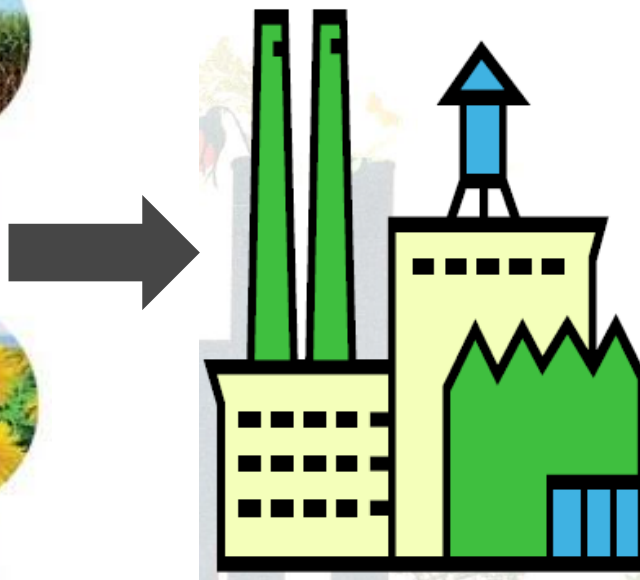
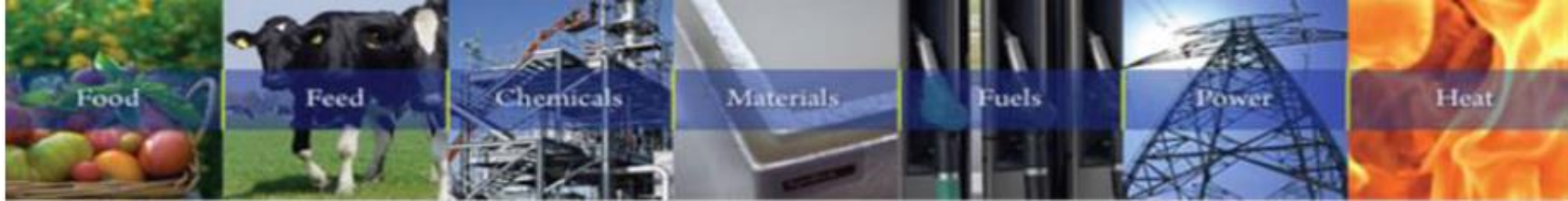
wood



Wheat straw



Grass



BIOENERGIA

- Biocombustíveis líquidos/gasosos
- Eletricidade
- Calor
- Combustíveis sólidos

BIOPRODUTOS

- Intermediários químicos
- Química fina
- Nanopartículas
- Ração animal
- Alimentos
- Polpa e papel
- Polímeros
- Fertilizantes
- Gases
- ...

PROCESSOS DE CONVERSÃO

Bioquímico
Termoquímico
Físico-químico
Outros

BIOCOMBUSTÍVEIS

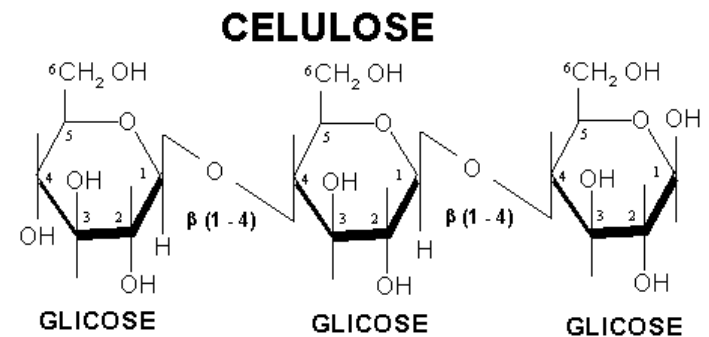
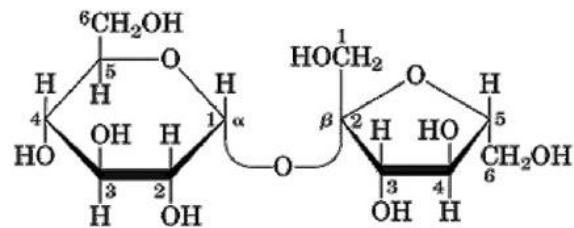
ETANOL 1G

&

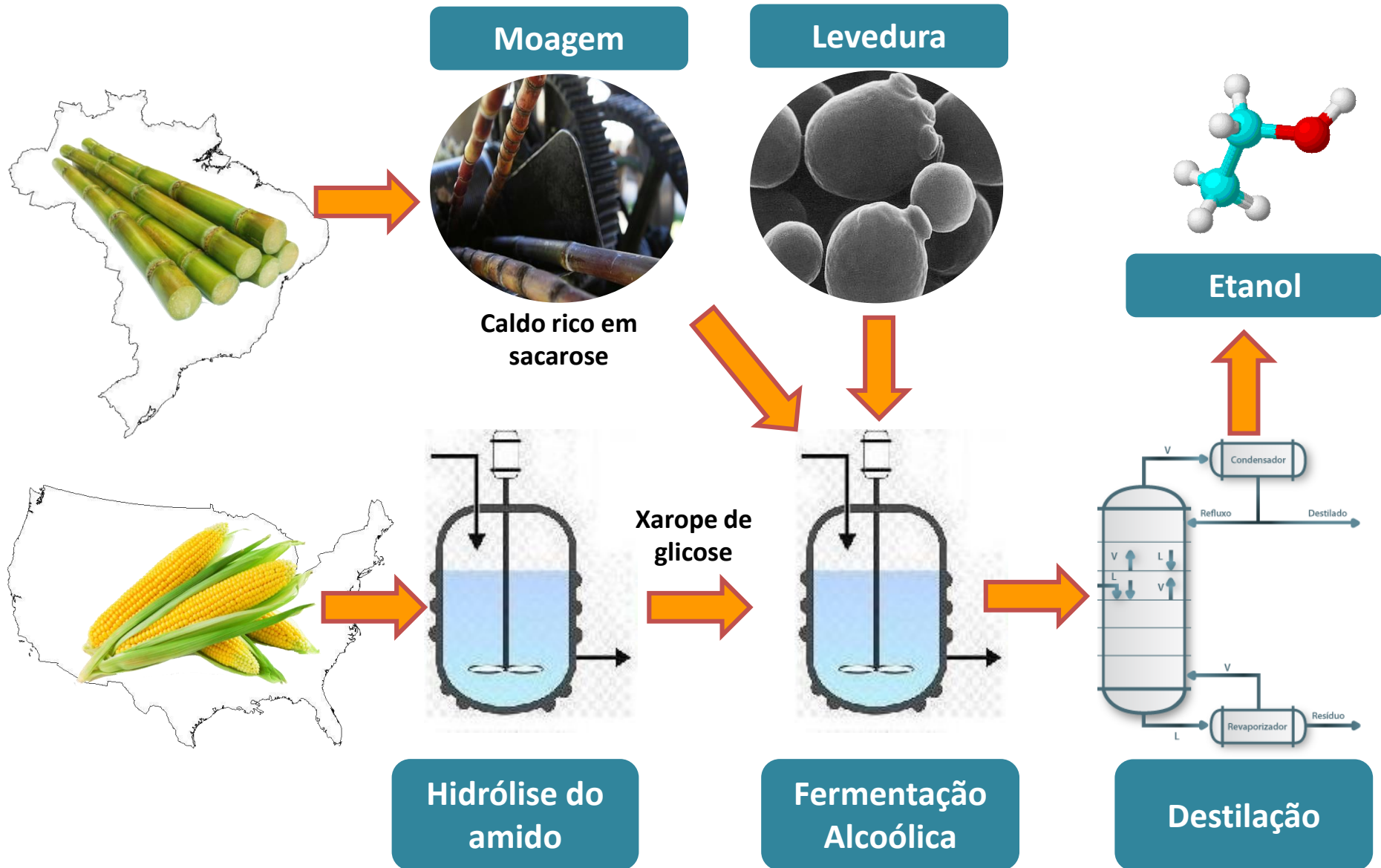
ETANOL 2G

ETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR =
ETANOL DE PRIMEIRA GERAÇÃO =
ETANOL 1G

