



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR PALOTINA
Programa de Pós-Graduação em Bioenergia
Disciplina: Combustíveis e Biocombustíveis

Biomassa

Prof. Dr. Fabiano Bisinella Scheufele

2017
Palotina - PR

Conteúdo

1. Definições e conceitos
2. Questões sócio-ambientais
3. Sistemas dendroenergéticos: Florestas nativas, Cultivos energéticos, Biomassa Aquática, Resíduos e subprodutos da biomassa, Resíduos e subprodutos da biomassa
4. Caracterização dos recursos dendroenergéticos
5. Controle de qualidade e análises físico-químicas específicas
6. Processos básicos de conversão
7. Aplicações
8. Restrições à disponibilidade

Conteúdo

1. **Definições e conceitos**
2. Questões sócio-ambientais
3. Sistemas dendroenergéticos: Florestas nativas, Cultivos energéticos, Biomassa Aquática, Resíduos e subprodutos da biomassa, Resíduos e subprodutos da biomassa
4. Caracterização dos recursos dendroenergéticos
5. Controle de qualidade e análises físico-químicas específicas
6. Restrições à disponibilidade
7. Processos básicos de conversão
8. Aplicações

Referências Bibliográficas

► Bibliografia (sugerida):

- Cortez, L.A.B.; Lora, E.E.S.; Olivares Gómez, E. **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Ed. Unicamp, 2008.
- Nogueira, L.A.H. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**, 2ª Ed., 2003.
- Lora, E.E.S.; Venturini, O.J.; Moura, A.G. **Biocombustíveis**, Vol. 1 e Vol. 2. Ed. Interciência, 2012.

Introdução

► O que é Biomassa???

Biomassa

► Definição de biomassa

“O termo **Biomassa** (em termos de ecologia) refere-se ao total de **matéria orgânica**, morta ou viva, existente nos organismos (animais ou vegetais) de uma determinada comunidade ou ecossistema, ou seja, a massa total de matéria orgânica que se acumula num espaço vital.”

- As biomassas podem ser recuperadas ou obtidas através de:
 - resíduos florestais, agrícolas, pecuários e até mesmo urbanos

- Destinação em algumas aplicações convencionais como:

1. fertilização dos solos para agricultura
2. produção de **energia primária**

► **Energia primária**: é toda a forma de energia disponível na natureza antes de ser convertida ou transformada (e.g. combustíveis crus, a energia solar, a eólica, a geotérmica, dentre outras).

Biomassa

▶ Definição de biomassa

- ▶ Do ponto de vista da geração de **energia**:

“O termo **biomassa** abrange os derivados recentes de organismos vivos utilizados como combustíveis ou para a sua produção.”

- ▶ Apesar da diferença dos conceitos
 - ▶ ambos estão interligados entre si

▶

Biomassa

▶ Alguns autores definem biomassa como:

“Qualquer material derivado da vida vegetal e que seja renovável em um período de tempo inferior a 100 anos.”

▶ Definição de biomassa:

- ▶ Combustíveis tradicionais (fósseis) são **desconsiderados**
 - petróleo, carvão mineral e xistos betuminosos
 - ▶ **não** são considerados **renováveis**
 - ▶ apesar de serem derivados da vida vegetal

▶ Termo “**biomassa**”

- ▶ vem se popularizando significativamente nos últimos anos
- ▶ devido às crescentes preocupações relacionadas às **fontes de energia**

▶

Biomassa

▶ Definição de biomassa

“Qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica é classificada como **biomassa**.”

- ▶ De acordo com a sua origem, pode ser:
 - ▶ **Florestal** (madeira, principalmente)
 - ▶ **Agrícola** (subprodutos de soja, arroz e cana-de-açúcar, entre outras)
 - ▶ **Rejeitos urbanos e industriais** (sólidos ou líquidos, como o lixo)
- ▶ Derivados obtidos:
 - ▶ Dependem tanto da **matéria-prima utilizada** (cujo potencial energético varia de tipo para tipo)
 - ▶ Quanto da **tecnologia de processamento** para obtenção dos energéticos

Fonte: (ANEEL, 2008)

▶

Generalidades

▶ **Biomassas** → produção de energia

▶ **Vantagens:**

- ▶ Baixo custo
- ▶ Proveniência **renovável**
- ▶ Permite o reaproveitamento de resíduos
- ▶ Menos poluente que outras formas de energias
 - ▶ (e.g. obtida a partir de combustíveis fósseis)

▶

Conceitos

▶ Caráter renovável da biomassa se dá por meio do **ciclo do carbono**:

- ▶ Queima da biomassa ou de seus derivados
 - ▶ provoca a liberação de CO₂ na atmosfera
- ▶ Organismos autotróficos (e.g. plantas, cianobactérias e algas)
 - ▶ Fotossíntese
 - ▶ CO₂ → hidratos de carbono (carboidratos)
 - ▶ Liberando O₂ para o ambiente

▶ Neste sentido,

- ▶ a utilização da biomassa (desde que não seja de forma predatória)
 - ▶ não altera a composição da atmosfera

▶

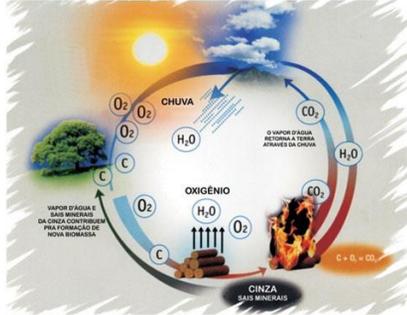
Conceitos

▶ **Análise de ciclo de vida:** Sustentabilidade

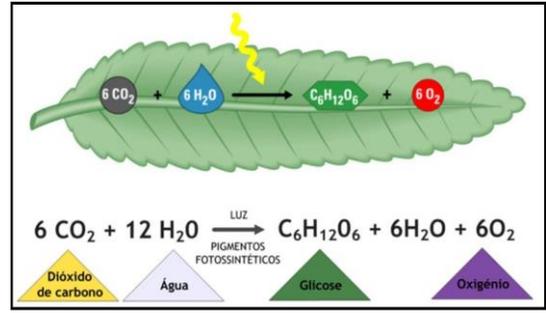
“A queima de **biomassa** leva à liberação de dióxido de carbono na atmosfera, no entanto este composto já havia sido absorvido previamente pelas plantas que deram origem ao combustível, de forma que o balanço de emissões de CO₂ é nulo.”

▶

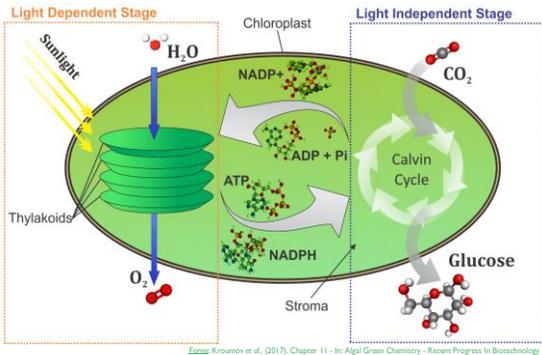
Ciclo do carbono – Energias renováveis



Ciclo do carbono – Energias renováveis



Ciclo do carbono – Fotossíntese



Fonte: Krasnov et al., (2017), Chapter 11 - In: Algal Green Chemistry - Recent Progress In Biotechnology

Conceitos

► Biomassa constitui-se como

- Recurso renovável de armazenamento de energia
- Forma indireta de energia solar → energia química (fotossíntese)
- pode ser convertida em: **eletricidade**, **combustível** ou **calor**

► Uso da biomassa se destaca:

1. Alta densidade energética
2. Facilidade de armazenamento, conversão e transporte
3. Semelhança entre os motores com utilização de biomassa e os que utilizam energias fósseis
 - Substituição das formas de obtenção de energia não teria grandes impactos na indústria e setor automobilístico

Biomassa e energia

► Energia solar:

- atinge a superfície terrestre é gigantesca (173.000 TW – terawatt - 10¹²)
- 17.000 vezes o consumo humano de combustíveis fósseis

► Biomassas:

- Limite máximo de eficiência de captura de radiação solar
 - até 15% (na maioria das espécies o rendimento é de 1% ou menos)

► Energia capturada por fotossíntese

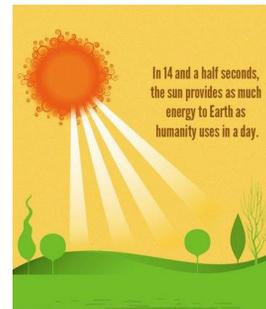
- Aproximadamente 140 TW
- Pequena porcentagem da energia solar disponível ao nosso planeta

► Apesar disso, o volume total de biomassa produzido → **significativo**

- Acima de 10 vezes demanda energética humana
- ≈ 100 bilhões de toneladas de carbono → convertidas à biomassa a cada ano

Fonte: (Abbasi & Abbasi, 2010)

Biomassa e energia



► Fonte: Clean Technica: Acesso em 07/03/2016 <<http://cleantechnica.com/2012/04/18/in-14-and-a-half-seconds/solar-energy-potential/>>

Biomassa e energia

▶ Biomassa:

- ▶ Pode ser considerada uma forma de armazenamento da energia solar
 - ▶ Plantas convertem a energia solar (fotossíntese) com eficiência de 0,1%
 - armazenando-a, durante muito tempo, nas folhas, nos caules, nas flores, etc.
 - Condições limite: energia na biomassa pode ser armazenada infinitamente (sem perdas significativas)

▶ Biomassa:

- ▶ é a única energia renovável que pode ser convertida em:
 - ▶ combustíveis gasosos, líquidos ou sólidos
 - ▶ tecnologias de conversão conhecidas

- ▶ Neste contexto, o “**portador universal de energia renovável**” pode ser usado num **vasto campo de aplicações** no setor da **energia**

Biomassa e energia



Contextualização:
“Alemanha alcançou um patamar de 95% de uso de energias renováveis” (08/05/14)
 Fonte: futurism.com/germany-ran-95-renewable-energy-last-sunday/

“Alemanha poderia ser um modelo de como se obter energia no futuro”
 A revolução energética desta nação europeia a tornou líder na substituição de usinas nucleares e combustíveis fósseis por tecnologias de energia eólica, solar e biomassa.
 Fonte: ngn.nationalgeographic.com/2015/11/climate-change/germany-renewable-energy-revolution-text0

Biomassa e energia

▶ Biomassa

- ▶ é uma **fonte de energia: limpa e renovável**
 - ▶ disponível em grande abundância e derivada de materiais orgânicos
- ▶ Todos os organismos capazes de realizar fotossíntese (ou derivados deles) podem ser utilizados como biomassa
 - ▶ **Exemplo:** restos de madeira, estrume de gado, óleos vegetais ou até mesmo o lixo urbano
- ▶ Grandes esforços tem sido feitos (P&D) → obter energia a partir da biomassa – **motivos:**
 - ▶ (i) **Combustíveis fósseis:** reservas de petróleo e carvão mineral têm previsões de esgotamento
 - ▶ (ii) **Energia elétrica:** está cada vez mais escassa (já que essa energia depende da força da água no caso de hidroeletricidade)
 - ▶ (iii) **Energia nuclear:** acarreta em uma série de riscos ambientais

Contextualização: Recursos energéticos mundiais



- ▶ **Prefixo: yotta = 10²⁴ (septilhão)**

▶ **Fonte:** Travel Insurance: Acesso em 07/03/2016: <http://www.travelinsurance.org/energy-consumption-resources/>

Biomassa e energia

▶ Fator importante (RSUs):

- ▶ humanidade → produção cada vez elevada de lixo
 - ▶ também pode ser empregado na produção de energia
 - ▶ auxiliando na solução de diversos problemas, dentre eles:
 - Diminuição do nível de poluição ambiental;
 - Contenção ou mitigação do volume de lixo produzido das cidades;
 - Aumento da produção de energia.
- ▶ **Vantagens** (uso do lixo como fonte energética):
 - ▶ Energia limpa e renovável;
 - ▶ Menor corrosão de equipamentos;
 - ▶ Resíduos emitidos pela sua queima não interferem no efeito estufa;
 - ▶ Ser uma fonte de energia descentralizadora de renda;
 - ▶ Reduzir a dependência de petróleo por parte de países subdesenvolvidos;
 - ▶ Diminuir o lixo industrial (já que ele pode ser útil na produção de biomassa);
 - ▶ Ter baixo custo de implantação e manutenção.

Biomassa e energia: Potencial

- ▶ Dentro da biomassa, podemos distinguir algumas **fontes de energia com potencial energético** considerável tais como:
 - ▶ Madeira (e seus resíduos)
 - ▶ Resíduos agrícolas
 - ▶ Resíduos municipais sólidos
 - ▶ Resíduos animais
 - ▶ Resíduos da produção alimentar
 - ▶ Plantas aquáticas
 - ▶ Algas

Potencial futuro: Aproveitamento de resíduos em geral e biomassas subaproveitadas

Histórico de utilização da biomassa

- ▶ **Pré-história: Biomassa (Madeira)**
 - ▶ Principal fonte energética → longo período de tempo
 - Óleos de fontes diversas em menor escala (e.g. iluminação)
- ▶ **Revolução Industrial:**
 - ▶ Grande salto da biomassa → advento da lenha na siderurgia
 - ▶ Revelação da tecnologia a vapor
 - Biomassa (papel primordial) → obtenção de energia mecânica
 - Indústria e nos transportes
- ▶ **Século XIX-XX:**
 - ▶ uso da biomassa → energia do carvão/petróleo e gás natural
- ▶ **Atualmente:**
 - ▶ Maior parte dos países (desenvolvidos ou não)
 - ▶ **Promovendo ações → para energias alternativas**
 - ▶ participação significativa em suas matrizes energéticas
 - ▶ **Motivação:** necessidade de redução do uso de derivados do petróleo
 - diminuir a emissão GEEs
 - dependência energética em relação aos países exportadores de petróleo

Distribuição de biomassas no mundo

- ▶ **Brasil → Potencial**
 - ▶ produção de biomassa em todo seu território
 - ▶ **Características favoráveis:**
 - ▶ Extensão territorial
 - ▶ Relevo
 - ▶ Clima
 - ▶ Solo
 - ▶ Irradiação solar
 - ▶ dentre outras
- ▶ Poderia ser independente da indústria do petróleo e demais fontes não-renováveis
 - ▶ devido à quantidade e diversificação de biomassas disponíveis
 - ▶ potencial **ainda vagamente explorado** de produção de biomassas



Distribuição de biomassas no mundo

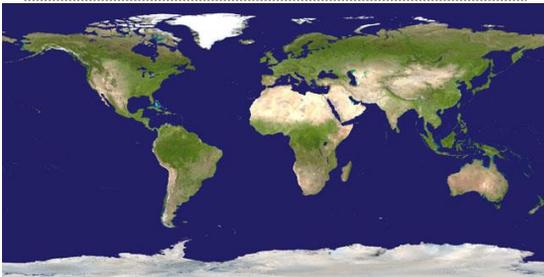


Figura 1. Distribuição da biomassa na Terra. Fonte: NASA

Contexto biomassa: Brasil

- ▶ **Atualidade**
 - ▶ **Biomassa:** a segunda principal fonte de energia no Brasil
 - ▶ Brasil é um dos poucos países do mundo com potencial de substituir **completamente** as energias fósseis
- ▶ **Principais fontes de energia primária utilizadas no Brasil**
 - ▶ **Biomassa:** 2ª colocação - 32,7% (atrás petróleo e derivados)
 - ▶ Etanol (cana), carvão vegetal, bagaço, lenha, dentre outros
 - ▶ Totalizando: 60,1 x 10⁶ tep (toneladas equivalentes de petróleo)
 - ▶ Derivados da cana-de-açúcar
 - tem apresentado maior crescimento na produção de energia primária de biomassa

Distribuição de biomassas no mundo

Tabela 1. Produção de energia primária no Brasil (em 2003).

Fonte	Contribuição (%)	Quantidade de energia (10 ⁶ tep)
Petróleo	41,9	77,2
Biomassa *	32,7	60,1
Hidráulica	14,3	26,3
Gás Natural	8,5	15,7
Urânio	1,5	2,7
Outros	1,1	1,9

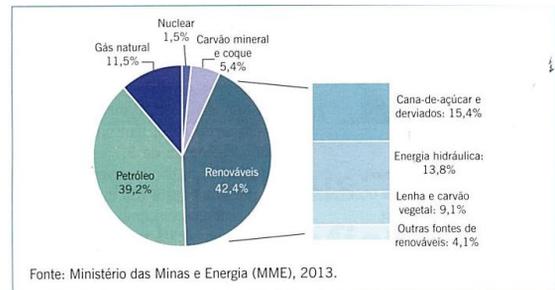
* **Tonelada equivalente de petróleo (tep):** é uma unidade de energia definida como o calor liberado pela combustão de uma tonelada de petróleo cru (= 42 GJ – gigajoules) (utilizada para expressar grandes quantidades de energia - mais intuitivo compreender a "energia liberada em um ton de petróleo" do que a ordem de grandezas de 42 bilhões de joules - 42x10⁹).

Como o valor calórico do petróleo cru depende de sua exata composição química, que pode ser bastante variável, o valor exato da tep é definido por convenção e parâmetro de comparação.

*tep" é a unidade primordial de energia para apresentação dos balanços energéticos nacionais

Petróleo ainda ser o recurso energético mais importante na composição das matrizes energéticas da atualidade (consequência da dinâmica econômico-política subjacente à cultura mundial do petróleo)

Distribuição de biomassas no mundo



Fonte: Ministério das Minas e Energia (MME), 2013.

Figura 3. Fontes renováveis na matriz energética brasileira.

Fontes de biomassa

▶ Principais consumidores de energia da biomassa são:

1. Indústria (51,9%);
2. Setor residencial (16,8%)
 - ▶ tem se reduzido devido à insustentabilidade da cadeia
3. Setor energético (14,7%)
4. Transportes (11,5%)

▶ Viabilização do uso da biomassa no Brasil

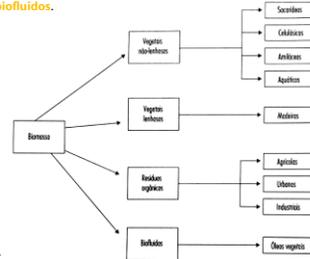
- ▶ Necessário além do **avanço tecnológico** dos processos envolvidos
- ▶ Desenvolvimento de **modelos de gestão e logística**
 - ▶ garantam a sustentabilidade técnica, econômica e ambiental dessa fonte energética → Restrições

▶

Classificação das fontes de biomassa

▶ Geralmente, definida de acordo com sua origem

- ▶ Dentre os tipos de biomassa mais expressivos:
 - ▶ encontram-se os **resíduos vegetais**, **resíduos urbanos**, **resíduos industriais** e os **biofluidos**.



▶ **Figura 2.** Classificação das fontes de biomassa. Fonte: Cortez et al. (2008).

Classificação de biomassas

▶ Quanto ao estado físico:

▶ **Biomassa sólida:**

- ▶ têm como fonte os **produtos e resíduos da agricultura** (incluindo substâncias vegetais e animais), os **resíduos das florestas** e a **fração biodegradável** dos **resíduos industriais e urbanos**.

▶ **Biomassa líquida:**

- ▶ existe em uma série de **biocombustíveis líquidos** com potencial de utilização, todos com origem nas chamadas "**culturas energéticas**".
- ▶ **Ex: Biodiesel**, obtido a partir de óleos de canola ou girassol ou demais fontes lipídicas (e.g. soja, mamona, macaúba, microalgas, etc); **Etanol**, produzido com a fermentação de hidratos de carbono (açúcar, amido, celulose); **Metanol**, gerado pela síntese do gás natural (ou pela gaseificação da biomassa).

▶ **Biomassa gasosa:**

- ▶ é encontrada nos **efluentes agropecuários** provenientes da **agroindústria** e do **meio urbano**. É também obtida nos aterros de RSU (resíduos sólidos urbanos). São resultado da **degradação biológica anaeróbia** da matéria orgânica, e são constituídos por uma mistura de **metano** e **gás carbônico**. Esses materiais são submetidos à **combustão** para a **geração de energia**.

▶

Biocombustíveis

▶ **Definição:**

- ▶ Combustível de origem biológica (não fóssil)
- ▶ São fontes de energia renováveis
 - ▶ Derivados de matérias agrícolas:
 - plantas oleaginosas, biomassa florestal, cana-de-açúcar e outras matérias orgânicas.

▶ Principais biocombustíveis

1. Biomassa
2. Bioetanol
3. Biodiesel
4. Biogás



▶

Classificação de biocombustíveis

▶ **Biocombustíveis**

- ▶ Diferentes tipos de combustíveis
 - ▶ obtidos a partir da biomassa

▶ **Classificação:**

1. combustíveis naturais
2. combustíveis de primeira geração
3. combustíveis de segunda geração
4. combustíveis de terceira geração

▶

Classificação de biocombustíveis

▶ **Biocombustíveis naturais:**

- ▶ são, geralmente, derivados de fontes orgânicas como:
 - ▶ Vegetais
 - ▶ Animais
 - ▶ Lixo orgânico
 - ▶ Gás de aterro sanitário

- ▶ Os combustíveis naturais são geralmente empregados na cocção, aquecimento ou produção de eletricidade

▶

Classificação de biocombustíveis

▶ Biocombustíveis de 1ª Geração:

- ▶ combustíveis derivados de **matérias-primas alimentícias**

▶ Exemplo:

- trigo, palma, milho, soja, cana-de-açúcar, canola, culturas oleaginosas, milho, beterraba

▶ Problemática: Limitações

- **Competição entre combustível e alimento**, que envolve:
 1. Concorrência no uso de terras agrícolas
 2. Estruturas de mercado restritas regionalmente
 3. Falta de práticas de agricultura adequadamente geridas nas economias emergentes
 4. Elevado consumo de água e fertilizantes
 5. Necessidade da conservação da biodiversidade



Classificação de biocombustíveis

▶ Biocombustíveis de 1ª Geração:

- ▶ combustíveis derivados de **matérias-primas alimentícias**



Classificação de biocombustíveis

▶ Biocombustíveis de 1ª Geração:

- ▶ Desta forma, os combustíveis de 1ª geração são atribuídos

▶ à **não ser uma alternativa viável**

- devido à sua influência sobre a:
 - segurança alimentar e demanda global alimentícia

▶ Busca por tecnologias viáveis:

▶ Limitações dos biocombustíveis ditos de primeira geração

- Justificam o **ambiente de busca de inovações em biocombustíveis**
 - Atualmente, diversas P&D (Governo, Academia, Empresas)
 - **Modificar:** Mercado de combustíveis nas próximas décadas
 - **Ex:** Programa de Pós-Graduação em Bioengenharia

Classificação de biocombustíveis

▶ Contexto: Biocombustíveis de 1ª Geração

1. **competem** com alimentos diretamente ao utilizarem **matérias-primas nobres** e de uso alimentar;
 2. competem com os alimentos, mesmo se não deslocam alimentos para uso energético, ao **ocuparem terras férteis** e deslocarem a produção de alimentos;
 3. **não são sustentáveis** do ponto de vista ambiental (exceto pelo etanol de cana-de-açúcar);
 4. **não tem condição**, pelo nível de **produtividade atual**, de serem produzidos nos volumes previstos para atender os programas de utilização de energia renovável;
 5. utilizam matérias-primas com **problemas de qualidade**, disponibilidade e preços que comprometem a viabilidade econômica da indústria (Ex: Biodiesel de fontes alternativas – óleo de fritura);
1. não são substitutos ideais dos derivados de petróleo em termos energéticos e ainda exigem a construção de infraestrutura de transporte, distribuição e a adaptação dos motores.
- ▶ Ex: Problemática do glicerol

Classificação de biocombustíveis

▶ Biocombustíveis de 2ª Geração:

- ▶ são os combustíveis derivados de **resíduos e matérias-primas lignocelulósicas**

▶ Exemplos:

- ▶ bagaço-de-cana, palhas, cascas e demais resíduos agroindustriais, resíduos lenhosos (serragem, cavacos, etc), dentre outros.

▶ Vantagens:

Raízen inaugura usina de etanol de 2ª geração

A Raízen, joint venture entre os grupos Cosan e Shell, inaugurou ontem sua primeira usina produtora de etanol de segunda geração (2G), em Piracicaba (SP). A fábrica, que recebeu investimentos de R\$ 240 milhões, foi erguida na usina Costa Pinto, fundada em 1938 e que deu origem ao grupo Cosan, controlado pelo empresário Rubens Ometto Silveira Mello.



