

Bioetanol de caña de açúcar

– Energía para el desarrollo sostenible

Luiz Augusto Horta Nogueira

UNIFEI

Itajubá Minas Gerais Brasil

Bioetanol

– una visión personal desde Brasil

Song Won Park

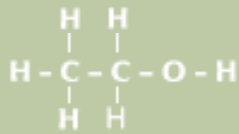
Departamento de Engenharia Química

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

03 outubro 2008 - 12:00h

Santiago





Bioetanol de Caña de Azúcar Energía para el Desarrollo Sostenible

Coordinación
BNDES y CGEE

www.bioetanoldecanadeazucar.org

1ª Edición

Río de Janeiro – Noviembre 2008



En esta primera parte de esta presentación el Dr Luiz Augusto Horta Nogueira presentará su libro, de donde fueron extraídos la mayor parte de los datos. En la segunda parte el Dr Song Won Park presentará una visión personal. En la tercera parte de la presentación en mesa redonda, el Dr Luiz Horta esclarecerá las dudas relevantes al tema.

Índice

Prefacio 13

Presentación 17

1. Bioenergía y biocombustibles 23

1.1 Fundamentos de la bioenergía 25

1.2 Evolución de la bioenergía y de los biocombustibles 32

2. Etanol como combustible vehicular 39

2.1 Dimensiones técnicas y ambientales del uso del etanol 41

2.2 Aspectos económicos e institucionales del etanol combustible 54

2.3 Cadenas logísticas para el etanol 60

3. Producción de bioetanol 67

3.1 Materias primas y tecnologías de producción del bioetanol 69

3.2 Bioetanol de caña de azúcar 72

3.3 Bioetanol de maíz 83

3.4 Bioetanol de otras materias primas 89

3.5 Productividad, emisiones y balances energéticos 92

4. Coproductos del bioetanol de caña de azúcar 103

4.1 Azúcar y derivados 105

4.2 Bioelectricidad 108

4.3 Otros coproductos del bioetanol de caña de azúcar 118

5. Tecnologías avanzadas en la agroindustria de la caña de azúcar 123

5.1 Hidrólisis de residuos lignocelulósicos 125

5.2 Clasificación para la producción de combustibles y electricidad 133

5.3 Uso del bioetanol como insumo petroquímico o alcohólico químico 140

5.4 Producción de plásticos biodegradables 143

5.5 Biorrefinería: múltiples productos y uso integral de la materia prima 147

6. Bioetanol de caña de azúcar en Brasil 151

6.1 Evolución del bioetanol combustible en Brasil 153

6.2 Agroindustria de la caña de azúcar en Brasil 162

6.3 Investigación y desarrollo tecnológico 169

7. Sostenibilidad del bioetanol de caña de azúcar: la experiencia brasileña 179

7.1 Ambiente y energía de la caña de azúcar 181

7.2 Uso del suelo 196

7.3 Viabilidad económica del bioetanol de caña de azúcar 203

7.4 Generación de empleo y renta en la agroindustria del bioetanol 209

7.5 Certificación y sostenibilidad en la agroindustria del bioetanol 217

8. Perspectivas para un mercado mundial de biocombustibles 221

8.1 Potencial global para la producción de biocombustibles 223

8.2 Oferta y demanda de biocombustibles: escenario actual 229

8.3 Proyecciones de oferta y demanda de bioetanol en 2010-2015 234

8.4 Políticas de apoyo y fomento a los biocombustibles 249

8.5 Vínculos entre alimentos y bioenergía 253

8.6 Factores de inducción para un mercado global de bioetanol 265

9. Una visión de futuro del bioetanol como combustible 273

Anexos 283

Referencias 289

8615b Bioetanol de caña de azúcar : energía para el desarrollo sostenible/ coordinación BNDES y CGEE. – Rio de Janeiro : BNDES, 2008.

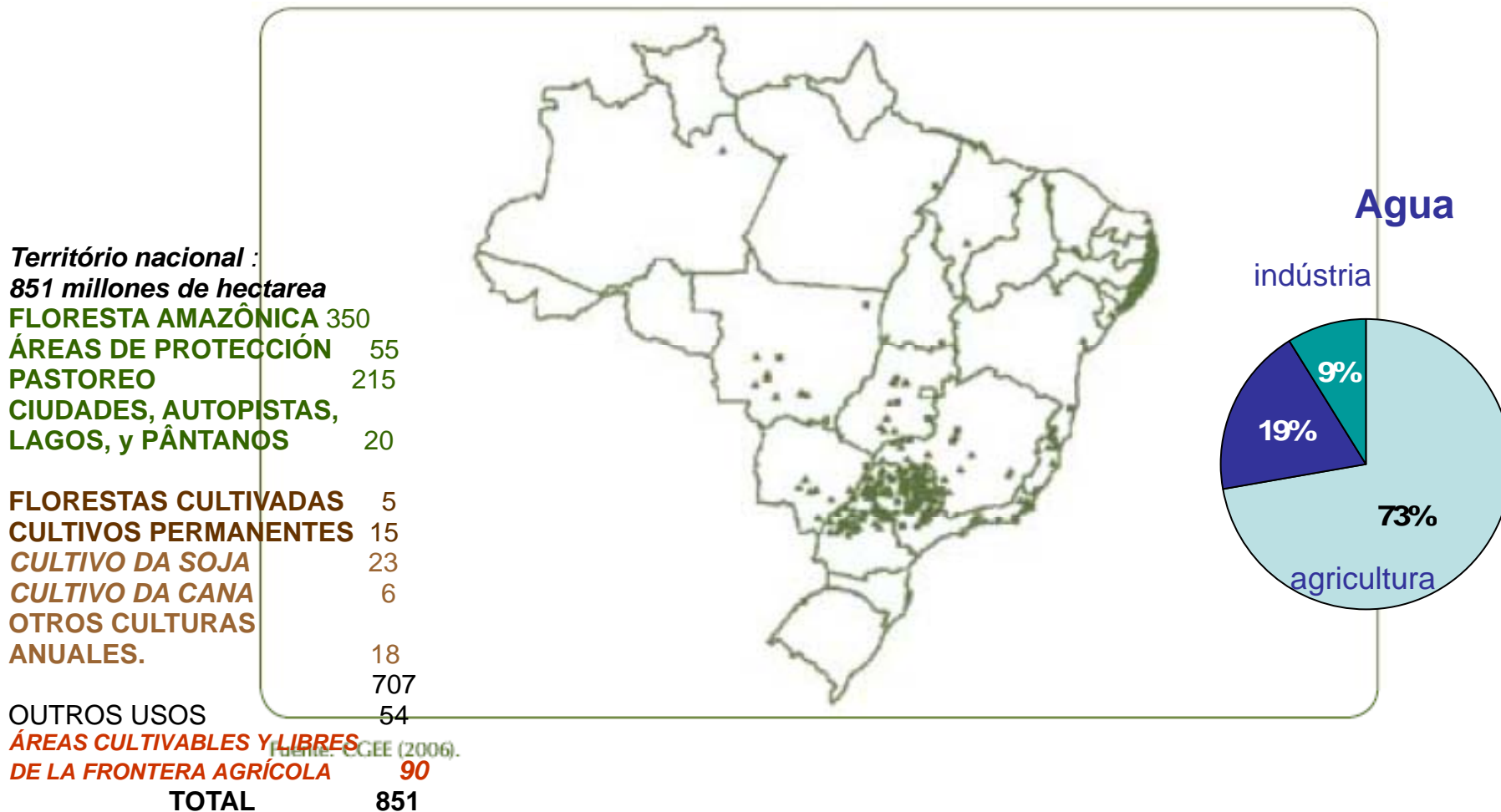
323 p.

ISBN: 978-85-87545-26-8

1. Bioenergía. 2. Biocombustible. 3. Bioetanol. 4. Caña de azúcar. I. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. II. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.

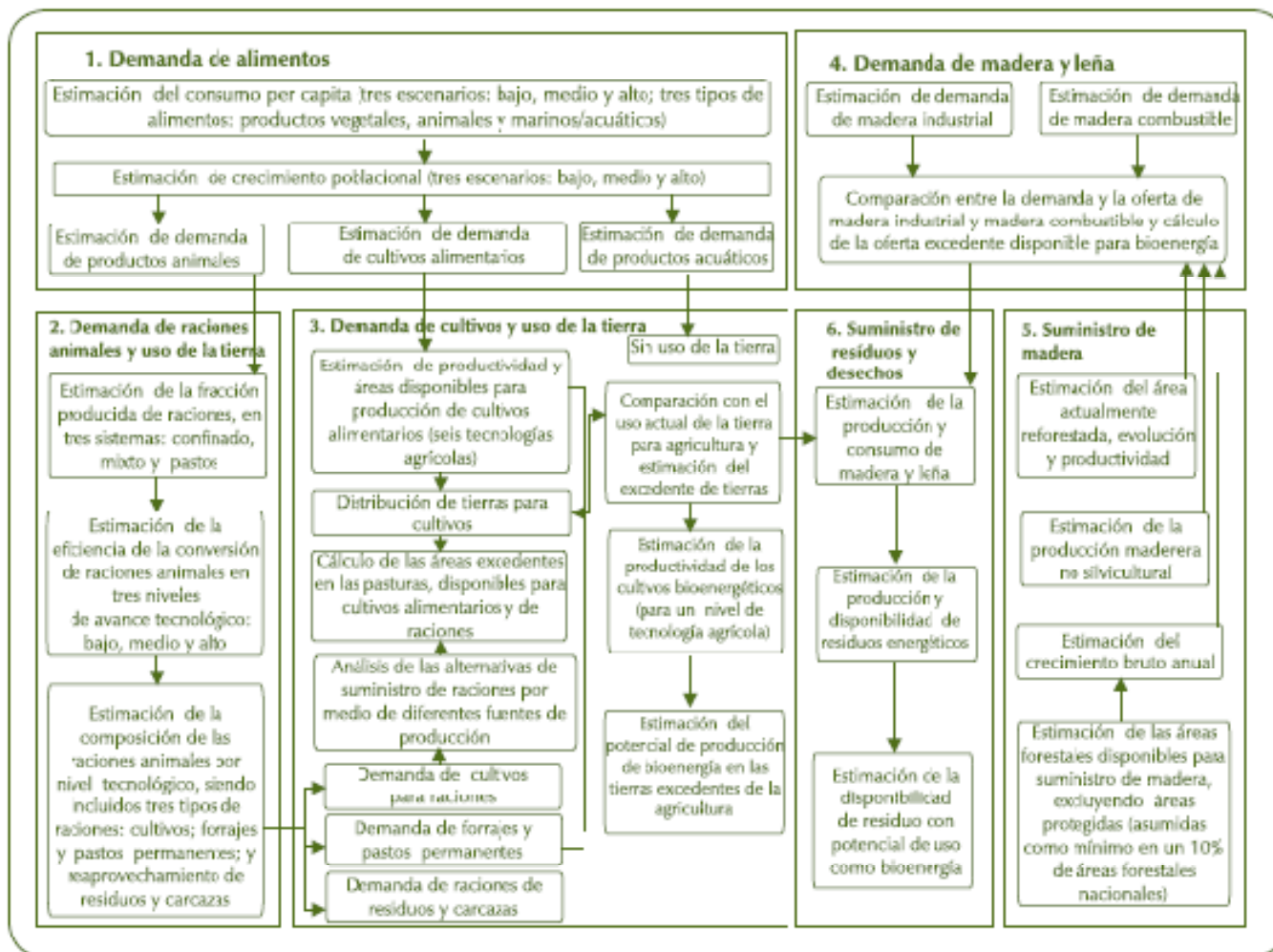
CDD 333.953

Figura 9 – Distribución de las 350 plantas de procesamiento de caña de azúcar en Brasil



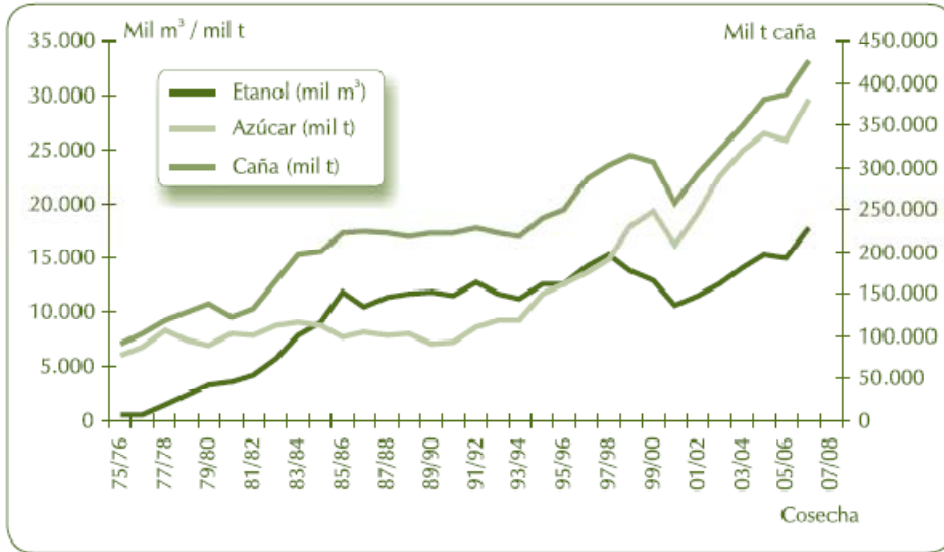
- agricultura de alimento vs agricultura de matéria-prima vs agricultura de energía
- ¿ Será que realmente no son competidores en Brasil ?
- ¿ Será que realmente la competición es un factor crítico ?