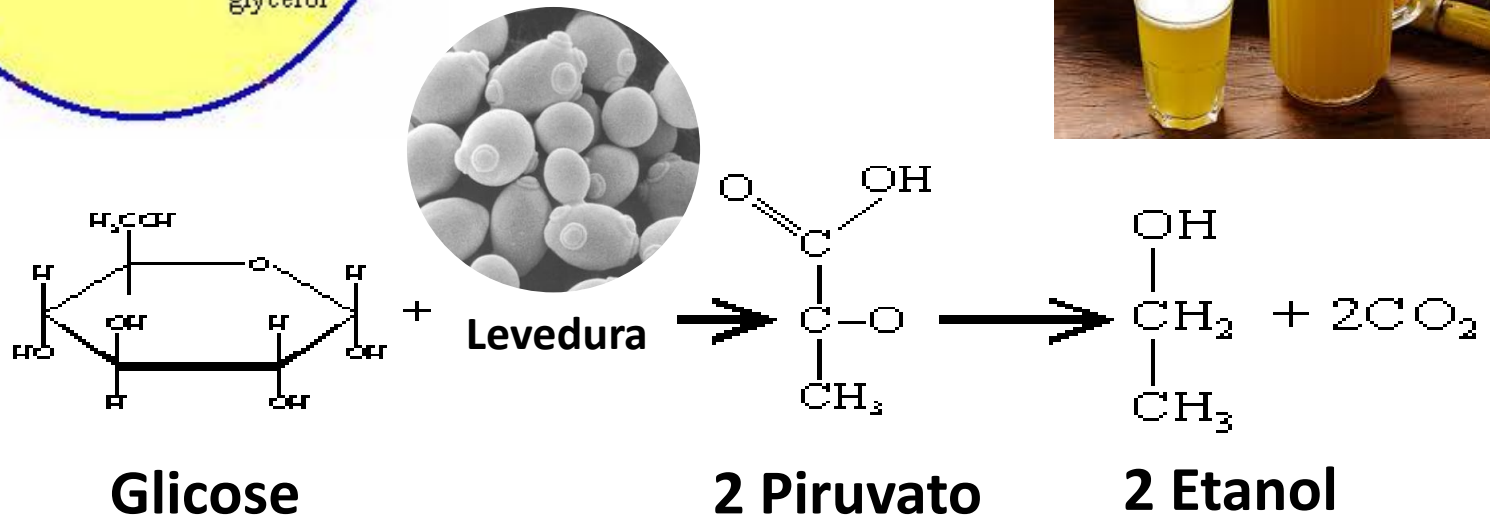
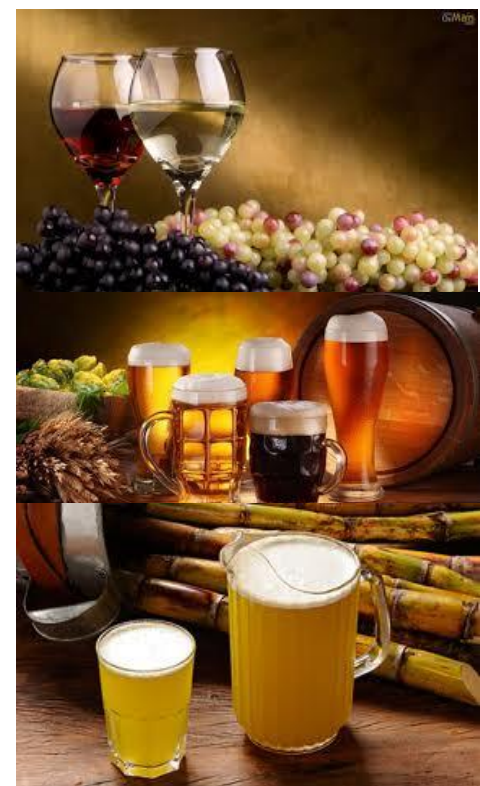
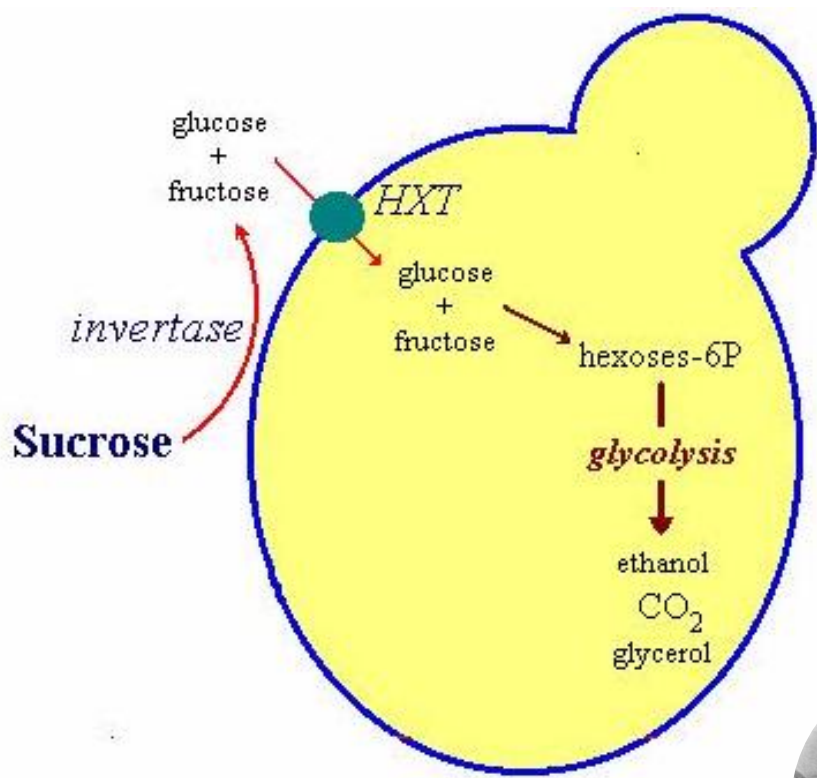
ETANOL CELULÓSICO =
ETANOL DE BIOMASSA =
ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO =
ETANOL 2G



PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ETANOL 1G



Fermentação alcoólica



USO DO ETANOL NO BRASIL

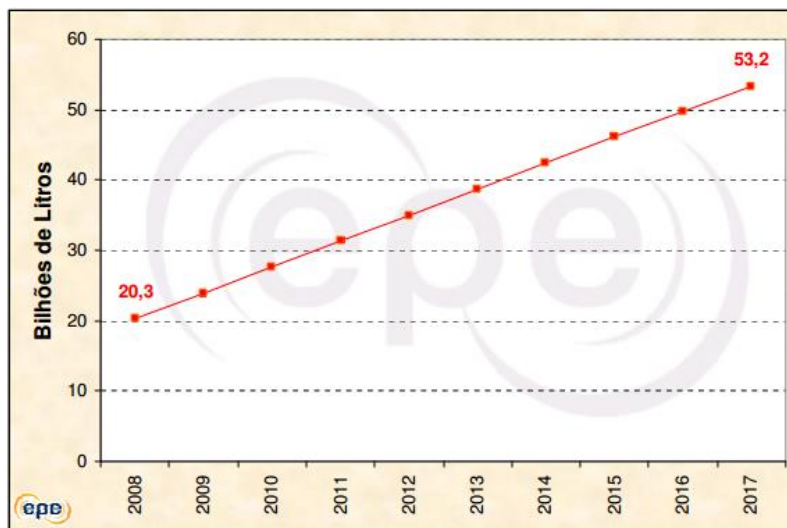
**MANDATÓRIO → 27% NA GASOLINA
VEÍCULOS FLEX FUEL**



VENDA DE CARROS NO Brasil (2015)

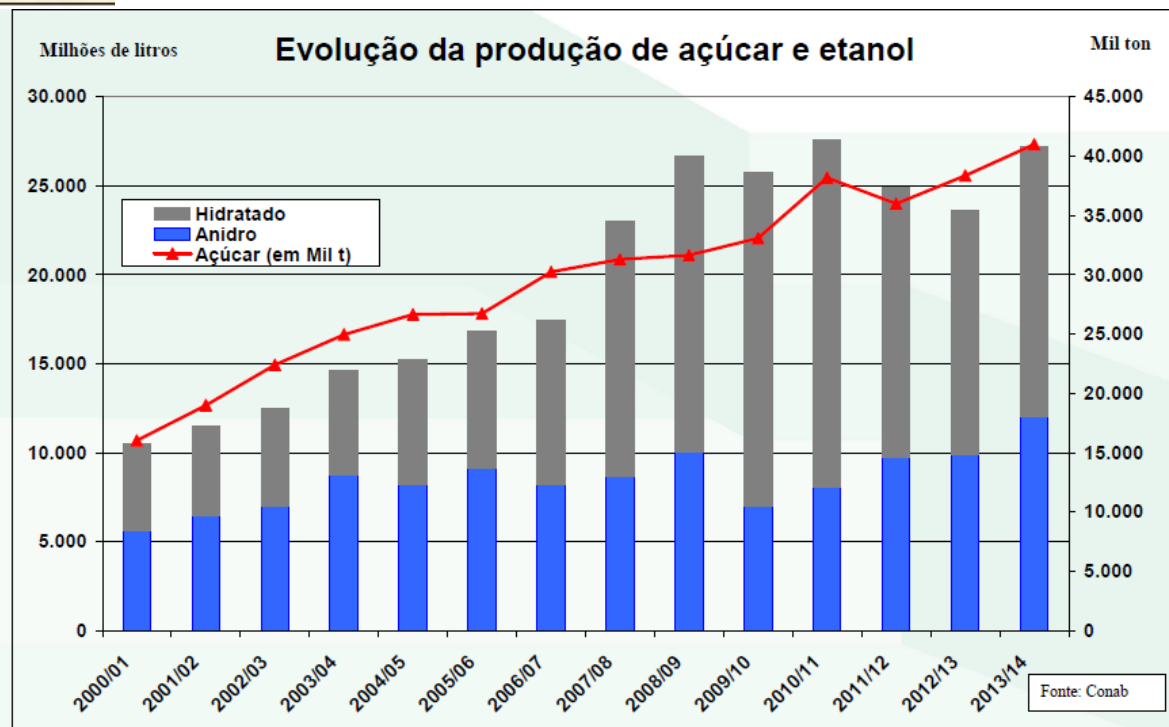
- ✓ 88.3% flex fuel
- ✓ 5.6% gasolina
- ✓ 6.1% diesel

Existe uma demanda crescente por etanol!



Fonte: EPE.