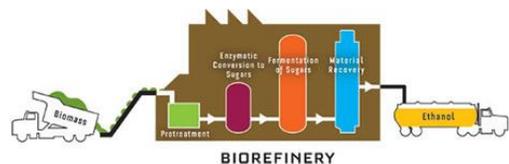
Fonte: economia.estadão.com.br (23 julho 2015)

Etanol (segunda geração)

▶ Biorefinarias

- ▶ Aproveitamento da biomassa para produção do etanol
- ▶ **Etapas adicionais:** (Limitantes técnico-econômicos)

1. Pré-tratamento: ácido, alcalino, térmico, biológico, etc.
2. Conversão enzimática em açúcares → celulasas
3. Fermentação
4. Processos de separação



Classificação de biocombustíveis

▶ Biocombustíveis de 3ª Geração:

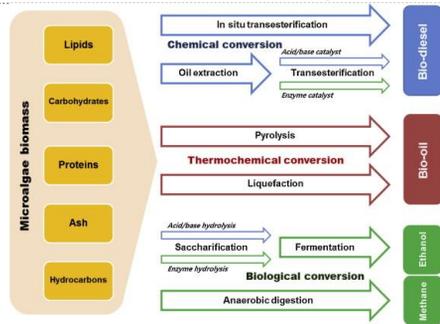
- ▶ Combustíveis produzidos a partir de **macro- e microalgas** como matérias-primas na produção de combustíveis (diversos)
 - ▶ **Exemplos:** bioetanol, biodiesel, biogás, etc.
- ▶ **Potencial:**
 - ▶ Combustíveis de 3ª geração são vistos como uma **alternativa energética**
 - ▶ Com **potencial** tecnicamente viável (que pode superar as principais restrições associadas aos de 1ª e 2ª geração)
- ▶ **Vantagens:**
 - ▶ Alta taxa de crescimento
 - ▶ Eficiência da mitigação de CO₂
 - ▶ Menor demanda de água que as culturas alimentícias
 - (possibilidade de uso de água do mar e efluentes industriais (ETE) - benefícios econômicos e ambientais)
 - ▶ Possibilidade de aplicação em terras não agricultáveis (regiões áridas/desérticas)
 - ▶ Cultivo de custo-efetivo mais elevado

Classificação de biocombustíveis

▶ Biocombustíveis de 3ª Geração:

- ▶ Combustíveis produzidos a partir de **macro- e microalgas** como matérias-primas na produção de combustíveis (diversos)
 - ▶ **Exemplos:** bioetanol, biodiesel, biogás, etc.
- ▶ **Potencial:**
 - ▶ Combustíveis de 3ª geração são vistos como uma **alternativa energética**
 - ▶ Com **potencial** tecnicamente viável (que pode superar as principais restrições associadas aos de 1ª e 2ª geração)
- ▶ **Vantagens:**
 - ▶ Alta taxa de crescimento
 - ▶ Eficiência da mitigação de CO₂
 - ▶ Menor demanda de água que as culturas alimentícias
 - (possibilidade de uso de água do mar e efluentes industriais (ETE) - benefícios econômicos e ambientais)
 - ▶ Possibilidade de aplicação em terras não agricultáveis (regiões áridas/desérticas)
 - ▶ Cultivo de custo-efetivo mais elevado

Biocombustíveis de 3ª Geração



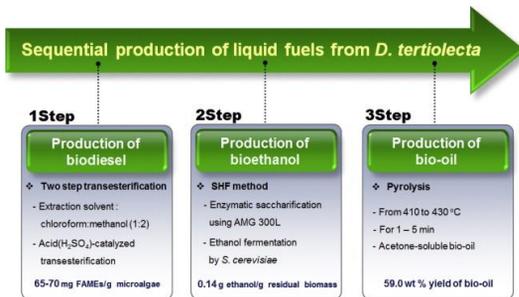
Fonte: Lee et al., (2015)

Classificação de biocombustíveis

▶ Biocombustíveis de 3ª Geração:

- ▶ **macro- e microalgas**
- ▶ **Limitações:**
 - ▶ Ainda existem limitações relacionadas:
 - Ao desenvolvimento de tecnologias efetivas à nível industrial (de produção das algas, *downstream processes*)
 - Logística de obtenção das matérias-primas (CO₂, nutrientes)
 - Transporte dos combustíveis produzidos
 - os quais ainda não possuem uma infraestrutura estabelecida

Biocombustíveis de 3ª Geração



Fonte: Lee et al., (2012)

Classificação de biocombustíveis

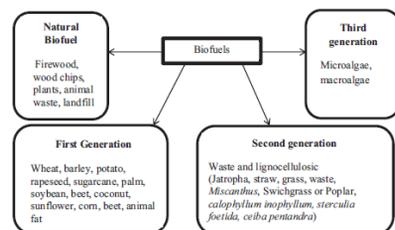


Fig. 1. Generation of biofuels.

Fonte: Noraini et al., 2014

Fontes de biomassa

- ▶ Dependendo do estado de agregação da biomassa
 - ▶ Sólida, líquida ou gasosa
 - ▶ Se determinam os meios de utilização desta
 - ▶ Tipo de infraestrutura de conversão energética
- ▶ **Potencial energético** dos derivados obtidos
 - ▶ Varia de acordo com o tipo de biomassa
 - ▶ Depende
 - ▶ tanto da matéria-prima
 - ▶ quanto da tecnologia de processamento para obtenção dos energéticos

Bibliografia

- ▶ ABBASI, T.; ABBASI, S.A. **Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.14, p.919-937, 2010.
- ▶ CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.E.S.; OLIVARES GÓMEZ, E. **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Ed. Unicamp, 2008.
- ▶ A. D. Kroumow, F. B. Scheufele, D. E. G. Trigueros, A. N. Modenes, M. M. Zaharieva, H. Najdenski. **Chapter 11: Modeling and Techno-Economic Analysis of Algae for Bio-Energy and Co-Products**, Ed. In: R. Rastogi, D. Madamwar, A. Pandey (Eds.) *Algal Green Chemistry - Recent Progress In Biotechnology*, 1. Ed., Elsevier, 2017, 336 p.
- ▶ MAMEDES, J.A.; RODRIGUES, M.P.J.; VANISSANG, C.A. **Biomassa no Brasil**. Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense v. 1, p. 65-73, 2010.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR PALOTINA
Programa de Pós-Graduação em Bioenergia
Disciplina: Combustíveis e Biocombustíveis

Biomassa

Questões sócio-ambientais

2017
Palotina - PR

Conteúdo

1. Definições e conceitos
2. **Questões sócio-ambientais**
3. Sistemas dendroenergéticos: Florestas nativas, Cultivos energéticos, Biomassa Aquática, Resíduos e subprodutos da biomassa, Resíduos e subprodutos da biomassa
4. Caracterização dos recursos dendroenergéticos
5. Controle de qualidade e análises físico-químicas específicas
6. Processos básicos de conversão
7. Aplicações
8. Restrições à disponibilidade

Problemática e contexto ambiental

- ▶ Atualmente
 - ▶ Problemática:
 - ▶ Binômio: **Energia x Meio Ambiente**
 - Escassez de combustíveis fósseis
 - Poluição devido ao seu uso excessivo e crescente
 - Efeito estufa, Aquecimento global, dentre outros → Alterações climáticas
 - Crescimento populacional e industrial

15/12/2015 11h20 - Atualizado em 15/12/2015 11h20

Poluição atmosférica atinge nível perigoso em Xangai

Atividades ao ar livre e trabalho em fábricas e construções foram limitados. - Ar pesado limitou visibilidade e levou índice de qualidade do ar a mais de 300.

Sustentabilidade

- ▶ **Impactos Ambientais**
 - ✓ Desenvolvimento acelerado da indústria no último século;
 - ✓ Preocupação com o meio ambiente;
- ▶ **Indústrias**
 - ✓ Assumiram uma nova posição no mercado;
 - ✓ Produtos "Politicamente corretos no aspecto ambiental";
 - ✓ Imagem no mercado interno e principalmente externo;

Sustentabilidade

Influência do ambiente externo:

- Internacional (CE)
- Social e natural
 - Econômico
 - Político-legal



▶

Protocolo de Kyoto

- ▶ É um instrumento internacional
 - ▶ discutido e negociado (1997) na cidade de Kyoto (Japão)
 - ▶ visa reduzir as emissões de gases poluentes (GEE)
 - ▶ efeito estufa e o aquecimento global
 - ▶ dióxido de carbono, gás metano, óxido nitroso, hidrocarbonetos fluorados, compostos de enxofre
 - ▶ Entrou oficialmente em vigor em 2005
- ▶ Sugestões do Protocolo:
 - I. Aumento no uso de fontes de energias limpas (**biocombustíveis, energia eólica, biomassa e solar**);
 - II. Proteção de florestas e outras áreas verdes;
 - III. **Otimização de sistemas de energia e transporte**, visando o consumo racional;
 - IV. **Diminuição das emissões de metano**, presentes em sistemas de **deposição de lixo orgânico**;
 - V. Definição de regras para a emissão dos **créditos de carbono**¹

▶ **Créditos de carbono:** certificados emitidos para uma pessoa ou empresa que reduz a sua emissão de gases do efeito estufa (GEE); Convenção: 1 tonelada de dióxido de carbono (CO₂) corresponde a um **crédito de carbono**.



ISO 14000

- ▶ **Cobrança/Conscientização ambiental global**
 - ▶ Cobranças de todos os setores industriais
 - ▶ Fornecedores de matéria-prima até acabamento/transporte de produtos
 - ▶ Legislação (Órgão normativos: CONAMA, IBAMA, IAP, etc)
 - ▶ Cobranças cada vez mais rígidas
- ▶ **Série ISO 14000: conjunto de normas ambientais**, não obrigatórias e de âmbito internacional e possibilita a obtenção da **certificação ambiental**, porém esta só pode ser obtida por uma determinada empresa se a mesma implementar um **Sistema de Gestão Ambiental**
 - Norma elaborada pela International Organization for Standardization (ISO), com sede em Genebra, na Suíça.



Conscientização ambiental



- ▶ **Eventos Internacionais**
 - ▶ Discussão e cobrança



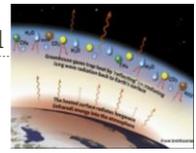
- ✓ Em 1992, evento (ECO-92)
 - ✓ Conferência das Nações Unidas
 - sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento sustentável
 - Rio de Janeiro problemas ambientais elaboração de projetos ambientais Agenda 21.
 - ✓ finalidade: discutir sobre desenvolvimento sustentável;
- ✓ ECO-92 → consolidou a ideia de estabelecer padrões internacionais para política ambiental das indústrias;
 - ✓ Surgimento da ISO 14000 (Normas ambientais)

- ✓ Posteriormente, Protocolo de Kyoto

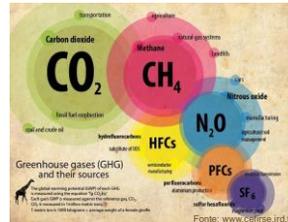
▶

GEEs – Aquecimento global

- ▶ **Reduzir emissões de gases poluentes**
 - ▶ Greenhouse Gases (GHG)
 - ▶ Efeito estufa e o aquecimento global



Fonte: www.climate-change-knowledge.org



Potencial de aquecimento global dos GEE:

CO₂ - Dióxido de Carbono = 1
 CH₄ - Metano = 21
 N₂O - Óxido nitroso = 310
 HFCs - Hidrofluorcarbonetos = 140 ~ 11700
 PFCs - Perfluorcarbonetos = 6500 ~ 9200
 SF₆ - Hexafluoreto de enxofre = 23900

Obs: O potencial de aquecimento global do gás metano é 21 vezes maior do que o potencial do CO₂

▶

ISO 14000

Conjunto de normas

- ▶ Abrange uma grande diversidade de disciplinas ambientais, tais como:

- ✓ **Sistemas de gestão ambiental;**
- ✓ Auditoria ambiental;
- ✓ Avaliação de desempenho ambiental;
- ✓ Rotulagem ambiental;
- ✓ **Avaliação do ciclo de vida;**
- ✓ Avaliação de aspectos ambientais em normas de produtos.

▶

ISO 14000

Rotulagem ambiental

1 = Pol. (Inetralado de etileno)
 2 = Polietileno de alta densidade
 3 = Pol. (lento de virial)
 4 = Polietileno de baixa densidade
 5 = Polipropileno
 6 = Poliestireno
 7 = Outros

	Nome	Símbolo	Descrição
Produtos Ecológicos	Rótulo Ecológico da UE		Produtos com impactos ambientais mais reduzidos ao longo do seu ciclo de vida, relativamente aos outros produtos convencionais
	Rótulo Anjo azul		Para produtos e serviços; proteção ambiental e do consumidor
Produtos electrónicos	Energy Star		Rótulo do governo dos EUA para produtos com excepcional eficiência energética
	TCO 9599		Especialmente para computadores e monitores. Especificações de aspectos: ambientais, ergonómicos, de usabilidade, emissão de campos eléctricos e magnéticos
Produtos em madeira	Forest Stewardship Council		Certificação de explorações florestais para a comercialização de madeira de uma forma sustentável
	Plan European Forest Certification		Certificação de florestas com uma gestão ambientalmente sustentável
Coresel - Produtos	Rótulo		Carpetes e tapetes aprovados no programa de Ambiental de Interiores e Mobiliário com Bureau Rog Institute's (CRI)
	BIO Suisse		Certificação de produtos animais e de agricultura
Produtos alimentares	Dolphin Safe		Certificação de atum apanhado com práticas responsáveis
	Marine Stewardship Council		Para produtos marinhos provenientes de pesca ambientalmente orientada
Embalagens	Rótulo "Fair Trade"		Certificação de Comércio Justo garante que agricultores e trabalhadores recebem um preço justo pelos seus produtos e que os produtos têm maior qualidade e foram produzidos com respeito pelo ambiente (por ex. podem ser de agricultura biológica)
	Ponto Verde		Rotulagem obrigatória de embalagens (baseada na Directiva 94/62/EC)



Análise de ciclo de vida (ACV)

- ▶ **Avaliação do ciclo de vida (ACV)** ou "análise ambiental do ciclo de vida"
 - ▶ Técnica que permite a quantificação das emissões ambientais ou a análise do **impacto ambiental** de um produto, sistema, ou processo.
 - ▶ É feita sobre toda a "vida" do produto ou processo
 - ▶ desde o seu início (por exemplo, desde a extração das **matérias-primas** no caso de um produto)
 - ▶ até o final da vida (quando o produto deixa de ter uso e é descartado como **resíduo**)
 - ▶ passando por todas as etapas intermediárias (manufatura, transporte, uso)

Análise de ciclo de vida (ACV)

▶ **Avaliação do ciclo de vida (ACV)**



THIS WEEK IN SCIENCE
 August 6 - 12, 2016

Computing
 Researchers achieve the theoretical benchmark required to build a quantum computer

Global Footprint Network diz que no dia 8 de agosto, nossas demandas excederam o que a Terra pode oferecer e regenerar para o ano. E se nosso consumo e emissões de carbono continuarem no ritmo que está indo, vamos precisar de dois planetas Terra para atender as nossas necessidades até 2030.

"If all 7.8 billion of us were to enjoy a European standard of living – which is about half the consumption of the average American – the Earth could sustainably support only about 2 billion people."

Ecology
 Scientists discover a new type of flame that makes little-to-no soot and can reduce carbon emissions

Environment
 This week marks the point where we consumed more resources than Earth regenerates annually

How many Earths does it take to support humanity?

Business as usual Earth Overshoot Day: June 28, 2030
 Carbon emissions reduced 30% Earth Overshoot Day: September 16, 2030

Contexto

- ▶ **Modificação na base energética e produtiva**
 - ▶ Necessária (fatores ambientais e energéticos)
- ▶ **Limitantes:**
 - ▶ Tecnologias já estabelecidas (e.g. Indústria do Petróleo, Automobilística, etc)
 - ▶ Fatores externos:
 - ▶ **Macroambiente:**
 - Ambiente Internacional
 - Político-legal
 - Económico
 - Tecnológico
 - Demográfico
 - Social e natural
- ▶ **Contexto:**
 - ▶ Incentivo/necessidade do uso de fontes de energia
 - ▶ Renováveis, não-poluentes, economicamente viáveis
 - Biomassa**

Contexto:
Modificação na base energética e produtiva



Contexto:
Modificação na base energética e produtiva



Contexto:
Modificação na base energética e produtiva



Contexto:
Modificação na base energética e produtiva



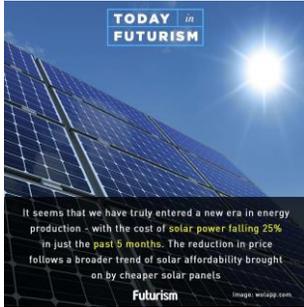
Contexto:
Modificação na base energética e produtiva



Contexto:
Modificação na base energética e produtiva



Contexto:
Modificação na base energética e produtiva



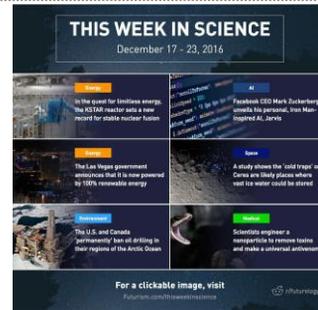
Contexto:
Modificação na base energética e produtiva



Contexto:
Modificação na base energética e produtiva



Contexto:
Modificação na base energética e produtiva



Contexto:
Modificação na base energética e produtiva



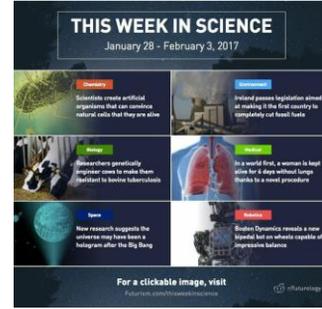
Contexto:
Modificação na base energética e produtiva



Contexto:
Modificação na base energética e produtiva



Contexto:
Modificação na base energética e produtiva



Contexto:
Modificação na base energética e produtiva



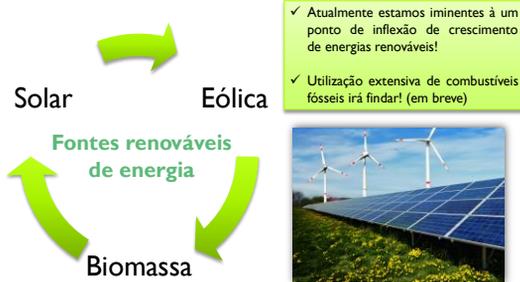
Contexto:
Modificação na base energética e produtiva



► "Ten years ago, we thought hitting even a 25 percent wind-penetration level would be extremely challenging..."

Futuro energético mundial

Perspectiva: Crescimento abrupto nos próximos anos



Futuro energético mundial

Perspectiva: Crescimento abrupto nos próximos anos

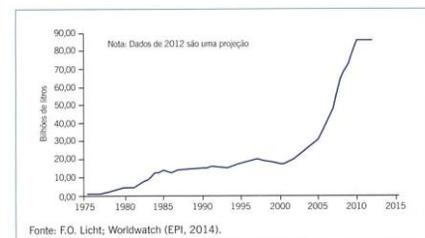


Figura 4. Produção mundial de etanol (1975-2012).

Futuro energético mundial

Perspectiva: Crescimento abrupto nos próximos anos

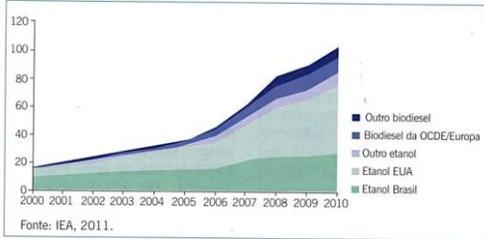


Figura 1. Produção mundial de biocombustíveis (2000-2010).
Fonte: IEA, 2011.

Conclusões

- ▶ **Contexto:**
 - ▶ Potencial inexplorado → Necessário
 - ▶ Apenas solar e eólica → não suprirão a demanda energética mundial
- ▶ **Demanda:**
 - ▶ Desenvolvimento de recursos energéticos "Carbon-neutral"
 - **Biocombustíveis:** a partir de biomassas

▶ **Pergunta:** Qual a linha de pesquisa que irão desenvolver no PPGB?

Futuro da energia (?)

Britain goes a day without coal-fired power for first time since the 1880s

Obs: Importante ressaltar Desenvolvimento ou retrocesso de uma tecnologia/processo depende de uma série de fatores além dos tecnológicos

- Especialmente econômicos/políticos

Futuro energético mundial

▶ **Tecnologias/Fontes de energia renováveis estabelecidas**

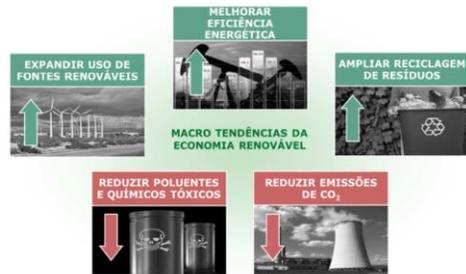
- ▶ **Ex:** Eólica, Solar, Maremotriz, Hídrica, Geotérmica
 - ▶ São aplicáveis apenas para a produção de **energia elétrica**

- ▶ **Problemática:** Eólica e solar
 - ▶ Consideradas "Energia Renováveis Variáveis – VRE"
 - São **intermitentes** (i.e. dependentes de condições ambientais - $\dot{e} = f(I_{av}, \bar{v})$)

- ▶ **Demanda energética:**
 - ▶ Mais da metade do consumo energético atual:
 - **Biocombustíveis líquidos**
 - **Origem fóssil:** Diesel, Gasolina, etc (Tradicional)
 - **Origem renovável:** Biotanol, Biodiesel (Biomassa)



Macro-tendências da economia renovável



Fonte: análise Bain/ Gas Energy

Bibliografia

- ▶ CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.E.S.; OLIVARES GÓMEZ, E. **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Ed. Unicamp, 2008.
- ▶ <https://futurism.com/thisweekinscience/>
- ▶ Fears, D. (2017). **Donald Trump promises to bring back coal jobs but experts disagree**. *The Independent*. [online] Disponível em: <<http://www.independent.co.uk/news/world/americas/donald-trump-coal-mining-jobs-promise-experts-disagree-executive-order-a7656486.html>> (Acesso em 15 Maio 2017).
- ▶ Golson, J. (2017). **Britain goes a day without coal-fired power for first time since the 1880s**. *The Verge*. [online] Disponível em: <<https://www.theverge.com/2017/4/23/15395754/coal-great-britain-electricity-power-plant>> (Acesso em 15 Maio 2017).



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR PALOTINA
Programa de Pós-Graduação em Bioenergia
Disciplina: Combustíveis e Biocombustíveis

Biomassa

Sistemas dendroenergéticos

2017
Palotina - PR

Conteúdo

1. Definições e conceitos
2. Questões sócio-ambientais
3. **Sistemas dendroenergéticos:** Florestas nativas, Cultivos energéticos, Biomassa Aquática, Resíduos e subprodutos da biomassa, Resíduos e subprodutos da biomassa
4. Caracterização dos recursos dendroenergéticos
5. Controle de qualidade e análises físico-químicas específicas
6. Processos básicos de conversão
7. Aplicações
8. Restrições à disponibilidade

Fontes de biomassa

- ▶ Dependendo do estado de agregação em que se encontra a biomassa
 - ▶ sólida, líquida ou gasosa
 - ▶ Determinam:
 1. Meios de utilização desta
 2. Tipo de infraestrutura de conversão energética
- ▶ Consequentemente, o potencial energético dos derivados obtidos
 - ▶ varia de acordo com o tipo de biomassa e depende tanto da matéria-prima usada
 - ▶ quanto da tecnologia de processamento para obtenção dos energéticos

Sistemas dendroenergéticos

▶ Dendroenergia:

- ▶ Definida pela como:

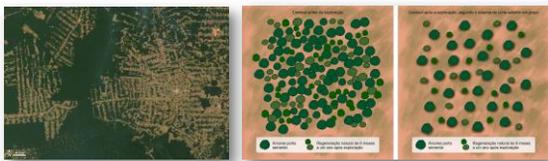
"Energia florestal: toda a energia obtida a partir de biocombustíveis sólidos, líquidos e gasosos primários e secundários derivados dos bosques, árvores e outra vegetação de terrenos florestais"

- ▶ Em outras palavras, a **dendroenergia** é a energia produzida depois da combustão (ou outros processos mais elaborados) de combustíveis de madeira como lenha, carvão vegetal, *pellets*, briquetes, etc.

Sistemas dendroenergéticos

▶ Florestas nativas

- ▶ Historicamente → reserva energética
- ▶ Atrrelada ao desmatamento:
 - ▶ Exploração intensa e expansão das atividades agropecuárias
 - ▶ Atualmente, manejo → produção sustentável



Sistemas dendroenergéticos

▶ Cultivos energéticos

- ▶ Silvicultura
 - ▶ Eucalipto, Pinus e Acácia
 - Alta densidade energética e produtividade



Silvicultura: ciência que estuda os métodos naturais e artificiais de regenerar e melhorar os povoamentos florestais e que compreende o estudo botânico das espécies, além da identificação, caracterização e prescrição da utilização das madeiras

Sistemas dendroenergéticos

▶ Cultivos energéticos

▶ Cultivos anuais

- ▶ Sacarídeos
 - Cana-de-açúcar, sorgo, beterraba, etc



▶ Amiláceos

- Milho, mandioca



▶ Oleaginosas

- Soja¹, canola, palma, dendê, etc



Sistemas dendroenergéticos

▶ Biomassa Aquática

- ▶ Aguapé (*Eichornia crassipes*)
- ▶ Eutrofização, problemas em represas, etc



▶ Aplicações:

- Biodigestão anaeróbica (P&D): 13,9 m³ biogás/ton biomassa (b.u.)