Figura 30 – Visión general de los elementos principales usados en la metodología de la evaluación del potencial bioenergético



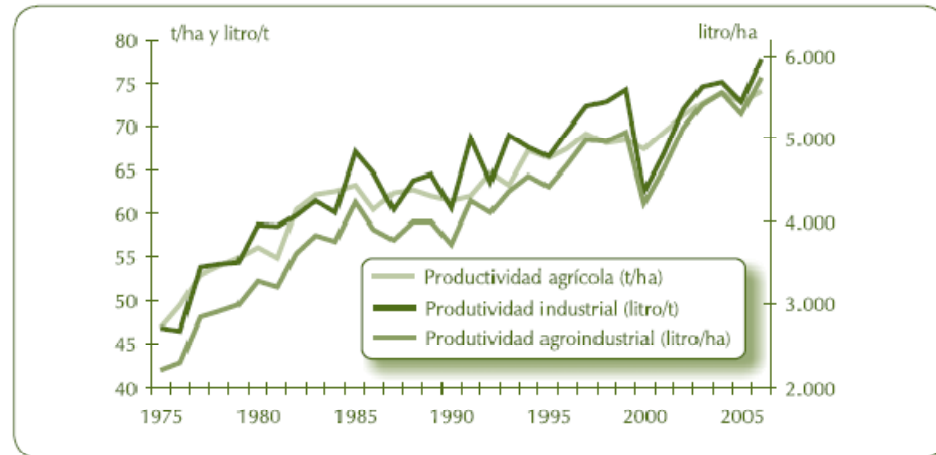
Fuente: Smeets et al. (2006).

Gráfico 16 - Evolución de la producción de caña de azúcar, etanol y azúcar en Brasil



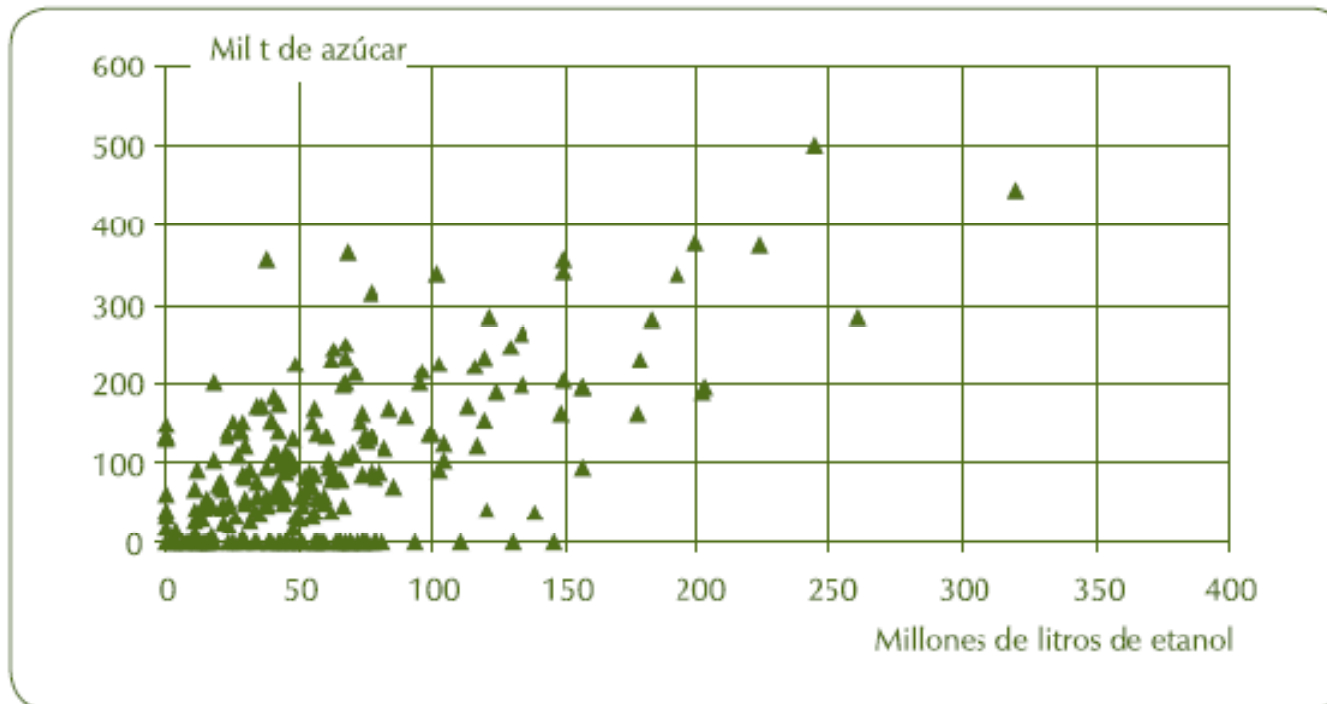
Fuente: Unica (2008).

Gráfico 22 - Evolución de la productividad agrícola, industrial y agroindustrial de los ingenios de azúcar y etanol en Brasil



Fuente: Elaborado según datos de Mapa (2007) y Unica (2008).

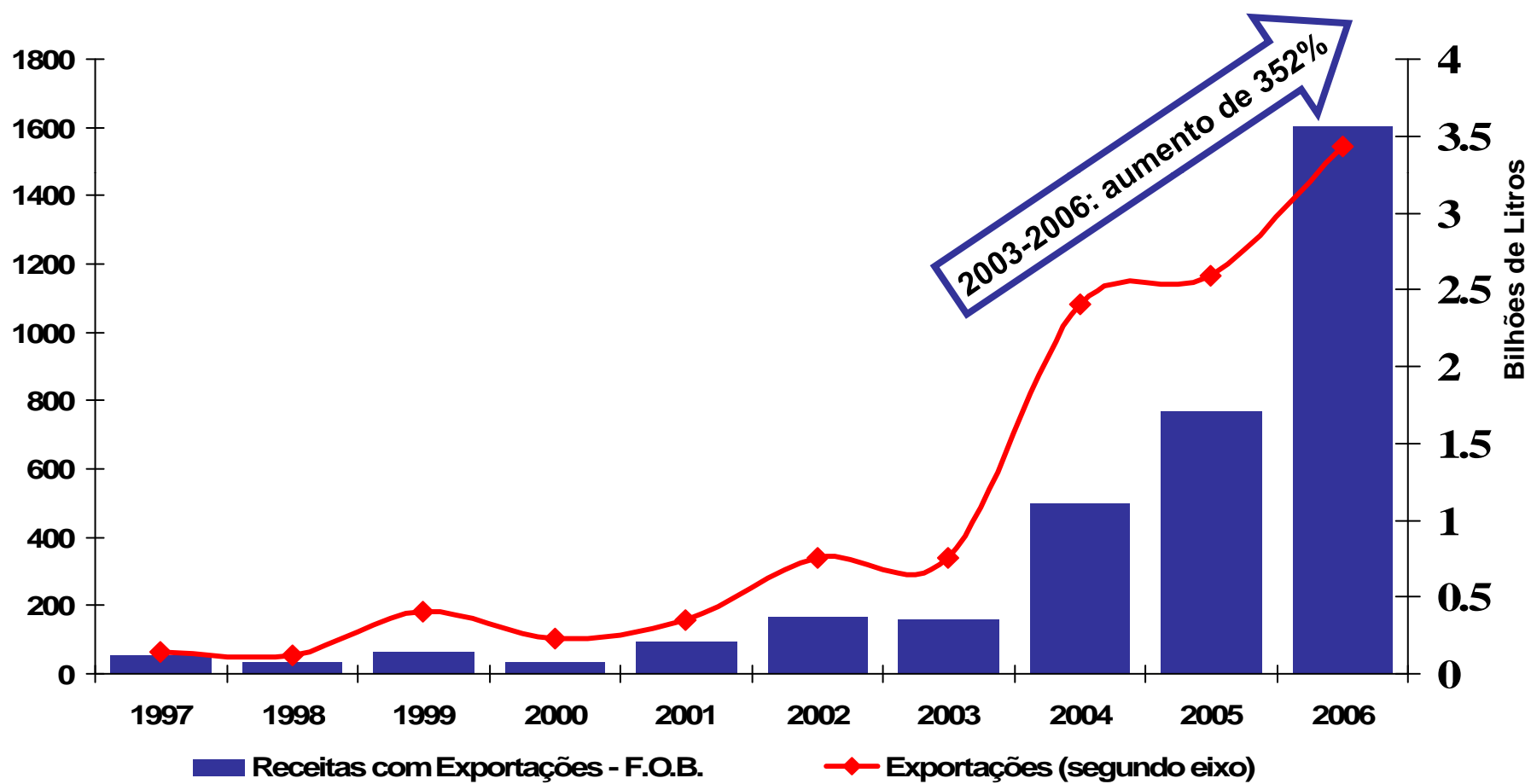
Gráfico 21 – Perfiles de producción de los ingenios de azúcar y etanol en Brasil en la cosecha 2006/2007



Fuente: Elaborado en base a Idea (2007).

Exportación Brasileira de Etanol

US\$ 1,6 mil millones em 2006.



Reducción de costos

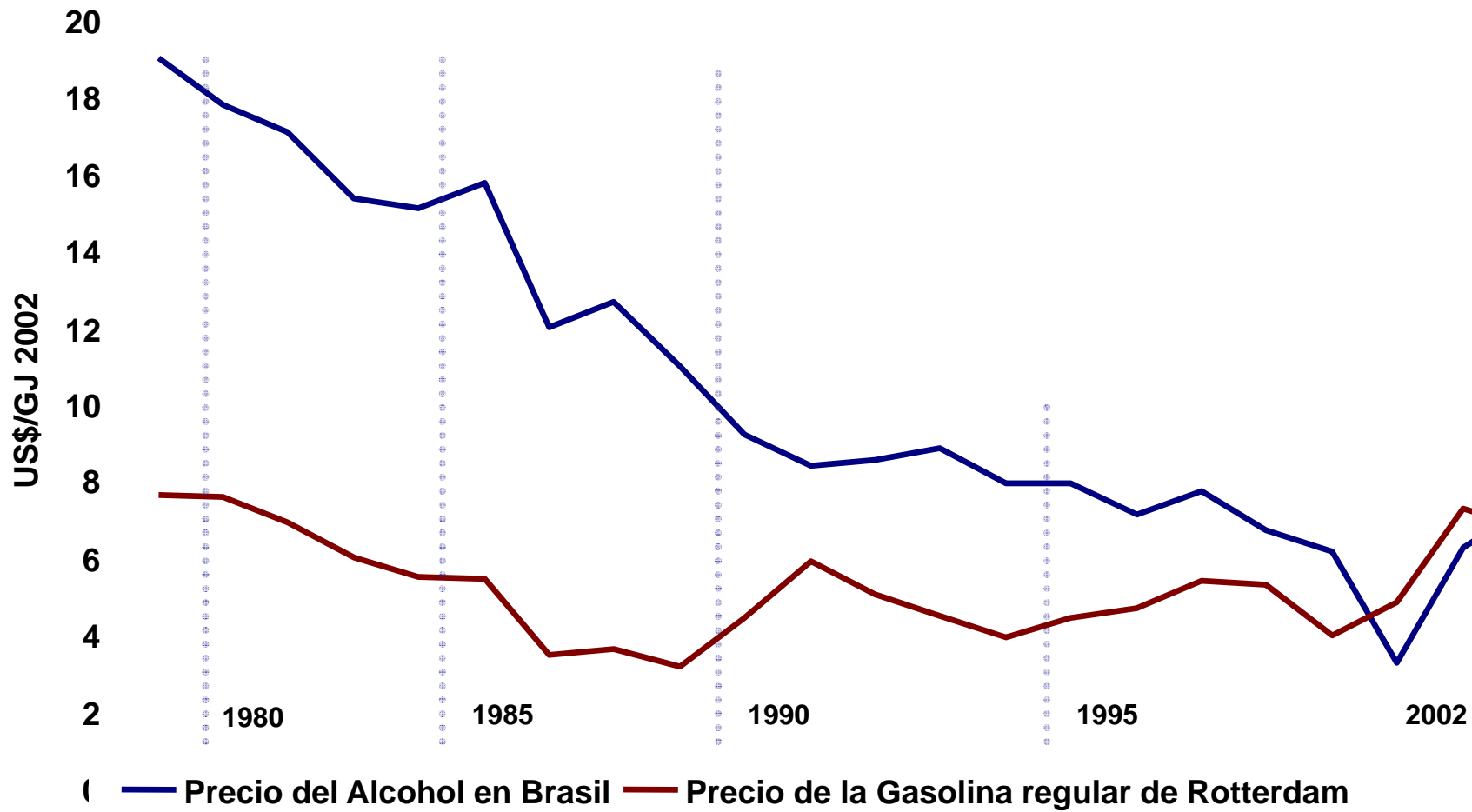
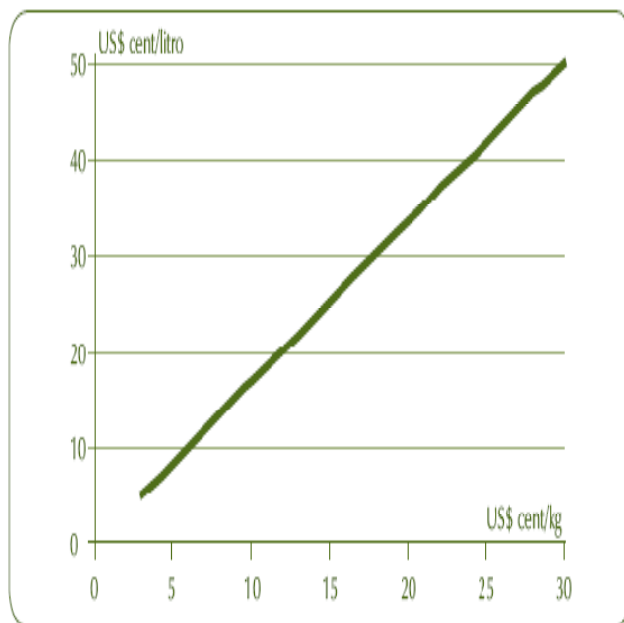
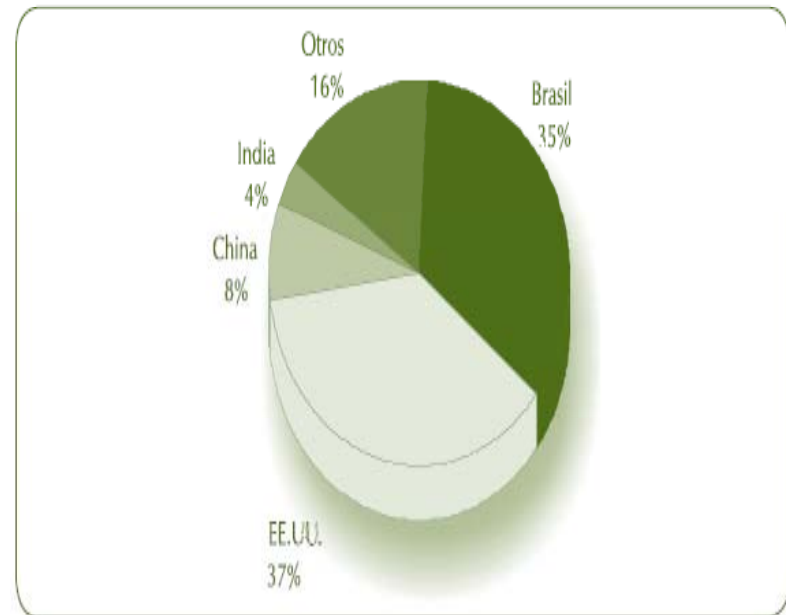