Essa demanda é inferior a capacidade instalada nas usinas brasileiras

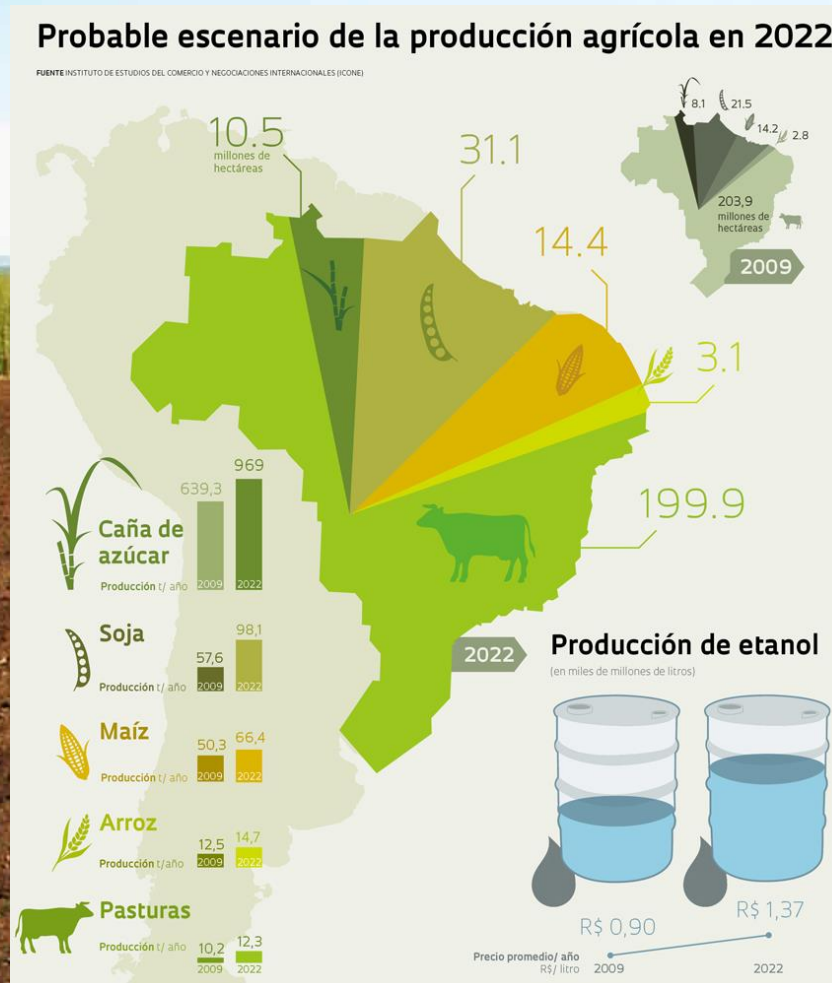


Fonte: Conab

DESAFIO DA PRODUÇÃO

Crescimento da produção depende da área plantada

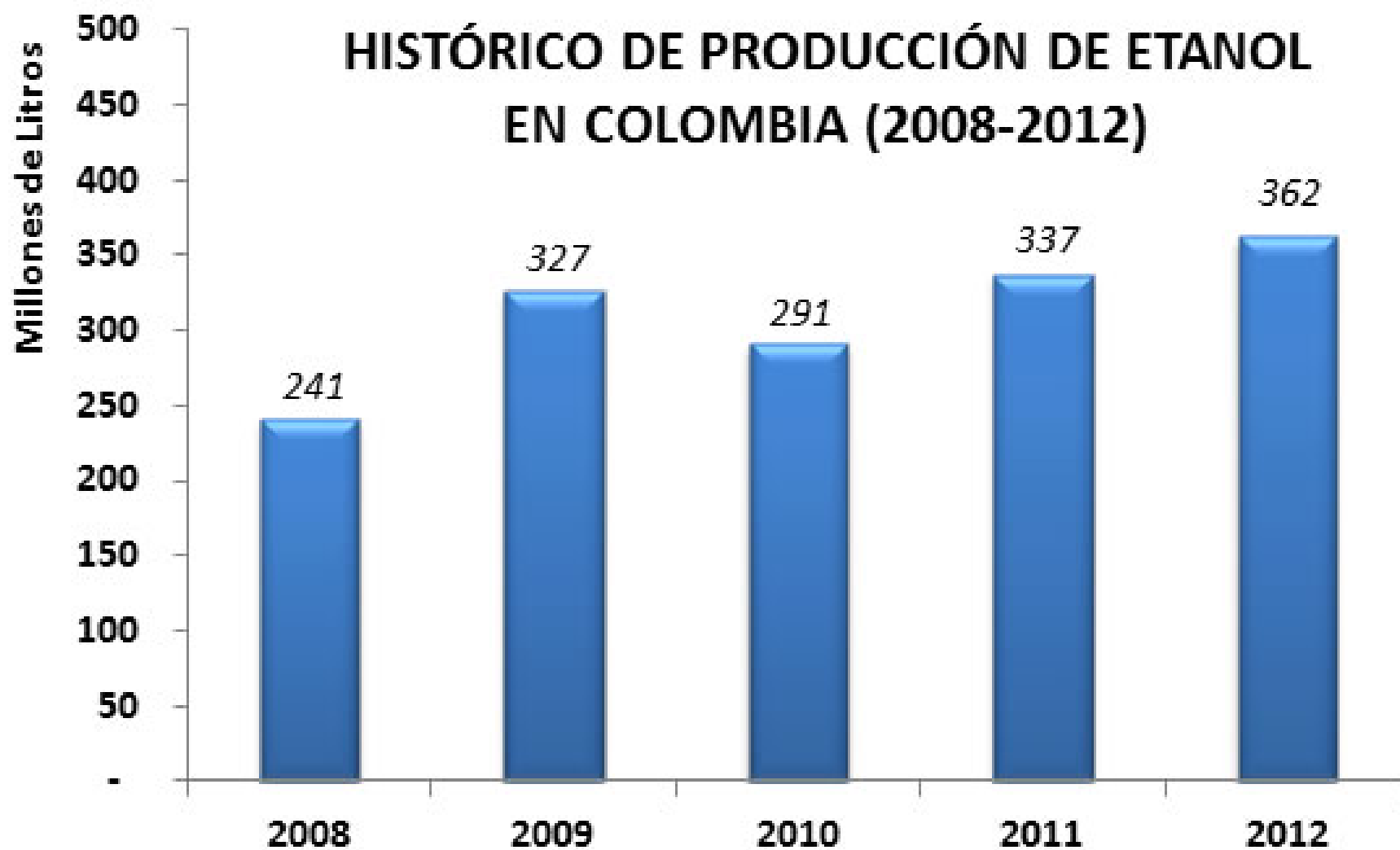
→ necessidade de terras agriculturáveis para produção de biocombustíveis.



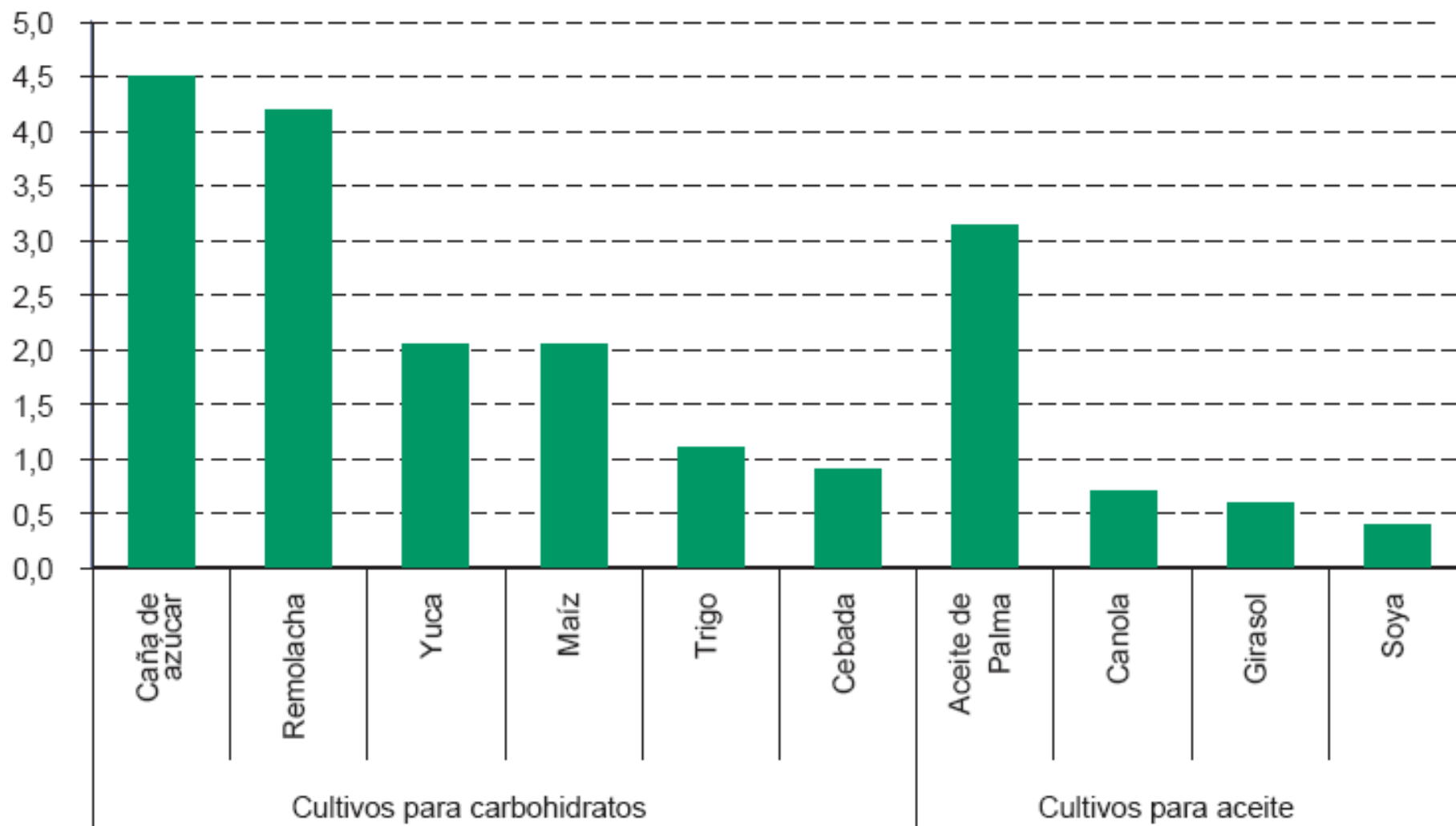
HISTÓRICO DE PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL EN COLOMBIA (2008-2012)



HISTÓRICO DE PRODUCCIÓN DE ETANOL EN COLOMBIA (2008-2012)



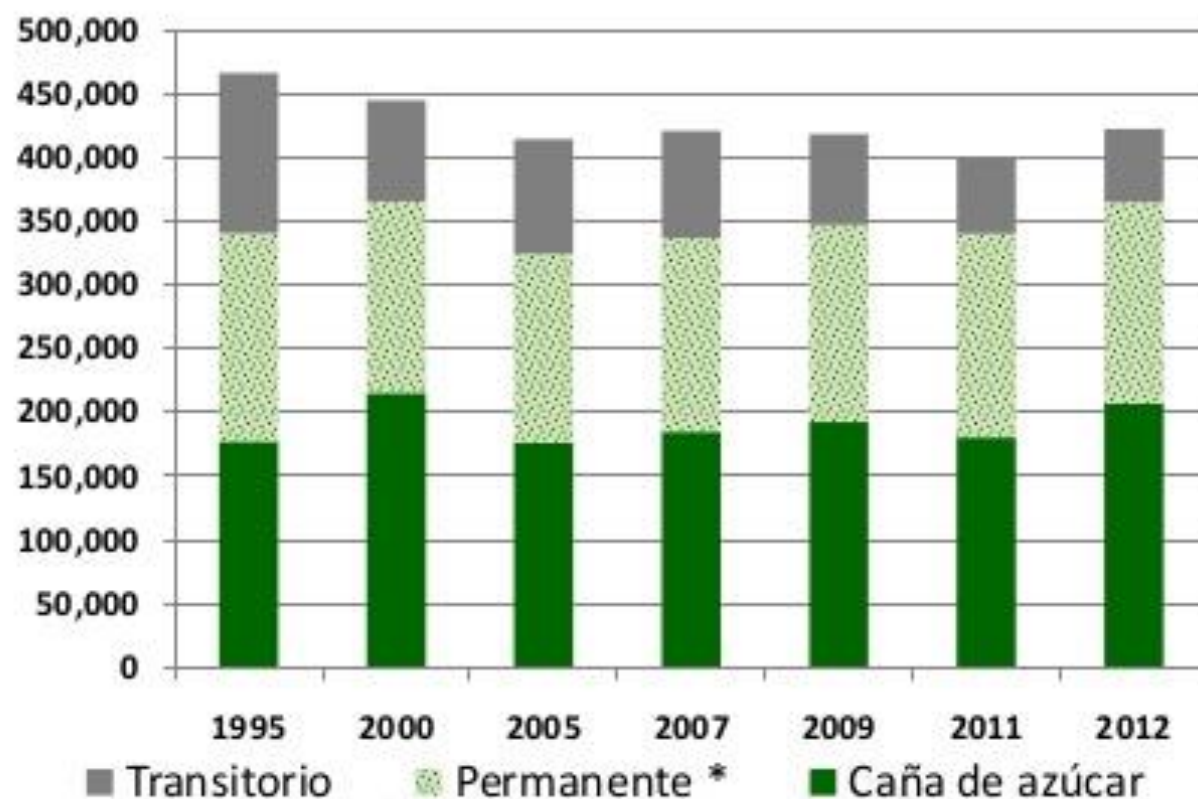
Gráfica 1. Productividad de diferentes cultivos
(toneladas de etanol por hectárea)



Fuente: LMC International, Sweetener Analysis, abril 2006.