▶ Algas (Macro e microalgas)

- ▶ *Spirulina* sp.
- ▶ *Scenedesmus* sp.
- ▶ *Chlorella* sp.
- ▶ *Dunaliella Salina*



Biocombustíveis



Sistemas dendroenergéticos

▶ Resíduos agroindustriais



▶ Resíduos e subprodutos da biomassa



Resíduos agroindustriais

▶ Os resíduos vegetais podem ser de dois tipos:

- ▶ (i) **vegetais lenhosos**: madeiras e seus subprodutos, como a serragem, cavacos, cascas e folhas;
- ▶ (ii) **vegetais não-lenhosos**: geralmente, **resíduos agrícolas** (e.g. palhas, cascas, caules, dentre outros) os quais podem possuir quantidades expressivas de açúcares, celulose, amido, etc.

▶ Os resíduos vegetais são, principalmente, provenientes das atividades de colheita e beneficiamento de produtos agrícolas.

▶ **Brasil**: destaca-se como um dos maiores produtores agrícolas mundiais

- ▶ havendo um **crescimento na área plantada** e de **produção**
- ▶ Produção → gera uma **grande quantidade de resíduos**
 - ▶ **podem ser aproveitados energeticamente** por diferentes tecnologias disponíveis
- ▶ No entanto, estima-se que atualmente em torno de **200 milhões de toneladas** de resíduos agroindustriais são **desperdiçados** no Brasil

Resíduos agroindustriais

Tabela 2. Produção mundial de produtos agrícolas e resíduos agroindustriais.

Matéria-prima	Produção (Mt)*	Produção de resíduos (Mt)**
Canoa (bagazo)	1.318.178,070	395.453,421
Arroz (casca)	608.496,284	172.934,643,9
Mandioca (resíduo)	195.574,112	58.261.527,96
Milho (palha e sabugo)	705.293,226	934.442,995,1
Soja (restos de cultura)	206.409,525	320.966,811,4
Algodão	67.375,042	16.843,760,5
Beterraba	237.857,862	--

* FAO, 2004.

** Calculado.

*FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations
(Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura)

Resíduos agroindustriais

Tabela 3. Produção de produtos agrícolas e resíduos agroindustriais no Brasil.

Matéria-prima	Produção agrícola (tons)*	Produção de resíduos (t/ha)**	Matéria seca (%)**	Produção total de resíduos (tons)***
Cana (bagosa)	396.012.158	7,0-13,0	23,4	59.401.824
Arroz (casca)	10.334.603	4,0-6,0	89,0	2.937.094
Café (casca) em coco	2.454.470	-	-	1.442.658
Mandioca (rama)	21.961.082	6,0-10,0	90,4	6.542.206
Milho (palha e sabugo)	48.327.323	5,0-8,0	90,5	64.028.870
Soja (restos de cultura)	51.919.440	3,0-4,0	88,5	80.746.839
Mamona	111.100	-	-	-
Algodão	2.199.268	-	-	-

▶

Produção agrícola no Brasil

- ▶ De acordo com o IBGE, o levantamento de produção agrícola no Brasil, as principais culturas geradas são a cana-de-açúcar, o milho e a soja.

Tabela 4. Distribuição da produção agrícola no Brasil.

Região	Contribuição (%)
Nordeste	7,87
Norte	2,40
Sudeste	13,30
Centro-Oeste	32,03
Sul	44,40

- ▶ Produção agrícola nas regiões sul e centro oeste são dominantes
 - ▶ devido ao caráter agrícola dos estados que as compõe
 - ▶ nestas regiões a quantidade de resíduos agrícolas disponíveis é expressiva

▶

▶ Resíduos florestais



Resíduos agroindustriais

▶ Tanto no Brasil quanto no mundo

- ▶ Principais produtos agrícolas:
 - ▶ destacam-se a **cana-de-açúcar, a soja e o milho**
 - ▶ bem com a geração de seus respectivos resíduos

▶ Potencial local:

- ▶ Deve-se ressaltar que outras culturas podem ser regionalmente ou localmente aproveitadas
- ▶ Culturas geralmente não possuem aplicações nobres como o aproveitamento energético
- ▶ Possibilitar uma série de vantagens econômicas e operacionais
 - Ex: Mamona, macaúba, nabo forrageiro, capim elefante, etc
 - Biodiesel, bioetanol, queima direta, etc.

▶

Resíduos agroindustriais

▶ Biomassa vegetal:

- ▶ encontra-se, geralmente em:
 - ▶ estado sólido agregado
 - ▶ forma geométrica adequada
 - ▶ e teor de água reduzido

Vantagens

- ▶ Na maior parte dos casos e por razões técnicas, define o uso energético direto (i.e. fonte primária de energia)
 - ▶ por meio de sua **queima direta**

▶ Resíduos agrícolas:

- ▶ são constituídos basicamente de palha, folhas e caules
- ▶ apresentam um poder calorífico médio de 15,7 MJ/kg de matéria seca

▶

Resíduos florestais

▶ Além dos resíduos agrícolas, o Brasil possui um potencial muito elevado no aproveitamento dos vegetais lenhosos

- ▶ Ex: resíduos florestais, madeira, produtos e desfeitos vegetais ricos em matéria orgânica)
- ▶ podem ser transformados em diversos combustíveis :
 - ▶ Madeira e derivados (energia primária), biodiesel, biogás, metanol, etanol, dentre outros

▶ Dendroenergia:

- ▶ Definida pela como:

"Energia florestal: toda a energia obtida a partir de biocombustíveis sólidos, líquidos e gasosos primários e secundários derivados dos bosques, árvores e outra vegetação de terrenos florestais"

- ▶ Em outras palavras, a dendroenergia é a energia produzida depois da combustão de combustíveis de madeira como lenha, carvão vegetal, pellets, briquetes, etc.

▶

Resíduos florestais

▶ Resíduos florestais:

- ▶ são constituídos por todo material deixado para trás **na coleta da madeira**
 - ▶ folhas, galhos e material resultante da destoca
 - ▶ tanto em florestas e bosques naturais como de reflorestamento
- ▶ Serragem e aparas produzidas no **beneficiamento da madeira**
- ▶ Os resíduos podem se apresentar em quantidades superiores à produção de madeira trabalhada
- ▶ Poder calorífico médio:
 - ▶ é variável de acordo com a proveniência do combustível
 - ▶ PC ≈ 13,8 MJ/kg de resíduo

Resíduos florestais

▶ Brasil:

- ▶ **Produção:**
- ▶ **possui** em torno de 5 milhões de quilômetros quadrados de floresta nativa (64% de sua área)
- ▶ E, 29 mil km² de território reflorestado com eucalipto
- ▶ Maior produtor de madeira proveniente de bosques cultivados mundial
 - ▶ 2.965.000 ha de eucalipto e 1.840.050 ha de pinus
- ▶ Setores que consomem → madeira plantada encontram-se:
 - ▶ Celulose e papel, carvão vegetal, lenha industrial e serrados
- ▶ No Brasil, em 2003 a **madeira usada diretamente** pelas indústrias para a **geração de energia** atingiu 4 milhões de m³
- ▶ De modo geral,
 - ▶ os resíduos gerados na cadeia produtiva constituem-se basicamente de:
 - 7% de casca, 10% de serragem e 28% de aparas, cavacos e pedaços de madeira
- ▶ **Obs:** A não utilização de tais resíduos representa um desperdício significativo energético, visto as poucas aplicações de tais materiais

▶ Resíduos sólidos urbanos



Resíduos sólidos urbanos (RSUs)

▶ Resíduos sólidos urbanos

- ▶ Constituídos pelos resíduos domiciliares e resíduos comerciais
- ▶ **Resíduos domiciliares:** Restos de comida, esgoto e matéria-orgânica em geral
- ▶ **Resíduos comerciais:** Papel, papelão, embalagens, etc
- ▶ **Classificação:**
 - ▶ “**Secos**” (Inorgânicos) x “**Molhados**” (Orgânicos)
- ▶ **Características:**
 - ▶ **Abundantes e significativos**
 - ▶ Caracterizando-se como um **problema ambiental** e de **saúde e higiene**
 - Seu não acondicionamento e tratamento adequado
 - leva à disseminação de pragas e doenças em potencial
 - significativo problema ao ser humano
 - ▶ Apresentam um crescimento significativo
 - em torno de 5% ao ano na quantidade de lixo gerado

Resíduos sólidos urbanos

- ▶ A ABNT NBR – 10004:2004, classifica os resíduos como:

“Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.”

Resíduos sólidos urbanos

- ▶ Composição diversificada → Necessidade de coleta seletiva (Problemática)



- ▶ **Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos:** são uma ferramenta para a gestão da limpeza pública, resultado de um planejamento que busca minimizar os problemas ambientais, econômicos e sociais causados pelos resíduos.

Resíduos sólidos urbanos

Teor de matéria orgânica (C, H, O, N) do lixo brasileiro

- em torno de 60%
- Conferindo relativo elevado potencial energético
- Poder calorífico:** resíduo domiciliar = 1.300 kcal/kg de massa seca (5,44 MJ/kg)
 - Relativamente baixo

Vantagens:

- Tanto energéticas quanto ambientais
- econômicas (devido ao baixo custo)
- sociais e de saúde
- caráter descentralizador de renda**

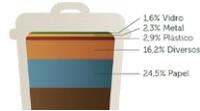


Tabela 1 - Composição Média e Produção de RSU

	Papel	Plástico	Vidro	Metal
Matéria Orgânica	59,0%	-	-	-
Recicláveis	36,0%	18,5%	12,3%	3,1%
Outros	5,0%	-	-	2,1%
Produção de RSU [Mt]	62,87	11,63	7,76	1,94
				1,32

Fonte: (PMPE, 2014)

Resíduos sólidos urbanos

Definição: Poder calorífico (ou potencial calorífico):

quantidade de energia liberada na forma de calor durante a combustão completa da unidade de massa do combustível (kJ/kg)

Poder Calorífico Superior (PCS) - quantidade de energia gerada considerando-se o calor latente de condensação da umidade dos produtos de combustão do material, ou seja, soma da energia liberada na forma de calor e a energia gasta na vaporização da água.
(Calor reaproveitado pela condensação do vapor)

Poder Calorífico Inferior (PCI) - apenas como a quantidade de energia liberada na forma de calor (sem considerar a energia gasta na vaporização da água). Assim, o PCS é sempre maior ou igual ao PCI, pois aproveita a entalpia de condensação da água.

RSU: Potencial calorífico extremamente dependente da composição (e umidade)

- Fração não combustível: Vidro, metal
- Fração combustível (baixa umidade): papel, plásticos, borrachas, etc
- Fração combustível (alta umidade): matéria orgânica

Resíduos sólidos urbanos - Legislação

Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010:

- Institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências;

Resolução CONAMA nº 313, de 29 de outubro de 2002:

- Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais:
 - Classe I: Perigosos**
Características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade
 - Classe II: Não perigosos;**
 - Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I – Perigosos
 - Classe II – A: Não Inertes**
 - Podem ter propriedades como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água
 - Classe II – B: Inertes**
 - Quaisquer resíduos que não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de possibilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor

“A segregação dos resíduos sólidos na origem, visando seu reaproveitamento otimizado, é responsabilidade de toda sociedade deverá ser implantada gradativamente nos municípios, mediante programas educacionais e projetos de sistemas de coleta segregativa”.

Contexto e Mercado de Resíduos Urbanos no Brasil

- Lei nº 12.305/2010 instituiu a *Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)*
 - Após dezoito anos de tramitação no Congresso Nacional

Destakes do marco regulatório:

- Responsabilidade compartilhada:**
 - todos os envolvidos no **ciclo de vida do produto**, desde o fabricante ao consumidor final, possuem atribuições e são responsáveis por direcionar adequadamente os resíduos pós-consumo
- Logística reversa:**
 - envolvendo todos os elos das cadeias de produção e consumo quanto à coleta e restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial para **reaproveitamento no ciclo produtivo** ou outra **destinação final ambientalmente adequada**
- Proibição dos Lixões a partir de 2014**
 - investimento na instalação de sistemas capazes de tratar os resíduos, e quando não houver mais viabilidade técnica, ambiental e econômica para tal, dispor os **rejeitos** em aterros sanitários.



Rejeitos são os resíduos sólidos que, após esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.

Problemática

Lixão resiste no Brasil, ignorando legislação

A pesar da prática ser proibida desde 1981, 42% do lixo é depositado a céu aberto, prejudicando o meio ambiente



Fonte: Anuário 2013, e elaboração própria

Problemática

27/07/2015 15h32 - Atualizado em 27/07/2015 17h28

Mesmo com política de resíduos, 41,6% do lixo tem destino inadequado

Índice de 2014 ficou praticamente inalterado em relação a 2013. De 2003 a 2014, lixo aumentou 29%; crescimento populacional foi de 6%.

O lixo gerado cresceu

29%

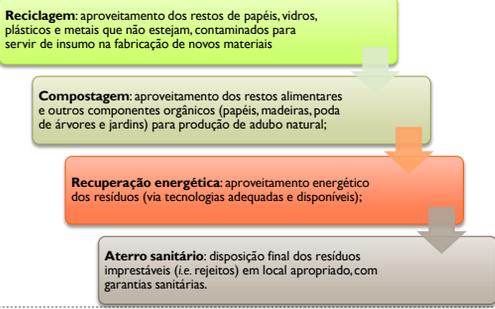
em todo o país entre os anos de 2003 e 2014

A população aumentou

6%

em todo o país entre os anos de 2003 e 2014

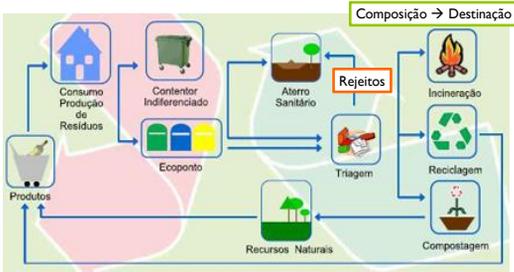
Sistema Integrado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (SIGRS)



Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos



Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos



Destinação RSU (no Brasil)

Destino dos RSU em diversos países (valores arredondados)

País	Reciclagem	Compostagem	Recuperação energética ⁽¹⁾	Aterro sanitário
Holanda	39%	7%	42%	12%
Suíça	31%	11%	45%	13%
Dinamarca	29%	2%	58%	11%
Estados Unidos	24%	8%	13%	55%
Austrália	20%	<<1%	<1%	80%
Alemanha	15%	5%	30%	50%
Japão	15%	-	78%	7%
Israel	13%	-	-	87%
França	12% ⁽²⁾	n.i.	40%	48%
BRASIL	<8%	2%	-	>90% ⁽³⁾
Reino Unido	8%	1%	8%	83%
Grécia	5%	-	-	95% ⁽⁴⁾
Itália	3%	10%	7%	80%
Suécia	3%	5%	52%	40%
México	2%	-	-	98% ⁽¹⁾

(1) Basicamente incineração.
 (2) As estatísticas incluem a compostagem.
 (3) Incluem aterros controlados e liões, como apresentado no tabela 2.
 (4) n.i. = Não informado.

Fonte: (PME, 2014)

Destinação RSU (no Brasil)

Destinação típica e quantidade dos RSU no Brasil

ANO	1989	2000	2008
Produção dos RSU (Mt/a)	20	45	67
Vazadouro a céu aberto (lixão)	49,27	21,16	17,61
Vazadouro em áreas alagadas	0,30	0,10	0,02
Aterro controlado	21,90	37,03	15,68
Aterro sanitário	23,33	36,18	64,59
Estação de compostagem	n.i.	2,87	0,63
Estação de triagem	3,00	0,99	1,20
Incineração	n.i.	0,45	0,03
Locais não fixos	n.i.	0,54	n.i.
Outra	2,50	0,69	0,25

Unidade de destino final do lixo coletado (%)

Fonte: (PME, 2014)

Recuperação energética RSUs

Começa a funcionar em SP a maior termelétrica do Brasil que produz energia com lixo

Diariamente, cerca de oito mil toneladas de resíduos urbanos e industriais são levados até a **Central de Tratamento e Valorização Ambiental**, na cidade de Caieiras-SP (maior termelétrica).

lixo → biogás (GDL) → energia

Capacidade instalada:
 Usina tem 15 mil metros quadrados
 Potência instalada = 29,5 megawatts (suficiente para abastecer uma cidade de 200 mil habitantes).
 O empreendimento começou a ser construído em 2014, com um investimento de mais de R\$ 100 milhões do Grupo Solvi, e em julho de 2016 recebeu a autorização da Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) para começar a operar.

Com a termelétrica, evita-se que o metano – um dos gases do efeito estufa – seja liberado na atmosfera.
Potencial:
 Brasil tem potencial de gerar 1,3 GW de energia elétrica de RSUs. (equivalente a um fornecimento adicional de 932 mil MWh/mês, o suficiente para abastecer 6 milhões de residências)

Agrupamento Brasileiro de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
 E-mail: thegreenpost.br@lul.com.br

Justificativa

- ▶ Embora o aproveitamento energético de RSU não se apresente com potencial de escala suficiente para sustentar uma estratégia de expansão da oferta de energia elétrica ou de biocombustível do país no longo prazo
- ▶ o mesmo é elemento que deve ser considerado importante de uma estratégia regional ou local que transcende a dimensão energética.
- ▶ Na realidade compõe um arranjo de políticas:
 - ▶ De cunho social (saúde, saneamento, etc.);
 - ▶ Regional (desenvolvimento local); e
 - ▶ Ambiental (mitigação de impactos dos resíduos).

Fonte: (MMÉ, 2014)

Solução???



- ▶ **Sistemas de gestão**
 - ▶ Destinação adequada (e.g. coleta seletiva)
- ▶ **Triagem/Aproveitamento**
 - ▶ Reutilização/reciclagem
 - ▶ Energético → Tecnologias mais eficientes (e menos poluentes)

Potencial-ou-viabilidade
↓
Necessidade

▶ Resíduos industriais



Resíduos industriais

- ▶ Os resíduos industriais são considerados aqueles provenientes do beneficiamento de produtos agrícolas e florestais, dentre outras aplicações industriais, como por exemplo:
- ▶ **Setor siderúrgico:**
 - ▶ Setor siderúrgico à carvão vegetal possui unidades integradas de produção de ferro gusa e aço
 - ▶ Geram resíduos devido ao uso do carvão vegetal na produção de ferro-gusa e de aço
 - ▶ Também o gás de alto-forno a carvão vegetal, o qual possibilita o reaproveitamento do calor.
- ▶ ¹ **Ferro-gusa:** Produto obtido no alto-forno pela reação de redução do minério de Ferro com carvão ou coque (combustível derivado do carvão), juntamente com o calcário. É considerado uma liga de ferro e carbono, contendo de 2,11 a 5,00 % de carbono e outros elementos ditos residuais, como silício, manganês, fósforo e enxofre, e é usado para obter outras ligas de Ferro e aço. Para fabricar o aço é necessário retirar as quantidades em excesso de Carbono e impurezas presentes no Ferro gusa.
- ▶ ² **Alto-forno:** Construção utilizada na siderurgia para fusão e transformação do Ferro. Possui uma chaminé alta, com altura entre 20 e 30 metros, revestida externamente por metal e internamente por material refratário, o qual suporta elevadas temperaturas de funcionamento (até 1600°C).

Resíduos industriais



Resíduos industriais

- ▶ **Indústria alimentícia e de bebidas:**
 - ▶ resíduos da fabricação de sucos e aguardente (e.g. cascas e bagaço de laranja, caju, abacaxi, cana-de-açúcar, etc).
 - ▶ do beneficiamento de arroz, café, trigo, milho (sabugo e palha), coco da Bahia, amendoim, castanha de caju, etc.
- ▶ **Indústria madeireira – serrarias e mobiliário:**
 - ▶ produz resíduos (e.g. casca, cavaco, costaneira, pó-de-serra, maravalha, aparas, etc) a partir do beneficiamento de toras.
- ▶ **Indústria de papel e celulose:**
 - ▶ produz resíduos de elevado potencial calorífico dentre eles cascas, cavaco e licor negro (ou lixívia) (12,5 MJ/kg base seca).
 - ▶ No Brasil existem mais de 220 companhias, as quais utilizam madeira de reflorestamento, das espécies de eucalipto (≈62%) e pinus (≈36%).
- ▶ ¹ **Licor negro (ou Lixívia negra):** É um resíduo fluido processual, proveniente da indústria papelreira, produzido na saída do digestor – elemento responsável pela cozedura da madeira para retirar componentes indesejáveis ao processo de fabricação do papel, tais como lignina (ou lenhina), extrativos e cinzas.

Resíduos industriais

- ▶ **Uso energético dos resíduos agroindustriais**
 - ▶ é obtido, na maioria dos casos, por meio da **queima direta em fornos e caldeiras**
 - ▶ ou de maneira mais inovadora, através da **biogestão anaeróbica**
- ▶ **O que determina o processo utilizado de conversão energética dos resíduos**
 - ▶ **Teor de umidade:**
 - ▶ Possível queimar resíduos com teores de até 50% de umidade
 - ▶ Resíduos com elevado teor de água em sua constituição
 - ▶ são mais apropriados para produção do biogás
 - ▶ **Exemplos:**
 - A vinhaça resultante da produção de álcool, os efluentes de matadouros, derivados do leite, etc.

▶ Resíduos animais



Resíduos animais

- ▶ **Brasil: outra fonte de biomassa expressiva são os resíduos animais**
 - ▶ grande produção do setor pecuário
 - ▶ Destacam-se os resíduos gerados pela atividade biológica de:
 - ▶ gado bovino, suíno, caprino e ovino
 - ▶ devido à suas relevantes criações

Tabela 5. Produção de animais no setor pecuário brasileiro (Fonte: Adaptado de Cortez et al., 2008).

Tipo de rebanho	Cabeças	Tipo de rebanho	Cabeças
Bovino	195.551.576	Cochilos	335.555
Suíno	32.304.905	Ovino	14.556.484
Eqüino	5.828.376	Galinhas	183.799.736
Asinino	1.208.660	Galos, frangos, frangos e pintos	737.523.096
Mucar	1.345.389	Codornas	5.980.474
Bufalino	1.148.808	Caprino	9.581.653

Resíduos animais

- ▶ **Potencial de aplicação destes resíduos**
 - baseia-se na quantidade de excrementos produzidos por cabeça, o custo e a viabilidade da coleta (os quais ainda necessitam melhorias significativas)

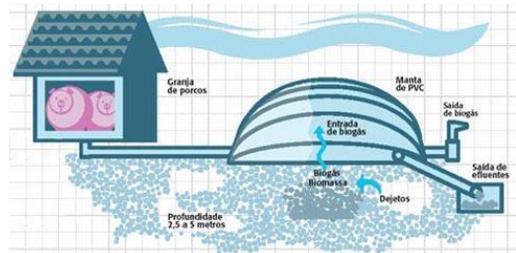
Tabela 6. Quantidade de excremento produzido no setor pecuário.

Animal	Massa animal (kg)	Volume excremento (m ³ /dia)	Massa úmida excremento (kg/dia)
Gado de corte*	500	0,028 - 0,037	27,7 - 36,6
Gado de leite*	500	0,031 - 0,035	30,2 - 35,0
Suínos*	100	0,0056 - 0,0078	5,4 - 7,6
Eqüinos*	500	0,025	28,0
Aves*	2,5	0,00014 - 0,00017	0,14 - 0,17
Ovelhas*	-	-	2,0

Resíduos animais

- ▶ **Destaca-se o rebanho bovino devido**
 - ▶ à grande quantidade de cabeças
 - ▶ bem como à produção em volume de excremento por cabeça
- ▶ **O esterco seco pode ser queimado diretamente e tem um poder calorífico médio de 14,6 MJ/kg (b.s.)**
- ▶ **Além das aplicações energéticas, os dejetos suínos são utilizados como fertilizantes, auxiliando:**
 - ▶ na redução da poluição
 - ▶ melhorando as características físicas, químicas e biológicas do solo

▶ Resíduos animais



Fonte: Revista Globo Rural (2007)

Resíduos animais

Produção de biogás deve 'zerar' conta de energia de Entre Rios do Oeste

Condomínio será formado inicialmente por 19 criadores de aves e de porcos. Cliente com energia pagará em oito anos o meio investimento de R\$ 17 mil.

Foto: Henrique
Da Silva



Município de Entre Rios do Oeste tem o maior número de criadores de gado, aves e suínos do estado. Mesmo sendo assim, a produção de biogás é alta. Crédito: (Globo.com)

O município conta com uma população de 130 mil suínos e 355 mil aves. "Os danos ambientais causados pelos dejetos destes animais equivalem aos produzidos por uma cidade com uma população de 530 mil habitantes. O aproveitamento destes dejetos surge como uma solução e um vetor de transformação econômica e ambiental, já que a poluição será reduzida e os produtores receberão por esta energia produzida e vendida para a Copel", reforçou.