Gráfico 5 - Precio de indiferencia del etanol anhidro en función del precio del azúcar



Fuente: Elaboración de Luiz Augusto Horta Nogueira.

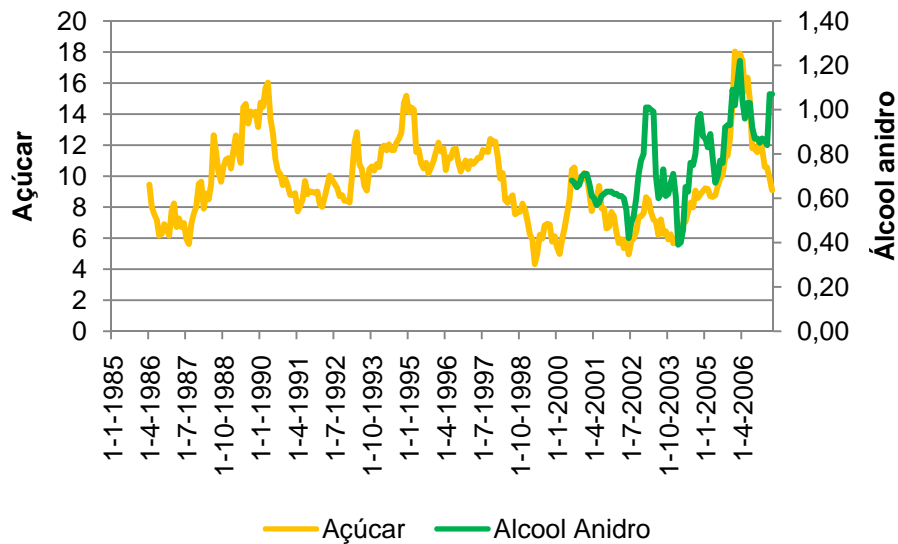


Fuente: Elaborado con base en RFA (2008).

correlación entre los precios de los productos agrícolas y del petróleo



Fuente: Calculado en base a NYBOT (2008) y EIA (2008).

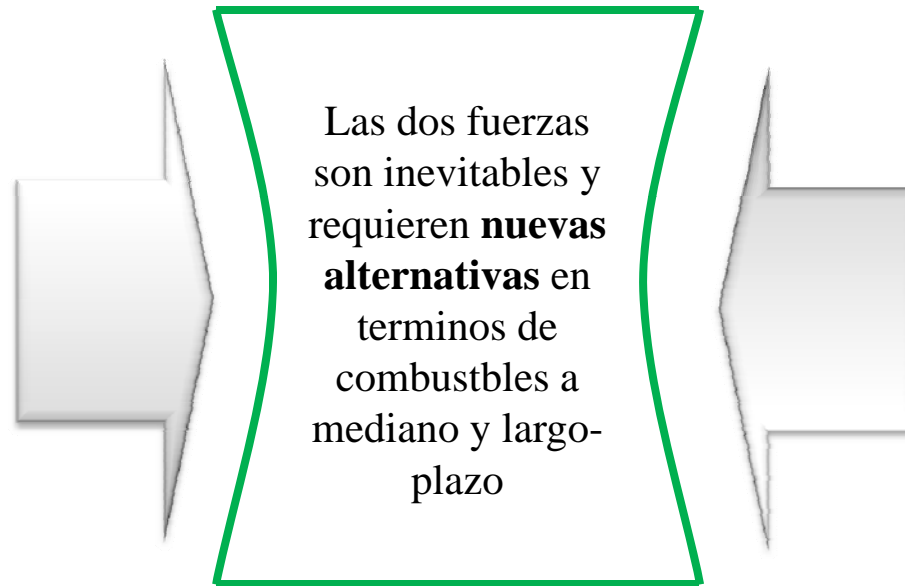


- Existe una tendencia de convergencia entre los sectores agrícola y combustible
- Poca correlación entre maiz y alcohol brasileiro

dos fuerzas incentivando la adopción de los biocombustibles

Disponibilidad del petróleo y gás

- Diminución de las reservas e incremento de los costos de extracción
- Incremento en los precios del petróleo
- Demanda china por energía fósil
- Inestabilidad política en las principales áreas productoras



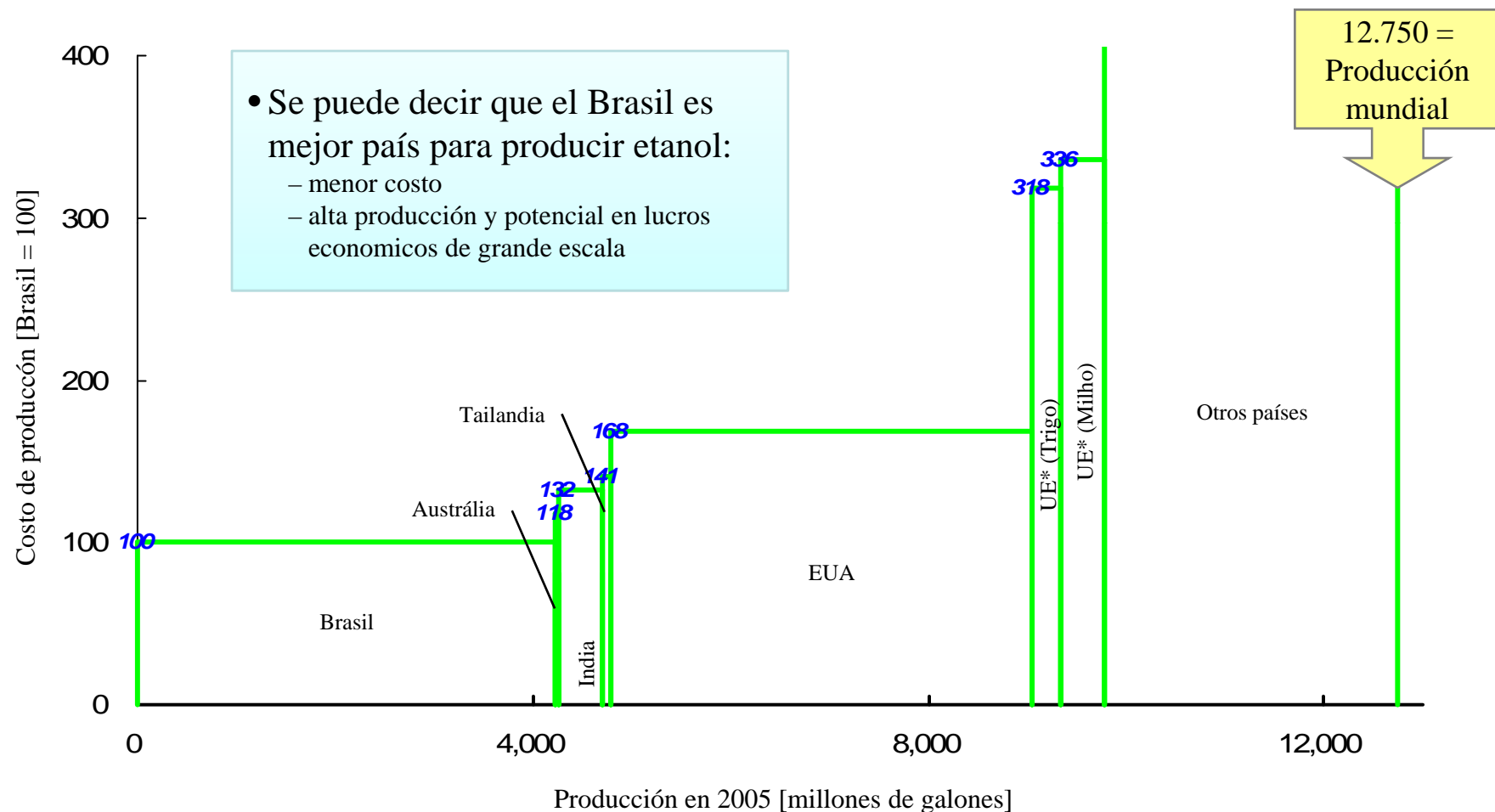
Problemas ambientales

- Calentamiento global
- Mayor preocupación asociada a los problemas ambientales
 - Protocolo de Kyoto

Fonte: Apresentação de Dr. Reichstul
– Brenco em 2007

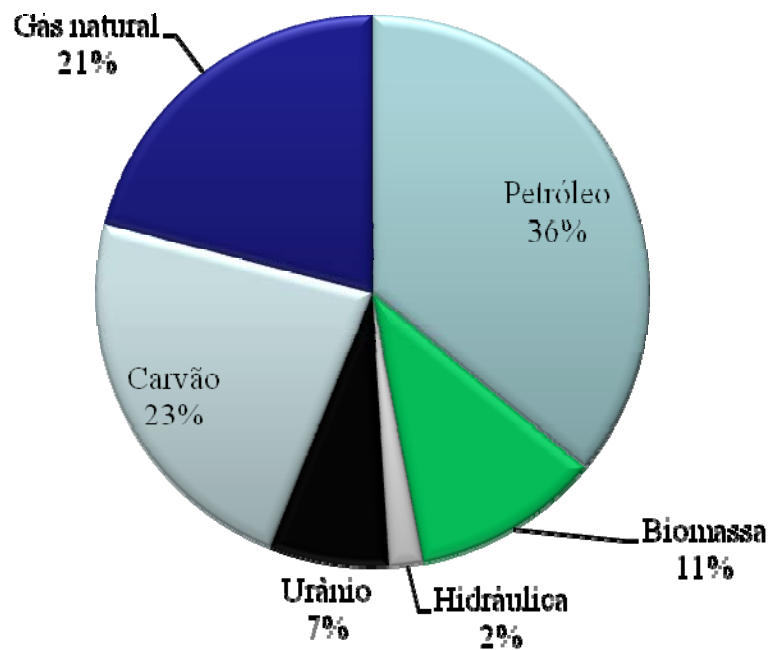
¿bastan estas dos fuerzas para inducir la adopción de los biocombustibles ?

Brasil: país con menores costos de producción

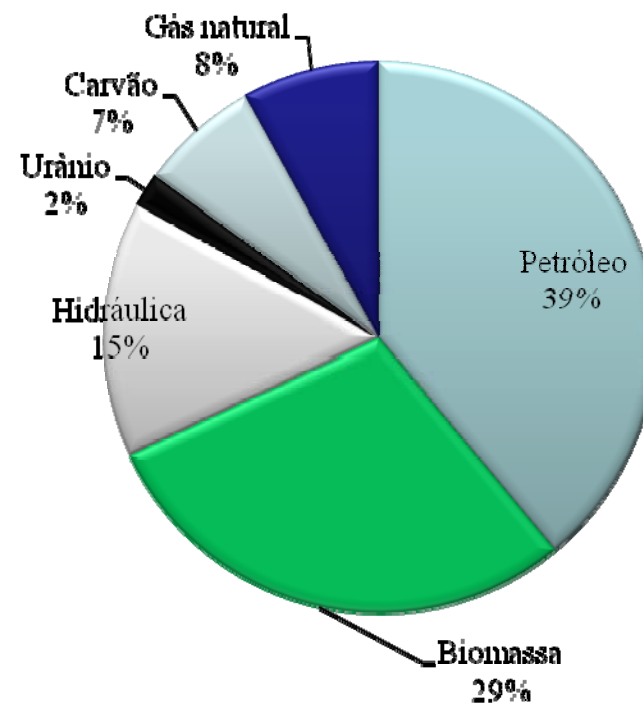


¿ Matriz energética es diferente?