En Colombia no se ha incrementado el área en caña como consecuencia de la producción de etanol

Área cosechada en Valle, Cauca, Risaralda, Caldas y Quindío (ha)



La producción de etanol comenzó en 2005

El área cosechada en caña de azúcar no se ha incrementado durante los años posteriores a la producción de etanol

Entre 2005 y 2012 se cosechó un área similar a la que se cosechaba en el año 2000 cuando no había producción de etanol

* No incluye Caña de Azúcar ni Café

Fuente: Anuarios Estadísticos del Sector Agropecuario – Minagricultura, elaboración Asocaña

Capacidad productiva de etanol en Colombia

(en miles de litros por día)

Empresa	2011	2012	2013	2014	2015
Incauca	350	350	350	350	350
Providencia	300	300	350	350	350
Manuelita	250	250	250	250	250
Mayagüez	250	250	350	350	350
Risaralda	100	100	100	100	100
Riopaila-Castilla				400	400
Carmelita					100
Pichichí					100
Bioenergy			480	480	480
Total:	1.250.000	1.250.000	1.880.000	2.480.000	2.880.000



Produção de *etanol* de biomassa vegetal (2ª geração)



Bagaço



Madeira

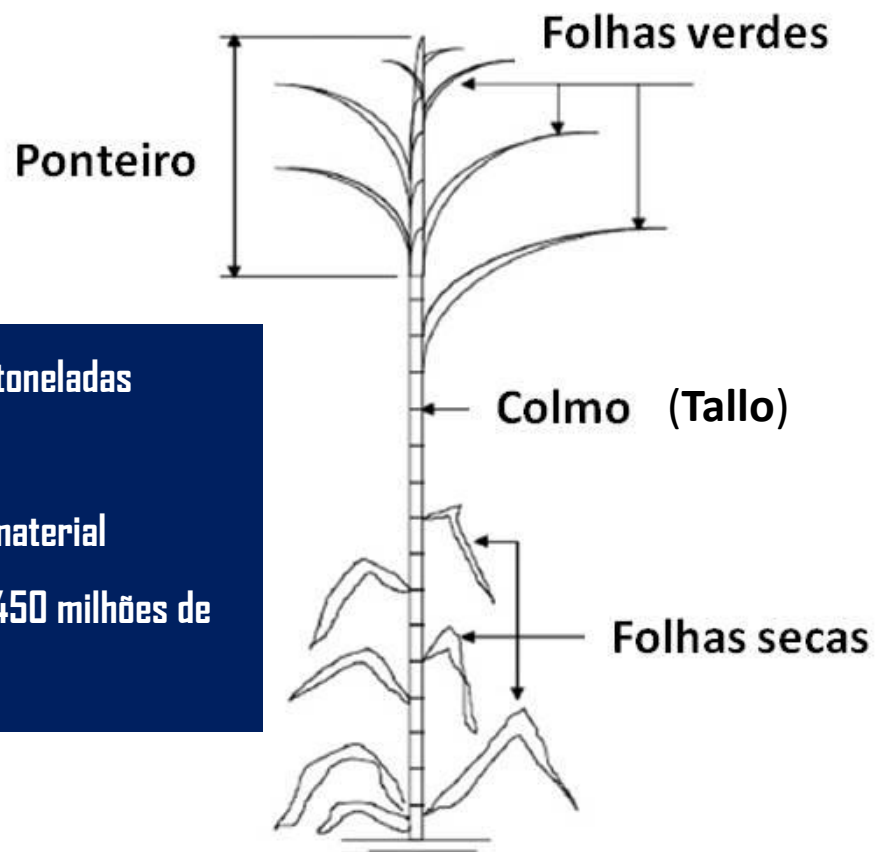


Palha de milho



Gramíneas

- ✓ 671 milhões de toneladas 2014/2015
- ✓ 2/3 da cana é material lignocelulósico – 450 milhões de toneladas



Para 1 tonelada de colmo (Tallo) processado

Açúcar	350 kg
Bagaço	300 kg
Palha	340 kg

2/3 dos sólidos da cana-de-açúcar

Seabra et al., 2010. Biomass and Bioenergy, v. 34, p. 1065-1078.

Biomassa da cana-de-açúcar

Bagaço



Palha

(A queima será eliminada até 2017)



POTENCIAL PARA GERAÇÃO DE ETANOL DE BIOMASSA DA CANA-DE-AÇÚCAR

1 ton of CANA

{
340 Kg de palha (10% umidade)
300 Kg de bagaço (50% umidade)
360 Kg caldo de cana

80L de etanol de caldo de cana (8%)

88% bagaço → cogeração de energia

50% da palha de permanecer no solo

Disponibilidade de biomassa: 12% bagaço (18 Kg) + 50% palha (153 Kg)

36,5L de etanol originado de celulose

(assumindo 30% de celulose e 0.79 g/cm³ de densidade de etanol)

BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA



Bagaço



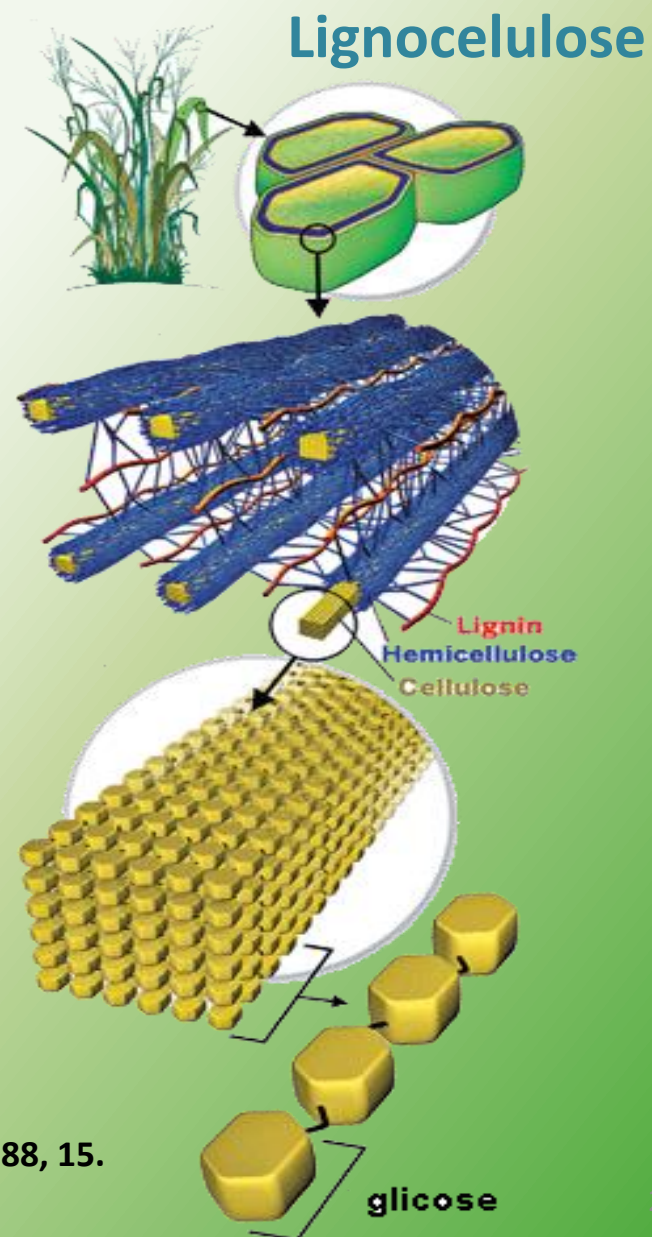
Madeira



Palha de milho

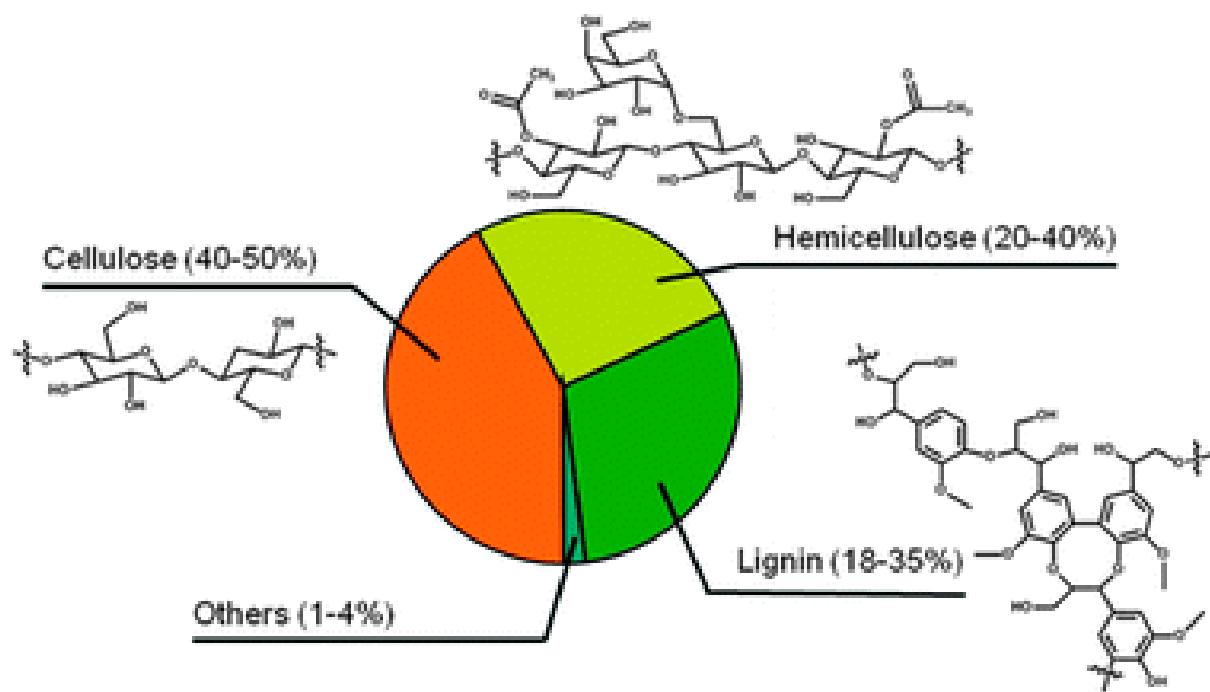


Gramíneas



Ritter, 2008.
Chemical Eng. News, 88, 15.