E, além de economizar na conta de energia, a produção de biogás gera uma série de vantagens, como a redução a quase que total do mau-cheiro nas propriedades em função das fezes dos animais, a produção de biofertilizante – massa dos dejetos depois de separada do biogás –, e preservação do meio ambiente, já que os resíduos deixam de ser dispensados em rios e reservatórios de água.

Fonte: <http://g1.globo.com>

Principais tipos de biomassa para geração de energia

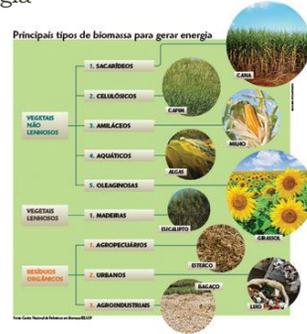


Figura 3. Principais tipos de biomassa. Fonte: ENERGIA, (2012).

Utilização da biomassa no Brasil

Lenha:

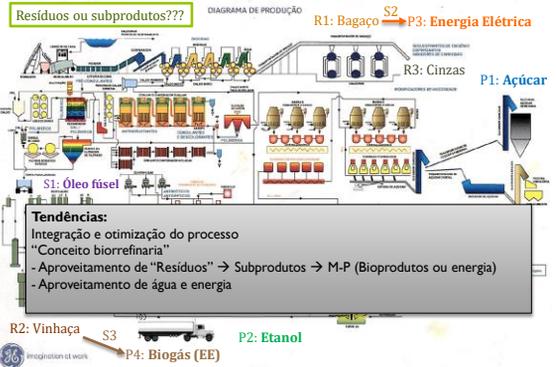
- ▶ muito utilizada para produção de energia por biomassa
- no Brasil, já representou 40% da produção energética primária
- grande desvantagem é o desmatamento das florestas

Cana-de-açúcar:

- ▶ Potencial: algumas usinas de açúcar e destilarias produzem metano da vinhaça
- gás resultante → utilizado como combustível para o funcionamento de motores estacionários das usinas e de seus caminhões
- Equipamento: queima ou a digestão da biomassa é chamado de biodigestor
- Destilaria com produção diária de 100.000 litros de álcool e 1.500 m³ de vinhaça
- possibilita a obtenção de 24.000 m³ de biogás (247,5 bilhões de calorías)
- ▶ Aplicações do biogás:
 - utilizado diretamente nas caldeiras
 - ▶ liberando maior quantidade de bagaço para geração de energia elétrica através de termoeletrinas
 - ou gerar 2916 KW de energia - suficiente para suprir o consumo doméstico de 25.000 famílias

Processo produtivo → Complexo e Interligado

SERVIÇOS E PRODUTOS PARA A INDÚSTRIA DE AÇÚCAR E ALCOÓL



Tendências:
Integração e otimização do processo
"Conceito biorrefinaria"
- Aproveitamento de "Resíduos" → Subprodutos → M-P (Bioprodutos ou energia)
- Aproveitamento de água e energia

Utilização da biomassa no Brasil

Materiais

Resíduos celulósicos:

- ▶ Licor Negro
- ▶ Papel utilizado
- ▶ Embalagens de papelão descartadas (após uso no transporte e embalagem de produtos)

Licor negro (ou Lixívia negra): É um resíduo líquido processual, proveniente da indústria papelreira, produzido na saída do digestor elemento responsável pela cozedura da madeira para retirar componentes indesejáveis ao processo de fabricação do papel, tais como lignina, extrativos e cinzas.

Resíduos Florestais

- ▶ Galhos e folhas decorrentes da poda de árvores em cidades ou casais
- ▶ Serrim ou serragem de madeira (comumente usados p/ produção de Briquetes)

Resíduos agroindustriais

- ▶ Casca de arroz, Capim-elefante, Sábago de milho, etc

Resíduos urbanos e industriais

- ▶ RSUs (GDL → Subaproveitado)
- ▶ Lodo de ETE
- ▶ Provenientes do processo de lodos ativados amplamente utilizados na indústria (e.g. têxtil)

Óleos vegetais

- ▶ Soja, Sebo bovino, outros (residual de fritura, canola, palma, etc)

América Latina

ECONOMIA

Fontes renováveis respondem por 98% da energia no Uruguai

O país fez um bom investimento desde o passado com a instalação de represas hidrelétricas, que representam 50% do fornecimento atual

Por Da Redação
7 Jun 2016, 18:23



Países latinoamericanos líderes em energias renováveis:
1º Costa Rica
2º Uruguai
3º Brasil
4º Chile
5º México

"(...) o Uruguai "fez um bom investimento" desde o passado com a instalação de represas hidrelétricas, que representam 50% do fornecimento atual, às quais se somam as fontes de geração eólica e solar, que fornecem 40%, e as de biomassa, responsáveis por 8%."

Fonte: exame.abril.com.br

Conclusões e observações

▶ Tecnologias Estabelecidas:

- ▶ Bioetanol (1ª geração – cana-de-açúcar e milho)
- ▶ Biodiesel (1ª geração – soja, canola, etc)
- ▶ Madeira (Queima direta)

▶ Tecnologias com potencial:

- ▶ Bioetanol (2ª geração – lignocelulósico)
- ▶ Biodiesel (2ª geração – M-P alternativas → residuárias)
- ▶ Biogás (Resíduos Orgânicos + RSUs)
- ▶ Hidrogênio
- ▶ Resíduos Sólidos (Aproveitamento energético)
 - ▶ Tecnologias mais eficientes (e.g. Pirólise, Gaseificação, Liquefação, etc)
- ▶ Microalgas (3ª geração)

Bibliografia

- ▶ Cortez, L.A.B.; Lora, E.E.S.; Olivares Gómez, E. **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Ed. Unicamp, 2008.
- ▶ Ministério de Minas e Energia (MME), Série Recursos energéticos: **Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos**, Nota Técnica DEA 18/14, Rio de Janeiro, 2014.
- ▶ G1 PR - Fabiula Wurmeister (2015) - Acesso 03/04/2017: <<http://g1.globo.com/pr/oeste-sudoeste/noticia/2015/12/producao-de-biogas-deve-zerar-conta-de-energia-de-entre-rios-do-oeste.html>>
- ▶ Revista Globo Rural - **Energia que vem do campo**. Edição 257 - Mar/07: Acesso em 21/03/2016: <http://revistagloborural.globo.com/EditoraGlobo/componentes/article/edg_article_print/0,3916,1477220-1484-8,00.html>
- ▶ ABBASI, T.; ABBASI, S.A. **Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.14, p.919–937, 2010.
- ▶ MAMEDES, J.A.; RODRIGUES, M.P.J.; VANISSANG, C.A. **Biomassa no Brasil**. Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense v. I, p. 65-73, 2010.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR PALOTINA
Programa de Pós-Graduação em Bioenergia
Disciplina: Combustíveis e Biocombustíveis

Biomassa

Caracterização dos recursos dendroenergéticos;
Controle de qualidade e análises físico-químicas específicas

2017
Palotina - PR

Conteúdo

1. Definições e conceitos
2. Questões sócio-ambientais
3. Sistemas dendroenergéticos: Florestas nativas, Cultivos energéticos, Biomassa Aquática, Resíduos e subprodutos da biomassa, Resíduos e subprodutos da biomassa
4. **Caracterização dos recursos dendroenergéticos;**
5. **Controle de qualidade e análises físico-químicas específicas**
6. Processos básicos de conversão
7. Aplicações
8. Restrições à disponibilidade

Caracterização e composição de biomassa

▶ Biomassa

- ▶ Grande diversidade de matérias-primas/fontes
 - ▶ Materiais heterogêneos
 - ▶ Características químicas e morfológicas variáveis

▶ Viabilização e otimização dos processos de transformação

1. **Caracterização dos recursos dendroenergéticos**
2. **Controle de qualidade e análises físico-químicas específicas**

Caracterização dos recursos dendroenergéticos

▶ Parâmetros:

1. **Teor de cinzas/resíduos:**
 - ▶ Cinza afeta os custos de manipulação, transporte e processamento
 - ▶ Resíduos da conversão bioquímica podem ser aproveitados na combustão
 - ▶ Diminuição da eficiência e aumento dos problemas operacionais
2. **Teor de umidade:**
 - ▶ Define o processo de conversão mais adequado
3. **Valor calorífico (ou Potencial Calorífico):**
 - ▶ Quantidade de energia que a matéria-prima produz quando queimada
4. **Metais alcalinos:**
 - ▶ Reagem com sílica formando um líquido viscoso que pode causar o bloqueio das vias aéreas nas turbinas e fornos (i.e. corrosão)
5. **Teor de celulose e lignina:**
 - ▶ Importantes nas conversões bioquímicas
 - ▶ Celulose tem melhor biodegradabilidade
6. **Densidade:**
 - ▶ Quanto menor a densidade, mais custos em transporte e estocagem

▶ Caracterização e composição de biomassa

Caracterização e composição de biomassa

▶ Características físico-químicas e composição

▶ Aplicação da Biomassa

- ▶ Necessário avaliar determinados parâmetros
 - ▶ Estabelecer **condições adequadas de produção** da biomassa
 - ▶ **Minimização de resíduos** viabilização de sua reutilização
 - ▶ **Aumento no rendimento global** do processo
- ▶ Produtividade e viabilidade técnico-econômica:
 1. Escolha de uma matéria-prima adequada
 2. Etapas de tratamento para viabilização do emprego da mesma
 3. Tecnologia envolvida

Caracterização da biomassa

- ▶ Materiais sólidos obtidos a partir da biomassa
 - ▶ forma *in natura*, pré-tratada ou industrializada
 - ▶ Grande quantidade de partículas
 - ▶ Diferentes formas e tamanhos "**Forma polidispersa**"
 - ▶ **Características físico-químicas e composições** específicas



Caracterização da biomassa

▶ Aproveitamento mais eficiente de qualquer biomassa

▶ Necessário **caracterizá-la**:

- a) **Características físico-geométricas**
- b) **Químicas**
- c) **Térmicas**
- d) **Aerodinâmicas (das partículas)**

▶ **Função**:

- ▶ **Selecionar a aplicação** ou a **tecnologia** de conversão de energia **mais viável** para cada material, bem como realizar sua otimização

▶ **Ex**:

- ▶ Processos químicos (e.g. Hidrólise) ou termoquímicos (e.g. Pirólise ou Gaseificação)
 - Conhecimento das **propriedades da partícula e composição química**
 - Fundamental → desenvolvimento tecnológico e otimização do processo

Caracterização da biomassa

▶ **Propriedades físico-geométricas**:

- ▶ parâmetros que indicam o tamanho e a forma das partículas:

▶ **Exemplo**:

1. **Esféricidade (ϕ)**: relação que indica a proximidade de uma esfera de uma partícula, indicando o formato do particulado;
2. **Histograma de distribuição granulométrica**;
3. **Diâmetro médio de partícula (\bar{d}_p)** ou **diâmetro médio de Sauter (D_s)**: Parâmetros obtidos pela caracterização granulométrica das partículas (e.g. Peneiras da série Tyler, microscopia, etc).

Caracterização da biomassa

▶ Caracterização granulométrica das partículas

▶ **Peneiras da série Tyler**

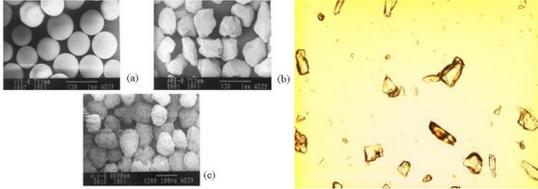


Comparative Particle Size:		
U.S. Mesh	Inches	Micros
10	0.0197	2000
12	0.0661	1680
14	0.0665	1410
16	0.0649	1190
18	0.0394	1000
20	0.0331	841
25	0.0280	707
30	.0232	595
35	.0197	500
40	.0165	420
45	.0138	354
50	.0117	297
60	.0098	250
70	.0083	210
80	.0070	177
100	.0059	149
120	.0049	125
140	.0041	105
170	.0035	88
200	.0029	74
230	.0024	63
270	.0021	53
325	.0017	44
400	.0015	37
500	.00098	25
625	.00079	20
750	.000394	10
1000	.00015	8
2000	.000197	5
5000	.000069	2.5
10000	.000034	1

- ▶ **Mesh**: unidade de medida empregada na caracterização granulométrica de partículas, equivale ao número de aberturas por polegada quadrada (Ex: 100 mesh → 100 aberturas/in²)

Caracterização da biomassa

- ▶ **Caracterização granulométrica das particuladas**
 - ▶ **Microscopia ótica**
 - ▶ Permite uma estimativa da faixa dos tamanhos e do formato das particuladas da amostra
 - ▶ Ou, ainda, MEV



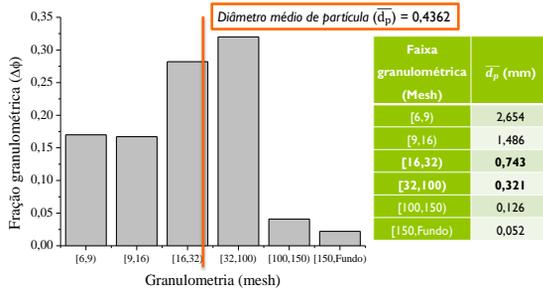
Caracterização da biomassa

- ▶ **Esfericidade (ϕ)**: relação que indica a proximidade de uma esfera de uma partícula (formato do particulado)

	Bem arredondado	Arredondado	Sub-arredondado	Sub-anguloso	Anguloso	Muito anguloso
Baixa esfericidade						
Alta esfericidade						

Caracterização da biomassa

- ▶ **Histograma de distribuição granulométrica:**



Caracterização da biomassa

- ▶ **Composição química:**

▶ Exerce influência significativa sobre suas as possibilidades de aplicação

- ▶ **Composição elementar:**

▶ **Carbono (C), hidrogênio (H), enxofre (S), oxigênio (O), nitrogênio (N), umidade (W) e material residual (cinzas) (A)**

- ▶ **Caracterização:**

□ **Procedimentos:** Normas americanas

□ ASTM E 870-82 – *Standard test methods for analysis of wood fuel*

□ ASTM E 778-87 – *Standard test method for nitrogen (...)*

□ ASTM E 777-87 – *Standard test methods for carbon and nitrogen (...)*

□ **Técnicas:** Analisador Centesimal, TOC Analyzers ou MEV-EDX (*semi-quantitativa)

- ▶ **Característica mais importante de uma biomassa para aplicação como combustível**

□ Determina o **poder calorífico** do material

▶ *ASTM - American Society for Testing and Materials (ou AOAC - Official Methods of Analysis)*

Caracterização da biomassa

- ▶ **Composição imediata:**

- ▶ Porcentagem mássica:

▶ **Carbono fixo (F), Voláteis (V), Umidade (W) e Cinzas (A)**

1. **Compostos voláteis:** possuem papel importante na ignição e as etapas iniciais de combustão da biomassa

2. **Teor de umidade:** deve ser sempre obtido a fim de determinar os teores em base seca (b.s.)

▶ **Procedimentos:** Simples (mufla/estufa) → custo relativamente barato

□ ASTM D 1102-84 – *Standard test methods for ash in wood*

□ ASTM E 872-82 – *Standard test method for volatile matter (...)*

□ Carbonização em 850 °C por 7 min (em atmosfera inerte)

- ▶ **Carbono fixo (ou Coque):** resíduo combustível deixado após a liberação da matéria volátil, o qual é constituído basicamente de carbono, embora ainda contenha alguns elementos voláteis não liberados (O₂; H₂; N₂; S)

Caracterização da biomassa

- ▶ **Poder calorífico (ou potencial calorífico):**

▶ **Definição:** quantidade de energia liberada na forma de calor durante a combustão completa da unidade de massa do combustível (kJ/kg ou MJ/kg)

- ▶ Define-se como:

1. **Poder Calorífico Superior (PCS)** - quantidade de energia gerada considerando-se o calor latente de condensação da umidade dos produtos de combustão do material, ou seja, soma da energia liberada na forma de calor e a energia gasta na vaporização da água

□ i.e.: Calor reaproveitado pela condensação do vapor

2. **Poder Calorífico Inferior (PCI)** - apenas a quantidade de energia liberada na forma de calor (sem considerar a energia gasta na vaporização da água). Assim, o PCS é sempre maior ou igual ao PCI, pois aproveita a entalpia de condensação da água.

Caracterização da biomassa

- ▶ **Maioria dos equipamentos e tecnologias que queima combustível produz vapor d'água**
 - ▶ Geralmente, não é utilizado
 - ▶ seu conteúdo energético é **desperdiçado**
 - ▶ Tais aplicações: PCI é a medida aplicável

- **Exemplo: Caso do gás natural**
- Alto teor de hidrogênio: produz muita água durante a combustão
 - Poder calorífico é relevante
 - Tanto para o gás queimado em caldeiras
 - Quanto pela condensação dos gases de combustão (vapor d'água produzida pela combustão)
 - Recuperando-se uma energia que seria desperdiçada → PCS

▶

Caracterização da biomassa

▶ Composição elementar (ou composição imediata)

- ▶ **Depende:**
 - ▶ Proveniência da biomassa
 - ▶ Fatores sazonais e locais
 - (e.g. solo, clima, índice pluviométrico, dentre outros)
- ▶ Maior parte das biomassas, o teor de carbono e oxigênio são majoritários (≈80%)

▶

Caracterização da biomassa

▶ Composição elementar

Tabela 7. Composição elementar de diferentes biomassas (em base seca).

Tipo de Biomassa	Composição Elementar (%)					
	C	H	O	N	S	A
Pinus	49,25	5,99	44,36	0,06	0,03	0,3
Eucalipto	49,00	5,87	43,97	0,30	0,01	0,72
Casca de arroz	40,96	4,30	35,86	0,40	0,02	18,34
Bagaço de cana	44,80	5,35	39,55	0,38	0,01	9,79
Casca de coco	48,23	5,23	33,19	2,98	0,12	10,25
Sabugo de milho	46,58	5,87	45,46	0,47	0,01	1,40
Ramos de algodão	47,05	5,35	40,77	0,65	0,21	5,89

(Fonte: Cortez et al., 2008)

▶

Caracterização da biomassa

▶ Composição imediata

Tabela 8. Composição imediata de diferentes biomassas (em base seca).

Tipo de Biomassa	Composição Imediata (%)		
	V	A	F
Pinus	82,54	0,29	17,70
Eucalipto	81,42	0,79	17,82
Casca de arroz	65,47	17,89	16,67
Bagaço de cana	73,78	11,27	14,95
Casca de coco	67,95	8,25	23,80
Sabugo de milho	80,10	1,36	18,54
Ramos de algodão	73,29	5,51	21,20

(Fonte: Cortez et al., 2008)

▶

Caracterização da biomassa

- ▶ **Composição dos constituintes das biomassas**
 - ▶ influencia diretamente no poder calorífico do mesmo

Tabela 9. Poder calorífico superior de diferentes biomassas (em base seca).

Tipo de Biomassa (PCS)	Poder calorífico superior (MJ/kg)
	Pinus
Eucalipto	19,42
Casca de arroz	16,14
Bagaço de cana	17,33
Casca de coco	19,04
Sabugo de milho	18,77
Ramos de algodão	18,26
Resíduos sólidos urbanos	19,87
Excrementos de gado	17,36

(Fonte: Cortez et al., 2008)

▶

Caracterização da biomassa

▶ Relações: estimar os valores de poder calorífico

▶ Teor de umidade:

- ▶ Poder calorífico em base seca (b.s.) para base de trabalho (b.t.):

$$PCS^t = PCS^s(100 - W^t) \quad (01)$$

- ▶ Poder calorífico superior (b.s.) para poder calorífico inferior (b.t.):

$$PCI^t = [(PCS^s - \lambda(r + 0,09H^s))((100 - W^t)/100)](02)$$

- ▶ Em que, λ é o calor latente da água (= 2,31 MJ/kg a 25°C), H^s a composição em base seca de hidrogênio, e $r = W^t/(100 - W^t)$.

(Fonte: Cortez et al., 2008)

▶

Caracterização da biomassa

▶ Relações (01) e (02) propostas por Jenkins (1990)

- ▶ Particularmente úteis:
 - ▶ quando **não** se possui **dados completos** sobre a amostra
- ▶ Muitas vezes é possível realizar apenas a **análise imediata**
 - ▶ Menor custo

▶ Equação de Mendeliev:

- ▶ Apresenta erro menor → se baseia na composição química da amostra
 - ▶ **Aplicável:** caso se disponha da análise elemental:

▶ Poder calorífico inferior (em kJ/kg):

- ▶ função da composição elemental do material (b.t.):

$$PCI^t = 339C^t + 1030H^t - 109(O^t - S^t) - 24W^t \quad (03)$$

(Fonte: Cortez et al., 2008)

Caracterização da biomassa

▶ Jenkins (1990): relações **empíricas** para estimar o PCS em função de apenas um parâmetro (teor de carbono e teor de cinzas)

$$PCS^s = 2,3381 + 0,351C^s \quad (04)$$

$$PCS^s = 20,180 - 0,203A^s \quad (05)$$

- ▶ No entanto, estas equações são **menos precisas!**

(Fonte: Cortez et al., 2008)

Caracterização da biomassa

▶ Relação entre a composição química e composição imediata:

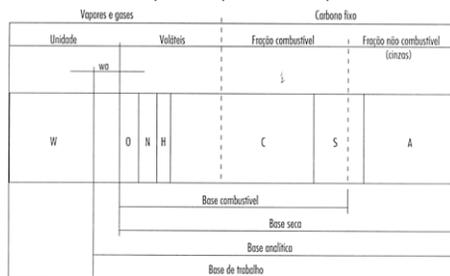


Figura 4. Relação entre a composição elemental e imediata de uma biomassa.

(Fonte: Cortez et al., 2008)

Composição bioquímica das biomassas

▶ No que se refere aos constituintes das biomassas, em geral, temos as seguintes classificações das "culturas energéticas":

▶ Lignocelulose

- ▶ Maior parte das biomassas

▶ Plantas amiláceas

- ▶ Grãos, tubérculos, etc

▶ Plantas sacarídicas

- ▶ Cana-de-açúcar; beterraba, frutas em geral

▶ Óleos e graxas

- ▶ Plantas oleaginosas (e.g.)
- ▶ Sebos e gorduras animais

Carboidratos
(e seus polímeros)

Triglicerídeos
e ácidos graxos

Composição bioquímica das biomassas

▶ Dentre as inúmeras matérias-primas empregadas como fonte de carbono visando à obtenção de energia **destacam-se:**

1. **Etanol:** milho e cana-de-açúcar por fermentação alcoólica
 2. **Biodiesel** (via transesterificação)
- ▶ **Cana-de-açúcar:** biomassa de interesse estratégico para o Brasil
 - ▶ **Grãos:** crescentemente competitivos com as culturas açucareiras como substratos de fermentação
 1. Constantes recordes de ganhos de produtividade
 2. Engenharia genética
 - tende a acentuar a sua vantagem competitiva

Composição química das biomassas

▶ Qualquer produto que contenha carboidratos

- ▶ constitui-se em matéria-prima para obtenção de **etanol**

▶ Viabilidade econômica:

1. Volume de produção
2. Logística obtenção e transporte (matéria-prima e combustível)
3. Rendimento industrial
4. Custo de fabricação (average fossil diesel price - \$1.05/kg)
 - ▶ Biodiesel: Cost production limit is around \$0.5/kg to be competitive to the fossil fuels sources (Acien et al., 2014; Yu et al., 2015; Song et al., 2015)

▶ Substratos utilizados na obtenção de etanol por fermentação:

1. Melaços ou suco de cana-de-açúcar ou de beterraba
2. Raízes que contém amido, tubérculos ou grãos
3. Madeira ou resíduos do processamento de madeiras

Composição química das biomassas

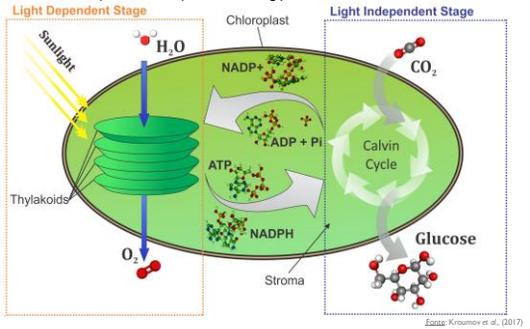
Biomassas em geral: fontes de carboidratos

- Biomoléculas mais abundantes nos seres vivos
- Funções:**
 - Obtenção e a reserva de energia nos seres vivos
 - Suporte estrutural em plantas, animais e alguns microrganismos
- Hidratos de carbono
 - Produzidos pelas plantas através do processo fotossintético
 - Degradados pelos animais no decorrer da respiração celular (obter energia)
 - Constituindo assim a fonte primária de energia dos seres vivos

Hidratos de carbono: são moléculas constituídas por: carbono, oxigênio e hidrogênio, são representados genericamente por: $C_nH_{2n}O_n$ (e.g. $C_6H_{12}O_6$ - glicose)

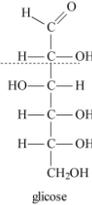
Carboidratos

Glicose: produzida a partir do CO_2 pela fotossíntese



Carboidratos

- Carboidratos são um grupo de biopolímeros:
 - Compostos **carbonílicos** (aldeídos e cetonas)
 - Contendo também vários grupamentos **hidroxilícos**
 - Ex: Glicose ($C_6H_{12}O_6$)
 - Monossacarídeo mais comum e abundante



- Monossacarídeos**
 - Unidade estrutural dos hidratos de carbono
 - Constituem o esqueleto principal do **metabolismo energético celular**
 - Oligossacarídeos**
 - Moléculas relativamente pequenas (dois a seis monossacarídeos)
 - Polissacarídeos**
 - Formam moléculas de elevado peso molecular (macromoléculas)
 - Reservas de monossacarídeos** ou como **compostos estruturais**
- Proporção considerável da biomassa é constituída 21 por polímeros de glicose (e.g. amido e celulose)

Carboidratos

- Cadeias carbônicas da glicose podem ser encontradas na **forma linear** (i.e. cadeia aberta), quanto na **forma cíclica** (cadeia fechada)

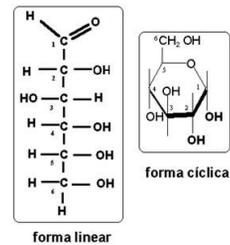
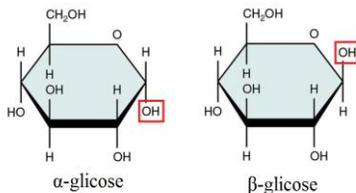


Figura 5. Configuração linear e cíclica da glicose.