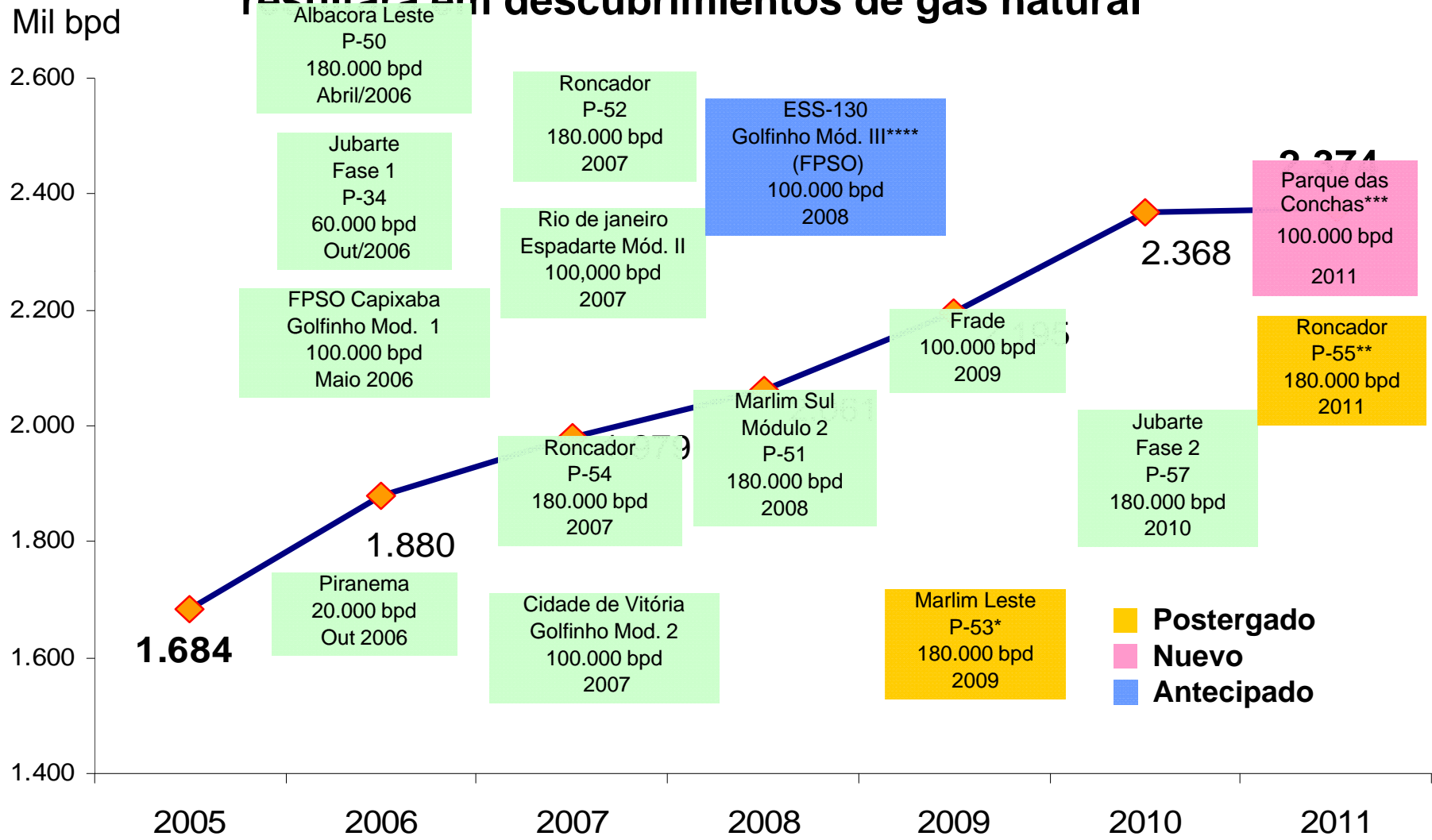
Mundo



Brasil

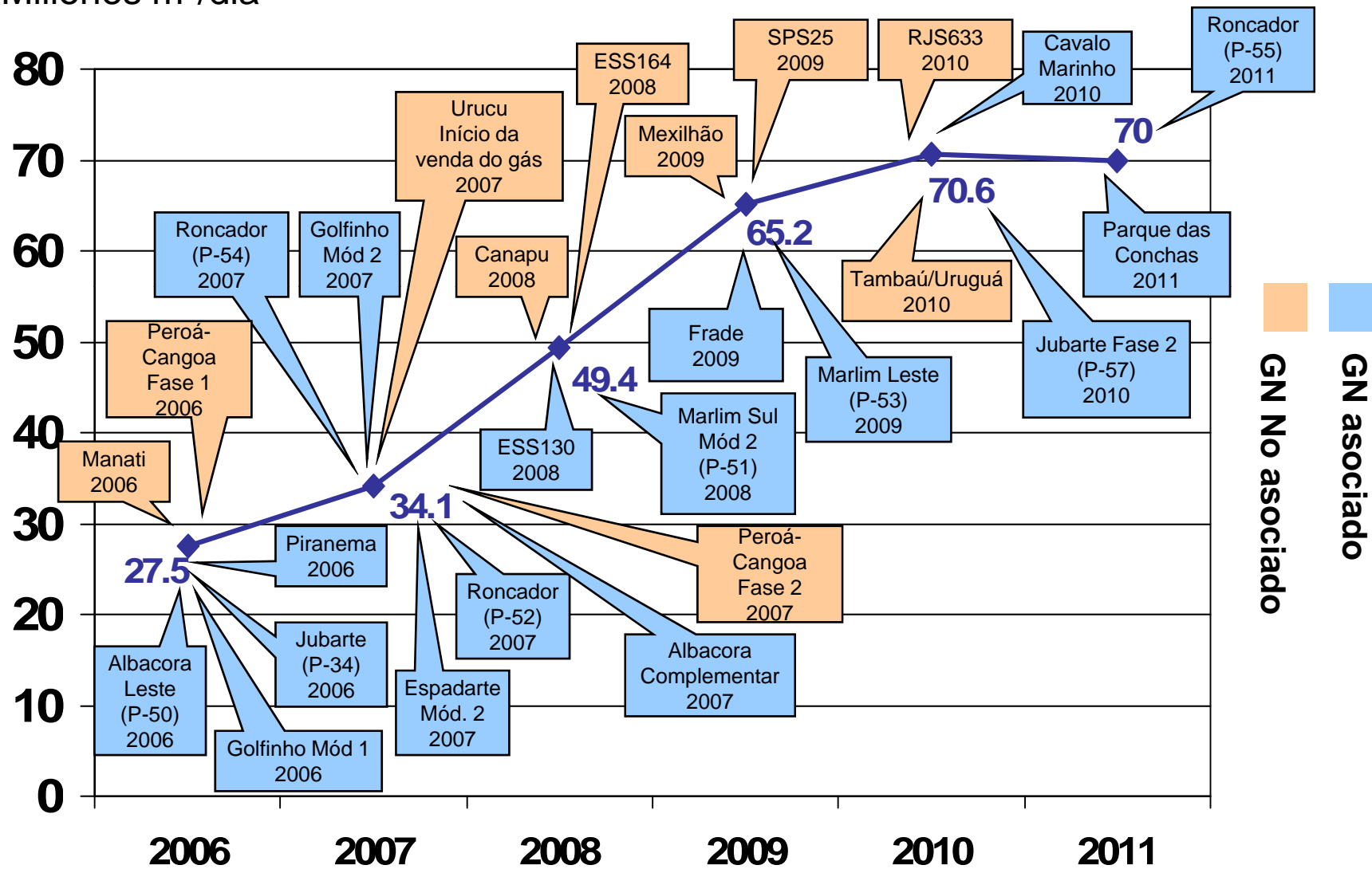


Principales Proyectos de Producción de petróleo y gas natural de Petrobras en Brasil: datos antiguos antes del Pre-Sal, meramente ilustrativo para mostrar esfuerzo de exploración de petróleo que resultará en descubrimientos de gas natural



Curva de entrega de gás natural datos antiguos antes del Pre-Sal, meramente ilustrativo

Millones m³/dia



Papel de Petrobrás fue decisivo en Brasil en la infancia del alcohol combustible

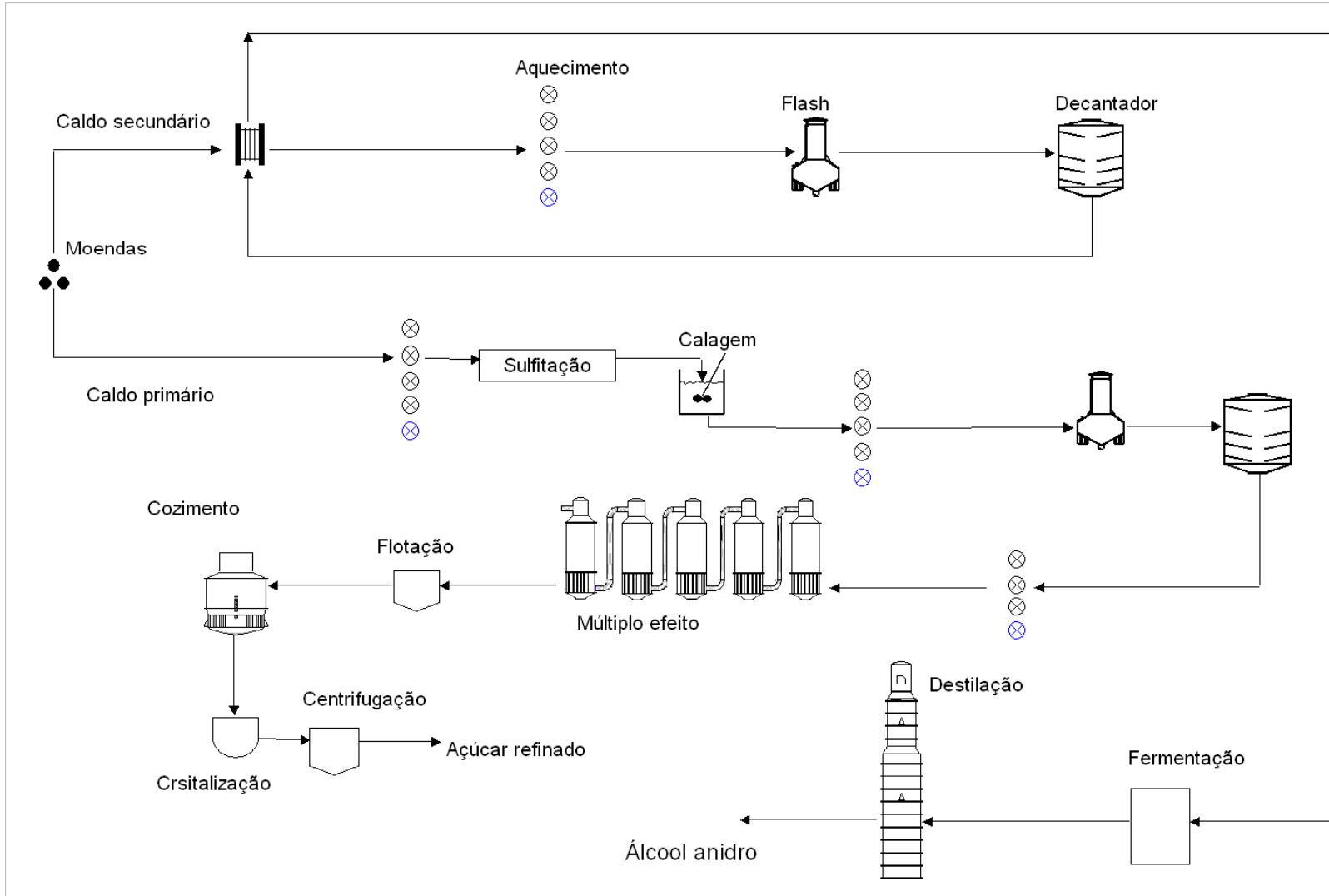
Operador logístico	Disponibilidad de tanques, ductos, terminales y transportes acuáticos para transferir producto de los productores al mercado.
Inversor	Construcción de centros colectores de alcohol en diferentes áreas productivas.
Investigación	Financiamiento de desarrollo tecnológico para aumentar el grado de mezcla del alcohol en la gasolina.
Trader	Exportación del excedente del alcohol para diversos países, especialmente los Estados Unidos.
Distribuidor	Primera compañía de petróleo en instalar bombas de alcohol en los puestos de combustibles.
Comprador	Compra y almacenamiento del alcohol garantizando el flujo de caja para los productores.