Biomassa lignocelulósica



Chem. Commun., 2011,47, 1405-1421

Biomassas Herbáceas
Madeiras folhosas
(Hardwood)
Madeiras coníferas
(Softwood)

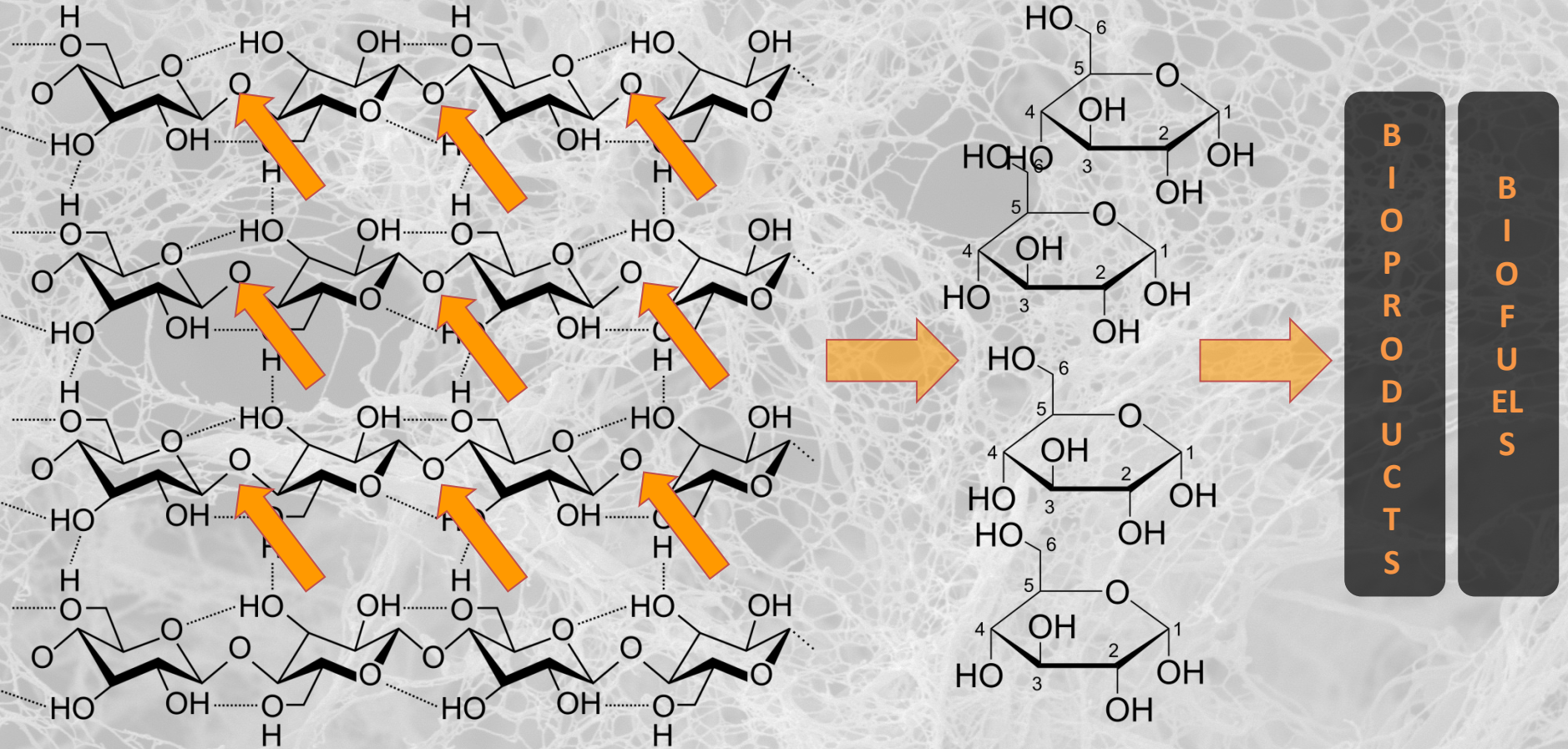
Feedstock	Cellulose (%)	Hemicellulose (%)	Lignin (%)
Hardwood	40-50	25-40	18-25
Softwood	45-50	25-35	23-35
Grasses	25-40	35-50	10-30

Bioresource Technology, 2002, 83, 1-11

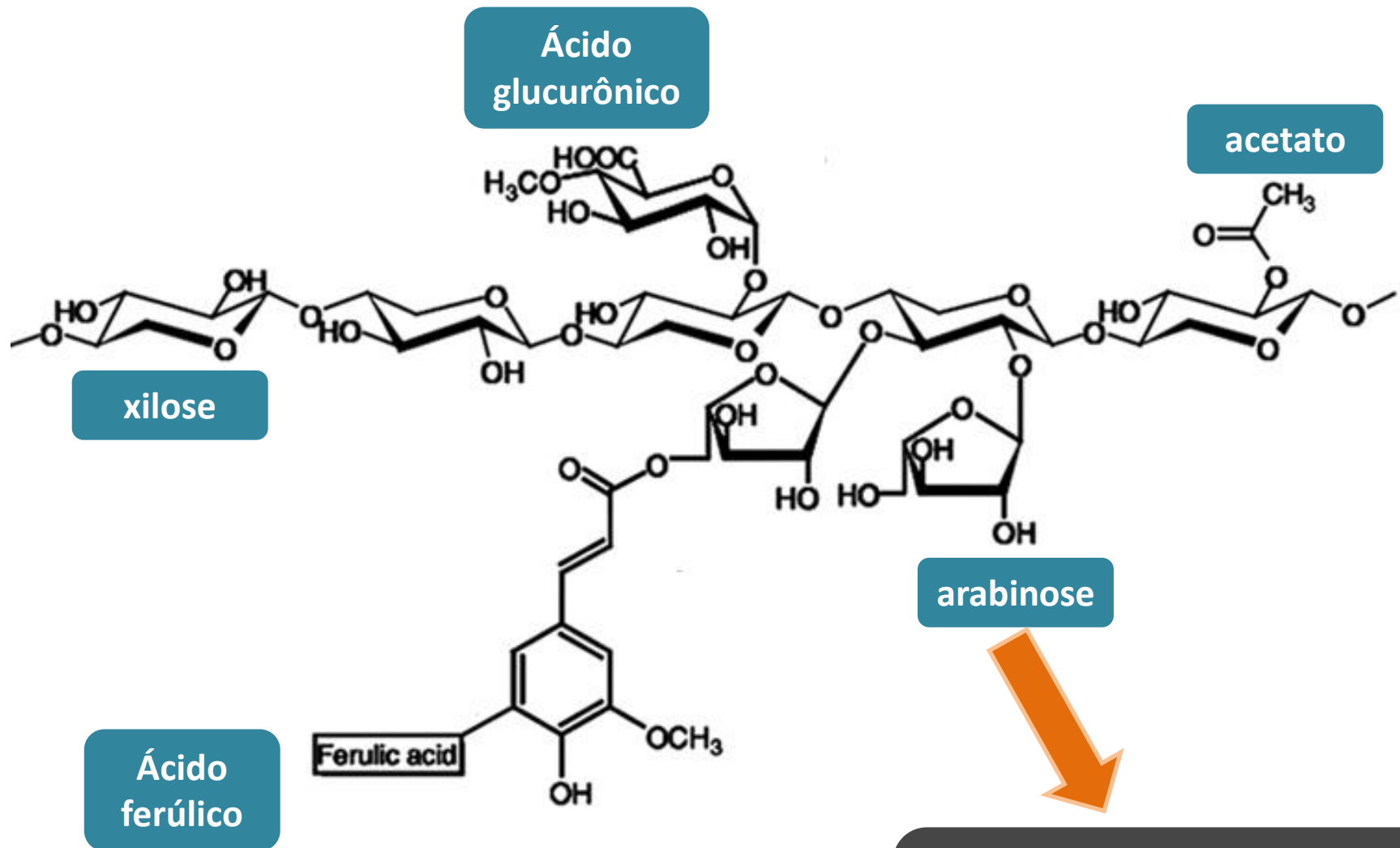
Celulose

1.5×10^{12} tons/ano

36,5L de etanol originado de celulose



A hemicelulose

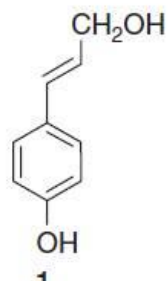


(Sun et al., 2012, Eukaryotic Cell, 11:482-493)

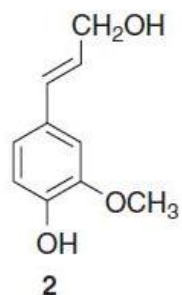
Açúcares C5:
Fermentação não
convencional