Carboidratos

Forma cíclica

- α -glicose:** hidroxila (OH) do carbono à direita do heteroátomo de oxigênio ligada para baixo
- β -glicose:** hidroxila ligada para cima



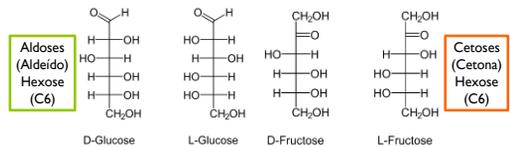
Equilíbrio: Em solução
 α -D-glicopiranosose \rightarrow C = 33%
 β -D-glicopiranosose \rightarrow C = 66%
 Forma linear: C = traço

Figura 6. Estrutura química da: α -glicose e da β -glicose.

Monossacarídeos

Carboidratos não polimerizados (i.e. monômeros)

- Monossacarídeos mais comuns: **hexoses (C6)**
- Hexoses mais importantes do ponto de vista biológico:
 - Glicose, Galactose, Frutose**
- São os açúcares simples, sendo que o componente mais importante das hexoses:
 - D-glicose (monossacarídeo mais abundante)
 - D-frutose



- Hexoses:** monossacarídeos formados por cadeia de seis átomos de carbono (fórmula geral $C_6H_{12}O_6$). Principal função: é produzir energia, 1 g de qualquer hexose produz 4 kcal de energia.

Dissacarídeos

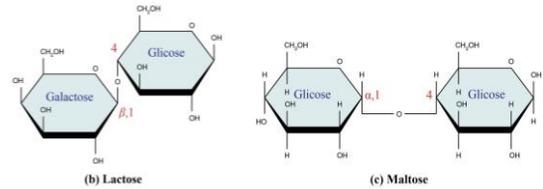
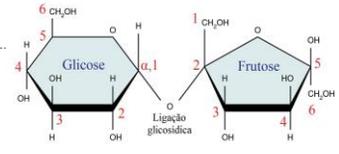
- Carboidratos formados pela união de duas unidades de monossacarídeos unidos por uma **ligação glicosídica**

Principais:

- Sacarose:** Glicose + Frutose
- Lactose:** Glicose + Galactose
- Maltose:** Glicose + Glicose

Ligação glicosídica: é uma ligação covalente resultante da reação e condensação entre uma molécula de um carboidrato com um álcool (comumente outro carboidrato). Especificamente, o que ocorre é combinação da hidroxila de um **carbono anomérico** (Carbono ligado ao oxigênio central e a uma hidroxila livre) de um monossacarídeo com a hidroxila de um álcool ou com a hidroxila de qualquer carbono de outro monossacarídeo, em que ambas as moléculas se unem produzindo a ligação glicosídica (-O-) e água.

Dissacarídeos



Dissacarídeos: Sacarose

Sacarose:

- Amplamente distribuída entre as plantas superiores
- Matérias-primas → Abundância
 - Cana-de-açúcar (*Sacharum officinarum*): ≈ 15-20%
 - Beterraba (*Beta vulgaris*): ≈ 14-18% de sacarose



Características:

- Paladar doce
- Fermentação por leveduras:
 - amplamente utilizada comercialmente → **produção de etanol**



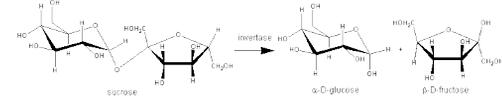
Dissacarídeos

Hidrólise de sacarídeos:

- Durante o processo digestivo (animais)
- Industrialmente
- Tanto os dissacarídeos como os polissacarídeos
 - têm suas ligações glicosídicas quebradas obtendo-se monossacarídeos (absorvíveis pelo organismo)
- Hidrólise Química:** ácida ou básica
- Hidrólise Enzimática:** enzimas responsáveis pela quebra da ligação (e.g. amilases, celulases, invertase)



Exemplo: Hidrólise da sacarose: hidrolisada pela invertase à glicose e frutose:



Dissacarídeos: Sacarose

Açúcares diretamente fermentescíveis x Açúcares não diretamente fermentescíveis

- Dentre as matérias açucaradas temos:
 - Diretamente fermentescíveis:**
 - Contêm **monossacarídeos** (e.g. sucos de frutas)
 - Importância: produção de bebidas (vinho, etc)
 - Açúcares fermentescíveis não são comumente empregados na produção do etanol
 - devido ao alto custo de produção (frutas em geral)
 - Não diretamente fermentescíveis:**
 - Contêm **dissacarídeos** (e.g. cana-de-açúcar, beterraba)
 - Fermentam apenas após uma hidrólise (inversão)
 - Realizada naturalmente por ação da invertase
 - Enzima produzida pelo agente de fermentação (e.g. leveduras – *S. cerevisiae*)

Dissacarídeos: Celobiose

Celobiose:

- Dissacarídeo composto por duas moléculas de glicose
 - Assim como a maltose
- composta por duas moléculas de β -glicose
 - ligadas por uma ligação glicosídica $\beta(1\rightarrow4)$ (Hidroxila para cima)

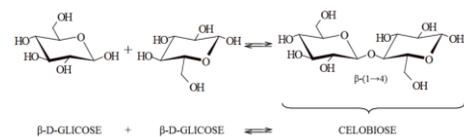


Figura 11. Formação da ligação celobiose, através da ligação glicosídica entre duas unidades de β -D-glicose.

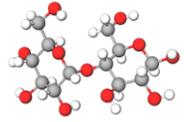
Dissacarídeos: Celobiose

▶ Celobiose:

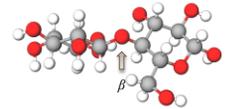
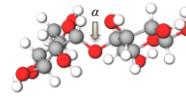
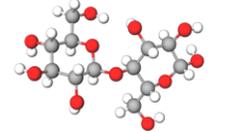
- ▶ Importância significativa nas biomassas
- ▶ Constituinte básico de seu **polímero estrutural**: a celulose
- ▶ Biossíntese: cadeias de celulose são sintetizadas simultaneamente (de forma ordenada)
- ▶ **Arranjo supramolecular** → maior estabilidade
 - Depende de uma rede de ligações de hidrogênio (pontes de hidrogênio)
 - Otimização provoca uma rotação de 180° da segunda unidade de glicose em relação à primeira
 - **Celobiose**: unidade conformacional mínima da celulose (monômero)
 - Glicose → apenas uma unidade fundamental das cadeias do homopolímero

Estrutura molecular (Maltose vs. Celobiose)

▶ Maltose $\alpha(1\rightarrow4)$



▶ Celobiose $\beta(1\rightarrow4)$



Obs: Ambas possuem mesma composição química ($C_{12}H_{22}O_{11}$), no entanto estruturas moleculares diferentes (isto gera propriedades diferentes) (i.e. Polímeros: (i) Maltose → Amido (Amilose); (ii) Celobiose → Celulose)

Polissacarídeos: Amido

▶ Amido

- ▶ Polissacarídeo com função de reserva energética dos vegetais
 - ▶ Armazenado pelo vegetal e consumido em épocas desfavoráveis
 - ▶ Ex: milho, batatas, arroz, mandioca, etc

▶ Estrutura Química:

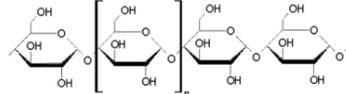
- ▶ Amido: mistura de dois polissacarídeos (amilose e amilopectina)
 - ▶ Ambos polímeros de glicose
- ▶ Proporção de amilose e amilopectina
 - ▶ varia de acordo com a matéria-prima
 - ▶ 20-30% de amilose e 70-80% de amilopectina

Polissacarídeos: Amido

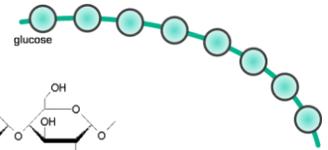
▶ Amilose:

- ▶ Macromolécula constituída de 250 a 300 resíduos de D-glicopiranosose (D-glicose)
- ▶ Ligadas por pontes glicosídicas $\alpha-1,4$
 - ▶ conferem à molécula uma **estrutura linear helicoidal**

Amilose:



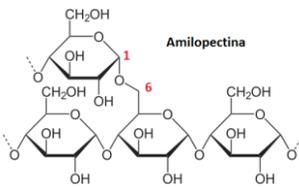
amilose



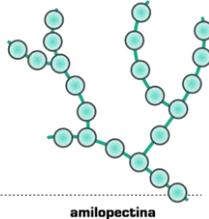
Polissacarídeos: Amido

▶ Amilopectina:

- ▶ Macromolécula, menos hidrossolúvel que a amilose
- ▶ Constituída por cerca de 1400 resíduos de α -glicose ligadas por pontes glicosídicas $\alpha-1,4$
 - ▶ Ocorrendo também ligações $\alpha-1,6$ → gerando uma **estrutura ramificada**



Amilopectina



amilopectina

Polissacarídeos: Amido

▶ Matérias-primas:

- Raízes e tubérculos: Mandioca e a batata
- Cereais: milho, trigo e arroz

▶ Produção mundial:

- Elevada: entre 25 e 45 milhões de toneladas por ano

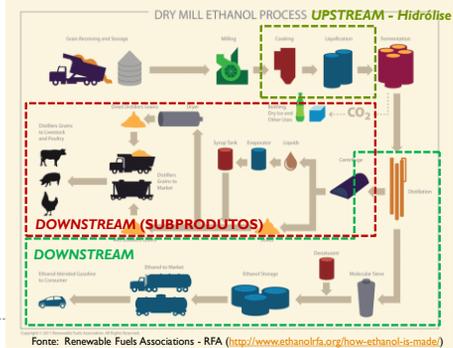
▶ Matéria-prima de caráter renovável, biodegradável e não tóxica

▶ Em geral:

- ▶ Grânulos de **amido** ocorrem apenas em plantas



Produção Etanol do milho (EUA)



Polissacarídeos: Amido

Estudo de caso: Etanol de mandioca

Amido como fonte de produção de energia

Contexto:

- ▶ Década de 1980: Seis usinas de álcool de mandioca chegaram a ser construídas no Brasil com financiamento público e incentivos fiscais
 - Cana-de-açúcar mais viável na produção de álcool combustível, as usinas de mandioca foram gradativamente abandonadas
- ▶ Cana só superou a mandioca devido aos investimentos em pesquisa de variedades mais adaptadas, resistência a pragas e doenças e também em melhorias no processo industrial

Potencial:

- ▶ Produção de álcool carburante (i.e. para uso automotivo) de mandioca é viável tanto do ponto de vista técnico quanto em relação a custo, sendo uma alternativa para o Brasil deixar de lado a monocultura da cana

Vantagens:

- ▶ Técnicas (período entre safra cana-de-açúcar)
 - Setor sucroalcooleiro: parado durante cinco meses do ano (novembro a abril)
- ▶ Sociais (descentralização de renda)
 - pequenas propriedades familiares

Polissacarídeos: Amido

Infraestrutura:

- ▶ Destilarias teriam que instalar equipamentos apenas para as duas fases iniciais do processamento das duas matérias-primas:
 - ▶ recepção e preparo
- ▶ A partir da fermentação/destilação, a estrutura utilizada é a mesma
 - ▶ 90% dos equipamentos: dornas de fermentação e colunas de destilação → são de uso comum

Custo de implantação:

- ▶ destilaria de mandioca (10% valor de usina de cana)

Viabilidade:

- ▶ Destilarias de mandioca são viáveis principalmente em regiões onde a cana tem produtividade baixa (Norte do país)
- ▶ Custos de produção das duas matérias-primas, atualmente, são equivalentes

Complexo lignocelulósico

Complexo lignocelulósico

Lignocelulose:

- ▶ é o maior componente da biomassa
- ▶ em torno de metade da massa produzida pela fotossíntese
- ▶ maior fonte de recursos renováveis na Terra

Complexo lignocelulósico:

- ▶ compreende três tipos de polímeros:
 - ▶ Celulose
 - ▶ Hemicelulose
 - ▶ Lignina
- ▶ se ligam quimicamente por ligações intensas
 - Forças não covalentes e ligações cruzadas covalentes

Complexo lignocelulósico

Tecidos vegetais: Estrutura

Celulose

- ▶ material fibroso, que atribui força e flexibilidade à parede celular

Lignina

- ▶ Fibras celulósicas são revestidas por lignina
- ▶ proporciona impregnação e proteção
- ▶ este revestimento confere à fibra uma maior resistência
 - ao ataque químico e biológico

Hemicelulose

- ▶ comporta-se como um adesivo
- ▶ formando ligações químicas entre a celulose e a lignina

Três principais componentes do complexo lignocelulósico

- ▶ além de outros componentes em menor quantidade
 - pectina e proteínas, constituem um complexo emaranhado que forma a resistente estrutura da parede celular

▶ **Pectina:** polissacarídeo ramificado constituído principalmente de polímeros de ácido galacturônico, ramnose, arabinose e galactose; Um dos principais componentes da parede celular das plantas, principalmente da lamela média.

Complexo lignocelulósico

Componentes lignocelulósicos

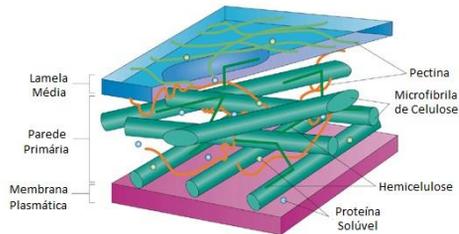


Figura 17. Representação da distribuição dos componentes lignocelulósicos na parede celular vegetal. Fonte: Adaptado de STICKLEN (2008).

Complexo lignocelulósico

Celulose

- Polímero linear composto por subunidades de celobiose (dissacarídeo de D-glicose unidas por ligações glicosídicas $\beta(1,4)$)
- Celobiose
 - por sua vez, forma longas cadeias unidas por pontes de hidrogênio intra e intermoleculares e forças de Van der Waals
 - formando microfibrilas de 3 a 5 nm de diâmetro

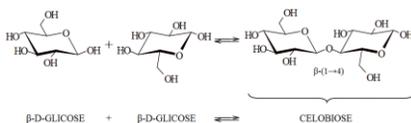


Figura 18. Formação da molécula da celobiose, através da ligação glicosídica entre duas unidades de $\beta\text{-D-glicose}$. Fonte: Adaptado de SOLOMONS & FRYHLE (1998).

Complexo lignocelulósico

Hemicelulose (ou glucanos de ligação cruzada)

- Polissacarídeos flexíveis que ligam-se à superfície da celulose
 - Formam correntes entre as microfibrilas de celulose
 - Resultando em uma rede coesa
 - Impedindo o contato direto entre as fibrilas formando um revestimento
- Possuem um peso molecular muito menor que a celulose
 - Grau de polimerização:** entre 100 e 200
 - Nas hemiceluloses os monômeros são ligados através de diferentes ligações glicosídicas
 - Geralmente: do tipo $\beta\text{-1,4}$ e, ocasionalmente, $\beta\text{-1,3}$

Polissacarídeos: Celulose

Polissacarídeo: de papel estrutural nas plantas

- participa da parede das células vegetais

Celulose: polímero de elevado peso molecular

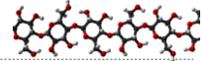
- composto de um só monômero (celobiose) - **homopolímero**

Fórmula molecular $(C_6H_{10}O_5)_n$

Peso molecular variável:

- Valor mínimo: $n=200$
- Tipicamente: 300 a 700
- Podendo ultrapassar: 7000

Polissacarídeos: Celulose



Celulose

Estrutura linear, fibrosa e compacta

- Múltiplas **ligações de hidrogênio** entre grupos hidroxilas de cadeias distintas justapostas de celobiose
- Fazendo-as impenetráveis a água e, portanto, insolúveis
 - originando fibras resistentes que constituem a parede celular dos vegetais

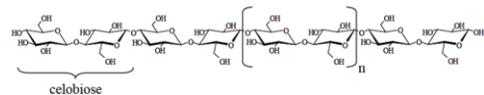


Figura 15. Representação da estrutura linear da celulose, formada pelas unidades de celobiose.

Fonte: MARTINS, 2005

Complexo lignocelulósico

Hemicelulose

Heteropolímero: formado por ampla variedade de blocos construtivos:

- Pentoses** (e.g. xilose, ramnose e arabinose)
- Hexoses** (e.g. glucose, manose e galactose)
- Ácidos urônicos** (e.g. ácidos 4-O-metilglucurônico e galacturônico)

Características:

- Estruturalmente mais parecidas com a celulose, em comparação com a lignina
- Estrutura apresenta ramificações e cadeias laterais que interagem facilmente com a celulose
 - dando estabilidade e flexibilidade ao agregado

Complexo lignocelulósico

▶ Hemicelulose

- ▶ Principais monossacarídeos que formam a estrutura das hemiceluloses:

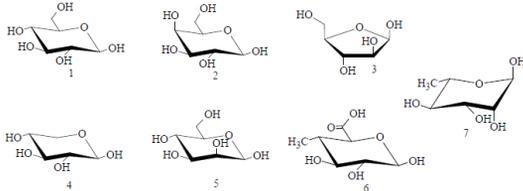


Figura 19. Representação dos monossacarídeos constituintes das hemiceluloses: (1) D-glucose; (2) D-galactose; (3) L-arabinose; (4) D-xilose; (5) D-manose; (6) 4-O-metil-D-glucurônico; (7) L-ramnose. Fonte: MARTINS (2005).

▶

Complexo lignocelulósico

▶ Lignina

- ▶ **Heteropolímero** amorfo, insolúvel em água
 - ▶ Formado por unidades de fenilpropano conectadas por ligações não-hidrolisáveis
 - ▶ Se liga tanto à hemicelulose quanto à celulose
 - ▶ Formando uma barreira física que torna a parede celular vegetal impenetrável
- ▶ **Função:**
 - ▶ Presente na parede celular, a lignina proporciona **suporte estrutural, impermeabilidade e resistência a ataques enzimáticos e/ou microbianos e oxidativos**

▶

Complexo lignocelulósico

▶ Lignina

- ▶ Macromolécula amorfa com estrutura tridimensional extremamente complexa
- ▶ **Síntese:**
 - ▶ Baseada em três precursores monoméricos (álcoois hidroxicinâmicos):
 - Coniferílico, sinapílico e p-cumarílico
 - Proporção varia com a espécie da planta

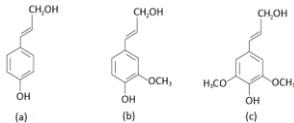


Figura 20. Estrutura dos álcoois precursores da lignina: (a) Álcool p-cumarílico, (b) Álcool coniferílico e (c) Álcool sinapílico.

▶

Complexo lignocelulósico

▶ Lignina

- ▶ Formação deste polímero ocorre, principalmente, por ligações β -aril éter (R-O-R')
- ▶ Dependendo do grau de metoxilação ($-\text{O}-\text{CH}_3$)
 - o grupo aromático é o p-hidroxibenzil (derivado do álcool p-cumarílico)
 - guaiaxil (derivado do álcool coniferílico)
 - siringil (derivado do álcool sinapílico)
- ▶ **Propriedades:**
 - ▶ Propriedade física mais importante dessa macromolécula orgânica é a sua **rigidez**:
 1. Confere estrutura ao tecido da planta
 2. Previne o colapso de elementos condutores de água (seiva)

▶

Complexo lignocelulósico

▶ Lignina

- ▶ **Obs:** Provável estrutura da lignina, pois a concentração de hidroxibenzil, guaiaxil e siringil variam de acordo com a planta

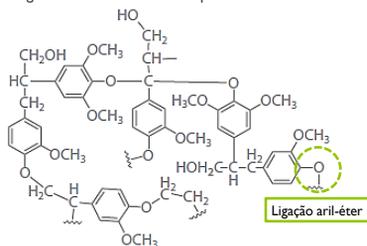


Figura 21. Representação da estrutura da lignina. Fonte: CHUNDAWAT *et al.* (2011).

▶

Complexo lignocelulósico

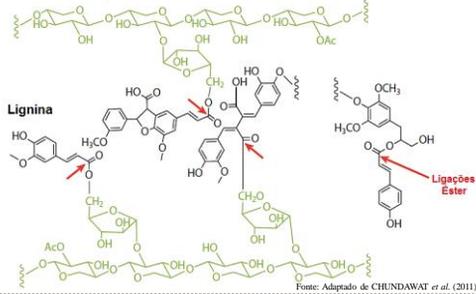
▶ Estrutura lignocelulósica:

- ▶ Composta pelas *microfibrilas* de **celulose** envolvidas por uma matriz de **hemicelulose** e **lignina**
- ▶ Ligação entre a lignina e a hemicelulose são formadas
 - ▶ Majoritariamente, por **ligações éster** entre as cadeias laterais de ambos polímeros
 - ▶ Conhecida como complexos lignina-carboidrato (LCC)
- ▶ **Complexos Lignina-Carboidratos (LCC):**
 - ▶ São atribuídos as características de **hidrofobicidade e resistência química**
 - ▶ Estruturas muito estáveis

▶

Complexo lignocelulósico

► Estrutura lignocelulósica: Complexo Lignina-Carboidrato



Fonte: Adaptado de CHUNDAWAT et al. (2011).

Figura 22. Representação do complexo lignina-carboidrato.

Complexo lignocelulósico

► Estrutura lignocelulósica: Estrutura conformacional

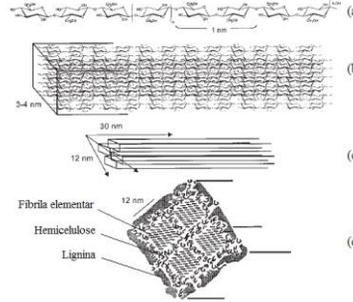


Figura 23. Representação esquemática das associações químicas que ocorrem na parede celular vegetal:

(a) ligações entre moléculas de glucose;

(b) interações entre as cadeias lineares adjacentes para a formação da fibrila elementar;

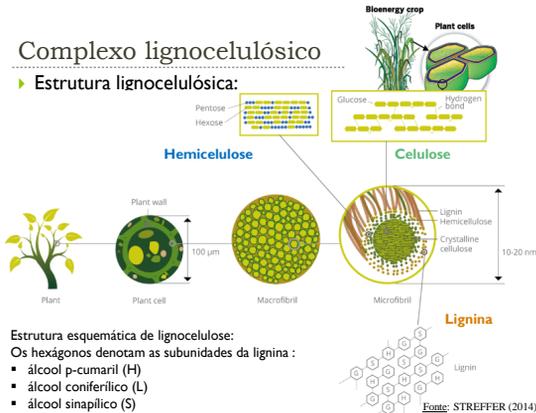
(c) associação entre quatro fibrilas elementares adjacentes;

(d) Associação da hemicelulose e lignina para a formação da microfibrila celulósica.

Fonte: Adaptado de Ramos et al. (2003)

Complexo lignocelulósico

► Estrutura lignocelulósica:



Estrutura esquemática de lignocelulose:

Os hexágonos denotam as subunidades da lignina :

- álcool p-cumaril (H)
- álcool coniferílico (L)
- álcool sinapílico (S)

Fonte: STREFFER (2014)

Biomassa vegetal (Biomassa Florestal)

Tabela 10. Composição do complexo lignocelulósico de resíduos agroindustriais e demais biomassas.