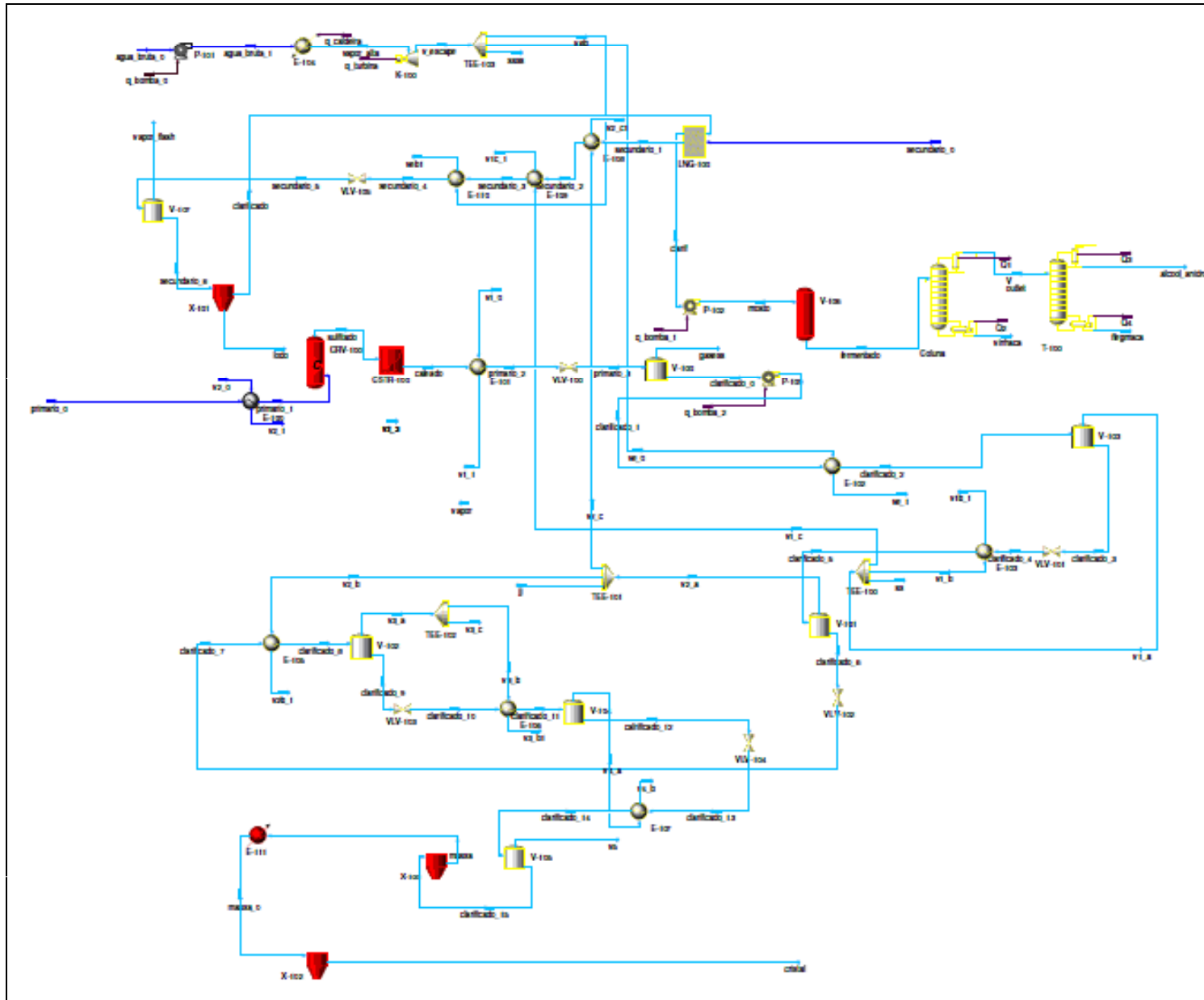
Sostenibilidad en plantas de Azúcar y Alcohol



Proceso de Producción de Azúcar y Alcohol



Simulación del Proceso



Producción de etanol a partir de caña: 7 mil litros/hectarea

Producción de etanol a partir de maiz: 4,7 mil litros/hectarea

Indicadores de Sostenibilidad: Caña x Maiz

Indicadores Ambientais: Energia

1	Consumo total de energia	energia total consumida	235200	669536	kWh/dia
2	Consumo específico de energia	$\frac{\text{energia total consumida}}{\text{produção}}$	0,14	0,25	kWh/l (álcool anidro)
3	Custos totais de energia	absoluto	9408	93736	R\$/dia
4	Fração (custos de energia)	$\frac{\text{custos totais de energia}}{\text{custos totais de produção}}$	0,02	0,2	
5	Custos de energia	$\frac{\text{custos em energia}}{\text{consumo de energia}}$	0,04	0,14	R\$/kWh

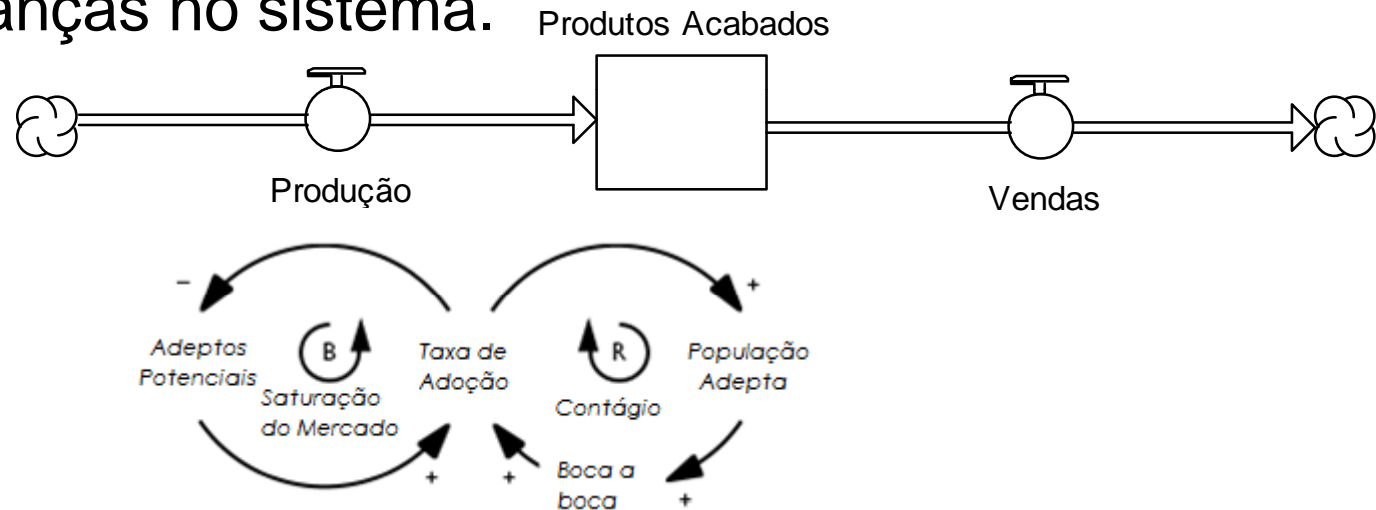
Indicadores de Sustentabilidade: Caña x Maiz

Indicadores Ambientais: Matéria

1	Consumo total de matéria	massa absoluta	30000	73000	ton/dia
2	Consumo específico de matéria	$\frac{\text{entrada total de matéria}}{\text{produção}}$	0,018	0,043	ton/l (álcool anidro)
3	Eficiência de matéria prima	$\frac{\text{saída de produção}}{\text{entrada de matérias primas}}$	56,9	23,4	l (álcool anidro)/ton
4	Custos totais de materiais	valor absoluto	600800	1042000	R\$/dia

Elementos da Dinâmica de Sistemas

- Estoques e Fluxos: estoques dão aos sistemas inércia e são a memória do sistema. Fluxos que mudam os estoques representam as decisões e ações que causam as mudanças no sistema.

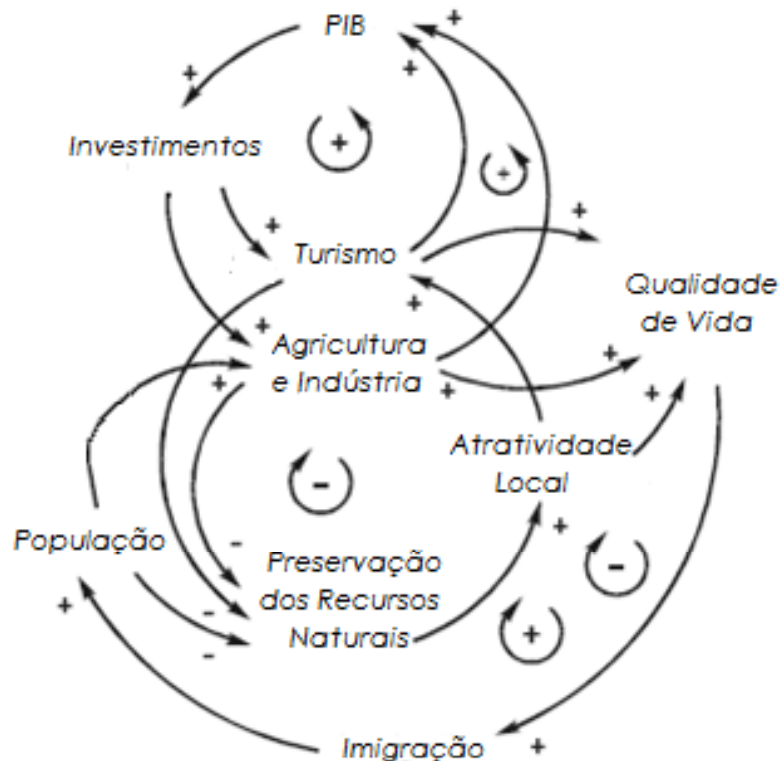


- Diagramas de Ciclo Causal – Causal Loop Diagrams (CLD): para ilustrar as estruturas de *feedback* de um sistema, existem os diagramas de ciclo causal

Diagrama CLD para Barra Bonita

3 Loops Positivos:

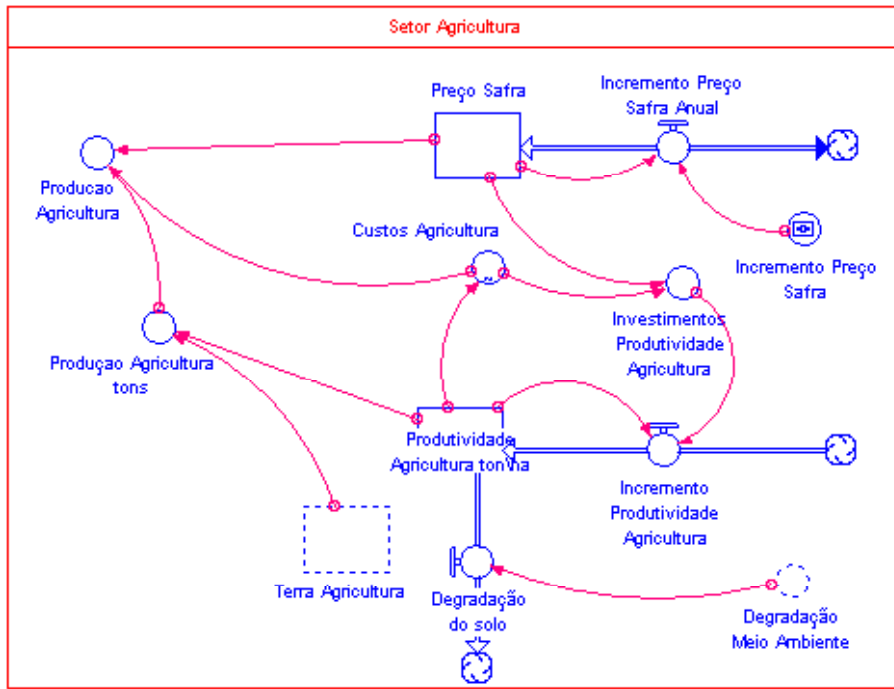
- PIB -> Investimentos -> Turismo
- PIB -> Investimentos -> Agricultura e Indústria
- Agricultura e Indústria -> Qualidade de Vida -> Imigração -> População



2 Loops Negativos:

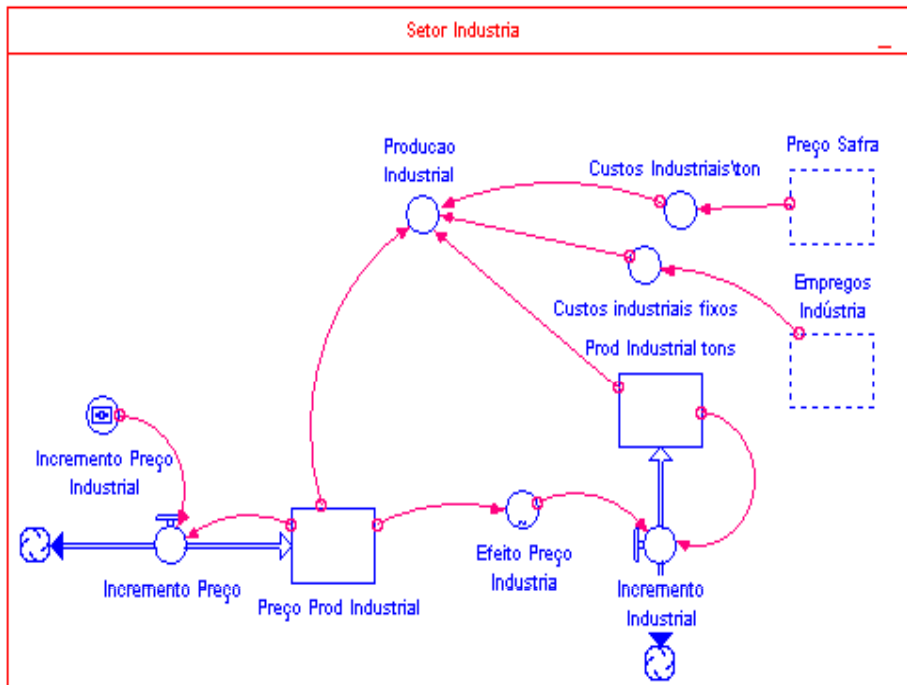
- População -> Preservação dos Recursos Naturais -> Atratividade Local -> Qualidade de Vida -> Imigração
- Turismo -> Preservação dos Recursos Naturais -> Atratividade Local