A Lignina

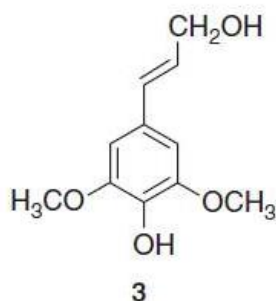
Macromolécula de natureza aromática



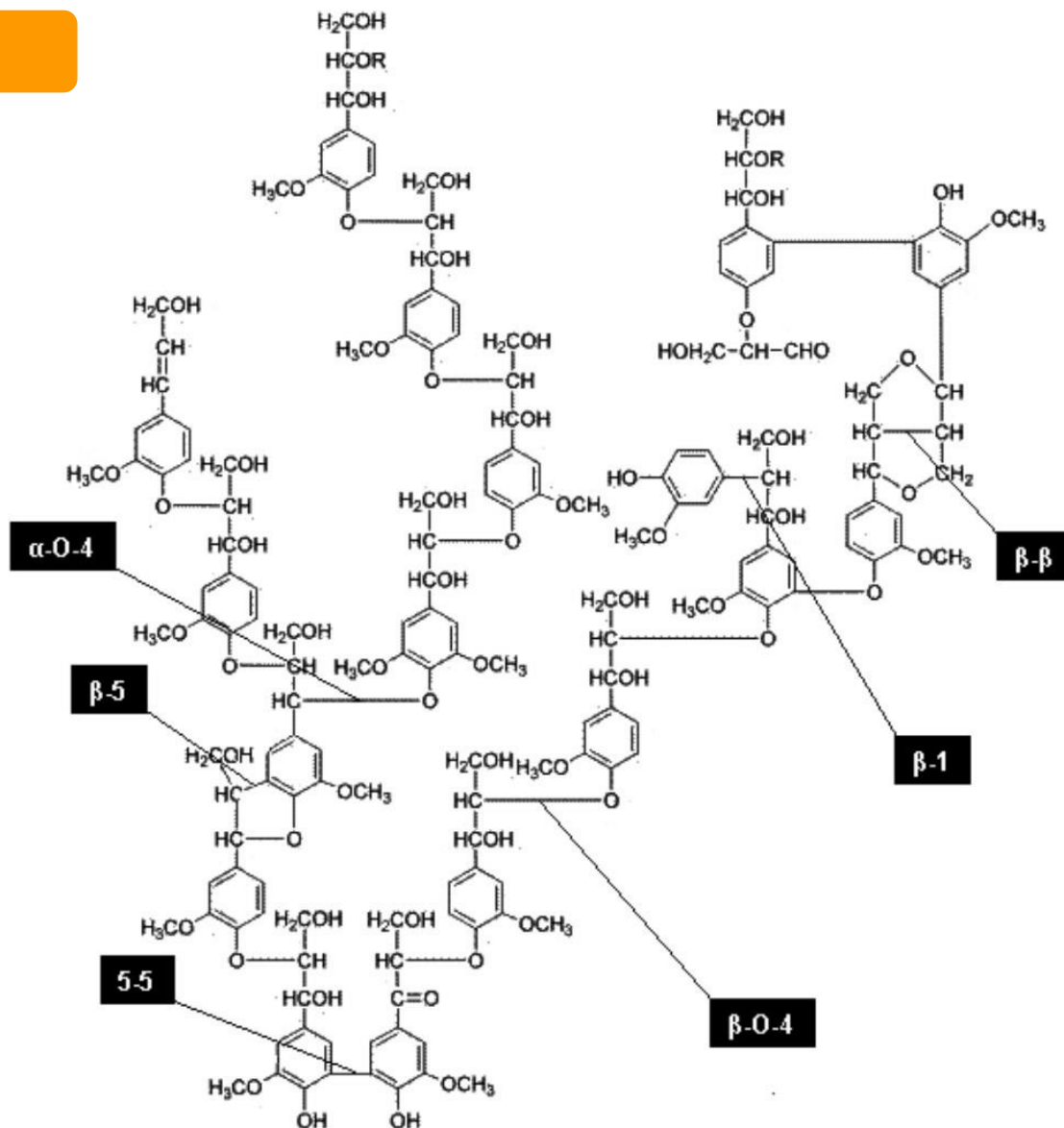
Álcool
p-coumarílico



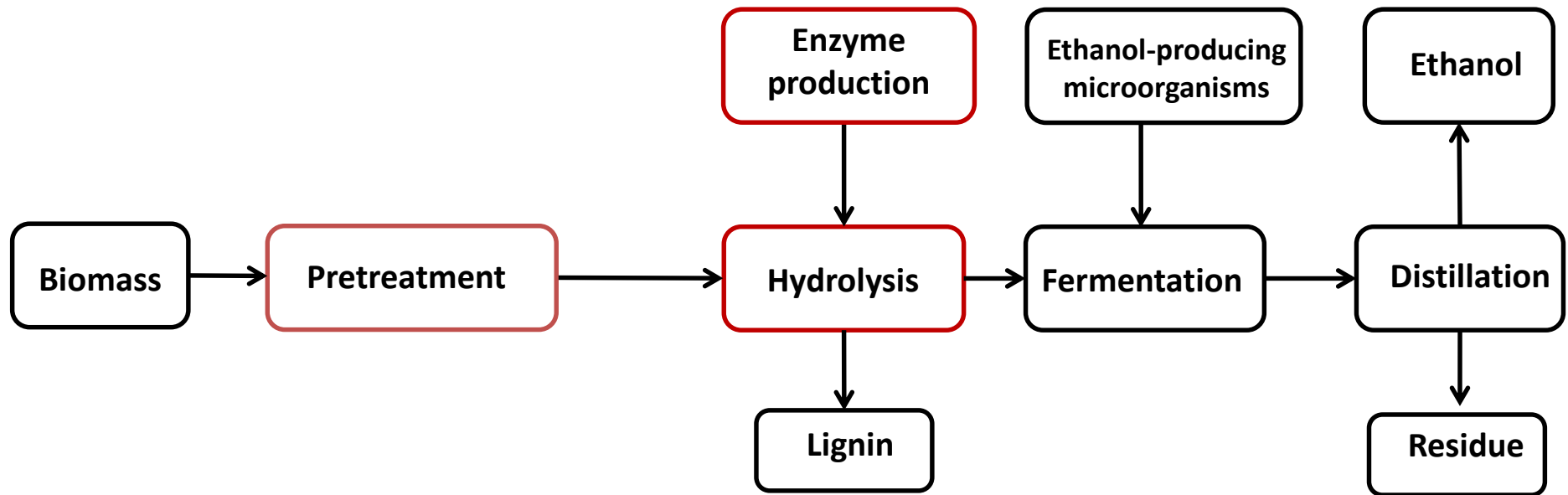
Álcool
coniferílico



Álcool
sinapílico



ETANOL CELULÓSICO



**EM VERMELHO: DESAFÍOS
TECNOLÓGICOS**

Desafío: Vencer la recalcitrancia de la pared celular

Celulosa ~37-40%

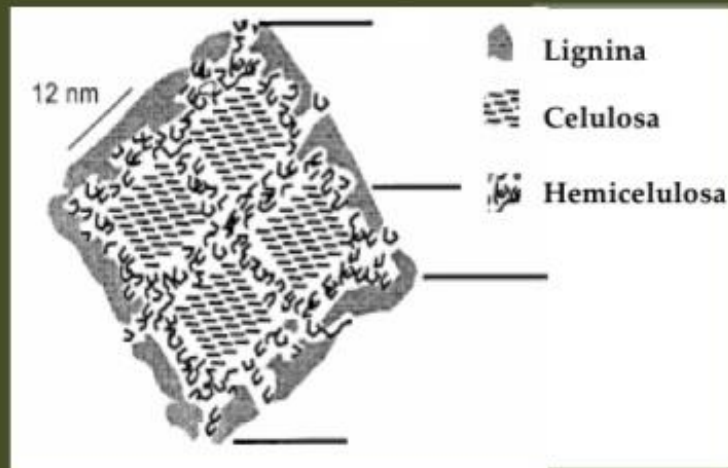
Hemicelulosa ~28-35%

Lignina ~21%

Glucosa

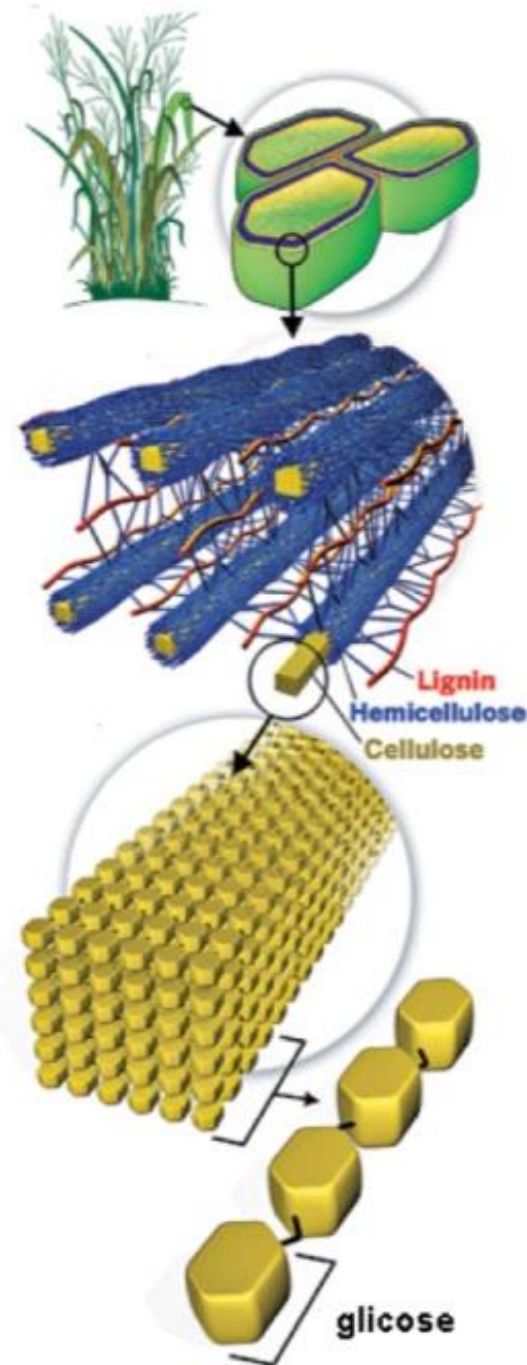
Xilosa, arabinosa
(pentosas), galactosa

Compuestos aromáticos

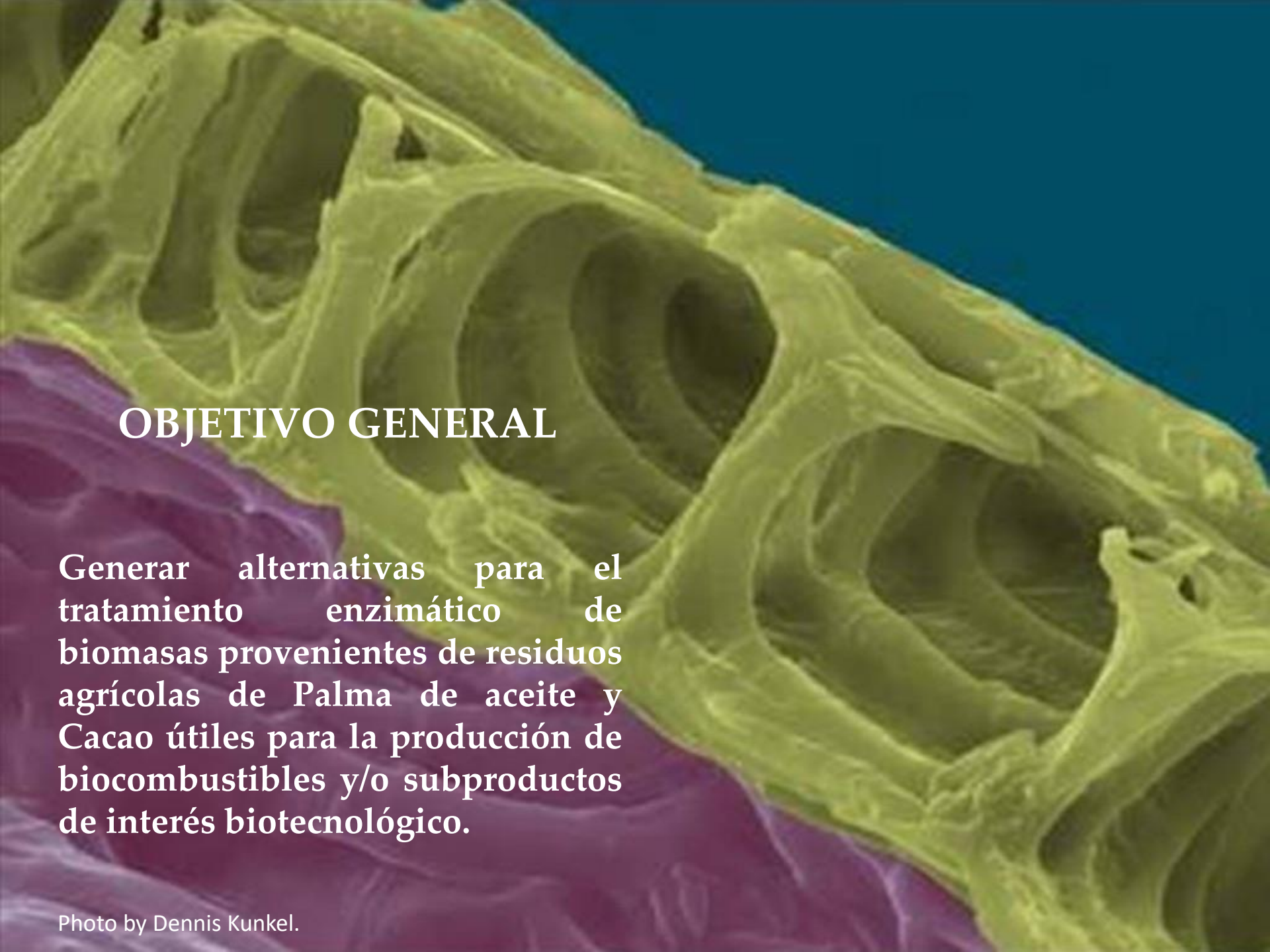


Estructura de la pared celular (Ramos, 2003)

- La hemicelulosa forma ligaciones covalentes cruzadas con la lignina y con microfibras de celulosa.



HIDRÓLISE ENZIMÁTICA

A scanning electron micrograph (SEM) of plant tissue, likely a cross-section of a fruit or seed. The image shows a complex network of cell walls and large, dark, circular or oval-shaped cavities. The tissue is colorized with a greenish-yellow hue, and a purple, wavy, translucent layer is visible in the lower-left corner. The background is a solid dark blue.

OBJETIVO GENERAL

Generar alternativas para el tratamiento enzimático de biomasas provenientes de residuos agrícolas de Palma de aceite y Cacao útiles para la producción de biocombustibles y/o subproductos de interés biotecnológico.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aislar de madera en descomposición presente en el bioma bosque muy húmedo subtropical (bmh-st) y en residuos agrícolas propuestos, hongos filamentosos con potencial para la degradación de biomasa generada en procesos agroindustriales.
 - Identificar mediante taxonomía clásica y herramientas de biología molecular los microorganismos recolectados.
 - Evaluar la actividad holocelulasa de los hongos seleccionados, en medios suplementados con biomasa lignocelulósica como fuente de carbono.
 - Caracterizar los extractos enzimáticos por el efecto de pH, temperatura y termoestabilidad.
 - Comparar la eficiencia en la liberación de azúcares en el proceso de pretratamiento con enzimas de basidiomicetos seleccionados, enzimas comerciales, tratamientos químicos, físicos y/o combinaciones de ellos.
-

Microrganismos produtores de celulasas

Bactérias aeróbicas

Bactérias anaeróbicas

Fungos filamentosos



Actinomycetes



Clostridium (celulossomos)



Aspergillus

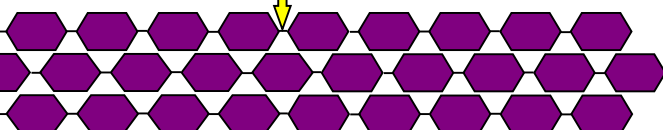
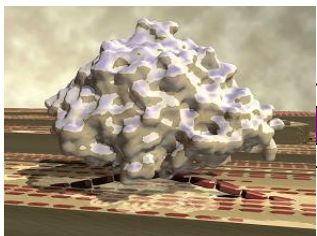


Trichoderma

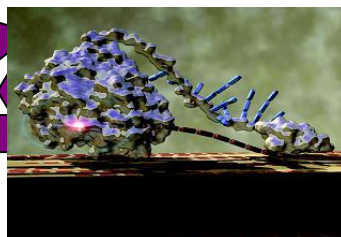
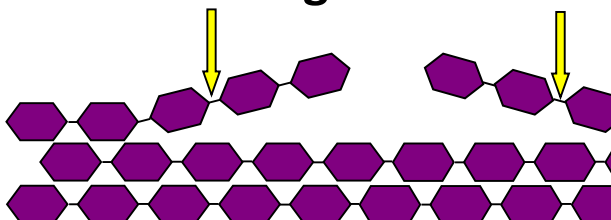


Hidrólise enzimática da celulose

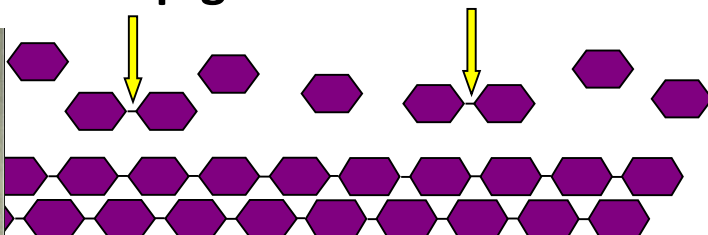
Endoglucanases