Resíduos Lignocelulósico	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)
Bagaço de cana	32-44	27-32	19-24
Casca de soja	40 - 53	14-33	1-8
Casca de aveia	30,5	28,6	23,1
Palha de Milho	25-41,2	34	14
Palha de Arroz	32,1	24	18
Palha de trigo	29-35	26-32	16-21
Palha de Sorgo	24	44	20
Resíduos de banana	13,2	14,8	14
Folhas	15 - 20	80 - 85	0
Jornal	40-55	25-40	18-30
Papel	85-99	0	0-15
Resíduos Urbanos	26	40	20
Gramíneas	25-40	25-50	10-30
Hardwood	40-45	24-40	18-25
Softwood	45-50	25-35	25-35

Fonte: ZAMBOM et al., 2001; HOWARD et al., 2003; PRASAD et al., 2007; PARIS, 2008; SÁNCHEZ, 2009; AGUIAR, 2010; ABBASI & ABBASI, 2010.

Complexo lignocelulósico

► Lignina

► Contexto:

- Na última década, muitos estudos referentes à manipulação das vias de biossíntese da lignina têm sido realizados
- Há enorme interesse dentro do tema devido à possibilidade de se obter plantas mais adequadas aos **processos de deslignificação**

► Usados na:

1. Indústria de celulose e papel
2. Indústria de conversão da biomassa lignificada em etanol (nascente)
 - Etanol de 2ª Geração

► Obs: Processo de Deslignificação (Hidrólise do complexo celulósico)

- Fator limitante para a indústria do etanol de 2ª Geração
- Restrição tecnológica e econômica → **Baixos rendimentos e altos custos**
- Processos **termoquímicos e enzimáticos**

Complexo lignocelulósico

► Estrutura lignocelulósica: Estrutura conformacional

- Macroestrutura do complexo lignocelulósico
 - Composto pelos diferentes polímeros interligados
 - Confere grande **estabilidade térmica e química à estrutura**

► Sua hidrólise ou degradação é realizada:

- apenas sob condições extremas de temperatura e pH

► Grande estabilidade :

- Traz uma série de **dificuldades** à algumas aplicações

► Exemplo:

- **Produção do etanol de segunda geração:** tecnologia severamente limitada pela hidrólise do complexo lignocelulósico
- Atualmente, diversas pesquisas envolvendo **pré-tratamentos** (ácidos e alcalinos) para a hidrólise de tal complexo em seus constituintes elementares:
 - **Celulose, hemicelulose e lignina**

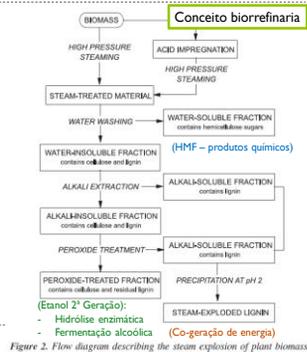
Pré-tratamento de biomassas

Pré-tratamentos

- ▶ Ácidos
- ▶ Básicos
- ▶ Alcalino-oxidativos
- ▶ Explosão à vapor

Prévios à hidrólise enzimática

- ▶ Celulases, Hemicelulases, Xilanases



Fonte: Ramos et al. (2003)

Biomassa vegetal (Biomassa Florestal)

Biomassas vegetais:

- ▶ Contêm diferentes quantidades de:
 - ▶ Celulose
 - ▶ Hemicelulose
 - ▶ Lignina (lenhina)
 - ▶ Pequenas quantidades de outros compostos orgânicos
 - ▶ Além de inorgânicos (i.e. cinzas)

Subprodutos:

- ▶ Momento apenas uma pequena quantidade de materiais lenhocelulósicos que são aproveitados na **agricultura e silvicultura**
- ▶ Restante → geralmente descartado como **resíduos**

Tipos de biomassa vegetal: *Hardwood* e *Softwood*

Composição:

- ▶ Teor dos constituintes lignocelulósicos
 - ▶ (i.e. celulose, hemicelulose e lignina)
- ▶ Varia consideravelmente para madeiras folhosas (*hardwoods*) e madeiras coníferas (*softwoods*)

Consequência:

- ▶ **Potenciais caloríficos** variam significativamente
- ▶ Em geral, as **madeiras moles (coníferas)**
 - ▶ Potencial calorífico aproximadamente **25% inferior** às **madeiras duras (angiospermas)**

Complexo lignocelulósico

1. Madeiras duras ou “Hardwoods”

- ▶ **Sinônimos:** Madeiras folhosas (ou angiospermas) *dicotiledôneas*
- ▶ **Composição:** contêm ligninas formadas principalmente por unidades de guaiaçil e siringila
- ▶ **Características:** Folhas largas e sementes encerradas em frutos
- ▶ Células especializadas específicas para cada função (transporte e estrutura)
 - ▶ **Exemplos:** Frutíferas em geral

2. Madeiras moles ou “Softwoods”

- ▶ **Sinônimos:** Madeiras coníferas (ou gimnospermas)
- ▶ **Composição:** ligninas formadas fundamentalmente de unidades guaiaçila
- ▶ **Características:** Folhagem na forma de agulha e ausência de frutos (sementes descobertas)
- ▶ Células que servem ao transporte de água e nutrientes também provêm suporte mecânico
 - ▶ **Exemplos:** Coníferas em geral (Brasil: Pinus)

3. Gramíneas

- ▶ **Composição:** ligninas de gramíneas compreendem as três unidades
 - ▶ **Exemplos:** Bagaço de cana-de-açúcar, capim elefante, etc.

Tipos de biomassa vegetal: *Hardwood* e *Softwood*

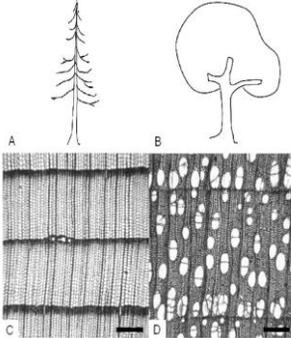
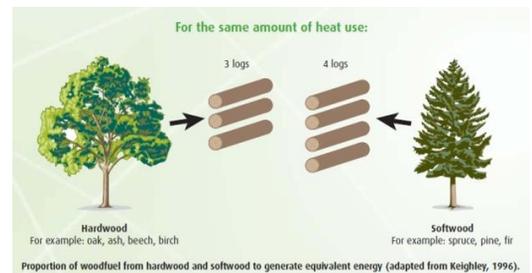


Figura 24. Representação esquemática de uma madeira de conífera (A); representação esquemática de uma madeira de folhosa (B); micrografia da seção transversal do tronco de uma madeira de conífera (C); micrografia da seção transversal do tronco de uma madeira de folhosa (D). Barras de escala com comprimento de 300 μm. (Fonte: Carvalho et al. 2009).

Complexo lignocelulósico

▶ “Hardwoods” vs. “Softwoods”



Complexo lignocelulósico

▶ “Hardwoods” vs. “Softwoods”



Tipos de biomassa vegetal: *Hardwood* e *Softwood*

▶ Densificação:

- ▶ Comum: métodos de redução de tamanho e densificação
 - (produção de *pellets* – e.g. serragem, cavacos, palhas e outros resíduos agroindustriais)

▶ Objetivo:

1. Aumentar o poder calorífico
2. Facilidade de aplicação
3. Tanto na combustão direta destas biomassas quanto em outras tecnologias (i.e. gaseificação, pirólise, etc)



Considerações finais

▶ Materiais lignocelulósicos

- ▶ **Recursos renováveis** que podem ser direta ou indiretamente utilizados para
 - ▶ Produção de biomoléculas e/ou *commodities* químicas
 - ▶ Biombustíveis → **Energia** (**Térmica, mecânica, elétrica**)
- ▶ No entanto, algumas destas aplicações são **limitadas tecnologicamente**
- ▶ **Compreensão clara desta composição química**
 1. Identificar as razões pelas quais lignocelulose são não resilientes à processos biológicos (como a hidrólise enzimática e fermentação)
 2. Papel importante na distribuição dos **produtos da pirólise e no potencial calorífico**
- ▶ **Conclusão:**
 - ▶ Escolha do processo e etapas preparatórias
 - Adequados para cada fonte de biomassa
 - Dependem fortemente de sua **composição e características intrínsecas**

Óleos e gorduras



▶ Óleos vs. gorduras

- ▶ **Diferença básica:** estado físico
 - ▶ **Gorduras:** sólidas ou pastosas à temperatura ambiente (25°C)
 - ▶ **Óleos:** são líquidos

▶ Fontes de obtenção:

- ▶ Materiais vegetais e, também, animais
 - ▶ Ex: Sebo bovino, culturas oleaginosas (dendê, palma, canola, girassol, macaúba, etc), soja, etc

▶ Composição:

- ▶ Mistura complexa de substâncias
 - ▶ **mono-, di- e triglicerídios** (maior quantidade), fosfolipídios, glicolipídios, **ácidos graxos**, esteróis e componentes lipossolúveis como tocoferóis, tocotrienóis e carotenoides

Lipídios e ácidos graxos



▶ Lipídios

- ▶ moléculas solúveis em solventes orgânicos (apolares) e insolúveis em água (polar)
- ▶ **Classificados em dois grupos:**
 - ▶ **Glicerídeos** (apresentam um grupo funcional éster)
 - e.g. TAG – triacilglicerídios (possuem glicerol em sua composição)
 - ▶ **Ácidos graxos** (não apresentam grupamento éster e podem apresentar ou não insaturação entre carbonos).

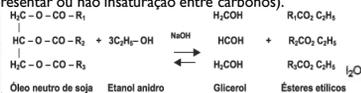


Figura 1. Transesterificação de triglicerídeos, onde R_1 , R_2 e R_3 representam as cadeias carbônicas dos ácidos graxos Fonte: Ferrari et al., Quím. Nova v.28 n.1 (2005)

Lipídios e ácidos graxos

- ▶ **Ácidos graxos** (não apresentam grupamento éster e podem apresentar ou não insaturação entre carbonos).
 - ▶ Cadeia hidrocarbônica dos ácidos graxos apresenta de 8 a 30 carbonos
 - ▶ Característica apolar é predominante sobre o efeito polar do grupo carboxílico da molécula
- ▶ Tanto os glicerídeos quanto os ácidos graxos
 - ▶ Podem apresentar ou não insaturação entre carbonos
 - ▶ **Influenciam as propriedades do óleo e, consequentemente, do biodiesel**
 - Ex: Viscosidade, poder calorífico, estabilidade oxidativa, ponto de névoa, etc

Lipídios e ácidos graxos

▶ **Ácidos graxos saturados:** só possuem ligações simples entre os átomos de carbono

- ▶ Encontrados tanto em gorduras de origem animal:
- ▶ **Ex:** manteiga, carnes, leites e derivados integrais, toucinho, bacon e banha de porco, tanto nos de origem vegetal, como no óleo de coco e óleo de palma (dendê).

▶ **Ácidos graxos insaturados:** possuem insaturações em sua cadeia carbônica (monoinsaturados e poli-insaturados)

- ▶ Estão presentes no azeite de oliva, óleo de canola e girassol, oleaginosas (nozes, amêndoas, castanhas), abacate e azeitona.

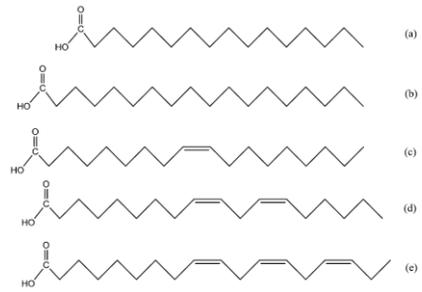


Figura 2. Principais ácidos graxos presentes em óleos: (i) saturados (a, palmítico com 16 carbonos; b, estearico com 18 carbonos); (ii) insaturados com 18 carbonos (c, oleico com uma ligação dupla; d, linoleico com duas ligações duplas; e, linolênico com 3 ligações duplas).

Fonte: (Diório, 2017)

Composição de AGs – Cromatografia gasosa

Tabela 4. Composição química de ácidos graxos em 100 gramas de óleos vegetais

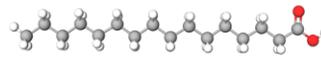
Ácido graxo	Nomenclatura	Soja (g)	Milho (g)	Canola (g)	Oliva (g)	Semente de uva (g)
C-14	--	<0,1	--	--	--	--
C12:0	Láurico	--	--	--	--	--
C14:0	Mirístico	<0,5	--	--	--	--
C16:0	Palmitico	7,0-14	--	--	--	--
C16:1	Palmitoleico	<0,5	--	--	--	--
C17:0	Margárico	--	--	--	--	--
C17:1	Heptadecenoico	--	--	--	--	--
C18:0	Estearico	14-5	--	--	--	--
C18:1	Oleico	19,0-31	--	--	--	--
C18:2	Linoleico	44,0-62,0	--	--	--	--
C18:3	Linolênico	4,0-11,0	--	--	--	--
C20:0	Araquídico	<1,0	<1,0	0,1-1,2	<0,6	<1,0
C20:1	Eicosenoico	<1,0	<0,5	0,1-4,3	<0,4	--
C22:0	Behênico	<0,5	<0,5	<0,6	<0,2	<0,3
C22:1	Ertico	--	--	<2,0	--	--
C24:0	Lignocérico	--	<0,5	<0,2	<2	<0,1
C24:1	Tetracosenoico	--	--	<0,2	--	--

Fonte: adaptado de ANVISA (1999)

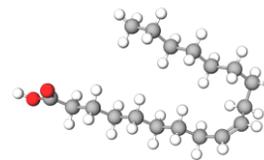
Fonte: (Diório, 2017)

Lipídios e ácidos graxos

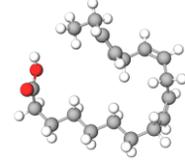
Ácido Palmítico (C16:0)



Ácido Oleico (C18:1)



Ácido Linolênico (C18:3)



▶ **Obs:** Composição dos óleos influencia os parâmetros (viscosidade, ponto de ebulição, etc)

Biomassa (Composição)

▶ **Composição:**

- ▶ Proporção relativa dos principais componentes orgânicos em biomassa é variável conforme a sua **fonte** (matéria-prima)
 - ▶ Sacarose, Amido, Lignocelulose, ou Ácidos graxos e triglicerídeos
 - ▶ Varia não apenas de acordo com o tipo fonte (ou resíduo)
 - mas também com fatores relacionados à:
 - Origem
 - Safra
 - Condições e tempo de armazenamento do resíduo



▶ **Caracterização:** Extremamente importante

- ▶ Design, otimização e controle de processos e equipamentos
 - visando produção de outros **combustíveis** e produtos químicos

Bibliografia

- ▶ Cortez, L.A.B.; Lora, E.E.S.; Olivares Gómez, E. **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Ed. Unicamp, 2008.
- ▶ MARTINS, Leonardo F. **Caracterização do complexo celulásico de *Penicillium echinulatum***. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005. 121 p. Dissertação (Mestrado em Química Orgânica).
- ▶ STREFFER, F. **Lignocelulose to Biogas and other Products**, *JSM Biotechnol Bioeng* 2(1): 1023, 2014.
- ▶ EG, Ación, J.M, Fernández, E. Molina-Grima, **Economics of Microalgae Biomass Production**, in: *Biofuels from Algae*, Elsevier, 2014, pp. 313–325.
- ▶ N. Yu, L.T.J, Dieu, S. Harvey, D.Y. Lee. **Optimization of process configuration and strain selection for microalga-based biodiesel production**, *Bioresour. Technol.* 193 (2015) 25–34.
- ▶ C. Song, G. Chen, N. Ji, Q. Liu, Y. Kansa, A. Tsutsumi, **Biodiesel production process from microalga oil by waste heat recovery and process integration**, *Bioresour. Technol.* 193 (2015) 192–199.
- ▶ http://cbc.arizona.edu/classes/bioc462/462a/NOTES/CARBO/carb_structure.htm
- ▶ A. D. Kroumov, F. B. Scheufele, D. E. G. Trigueros, A. N. Modenes, M. M. Zaharieva, H. Najdenski. **Chapter 11: Modeling and Techno-Economic Analysis of Algae for Bio-Energy and Co-Products**, Ed. In: R. Rastogi, D. Madamwar, A. Pandey (Eds.) *Algal Green Chemistry - Recent Progress In Biotechnology*, I. Ed., Elsevier, 2017, 336 p.
- ▶ Ferri, V.C. **Bioquímica**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Pelotas-RS; Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria. Rede e-Tec Brasil, 2013.
- ▶ Diório, A. **Determinação de compostos fenólicos e carotenoides do óleo de semente de uva (Cabernet Sauvignon e Bordô) extraído por ultrassom**, Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2017. 142 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química).



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR PALOTINA
Programa de Pós-Graduação em Bioenergia
Disciplina: Combustíveis e Biocombustíveis

Biomassa

Processos básicos de conversão e Aplicações

2017
Palotina - PR

Conteúdo

1. Definições e conceitos
2. Questões sócio-ambientais
3. Sistemas dendroenergéticos: Florestas nativas, Cultivos energéticos, Biomassa Aquática, Resíduos e subprodutos da biomassa, Resíduos e subprodutos da biomassa
4. Caracterização dos recursos dendroenergéticos
5. Controle de qualidade e análises físico-químicas específicas
6. **Processos básicos de conversão**
7. **Aplicações**
8. Restrições à disponibilidade

Conteúdo

Processos de transformação (ou conversão) da biomassa

- ▶ **Processos físicos**
 - ▶ Densificação da biomassa
 - ▶ Briquetagem e peletização
 - ▶ Operações de secagem da biomassa
 - ▶ Extração
- ▶ **Processos termoquímicos (ou térmicos)**
 - ▶ Combustão
 - Produção de eletricidade a partir da biomassa (Cogeração)
 - ▶ Carbonização
 - ▶ Pirólise
 - ▶ Gasificação
 - Produção de metanol
 - ▶ Liquefação da biomassa
- ▶ **Processos bioquímicos (ou biológicos)**
 - ▶ Digestão anaeróbia de resíduos
 - ▶ Hidrólise/Fermentação
 - ▶ Transesterificação

Biomassa vegetal como fonte de bioenergia

- ▶ **Biomassa:** é uma das fontes para produção de energia com **maior potencial** de crescimento nos anos vindouros
- ▶ Mercado internacional e interno
- ▶ Principais alternativas para a **diversificação da matriz energética**
 - **Redução da dependência dos combustíveis fósseis**
- ▶ **Aplicações energéticas:**
 - ▶ A partir da biomassa é possível obter:
 1. **Energia elétrica**
 2. **Biocombustíveis** (e.g. biodiesel e o etanol)
 - consumo é crescente na substituição dos derivados de petróleo
 - ▶ óleo diesel e a gasolina

Processos de transformação da biomassa

Processos de conversão de biomassa

- ▶ Visando: Geração de energia
 - ▶ Realizado através de rotas tecnológicas e produtivas bem diversificadas
- ▶ Dependendo do tipo de conversão empregada
 - ▶ Biomassa pode ser transformada em vários tipos de energia



- ▶ **Biocombustíveis (Sólidos, Líquidos e Gasosos)**
 - Ex: Carvão, Bioetanol, Biodiesel, Bio-óleo, Biogás

Processos de transformação da biomassa

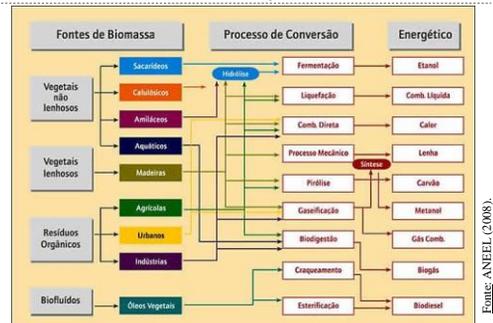


Figura 27. Processos de conversão de acordo com a fonte de biomassa e os respectivos recursos energéticos obtidos.

Processos de transformação da biomassa

Processos de conversão de biomassa

- Fontes: resíduos agrícolas, florestais, industriais, urbanos
- viabilidades técnicas e econômicas

Classificação:

- Processos de conversão
- segundo a natureza dos processamentos primários aplicados à biomassa

- Termoquímicos
- Bio-químicos
- Físico-químicos

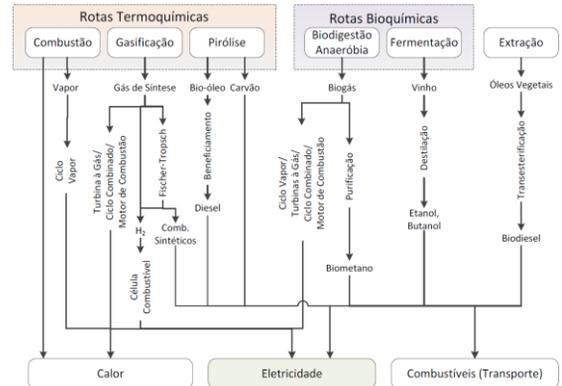


Figura 31. Representação esquemática simplificada das principais rotas de aproveitamento energético da biomassa. Fonte: EPE (2010)

Processos de transformação da biomassa

Processos termoquímicos (ou térmicos)

- Larga variedade de tecnologias
- Diferenciação
 - basicamente associada à **quantidade de oxigênio**
- Valor referência: coeficiente estequiométrico
- Exemplos: Combustão direta, pirólise e gaseificação
 - Processos baseados na:
 - Decomposição térmica** da carga combustível primária (e.g. biomassa)
 - Combustão** dos produtos resultantes da sua decomposição
 - Cada processo → origina a determinado derivado energético

Processos termoquímicos

Combustão direta

- Fornecida uma quantidade suficiente de oxigênio para se conseguir a **combustão completa** da biomassa

- Reações de combustão
- Definições: Volume de ar teórico (V_a) e coeficiente de excesso de ar (α)

Reações de Combustão Completa (Carbono):

- Etapa 1 (Lenta): $C_{(s)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow CO_{(g)}$ (Etapa limitante)

- Etapa 2 (Rápida): $CO_{(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)}$

- Reação global: $C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)}$

- Produto de queima:
 - Gás de combustão com elevada temperatura
 - Composto principalmente por:
 - Dióxido de carbono (CO_2), água (H_2O) e nitrogênio (N_2).