Sub-modelo Agrícola



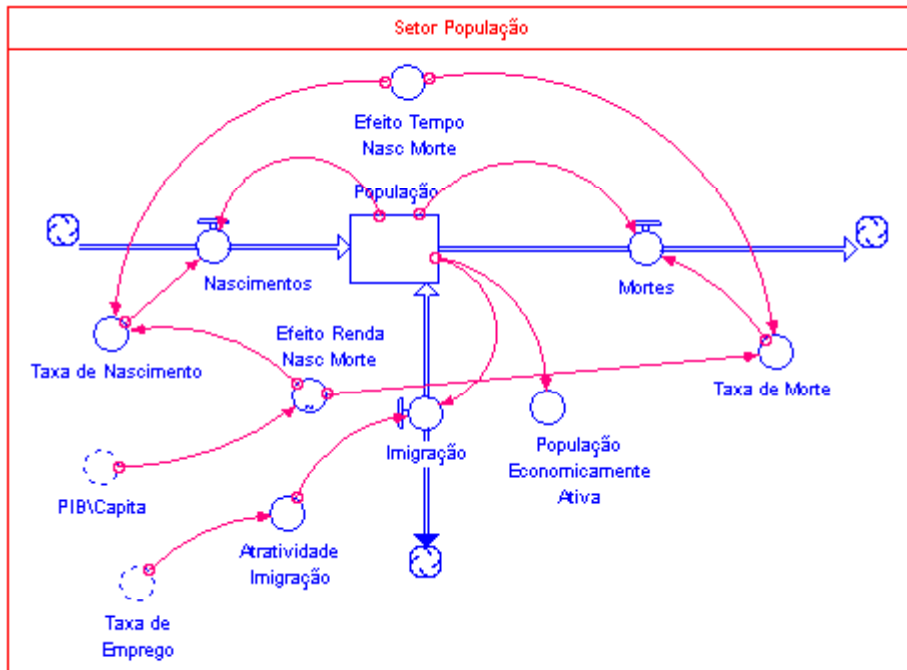
A agricultura na região de Barra Bonita desempenha importante papel na economia local ao fornecer matéria-prima para o setor industrial. A principal cultura local é a cana-de-açúcar, que responde por quase a totalidade do valor adicionado ao PIB local, que é de cerca de R\$20,5 milhões para o setor agropecuário. Outra atividade relevante é a cultura de milho. Apesar da participação na economia local ser de apenas 4%, o impacto que essa atividade traz ao meio-ambiente deve ser levada em conta. Com a tendência de aumento de preços de produtos derivados da colheita de cana, cada vez será maior a pressão para a expansão da área cultivada, podendo atingir áreas de reserva de mata nativa. Investimentos em pesquisa permitem o melhoramento de técnicas agrícolas, que causa uma maior produtividade por área plantada, diminuindo os custos e também promovendo melhor uso dos recursos naturais.

Sub-modelo Industrial



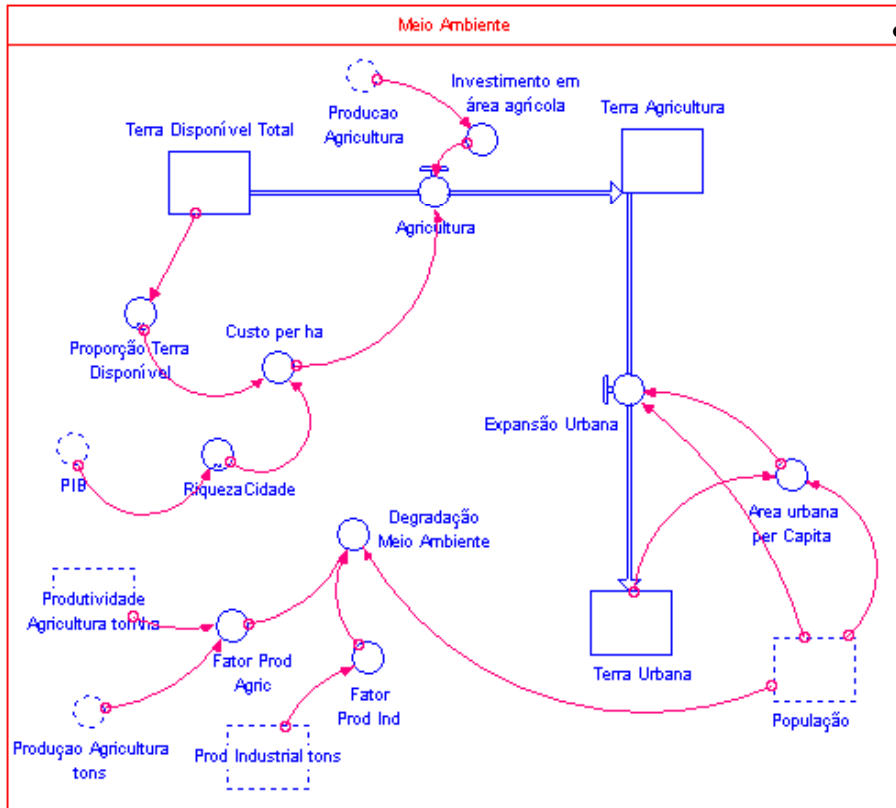
- A indústria em Barra Bonita corresponde por cerca de 60,4% do valor adicionado ao PIB barrabonitense. As principais indústrias instaladas no local são a Usina da Barra, produtora de açúcar e álcool, e a Ciclotron, de produtos eletrônicos. Nesta modelagem, consideramos apenas a Usina como a grande empregadora e produtora da região, de forma que se pode considerar que a produção industrial provém apenas desta empresa.
- A produção industrial é composta por quatro variáveis: produção em tons, preço por tons, custo por tons e custo fixo. O nível de produção é influenciado pelo preço do produto, quanto maior o preço, maior será o incremento na produção industrial. Já os custos são influenciados por sua vez pela quantidade de empregados e pelo custo de matéria-prima, que é a cana-de-açúcar.

Sub-modelo Populacional



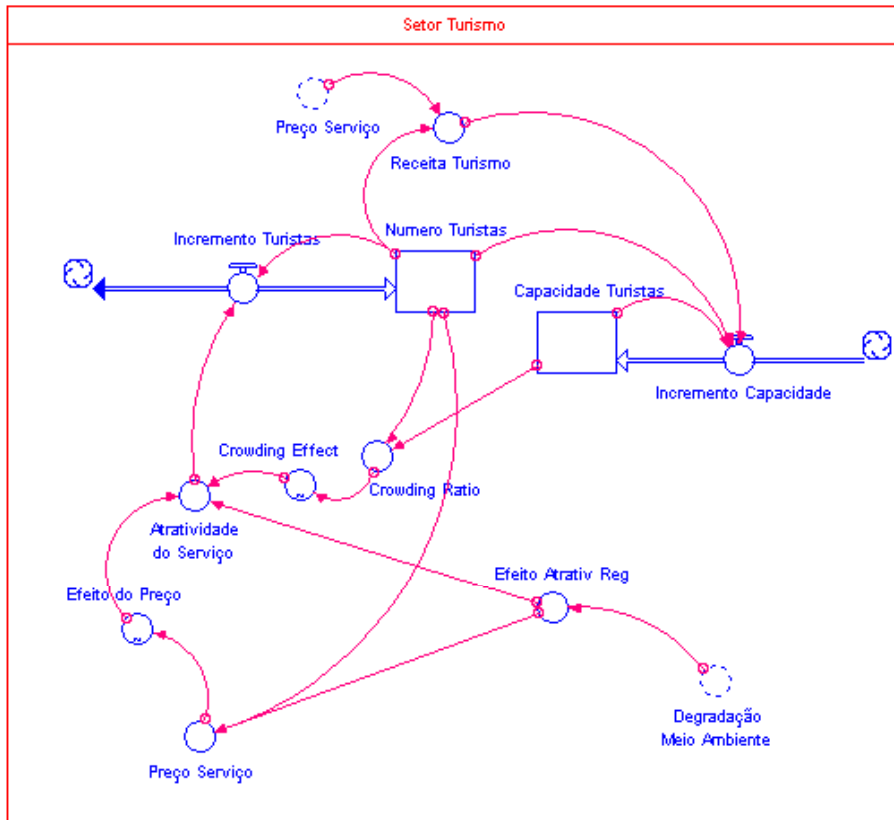
O número total de residentes em Barra Bonita é de 35 mil habitantes, com cerca de 420 nascimentos e 199 mortes por ano. As taxas de nascimento e morte são influenciadas pela renda média familiar. Quanto maior a renda, menor será a propensão a ter filhos, porém maior será o acesso a serviços de saúde, causando na diminuição da taxa de mortes. Além do crescimento vegetativo da população, há outra variável que entra nos cálculos populacionais, que é a imigração. Em nosso modelo, o fluxo de imigração é basicamente influenciado pelas oportunidades locais de emprego e pelo PIB per capita local. Nesta modelagem não foi incluído o fator de envelhecimento da população, o que faz com que a população economicamente ativa seja constante em cerca de 36% da população

Sub-modelo Meio-Ambiente



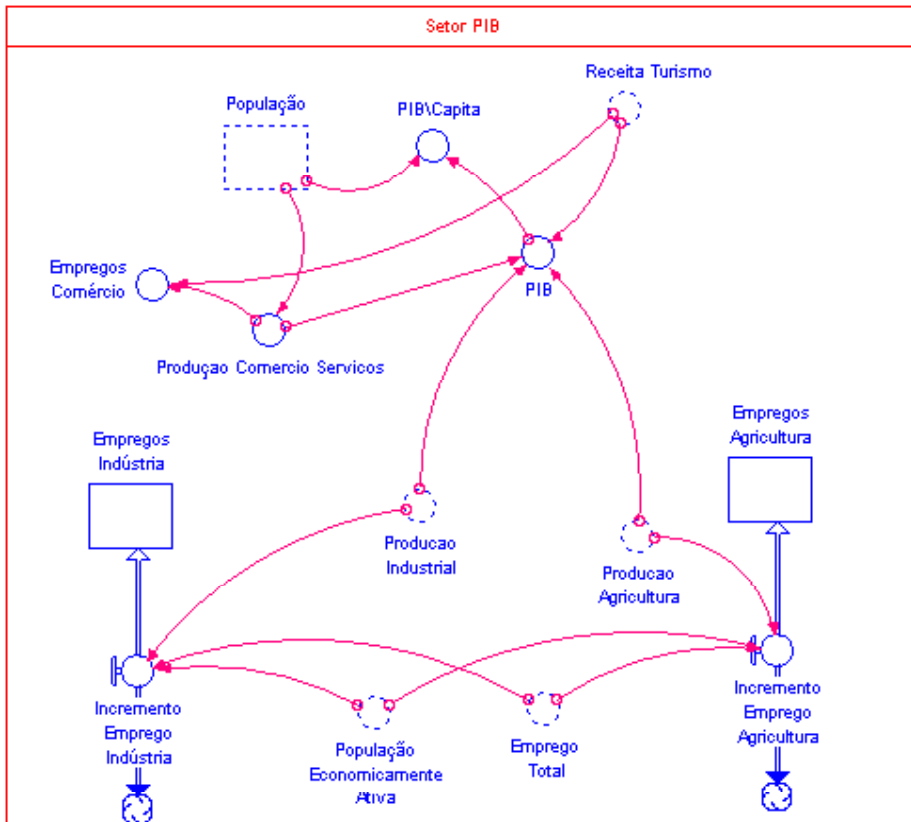
O sub-modelo a seguir representa o meio-ambiente. Nele está discriminado o uso das terras para a agropecuária e massa urbana, além das terras que estão sem uso e disponíveis. O município de Barra Bonita possui cerca de 150 km² de área total. Deste total, a agropecuária utiliza cerca de 11 000 ha, a massa urbana ocupa cerca de 1 500 ha e a terra coberta por mata ou não utilizada tem cerca de 400 ha. O restante é de terras indisponíveis para o uso. Em nosso modelo, a terra disponível pode ser transformada em área de cultivo, enquanto a massa urbana se expande sobre áreas que antes eram utilizadas pela agricultura. Para o consumo de terras disponíveis, foi criado um enlace de equilíbrio, conforme for menor a quantidade destas e maior for a riqueza produzida na cidade, maior será o custo para utilizá-las. Com isso, o ritmo de consumo destas terras irá diminuir à medida que sua disponibilidade também diminuir. A o meio-ambiente local se degrada com o aumento populacional, da produção da indústria e da produção da agricultura. Caso haja aumento na produtividade do campo e da indústria, o uso mais racional dos recursos naturais e melhores técnicas de prevenção da poluição permitirão que o conseqüente aumento de produção não seja acompanhado por degradação ambiental.