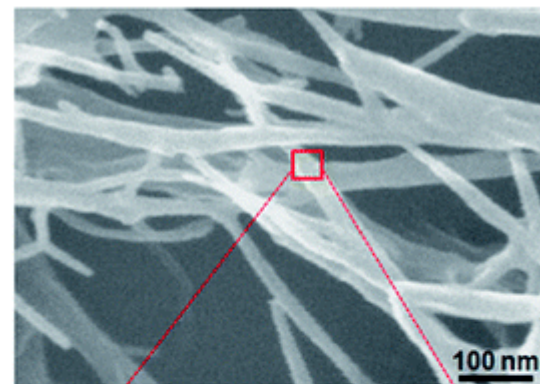
Exoglucanases



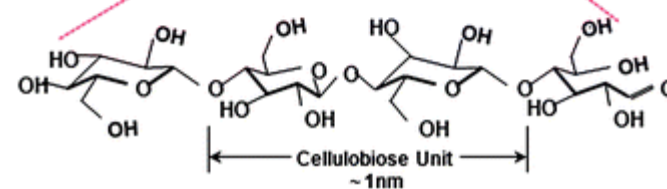
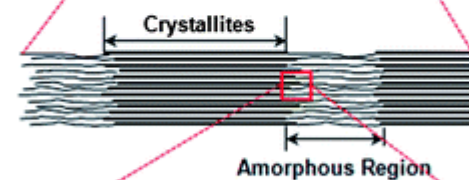
β -glicosidases



Cellobiose is converted to 2 x glucose via β -glucosidase



100 nm



Chun et al. *J. Mater. Chem.*, 2012, 22, 16618-16626

Patente em formulação enzimática

FORMULAÇÃO ENZIMÁTICA



Trichoderma sp



Aspergillus sp



(21) **PI0705744-0 A2**

(22) Data de Depósito: 19/11/2007

(43) Data da Publicação: 21/07/2009
(RPI 2011)



(54) Título: **COMPOSIÇÃO DE ENZIMAS, USO DA COMPOSIÇÃO NA HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO, PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ENZIMAS QUE DEGRADAM A FRAÇÃO DE POLISSACARÍDEOS DA BIOMASSA, PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ALCÓOL UTILIZANDO A COMPOSIÇÃO DE ENZIMA**

(73) Titular(es): Fundação Universidade de Brasília, Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, Universidade Federal do Rio de Janeiro

(72) Inventor(es): Ayla Sant'Ana da Silva, Colin Webb, Edivaldo Ximenes Ferreira Filho, Elba P. da S. Bon, Elis Cristina Araujo Eleutherio, Leda Maria Fortes Gottschalk, Leonora Rios de Souza Moreira, Marcos Dias Pereira, Maria Antonieta Ferrara, Ricardo Sposina Sobral Teixeira

(57) Resumo: COMPOSIÇÃO DE ENZIMAS, USO DA COMPOSIÇÃO NA HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO, PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ENZIMAS QUE DEGRADAM A FRAÇÃO DE POLISSACARÍDEOS DA BIOMASSA, PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ALCÓOL UTILIZANDO A COMPOSIÇÃO DE ENZIMAS. A presente invenção se refere a uma composição de enzimas compreendendo (a) enzimas celulolíticas obtidas por fermentação com *Trichoderma reesei*; (b) enzimas celulolíticas, hemicelulolíticas, β -glicosidase e enzimas acessórias obtidas por fermentação com *Aspergillus awamori*; (c) adicionalmente, pelo menos uma espécie molecular selecionada do grupo de enzimas e/ou peptídeos com atividade CMCase, ditas espécies moleculares estando presentes nos sobrenadantes do cultivo de *T. reesei* e/ou *A. awamori* como apresentado no zimograma da Figura 6; e (d) opcionalmente, um veículo compatível com ditas enzimas, sendo que as ditas enzimas (a) e (b) interagem de modo a resultar em efeito sinérgico dado pela ação das enzimas acessórias que, entre outras atividades, rompem as ligações entre a lignina e os polissacarídeos da biomassa, notadamente a hemicelulose. A presente invenção compreende, ainda, uma composição de enzimas compreendendo: (a) enzimas celulolíticas obtidas por fermentação com *Trichoderma reesei*; (b) enzimas celulolíticas, hemicelulolíticas, β -glicosidase e




REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº PI 0705744-0

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: PI 0705744-0

(22) Data do Depósito: 19/11/2007

(43) Data da Publicação do Pedido: 21/07/2009

(51) Classificação Internacional: C12P 1/02; C12P 7/06

(54) Título: COMPOSIÇÃO DE ENZIMAS, USO DA COMPOSIÇÃO NA HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO, PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ENZIMAS QUE DEGRADAM A FRAÇÃO DE POLISSACARÍDEOS DA BIOMASSA, PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ALCÓOL UTILIZANDO A COMPOSIÇÃO DE ENZIMA

ESTUDOS DE HIDRÓLISE ENZIMÁTICA

Escala de laboratório

Shaker



Reator



**Xarope de
Glicose**



**Fermentação
alcoólica**



Lignina



**Sólido que pode ser
utilizado com
combustível**

Pré-tratamento

TIPOS DE PRE-TRATAMIENTO

Físicos



Mecánicos
Térmicos

+

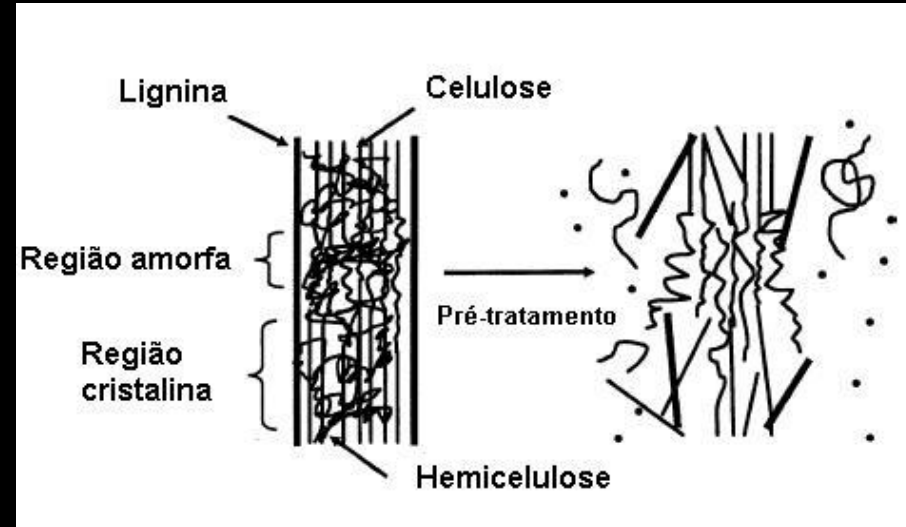


Físico - químicos

Químicos

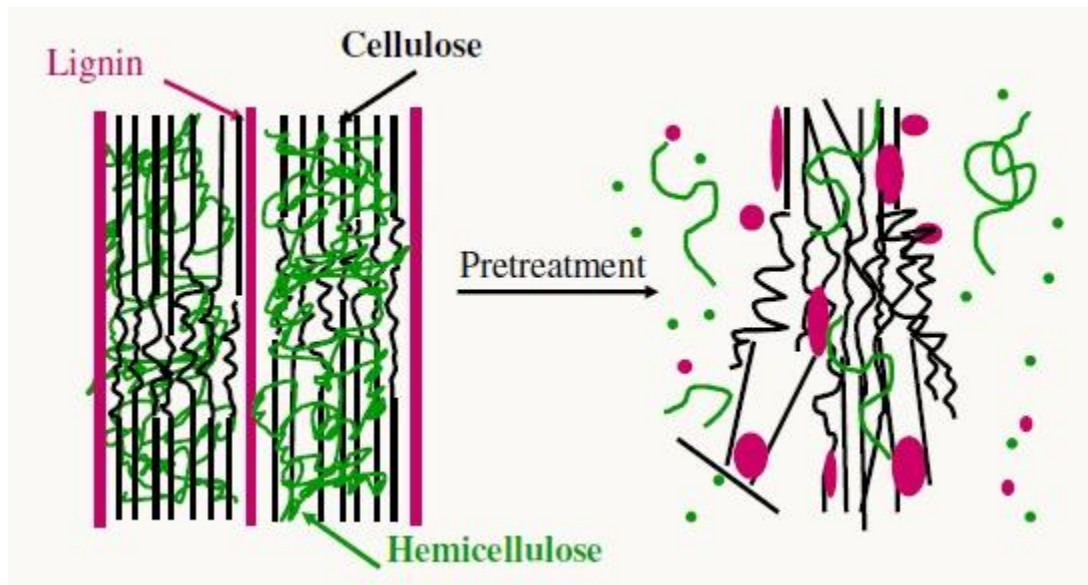


Fraccionamiento con solventes
Pre-tratamientos
ácidos
Pre-tratamientos agentes
alcalinos
Agentes oxidantes



No existe técnica de pre-tratamiento universal !

Etapa de pré-tratamento



Mosier et al., 2005. *Biores. Technol.*, 96, 673-686.

Physical	Chemical	Physicochemical	Biologic
Milling Extrusion	Solvents Acids Alkalis Oxidant agents	Hydrothermal AFEX	Fungi Degradation

NÃO EXISTE TÉCNICA DE PRÉ-TRATAMENTO UNIVERSAL

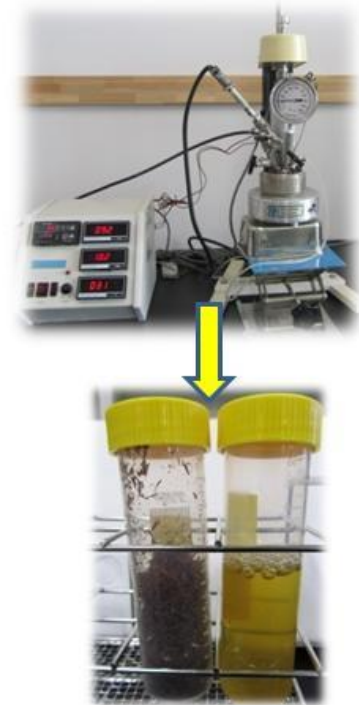
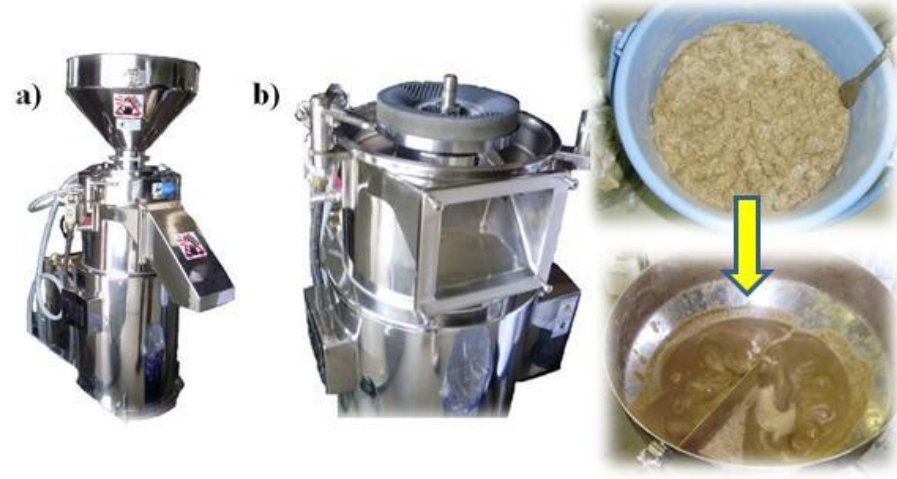
Qual o objetivo principal do pré-tratamento?

Aumentar a acessibilidade das celulasas à celulose

Efeitos desejáveis do pré-tratamento:

- ✓ Aumento da área de superfície – desfibrilação
- ✓ Diminuição do grau de cristalinidade da celulose
- ✓ Solubilização da fração de hemicelulose e/ou lignina
- ✓ Alterar a estrutura da lignina

PRÉ-TRATAMENTO DE BIOMASSA DA CANA-DE-AÇÚCAR



Panorama Mundial

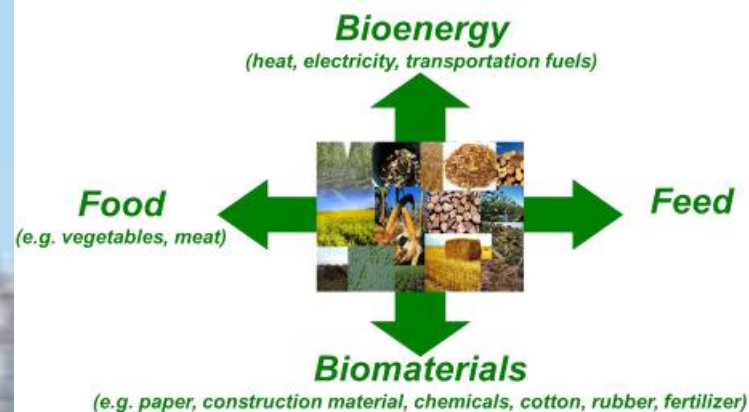
—

Produção de etanol 2G

PLANTAS COMERCIAIS NO MUNDO

PLANT	LOCATION	CAPACITY
Beta Renewables (2013)	Crescentino - Italy	75 million liters
Granbio (2014)	São Miguel dos Campos, AL - Brazil	82 million liters
Raízen (2014)	Piracicaba, SP - Brazil	40 million liters
Poet-DSM (2014)	Iowa - USA	95 million liters
Abengoa (2014)	Kansas - USA	95 million liters
Dupont (2015)	Iowa - USA	113 million liters

O conceito de BIORREFINARIA



Uma **BIORREFINARIA** é uma unidade que integra processos de **conversão de biomassa** e equipamentos para a produção de alimentos, combustíveis, eletricidade e produtos químicos com valor agregado

*NREL – National Renewable Laboratory - USA

A biorrefinaria é o processamento sustentável da biomassa em um espectro de produtos comercializáveis e bioenergia

*IEA Task 42



**A necessidade de
aumentar a produção de
etanol pode alavancar
biorrefinarias a partir da
biomassa lignocelulósica**

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

**Dirección de Investigaciones
de la Universidad de Manizales**



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO

Laboratorio Bioetanol
<http://bioetanol-ufrj.com.br/>



Gracias