Processos termoquímicos

Combustão direta

- Características:
 - Formas mais comum de conversão de energia
 - Processo simples e prático → conveniente
 - Utilizado em **caldeiras** ou para movimentar **turbinas a gás**
 - Aplicação: Co-geração de energia
 - Produzindo vapor a alta pressão
- Desvantagens:
 - Normalmente muito **ineficiente** (eficiência energética ≈ 20 a 25%)
 - Problema da combustão direta → alta umidade
 - (20% ou mais no caso da lenha) → Pode até inviabilizar o processo (e.g. dejetos)
 - Baixa densidade energética do combustível (lenha, palha, resíduos, etc)
 - Potencial calorífico baixo (por kg do combustível)
 - Dificuldades de armazenamento e transporte

Tipos de energia

Cogeração

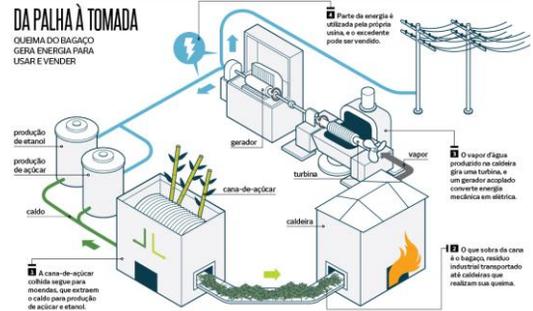
- Vantagens:
 - Cogeração → alternativa
 - Devido à instabilidade das grandes hidrelétricas
 - Dependentes da **quantidade de chuvas**
 - Impactos ambientais** causados por elas
 - Indústrias conseguem com a cogeração
 - Forma **simples, segura e barata de energia**
 - Sem contar os **benefícios ambientais**
 - Rota tecnológica de queima direta é denominada
 - "Ciclo a vapor com turbinas de contrapressão"

Cogeração de energia

- ▶ **Combustível:**
 - ▶ Biomassa mais utilizada é a de **origem florestal**
- ▶ **Exceções:**
 - ▶ **Cogeração industrial** – *in situ*
- ▶ **Exemplos:**
 - ▶ **Licor negro:** subproduto da extração da celulose
 - usado como combustível em usinas de cogeração da própria indústria de celulose
 - ▶ **Bagaço de cana:** subproduto da indústria sucroalcooleira
 - Geração de energia mecânica e elétrica
 - Empregada no próprio processo industrial
 - Excedente → linhas de transmissão de energia elétrica

▶

Cogeração de energia: Bagaço-de-cana



▶ Fonte: Revista Galileu (Acesso em 2016)

Cogeração de energia

- ▶ **Potencial energético:** Setor sucroalcooleiro
 - ▶ **Bagaço de cana:**
 - ▶ combustível direto e tanto para a geração de energia elétrica
 - ▶ **Contexto:**
 - ▶ 432 usinas de açúcar e álcool do Brasil já usam o recurso de cogeração
 - ▶ Não precisam comprar eletricidade de qualquer concessionária para funcionar
 - ▶ **Possibilidade:**
 - ▶ Aumento da capacidade → equipamento adequado
 - Empresa de médio porte poderia
 - Gerar excedente → abastecer uma cidade de 200 mil habitantes

▶ Fonte: Revista Galileu (Acesso em 2016)

Cogeração de energia

- ▶ **Potencial energético:**
 - ▶ Se todas as usinas do país aproveitassem ao máximo seus restos de bagaço para produzir energia
 - ▶ Gerariam o dobro de energia equivalente à:
 - ▶ Duas usinas nucleares de Angra ou três usinas de Belo Monte
 - ▶ Participação da **biomassa** na matriz energética brasileira
 - ▶ subiria dos atuais 8% para 18%
 - ▶ **Requerimentos:**
 - ▶ **Investimento:** Para explorar ao máximo seu potencial energético uma usina média precisaria investir cerca de R\$ 120 milhões
 - ▶ **Payback:** venda do excedente de energia → até sete anos
 - ▶ **Conclusão:** Investimentos governo (subsídios e incentivos) e setor privado

▶ Fonte: Revista Galileu (Acesso em 2016)

Processos termoquímicos

- ▶ **Pirólise**
 - ▶ *Pirólise* (do Grego pyr, pyrós = fogo + lysis = dissolução)
 - ▶ Configura-se como uma reação de decomposição que ocorre pela ação de altas temperaturas (decomposição térmica)
 - ▶ Ocorre uma ruptura da estrutura molecular original de um determinado composto
 - pela ação do calor num ambiente com **pouco ou nenhum oxigênio**

▶

Processos termoquímicos

- ▶ **Carbonização**
 - ▶ Tipo de *pirólise*
 - ▶ Mais antigo e simples dos processos de conversão de um combustível sólido (normalmente lenha)
 - ▶ em outro de **melhor qualidade** e conteúdo energético (carvão)
- ▶ **Características:**
 - ▶ Processo consiste no aquecimento do material original
 - ▶ entre 300°C e 500°C
 - ▶ Na “quase ausência” de ar (**Fornecimento de O₂ reduzido**)
 - ▶ Até a extração do material volátil

▶

Processos termoquímicos

▶ Carbonização

- ▶ Principal produto final: **carvão vegetal**
 - ▶ **Carvão (Fração sólida)**
 - ▶ **Combustível ou carvão ativado (ativação química ou física)**
 - ▶ Também dá origem ao **alcatrão** e ao **ácido pirolenhoso**
 - ▶ Obs: Na carbonização a **fração sólida é predominante**
- ▶ Carvão vegetal tem densidade energética (maior potencial calorífico)
 - ▶ Duas vezes superior à do material de origem (até 30,8 MJ/kg)
 - ▶ queima em temperaturas muito mais elevadas

Processos termoquímicos

▶ Carbonização



Alcatrão: fração pesada da destilação do carvão vegetal ou mineral (sub-produto líquido da pirólise) composto por vários hidrocarbonetos aromáticos, usando como desinfetante, matéria-prima para diversos produtos químicos (e.g. inseticidas, corantes, fármacos).

Ácido pirolenhoso (ou "Extrato Pirolenhoso"): produto milenar obtido através da condensação da fumaça proveniente da carbonização da biomassa vegetal. É utilizado como condicionador do solo, bioestimulante de plantas, repelente de insetos, dentre outras aplicações.



Processos termoquímicos

▶ Carbonização



Processos termoquímicos

▶ Carbonização: Carvão vegetal no Brasil

- ▶ Produzido a partir da lenha pelo processo de carbonização ou pirólise
- ▶ Ao contrário dos países industrializados
 - ▶ **Brasil:** o uso industrial do carvão vegetal → largamente praticado
 - maior produtor mundial desse insumo energético
- ▶ **Aplicações:**
 - No setor industrial (quase 85% do consumo)
 - Ferro-gusa, aço e ferro-ligas são os principais consumidores do carvão
 - funciona como redutor (coque vegetal) e energético ao mesmo tempo
 - ▶ **Poder calorífico inferior médio:** em torno de 7.365 kcal/kg (30,8 MJ/kg)

Processos termoquímicos

▶ Carbonização: Carvão vegetal no Brasil

- ▶ **Questão social**
 - ▶ Carvoarias
 - Frequentemente associada com condições desumanas de trabalho
- ▶ Realidade deve ser modificada
 - Emprego de novas tecnologias
 - Indústria limpa
 - Realmente sustentável e renovável
 - Geradora de empregos dignos



Processos térmicos

▶ Existem diversos tipos de pirólise

- ▶ sendo a carbonização um destes
- ▶ Basicamente as condições operacionais variam em função:
 1. Tempo de residência
 2. Taxa de aquecimento
 3. Temperatura de operação
- ▶ Cada processo → diferentes produtos
 - ▶ Quantidade relativa de produtos
 - Gasosos, líquidos e sólidos
 - Depende também da natureza do material (composição)

Processos termoquímicos

Tabela 13. Tipos e características de processos pirolíticos.

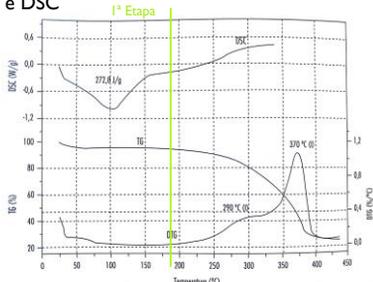
Processo	Tempo de residência	Taxa de aquecimento	Temperatura máxima (°C)	Produtos principais
Carbonização	Horas-dias	Muito pequena	400	Carvão vegetal
Convencional	5 a 30 min	Pequena	600	Bio-óleo, carvão e gás
Rápida	0,5 a 5 s	Intermediária	650	Bio-óleo
Pirólise Flash	< 1 s	Alta	< 650	Bio-óleo, gás
Ultra-rápida	< 0,5 s	Muito alta	1000	Produtos químicos e gás combustível
Vácuo	2 – 30 s	Intermediária	400	Bio-óleo
Hidropirólise *	< 10 s	Alta	< 500	Bio-óleo e produtos químicos
Metanopirólise *	< 10 s	Alta	> 700	Produtos químicos

Fonte: Nogueira & Lora (2003)

* Atmosfera reativa (Hidrogênio e metano, respectivamente), ao contrário das demais: atmosfera inerte (vácuo ou nitrogênio).

Processos termoquímicos

TG e DSC

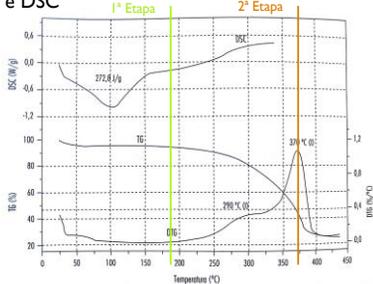


Pirólise de resíduos de madeira

(Condições: atmosfera de argônio (80 mL/min) e taxa de aquecimento de 10°C/min)

Processos termoquímicos

TG e DSC



Pirólise de resíduos de madeira

(Condições: atmosfera de argônio (80 mL/min) e taxa de aquecimento de 10°C/min)

Processos termoquímicos

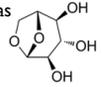
Curvas termogravimétricas (TD) e termogravimétricas diferencial (DTG)

Três etapas:

- $T_{amb} - 180^{\circ}C$: Secagem/Desidratação
 - Liberção da umidade em vapor d'água
 - Absorção de calor pela biomassa (caráter fortemente endotérmico)
 - Calorimetria diferencial de varredura (DSC)
 - Entre 110 e 180°C: Reações de desidratação dos grupos -OH (polissacarídeos)

Processos termoquímicos

Curvas termogravimétricas (TD) e termogravimétricas diferencial (DTG)



- 180°C – 370°C: Reações de Pirólise
 - Entre 180 e 290°C: Degradação da hemicelulose e parcial da celulose e lignina (formação do *levoglucosano*)
 - Liberção moderada: CO, CO₂ e ácido acético na forma de voláteis
 - 250°C: Iniciam-se as reações exotérmicas (vide DSC)
 - 290°C: Máxima degradação da hemicelulose (DTG – Pico I)
 - 290 – 370°C: Degradação total da celulose (Máxima em 370°C | DTG – Pico II)
 - Quebra das ligações glicosídicas
 - Grande emissão de voláteis: CO, H₂, CH₄ e CO₂; e ácido acético, metanol, e acetona

Levoglucosano (C₆H₁₀O₂): é um composto orgânico com uma estrutura de anel de seis carbonos formada a partir da pirólise de hidratos de carbono, tais como amido e celulose. Frequentemente utilizado como um marcador químico para queima de biomassa em estudos químicos atmosféricos → Emissão de poluentes (combustão incompleta).

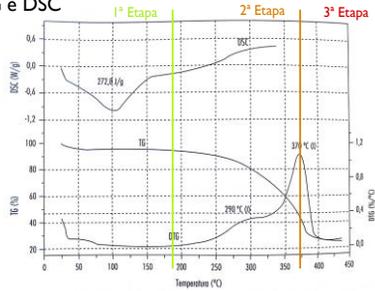
Processos termoquímicos

Curvas termogravimétricas (TD) e termogravimétricas diferencial (DTG)

- $T > 370^{\circ}C$: Degradação da lignina
 - Formação dos alcatrões pesados e hidrocarbonetos
 - Degradação da lignina
 - Responsável pela formação de 50% do carbono fixo do material

Processos termoquímicos

TG e DSC



Pirólise de resíduos de madeira

(Condições: atmosfera de argônio (80 mL/min) e taxa de aquecimento de 10°C/min)

Processos termoquímicos

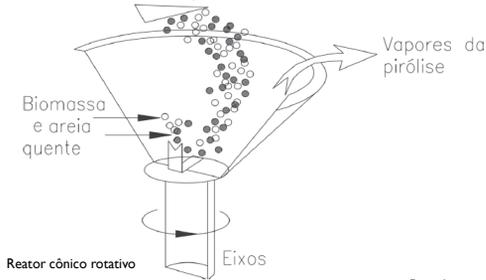
Pirólise

- ▶ Quantidade de produtos gasosos, líquidos e sólidos
 - ▶ depende principalmente das condições de pirólise
 1. Temperatura e taxa de aquecimento
 2. Granulometria
 3. Tempo de residência
 4. Pressão
 5. Tipo de atmosfera (oxidante ou inerte)
 6. Fluxo do fluido de trabalho
 7. Natureza do material
- ▶ P&D
 - ▶ mudanças substanciais na produção dos gases, líquidos e sólidos
 - aumento das taxas de aquecimento e das variações da temperatura final do processo
- ▶ Novas técnicas de pirólise
 - ▶ Rápida, flash e ultra-rápida
 - ▶ Aumento de rendimento de líquidos (bio-óleo)

Processos térmicos

Ex: Pirólise Rápida

Areia e carvão pirolizado



Fonte: Lora et al. (2012)

Processos termoquímicos

Pirólise

Tabela 10.1 — Influência da temperatura na composição química da fração sólida da pirólise de *eucalyptus* (Fellii, 2003)

Temperatura (°C)	C (%)	H (%)	N (%)	O (%)	Cinzas (%)	Rendimento (%)	PCS (kJ/kg ⁻¹)
100	44,63	5,81	0,22	48,84	0,50	—	17439,00
230	50,32	5,82	0,56	42,40	0,90	87,50	19537,00
250	53,87	5,47	0,17	39,89	0,60	81,50	20617,00
300	61,96	4,17	0,7	32,17	1,00	67,00	22847,00
450	86,41	2,99	0,61	9,19	0,8	27,00	31087,00

Processos termoquímicos

Altas taxas

- ▶ Favorecem
- ▶ Formação
 - ▶ Voláteis:
 - Gases
 - Líquidos

Aquecimento lento

Baixas taxas

- ▶ Favorecem:
- ▶ Formação
 - ▶ Sólidos:
 - Carvão vegetal

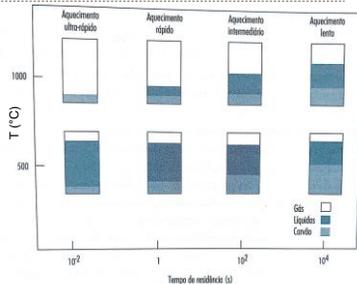


Figura 10.2 — Distribuição das frações sólidas, líquidas e gasosas em função da taxa de aquecimento, tempo de residência e temperatura de processamento (Mezzerette e Girard, 1991)

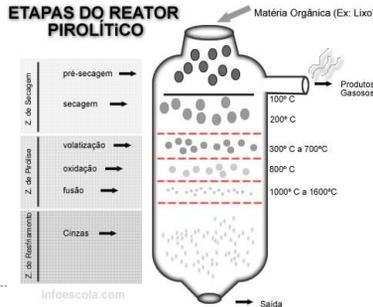
Processos termoquímicos

Pirólise

- ▶ Aplicações: Pirólise do Lixo (RSU)
 - ▶ Tratamento do lixo e seu beneficiamento energético
 - ▶ Processo auto-sustentável sob o ponto de vista energético
 - produz mais energia do que consome
 - ▶ Benefícios sociais e ambientais envolvidos
 - Obter/extrair diversos subprodutos de valor agregado do lixo (e.g. sulfato de amônia, alcatrão, bio-óleo, etc)
 - Diminuição considerável do número e volume de aterros sanitários
 - Aplicação da biomassa com logística adequada (descentralização da produção)

Processos termoquímicos

Reator pirolítico



Processos termoquímicos

Pirólise

Aplicações:

Brasil

- Petrobrás utiliza a **pirólise**
- Usina de reprocessamento de xisto e pneus
- Pneus são triturados e levados ao reator juntamente com o xisto
- Pirólise: subprodutos
 - Óleo
 - Gás

Combustíveis

Processos térmicos

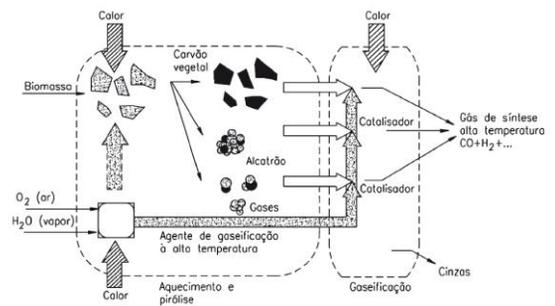
Gaseificação

"A gaseificação pode ser definida como a conversão termoquímica de um material sólido ou líquido (que tenha carbono em sua composição) em um produto gasoso combustível (Gás de Síntese)."

- ▶ Oxidação parcial da biomassa em altas T (500 – 1400°C) e P (até 30 bar)
- ▶ Oxigênio limitada ($\alpha \approx 0,20 - 0,40$) (Obs: Pirólise/Carbonização: $\alpha \rightarrow 0$)
- ▶ **Produto Principal:** Não é a geração de calor (combustão)
- ▶ **Agentes oxidantes:** Ar, vapor de água, CO₂, O₂ ou misturas
 - Composição e o poder calorífico depende do agente oxidante e da biomassa

Processos térmicos

Gaseificação



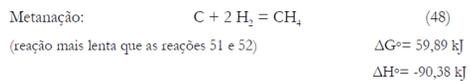
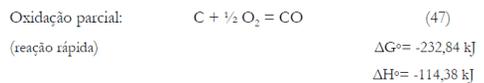
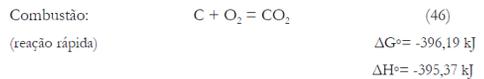
Processos térmicos

Gaseificação

- ▶ Gás combustível → "**Gás de síntese**" (gás pobre ou producer gas)
- ▶ **Composição:**
 - CO: 9 – 21%
 - H₂: 6 – 19%
 - CH₄: 3 – 7%
 - Água, Gases inertes, Hidrocarbonetos, e contaminantes
- ▶ Gás pode ser aproveitado diretamente (combustão) ou em turbinas a gás
 - Turbinas a gás: eficiência de 40-50% (geração de energia elétrica)

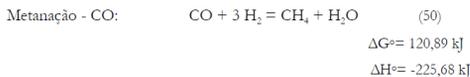
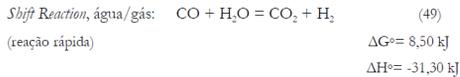
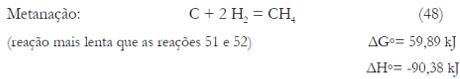
Processos térmicos

Reações exotérmicas



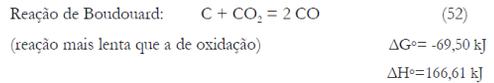
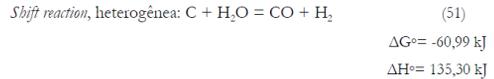
Processos térmicos

Reações exotérmicas



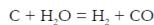
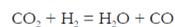
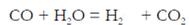
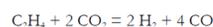
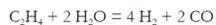
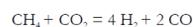
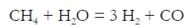
Processos térmicos

Reações endotérmicas



Processos térmicos

- | | |
|-----------------------------|--------------------------|
| ▶ Agente oxidante: | ▶ Agente oxidante: |
| ▶ Vapor d'água | ▶ Dióxido de carbono |
| ▶ Elevada produção de H_2 | ▶ Elevada produção de CO |



Processos térmicos

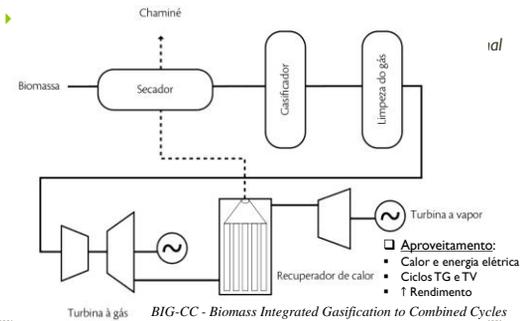
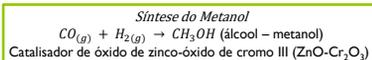
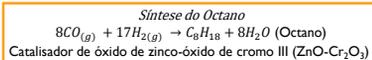
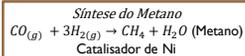


Figura 32. Representação esquemática de um sistema BIG-CC.

Processos térmicos

▶ Gaseificação + Catalise Heterogênea

- ▶ "Biomass to liquids"



Processo de Fischer-Tropsch

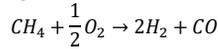
▶ Processo de Fischer-Tropsch (FT)

- ▶ processo químico para produção de hidrocarbonetos líquidos (gasolina, querosene, gásóleo e lubrificantes) a partir de gás de síntese (CO e H_2)
- ▶ Invenção do processo original de Franz Fischer e Hans Tropsch
 - ▶ Instituto Kaiser Wilhelm, em 1920
 - ▶ Termo "Fischer-Tropsch"
 - ▶ se aplica a uma ampla variedade de processos semelhantes ("síntese Fischer-Tropsch" ou "química Fischer-Tropsch").
- ▶ Contexto:
 - ▶ O produto da síntese era comercializado na Alemanha em 1936.
 - ▶ Alemanha → país pobre em petróleo, mas rico em reservas de carvão
 - ▶ usou o processo de Fischer-Tropsch durante a Segunda Guerra Mundial para produzir combustíveis sintéticos alternativos
 - ▶ A produção FT representou 9% da produção de combustíveis estimada na guerra alemã e 25% de combustível para automóvel naquela época.

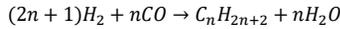
Processo de Fischer-Tropsch

Reações:

- Reação do metano com oxigênio, formando o monóxido de carbono e hidrogênio:



- Reação do hidrogênio com o monóxido de carbono, formando o hidrocarboneto:



Processo: Catálise Heterogênea

- Reação sobre catalisadores de Co ou Fe

Processo de Fischer-Tropsch

Cinética

- As reações principais de Fischer-Tropsch são na realidade reações de polimerização, consistentes em cinco passos básicos:
 - Adsorção de CO sobre a superfície do catalisador;
 - Início de polimerização mediante formação de radical metilo (por dissociação do CO e hidrogenação);
 - Polimerização por condensação (adição de CO e H₂ e liberação de água);
 - Terminação;
 - Dessorção do produto.
- Etapa limitante:** Velocidade de reação é limitada pela etapa de polimerização por condensação

Condições operacionais: Elevado rendimento

- se requer alta pressão (20 - 30 bar) e temperatura (200 - 350°C).
- Acima dos 400°C a formação de metano resultante é excessiva
 - Temperaturas mais altas levam a reações mais rápidas e a taxas de conversão superiores, mas também tendem a favorecer a produção de metano
 - O aumento da pressão leva a taxas de conversão mais elevadas e também favorece a formação de alcanos de cadeia longa, ambos desejáveis.

Processos térmicos

Liquefação

Direta:

- Definida como a **conversão térmica redutiva** de materiais lignocelulósicos ou qualquer um de seus componentes (i.e. lignina, celulose, hemicelulose) sob uma atmosfera redutora, utilizando um sistema em fase líquida

- No entanto, ainda pode-se considerar a liquefação de biomassas lignocelulósicas:
 - Processos de **hidrólise** e oxidação

Produto:

- Líquido** (normalmente óleo – “bio-óleo”) ou materiais solúveis

Processos térmicos

Liquefação

Direta:

- Transformação da biomassa sob pressão e temperatura altas (400°C e 600°C) em produtos majoritariamente **líquidos**

Funcionamento:

- Realizada em atmosfera redutora de hidrogênio ou mistura de hidrogênio e monóxido de carbono (espécie de pirólise)
- Biomassa é **triturada** em uma faixa granulométrica escolhida
- Misturada com algum solvente** (suspensão com 10% a 30% de sólidos)
- Líquido (mais comum): **água**
- Emprega-se também meios orgânicos (e.g. óleo cresotato - fração do bio-óleo, etileno glicol ou tetralina (tetrahidroxi-naftaleno) um excelente doador de hidrogênio



Liquefação indireta:

- Consiste na produção do **gás de síntese** (gaseificação)
- Empregando-se catalisadores transformá-lo em metanol ou hidrocarbonetos (bio-óleo)

Processos térmicos

Liquefação

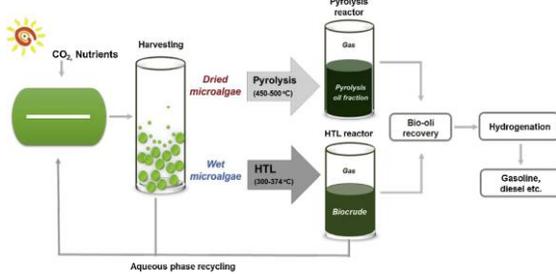


Figura 33. Produção de bio-óleo a partir de microalgas por pirólise e liquefação hidrotérmica (Fonte: Lee et al., 2015)

Processos térmicos

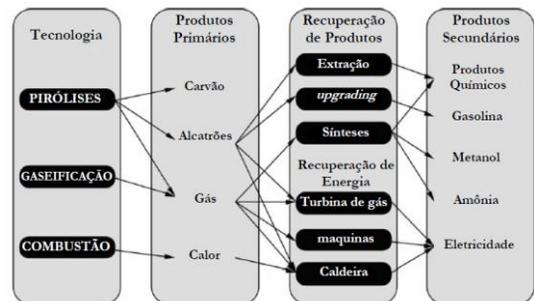
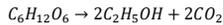


Figura 34. Processos de conversão térmica (termoquímicos) e os respectivos produtos gerados.

Processos bioquímicos

Fermentação

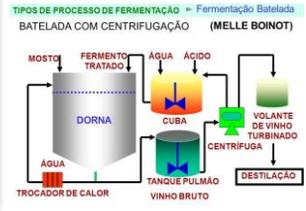
- Qualquer matéria-prima que contenha sacarídeos
- Pode ser convertida em **etanol** por meio de fermentação
- Leveduras: *Sacharomyces cerevisae*



- No entanto, somente *açúcares fermentescíveis* são metabolizados pelas leveduras
- Hidrólise:**
 - Sacarose (cana-de-açúcar): Invertase produzida pela própria levedura
 - Amido (milho): Liquefação hidrotérmica
 - Celulose: Várias enzimas (e.g. celulase, celobiase e β -glicosidase)
 - Após pré-tratamento de deslignificação (e.g. Alcalino-oxidativos, Explosão à vapor)

Processos bioquímicos

Fermentação: Processo Melle-Boinot



Processos bioquímicos

Fermentação

Bioetanol "comum"

- Brasil: sumo extraído da cana de açúcar (caldo-de-cana)
- Estados Unidos: milho
- Europa (França): Beterraba

Sistema à base de cana-de-açúcar empregado no Brasil é **mais viável** que os processos americano e francês

Etanol Celulósico

- Etanol obtido alternativamente por dois processos:
 - Hidrólise/Fermentação:**
 - Biomassa: formada basicamente por moléculas de celulose
 - submetida ao processo de hidrólise enzimática (celulases, celobiase e β -glicosidases)
 - Gaseificação/Fermentação:**
 - Outro processo é composto pela execução sucessiva das três seguintes fases: gasificação, fermentação e destilação

Processos bioquímicos

Fermentação

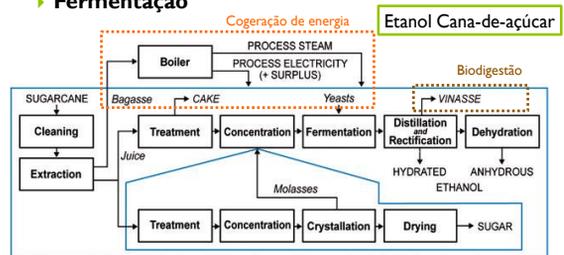


Figure 1. Sugarcane processing schematic displaying the main steps for production of anhydrous ethanol to be blended with gasoline (18–25% by volume, per government targets) and the hydrated ethanol for use in flexible fuel vehicles in Brazil.