Sub-modelo Turismo



O turismo é uma atividade de crescente participação na economia de Barra Bonita. A figura 18 mostra o sub-modelo do turismo, que incorpora o número de turistas que visitam a cidade a cada ano. O número de turistas é influenciado pela capacidade que a rede hoteleira local consegue hospedar anualmente e também pela capacidade local de atrair mais turistas. Esta atratividade está ligada ao turismo ecológico, que depende da preservação do meio-ambiente local, às despesas de transporte, alimentação e hospedagem, e também à sensação de lotação, que relaciona a quantidade de turistas à infraestrutura local de suporte ao turismo..

Sub-modelo PIB



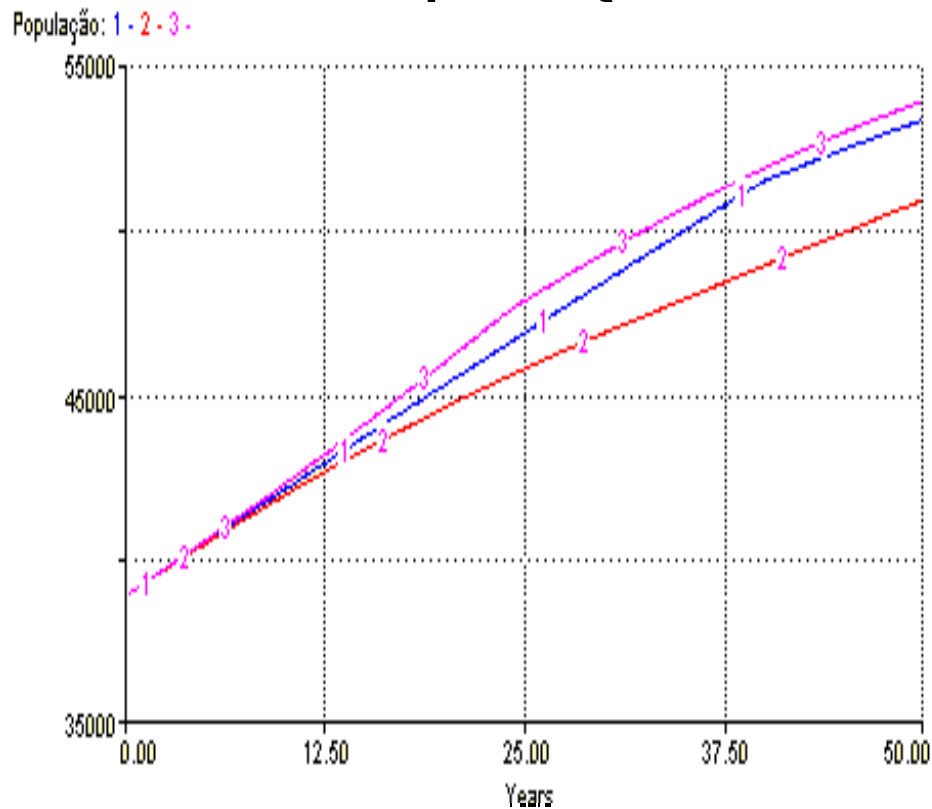
- O PIB de uma região é a soma de toda a riqueza produzida ao longo de um determinado período. Logo, em nosso modelo o PIB será representado pelas riquezas produzidas pelos setores de serviço, industrial e agrícola. Neste sub-modelo também são definidos os parâmetros sociais de emprego e de renda para a população.
- Para a composição do PIB, foi considerado que a agricultura participa, no ano padrão de 2007, com 4%, serviços com outros 35,6% e a indústria com 60,4%.

Cenários

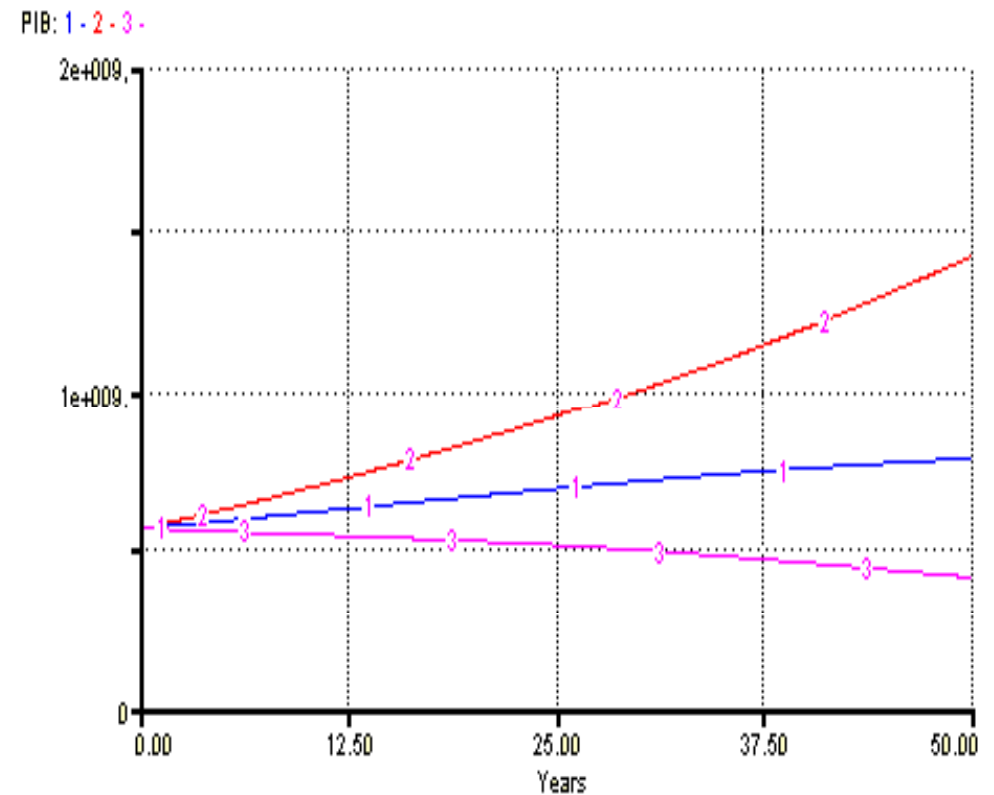
- **Cenário Padrão:** álcool mantém sua participação atual na matriz energética, não havendo variações do custo de produção e nem no preço de venda.
- **Cenário Otimista:** com a escassez de fontes de energia ao redor do mundo, o álcool se torna importante alternativa de combustível renovável. Com isso, o preço do produto industrializado tem aumento, porém, a maior procura por matéria-prima faz o preço da cana-de-açúcar se elevar também.
- **Cenário Pessimista:** queda no preço do álcool e açúcar, devido a superoferta destes produtos decorrente dos pesados investimentos em produção, desproporcionais a ao aumento da demanda.

Resultados

População



PIB

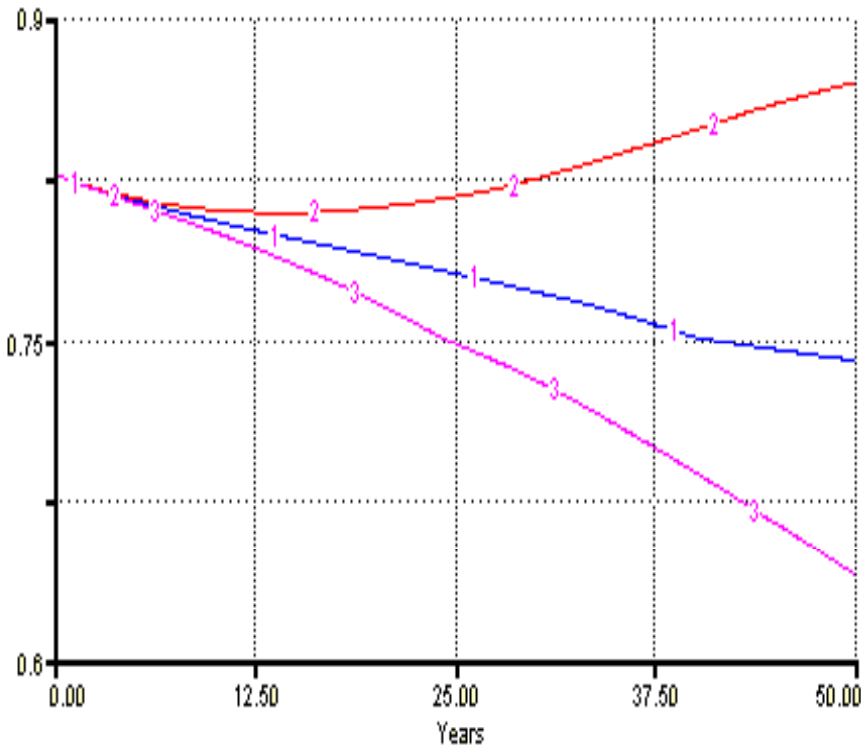


1 – Cenário Padrão; 2 – Cenário Otimista; 3 – Cenário Pessimista

Resultados

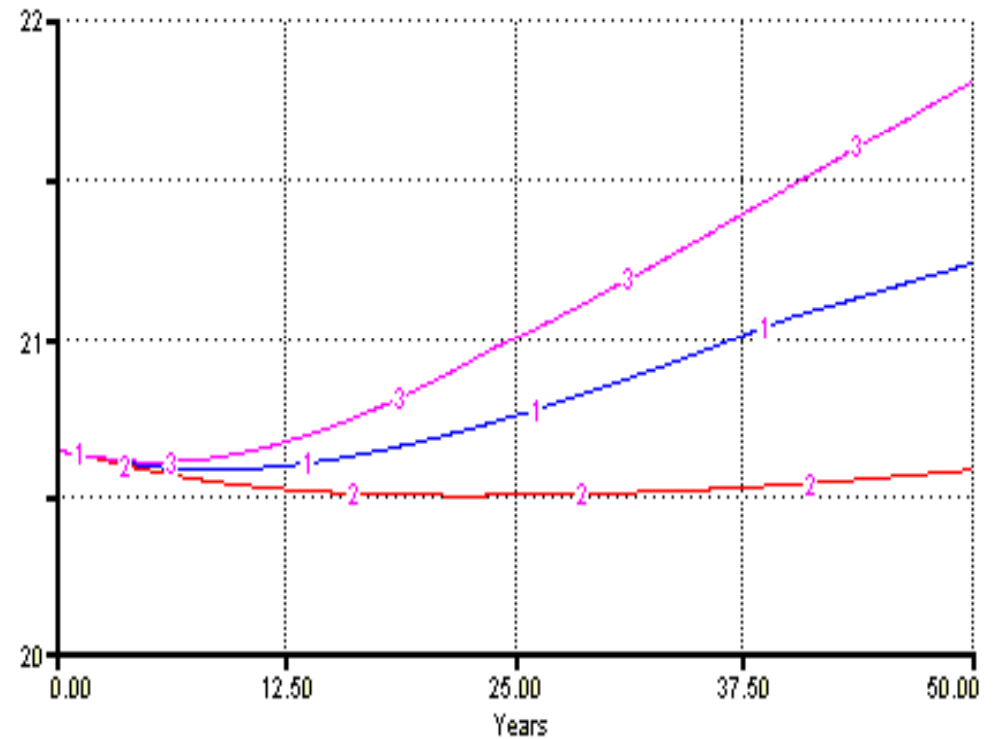
Taxa de

Taxa de Emprego: 1 - 2 - 3 -



Degradação Meio Ambiente

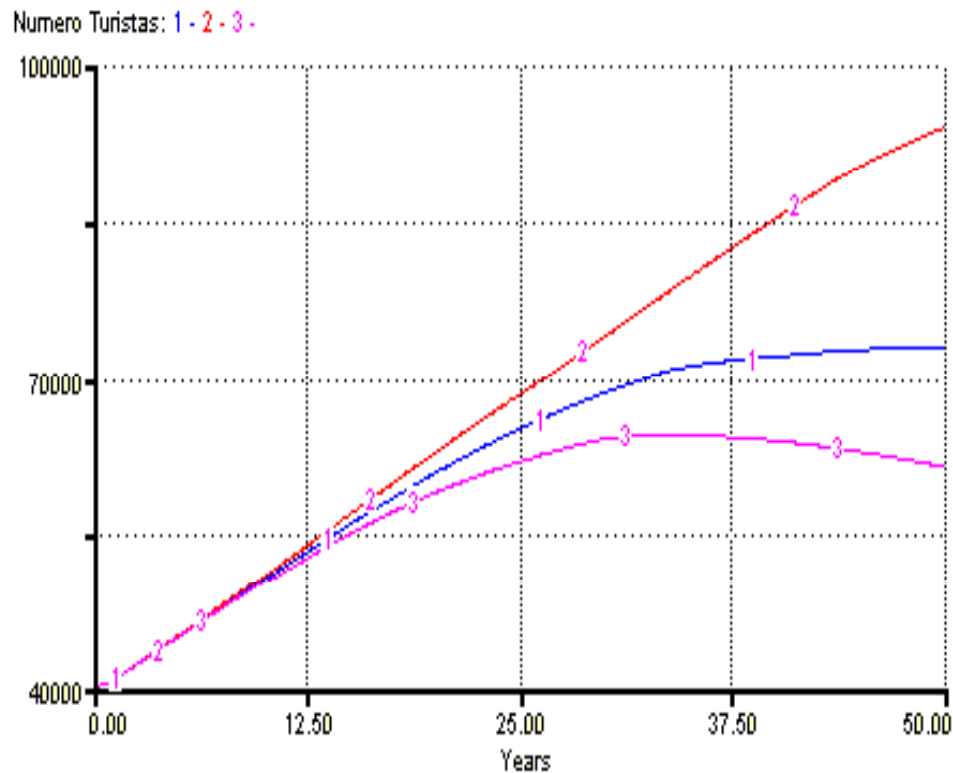
Degradação Meio Ambiente: 1 - 2 - 3 -



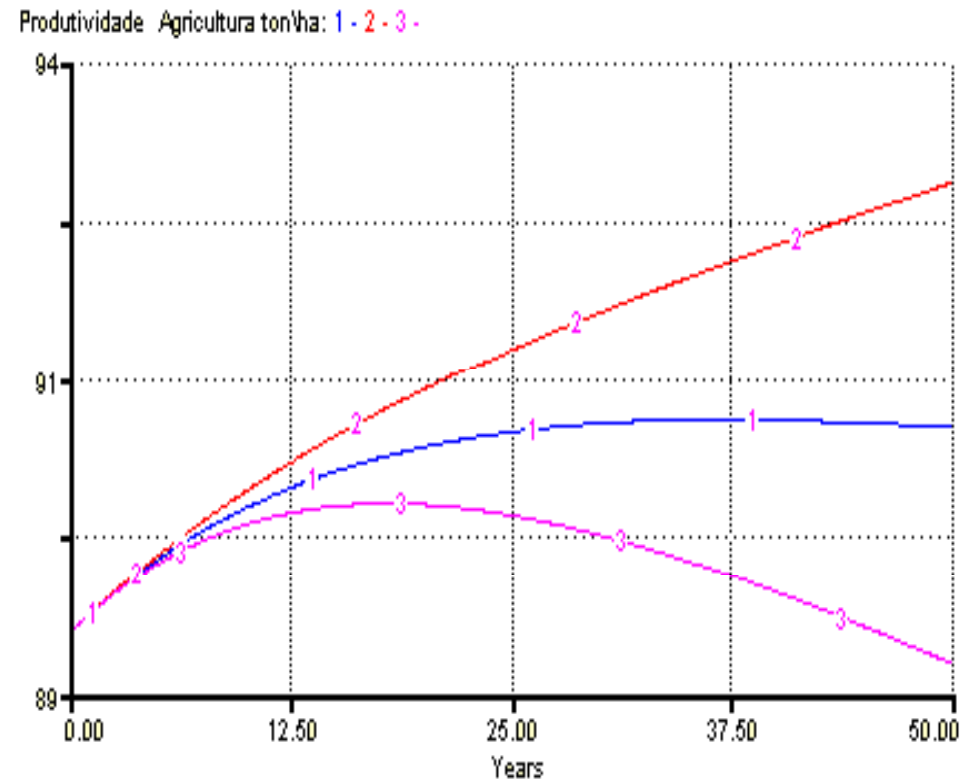
1 – Cenário Padrão; 2 – Cenário Otimista; 3 – Cenário Pessimista

Resultados

Número de Turistas



Produtividade Agricultura ton/ha

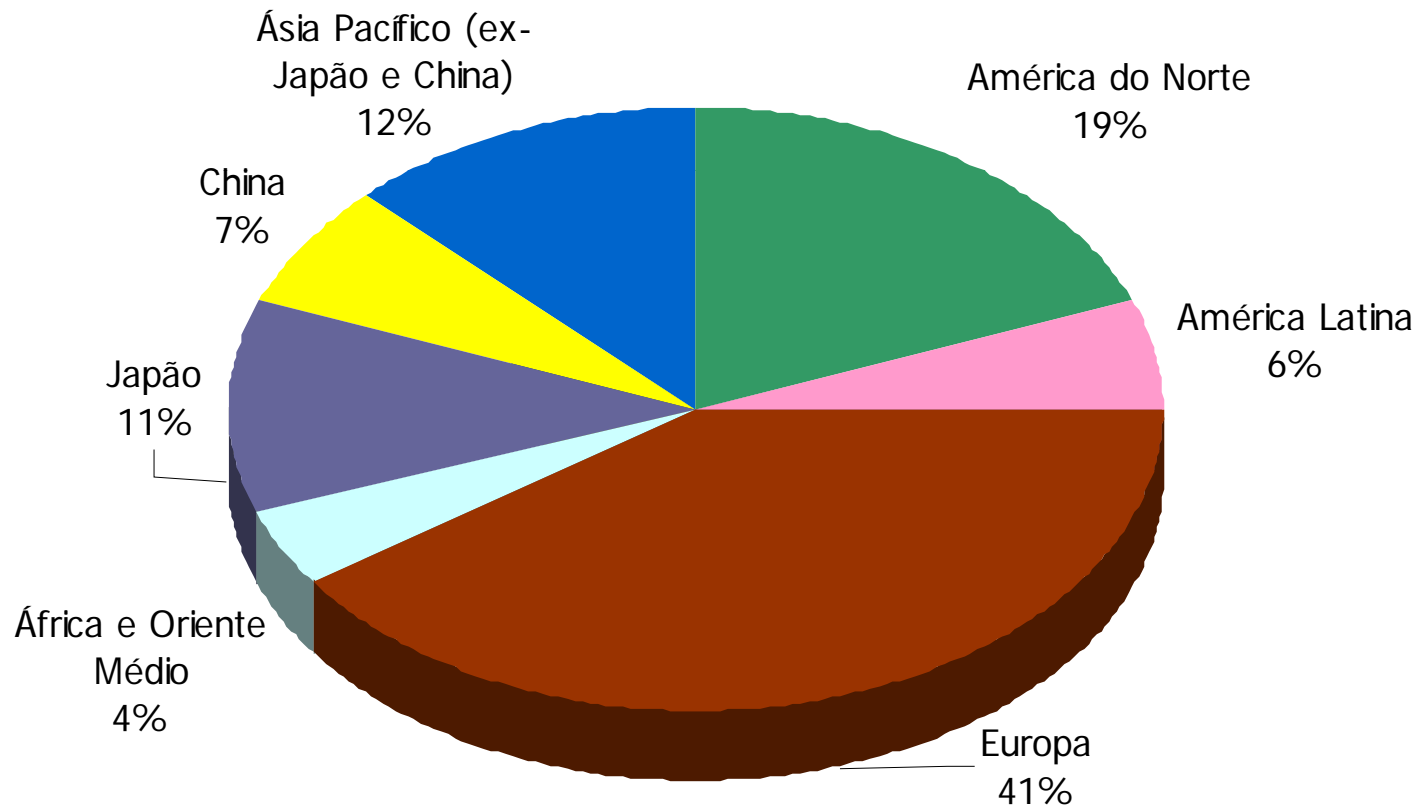


1 – Cenário Padrão; 2 – Cenário Otimista; 3 – Cenário Pessimista

¿CÓMO ES LA INDÚSTRIA DEL ALCOHOL COMPARADA CON la Indústria Química ? Ranking de los Países (2003)

Total : US\$ 1,9 trillones EM
INDUSTRIA QUIMICA !!!

Total : US\$ 2,9 mil millones EM
INDUSTRIA DE ETANOL !!!



Gracias por la atención,
no tenemos conclusiones y si
cada diapositiva con una
reflección

Biorrefinaria Virtual

Cellulosic Ethanol: Join us in this Challenge

Luiz A. Barbante Tavares – ProjNet / Song Won Park – Poli USP

Virtual Biorefinery: Virtuality to Reality (V2R)

▪Conceptual Engineering

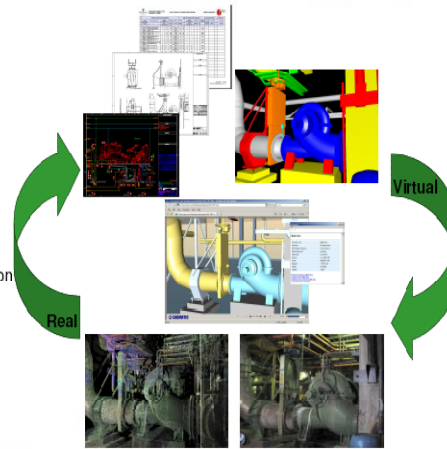
State-of-the-Art Technology Analysis
Process Risk Strategy
Investment Estimate
Feasibility Studies
Market Survey
Process Development
Productivity and Quality Improvement

▪Basic and Detailed Projects

Process Engineering
Piping, Mechanical and Lay-out
Electrical, Instrumentation and Automation
Steel and Concrete Structure Design
Architectural Project

▪Project Management

Planning and Scheduling
Budget Control

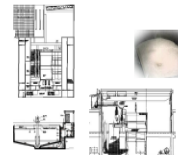


- Virtual Plant Design
- Intelligent Flowsheets
- Process Simulation (Mass and Heat Balance)
- CFD Equipment Design (Tailor Made)
- Laser Scanned As Built
- Applications and Customized Tools
- Business Modeling



- Cadmatic Plant Design Software (Finland)
- ProjNet Sistemas: Latin America Dealer

Download Free:
Virtual Chemical Plant
www.cadmatic.com

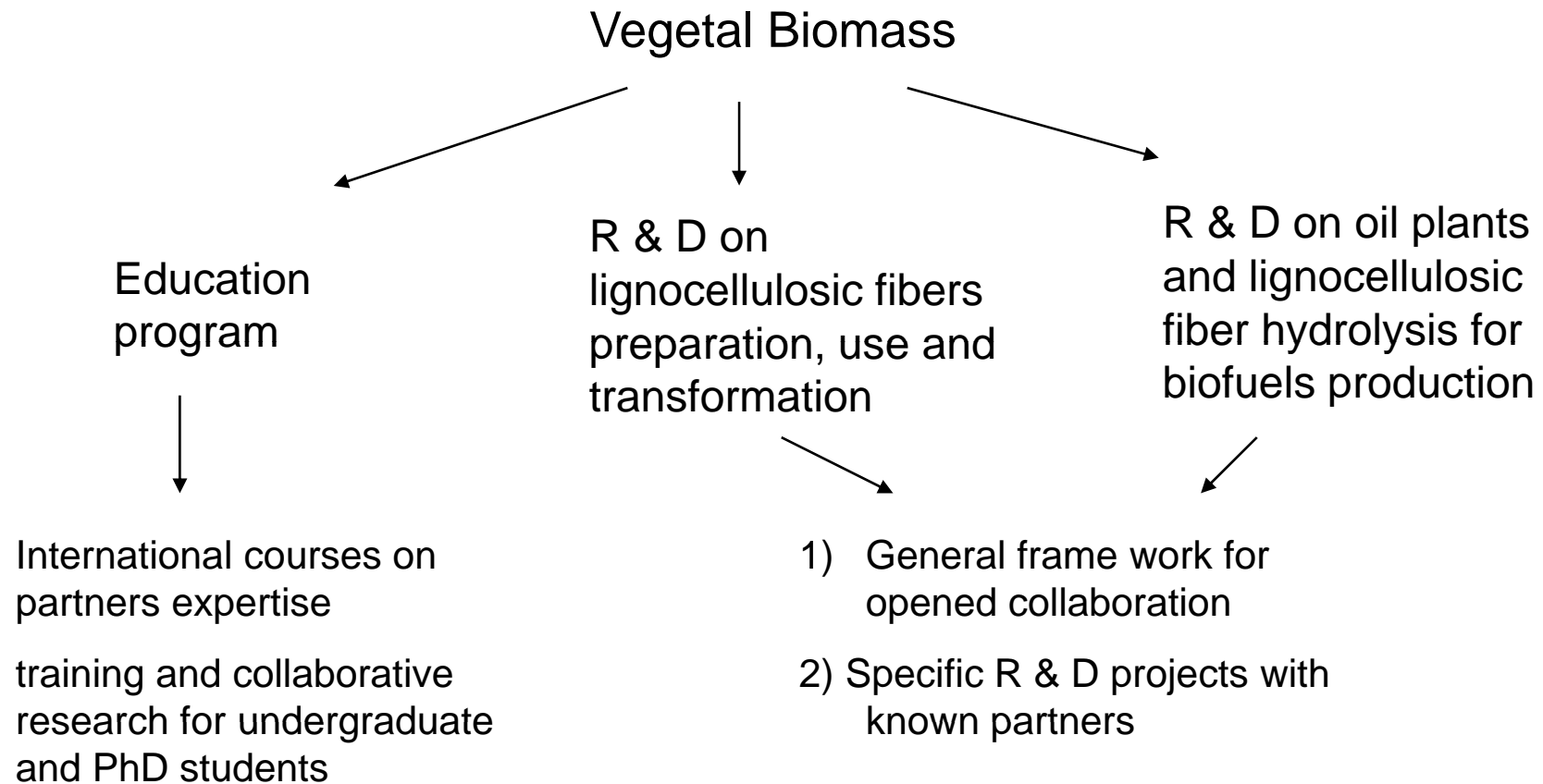


Project
WideNetwork based
ProjNet, a new concept
for consulting and
engineering services

Academic Research Cooperation:
Song Won Park – Poli USP

Contact:
Luiz A. Barbante Tavares: luiz@projnet.com.br
ProjNet Engenharia Ltda
Rua Cotoxó, 32, 05021-000 São Paulo, SP Brasil
tel/fax: 55(11) 3871 1977 / 3875 6792
eMail: engenharia@projnet.com.br
Website: www.projnet.com.br

General frame work under USP-Abô Akademi international collaboration



How we work in the international co-operation?