Biofuels, Bioprod. Bioref. 8:205–223 (2014); DOI: 10.1002/bbb

Processos bioquímicos

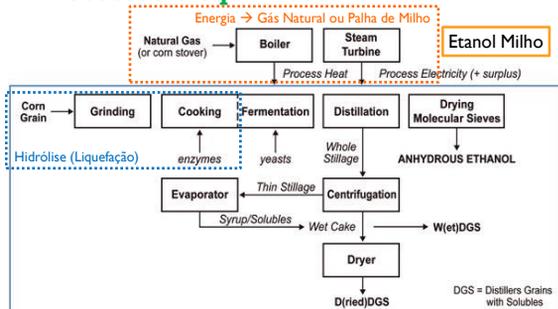
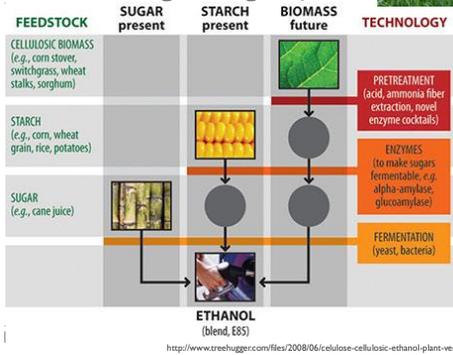


Figure 2. US dry grind corn ethanol plants schematic. Wet distiller's grains with solubles is sold to nearby livestock farms or dried and sold as animal feed. **Natural gas** is the predominant energy source, with electricity provided by the power grid or, in some cases, by cogeneration at the mills.

Biofuels, Bioprod. Bioref. 8:205–223 (2014); DOI: 10.1002/bbb

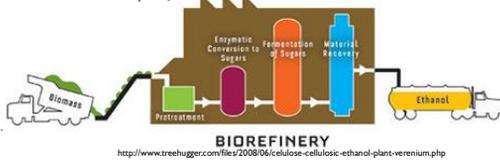
Etanol de segunda geração



Etanol de segunda geração

► Biorefinarias

- Aproveitamento da biomassa para produção do etanol
- **Etapas adicionais:** (Limitantes técnico-econômicos)
 1. Pré-tratamento: ácido, alcalino, térmico, biológico, etc.
 2. Conversão enzimática em açúcares
 - Celulasas e hemicelulasas (alto custo)
 3. Fermentação
 4. Processos de separação



Etanol de segunda geração

► Hidrólise: Celulose

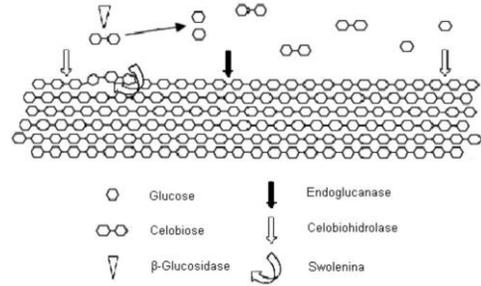


Figura 33. Modo de ação do complexo celulásico (Sinergismo endo-exo) Fonte: MARTINS (2005)

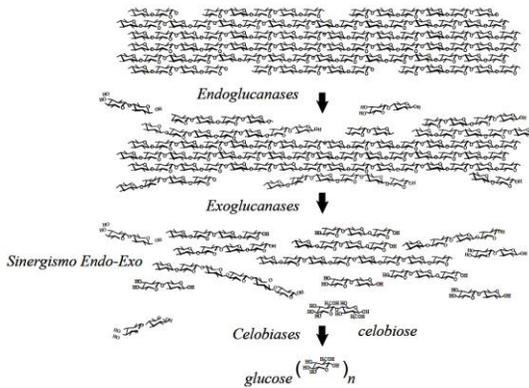


Figura 33. Modo de ação do complexo celulásico (Sinergismo endo-exo) Fonte: MARTINS (2005)

Etanol de segunda geração

► Hidrólise: Hemicelulose

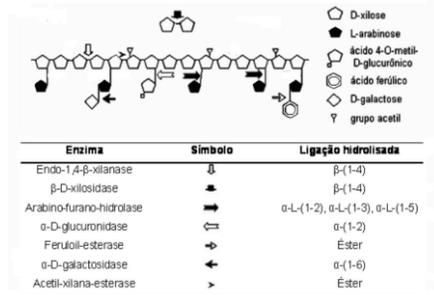


Figura 6. Sistema enzimático na degradação da hemicelulose. Fonte: Carvalho et al., (2009)

Etanol de segunda geração

Processo produtivo

► Perspectivas:

Cana-de-Açúcar: 2008-2009



Cana-de-Açúcar: 2010-2012



Processos bioquímicos

► Biodigestão anaeróbica

- Processo de decomposição de matéria orgânica por bactérias em um meio ausente de oxigênio
- Conversão de biomassa em **biogás** → Geração energia
- Aplicável à matérias com alta umidade (U > 80%)
 - Ex: Dejetos suínos, vinhaça, lodo ETE, etc

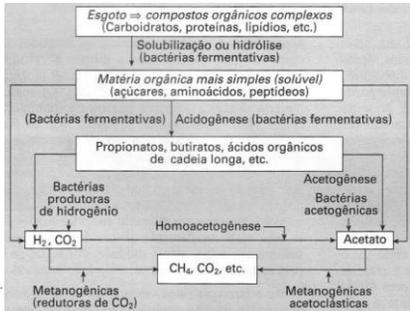
► Vantagens:

- Integração energética processos
 - Vinhaça
 - Pecuária



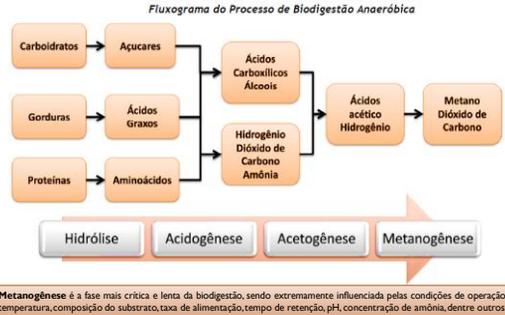
Processos bioquímicos

Biodigestão anaeróbica



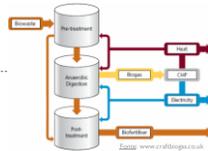
Digestão Anaeróbica

Etapas da biodigestão anaeróbica:



Digestão Anaeróbica

Etapas do processo industrial de produção de biogás:



1. Pré-tratamento

- seleção/adição da biomassa
 - separação dos materiais não digeríveis (e.g. vidros, metais e pedras)
 - Produção de adubos de alta qualidade (requer segregação de contaminantes)

2. Digestão do resíduo

- produção bioquímica do biogás
 - diluição para atingir o teor de sólidos desejado
 - água limpa, água de reuso - esgoto tratado, ou líquido recirculante do efluente de digestor)

3. Recuperação de gás

- processo de recuperação, tratamento e armazenamento do biogás (de acordo com a aplicação)

4. Tratamento de resíduos

- disposição do lodo da digestão
 - bio-sólidos → aerobicamente tratados para a obtenção do produto estabilizado → aterros ou usados como combustível para incineração

Digestão Anaeróbica

Planta comercial de digestão anaeróbica integrada



Digestão Anaeróbica



Biogás → Biometano

Upgrade (Purificação)

- (50 - 70% CH₄ - Biogás → 95 - 97% CH₄ - Biometano)

Aplicações mais nobres:

- Biocombustível automotivo (substituto do GNV)
- Matéria-prima → outros processos/produtos químicos

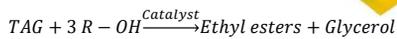
Compostos	Impacto	Processos de separação "Downstream processes"
Água	-Corrosão em equipamentos, rede e tanques -Acumulação e condensação	Processos de separação "Downstream processes"
CO ₂	-Diminuição do poder calorífico -Corrosão em equipamentos, rede e tanques	
Enxofre	-Emissão de óxidos na combustão -Toxicidade	<ul style="list-style-type: none"> Absorção (água, polietilenglicol) Adsorção Condensação Lavagem de gás Membranas
Siloxanos	- Formação de SiO ₂ e micro cristais	
Halógenos	-Corrosão	
Amônia	-Corrosão	
O ₂	-Aumento da explosividade	

Processos bioquímicos

Transesterificação

Produção de biodiesel

- ▶ **Matérias-primas oleaginosas:**
 - Commodity: Soja
 - Biomassas locais (macaúba, dendê, etc)
 - Resíduos: Sebo, óleos (fritura), etc
 - Microalgas



- ▶ **Catálise Básica:** Mais comum e economicamente viável atualmente
 - NaOH ou KOH
- ▶ **Álcool:** Etanol e Metanol



Combustíveis a partir da biomassa

Biocombustíveis

- ▶ Processos de conversão de biomassa
- ▶ Diversificação de tecnologias eficientes
- ▶ Viabilidade de cada processo depende fortemente:
 - Características físico-químicas da biomassa utilizada
 - Variam significativamente com a proveniência da biomassa
 1. Composição e estrutura química
 2. Teor de umidade
 3. Distribuição granulométrica
 4. Outros fatores
 - Outros fatores técnico-econômicos
 - disponibilidade e logística de transporte da biomassa
 - custo em comparação à outros processos estabelecidos, etc

Fontes renováveis de energia

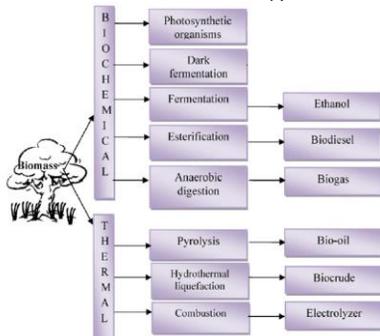


Figura 26. Diferentes tipos de combustíveis obtidos por biomassas (Fonte: Abbasi & Abbasi, 2010).

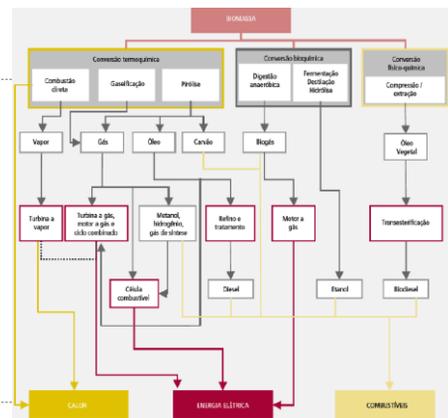


Figura 28. Rotas tecnológicas de conversão energética da biomassa (Fonte: Cardoso, 2012).

Bibliografia

- ▶ Cortez, L.A.B.; Lora, E.E.S.; Olivares Gómez, E. **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Ed. Unicamp, 2008.
- ▶ Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**, Brasília: Aneel, 3. ed., 2008. 236 p.
- ▶ Lora E.E.S. et al. (2012) Cap. 6. **Gaseificação e pirólise para a conversão da biomassa em eletricidade e biocombustíveis**. In.: Biocombustíveis, Interciência, Editors: Lora, E.E.S.; Venturini, O.S., pp.411-498
- ▶ Revista Galileu (2016): Acesso 18/04/2016:
- ▶ <<http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,EMI326727-18537,00-participacao+de+usinas+de+cana+na+geracao+de+energia+do+pais+poder+ia+ser+se.html>>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR PALOTINA
Programa de Pós-Graduação em Bioenergia
Disciplina: Combustíveis e Biocombustíveis



2017
Palotina - PR

Conteúdo

1. Definições e conceitos
2. Questões sócio-ambientais
3. Sistemas dendroenergéticos: Florestas nativas, Cultivos energéticos, Biomassa Aquática, Resíduos e subprodutos da biomassa, Resíduos e subprodutos da biomassa
4. Caracterização dos recursos dendroenergéticos
5. Controle de qualidade e análises físico-químicas específicas
6. Processos básicos de conversão
7. Aplicações
8. Restrições à disponibilidade



Restrições à disponibilidade

- ▶ **Viabilização de uma determinada biomassa**
 - ▶ Para fins energéticos em um país, ou região
 - ▶ Considerar as restrições de ordem:
 - ▶ Ecológica, econômica (incluindo social e a política) e tecnológica
 - ▶ Somente assim toda a biomassa potencialmente disponível (recurso) poderá assumir o **conceito de reserva**, a partir do qual se determina o potencial anual de produção (CORTEZ et al., 2008)
- ▶ **Restrições ecológicas:**
 - ▶ estão associadas à preservação do meio ambiente e qualidade de vida
- ▶ **Limitações econômicas: são analisadas em dois níveis**
 1. Necessário saber se a biomassa a ser explorada energeticamente não tem **outras aplicações mais viáveis** economicamente (industrial ou alimentício)
 2. **Custos da biomassa explorada são compatíveis com os benefícios energéticos e comparáveis aos demais combustíveis correntes no mercado**
- ▶ **Restrições tecnológicas:**
 - ▶ se devem à existência (ou não) de processos confiáveis (viáveis) e operações para conversão da biomassa em combustíveis de uso mais geral



Restrições à disponibilidade

- ▶ **Transporte:**
 - ▶ Mais gastos com transporte quando comparados com os combustíveis fósseis
 - ▶ Combustíveis fósseis possuem maior valor calorífico e maior densidade
 - ▶ Processos físicos de transformação (peletização e secagem)
 - ▶ Plantações dispersas de biomassa
- ▶ **Danos ambientais:**
 - ▶ Substituição de áreas utilizadas para produção de alimentos
 - ▶ Consumo alto de água
 - ▶ Indústria de celulose fomenta o desmatamento ilegal
- ▶ **Oxidação das turbinas:**
 - ▶ Caráter alcalino da cinza causa corrosão
 - ▶ Incrustações nas turbinas
- ▶ **Barreiras econômicas:**
 - ▶ Falta de consenso entre as partes em relação aos preços



Conceitos

- ▶ Embora a utilização de biomassa como fonte de energia traga **vantagens fantásticas**
 - ▶ É importante ressaltar → amplo controle sobre as **áreas desmatadas**
 - ▶ E outras formas de agressão ao meio ambiente pouco evidentes (ACV)
 - ▶ **Exemplo:** Expansão da indústria de álcool no Brasil
 - ▶ várias florestas foram desmatadas para dar lugar a plantações de cana-de-açúcar/soja
 - ▶ Desequilíbrio dos ecossistemas (monocultura) – extinção de espécies, etc
 - ▶ **Aplicação de queimadas:** (Proibição gradativa)
 - Emissão de particulados;
 - Consumo de água;
 - Acidentes em rodovias e redes de transmissão de energia;
 - Desperdício de energia;
 - Eliminação da fauna e flora natural;
 - Saúde dos trabalhadores; (**Responsabilidade social**)
 - Risco de incêndio florestal;
 - Custo elevado.
 - ▶ **Preocupação ambiental:**
 - ▶ deve ser prioridade na utilização adequada da biomassa
- ▶ **ACV - Análise de Ciclo de Vida:** técnica para avaliação dos aspectos ambientais e dos potenciais impactos associados a um produto, compreendendo todas etapas (i.e. extração das M-P até o produto, uso e disposição).

Contras:
 x Proliferação de pragas,
 Desequilíbrio ecológico,
 Perda de empregos, etc

Conceitos

Rev. 23/06/09 - 10030

Queimada em canaviais está proibida em todo o Estado

Multa para os infratores pode chegar a até R\$ 158 mil

As queimadas nos canaviais estão proibidas em todo o Estado de São Paulo das 6h às 20h. E o que determina a resolução baixada na última quarta-feira, 17, pela Secretaria do Meio Ambiente. A proibição segue até o final de novembro, quando termina a safra da cana-de-açúcar.

Ainda de acordo com a determinação, o impedimento da prática também poderá se estender ao período da noite se a umidade relativa do ar estiver abaixo de 20%. Em alguns municípios a queima está proibida durante as 24 horas do dia. Isso porque a fuligem da palha de cana, aliada ao tempo seco do inverno e à poluição, pode trazer danos à saúde e agravar problemas respiratórios.

A medida ainda define que **até 2017 o método seja totalmente eliminado** e a colheita realizada mecanicamente. A Polícia Ambiental já está fiscalizando as áreas de plantação de cana em todo o Estado de São Paulo. A multa para quem descumprir a medida é de até R\$ 158 mil.

Fonte: <http://www.sacpaulo.sp.gov.br/gnomicol/>

Histórico de utilização da biomassa

- ▶ **Estudo de caso: Crise do petróleo (década de 70)**
 - ▶ **Consequência:** ampla utilização de materiais provenientes da biomassa:
 - ▶ **álcool, gás de madeira, biogás e óleos vegetais**
 - Motores de combustão interna
 - ▶ **Obs:** os motores de combustão interna foram primeiramente testados com derivados de biomassa
- ▶ **Uso dos combustíveis fósseis:**
 - só obtiveram prioridade por fatores econômicos (oferta e procura)
 - nunca por questões técnicas de adequação



Influência Macroambientente

- ▶ Ambiente Internacional, Político-legal e Econômico
- ▶ Ex: Crise do petróleo → Pró-álcool

Ambiente Internacional

Em 1973, conflitos no Oriente Médio resultaram no primeiro choque do petróleo



Economia

Preço do barril de: US\$ 2 → US\$ 12

Ambiente legal/político (Brasil)

Instauração do Pró-álcool



Crise do petróleo → Pró-álcool

- ▶ Ambiente legal/político (Brasil)
 - ▶ Criado em 1975, por um decreto do então presidente Ernesto Geisel
 - ▶ Próálcool surgiu como uma alternativa energética à crise do petróleo
- ▶ Ambiente legal/político → Influenciou fortemente dois setores industriais no país (sucroalcooleiro e automobilístico)
- ▶ Setor sucroalcooleiro
 - ▶ Oferecimento, por meio do Banco do Brasil e do extinto IAA (Instituto do Açúcar e do Alcool)
 - ▶ Linhas de crédito a plantadores de cana e usineiros, com taxas de juros subsidiadas
 - ▶ Estimular a compra de carros a álcool, o governo estabeleceu, na época, que o combustível seria 20% mais barato que a gasolina

Crise do petróleo → Pró-álcool

- ▶ Ambiente legal/político (Brasil)
- ▶ Setor Automobilístico
 - ▶ Em 1979, surgiu o primeiro carro a álcool produzido em série no país (e no Mundo) o Fiat 147



- ▶ A partir daí, a produção cresceu, estimulada ainda pela segunda crise do petróleo, entre 1978 e 1979
- ▶ O programa atingiu seu ápice entre 1985 e 1986
 - ▶ 96% da produção nacional era de automóveis a álcool

Crise do petróleo → Pró-álcool

EUA e URSS discutem plano para o cessar-fogo

Contexto Político Mundial:
Guerra fria

Arabes usam o trunfo: petróleo é racionado

Conflitos internacionais (Oriente Médio):
Economia mundial (nacional) influenciada (Aumento do barril de petróleo)

No Brasil
Modificação do próprio setor:
- Automobilístico e sucroalcooleiro

Petrobrás ativa poços fechados

Crise do petróleo → Pró-álcool

- ▶ **Novo contexto:** Ambiente internacional
 - ▶ Fim da guerra
- ▶ Declínio do Próálcool teve início em 1988
 - ▶ quando os preços da gasolina se estabilizaram no mercado internacional
 - ▶ Álcool combustível → pouco vantajoso tanto para o consumidor quanto para o produtor
 - ▶ Agravante: preço do açúcar aumentou no mercado internacional
 - ▶ na mesma época em que o preço do petróleo baixava
 - ▶ Muito mais vantajoso → para os usineiros produzir açúcar no lugar do álcool

Crise do petróleo → Pró-álcool

- ▶ Escassez do álcool combustível nos postos
 - ▶ Crises de desabastecimento de álcool e menor preço da gasolina
 - ▶ Descrença geral dos consumidores e das montadoras de automóveis
 - ▶ Produção de álcool combustível e de carros movidos a álcool entraram em um declínio
 - ▶ Montadoras não ofereceram mais modelos novos movidos a álcool
- ▶ **Legado:**
 - ▶ Tecnologia bi-combustíveis, ou somente "flex".
- ▶ **Conclusão:**
 - ▶ Restrições econômicas >>> tecnológicas
 - ▶ **Perspectiva (Brasil) → Futuro**
 - ▶ Emprego de biomassas → Base matriz energética (Grande Potencial)
 - ▶ Apesar da influência econômico-política (interna e externa)



Utilização da biomassa

► Benefícios de utilização da biomassa:

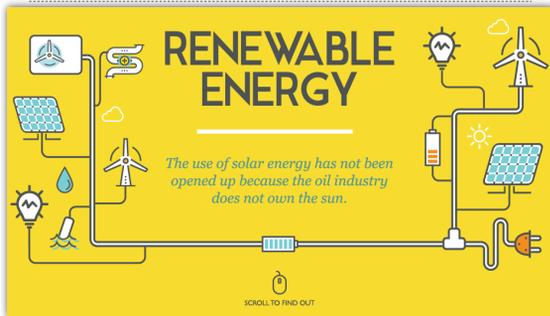
1. Utilização vasta: direta ou indiretamente
 2. Obtenção das mais variadas fontes de energia
 3. Menor percentual de poluição atmosférica global e localizada
 4. Estabilidade do ciclo do carbono
 5. Maior emprego de mão-de-obra
- Em relação a outras formas de energias renováveis
- Destaque devido à alta densidade energética e facilidades de armazenamento, câmbio e transporte
 - Semelhança sistemas de produção (energia de biomassa e energia fóssil)
 - substituição não teria um efeito tão impactante
 - nem na indústria de produção de equipamentos
 - nem nas bases instituídas para transporte e fabricação de energia elétrica

Conclusões e observações

► Uso da biomassa possui elevado potencial de crescimento futuro

- Tanto energia quanto bioprodutos, e até alimentação (humana e animal)
- **Vantagens:**
 - Ambientais (preocupação global)
 - Econômicas → reaproveitamento e integração
 - Uso de resíduos, subprodutos, ciclos fechados, etc
- Sua viabilização ainda depende de diversos fatores:
 - **Tecnológicos**
 - Design, otimização e controle de processos
 - **Infraestrutura** → Logística, transporte, etc
 - **Econômicos** (Fatores Internos e Mundiais)
 - **Fatores cruciais:** (i) Custo da biomassa; (ii) **Eficiência energética da cadeia produtiva**
 - **Políticos**
- **Brasil:** um dos maiores (se não o maior) potencial
 - Biomassa direta, biocombustíveis (etanol, biodiesel), química verde, etc

Biomassa e energia



► Fontes: Green Solar System Acesso em 07/03/2016 <<http://www.greensolarsystemold.com/>>

Biomassa e energia



► Fontes: Green Solar System Acesso em 07/03/2016 <<http://www.greensolarsystemold.com/>>

Fontes de energia

	<p>Matéria-prima: petróleo cru ou óleo bruto</p> <p>Produtos: óleo diesel, gasolina, querosene e jet fuel</p> <p>Vantagens: tecnologia bem estabelecida</p> <p>Problemas: declínio das reservas, geopolítica complexa, poluição ambiental</p>
	<p>Matéria-prima: óleos vegetais, carboidratos</p> <p>Produtos: biodiesel, bioquerosene, etanol amiláceo ou sacarínico</p> <p>Vantagens: sustentável; economicamente viável</p> <p>Problemas: custo da matéria-prima; segurança alimentar comprometida</p>
	<p>Matéria-prima: resíduos agro-industriais, algas, gramíneas, lixo urbano</p> <p>Produtos: etanol celulósico, butanol, bio-óleo, produtos Fisher-Tropsch</p> <p>Vantagens: não compete com a produção de alimentos; sustentável</p> <p>Problemas: inviável economicamente, tecnologia em desenvolvimento</p>

Vantagens da utilização da biomassa como fonte energética

► Disponibilidade e abundância:

- Em usinas onde a cana de açúcar é utilizada:
 - Bagaço e a palha representam dois terços da energia da planta
 - Faz da biomassa uma alternativa competitiva e de grande apelo comercial;

► Sustentabilidade e meio ambiente:

- A biomassa permite um balanço muito mais sustentável na produção de energia
 - Absorção de gases de efeito estufa (ciclo natural de carbono neutro) na etapa agrícola
 - não ocorre com térmicas que usam derivados de petróleo
 - Além disso, configura-se como uma **energia renovável**

Vantagens da utilização da biomassa como fonte energética

- ▶ **Descentralização e diversificação:**
 - ▶ É uma fonte produzida regionalmente
 - ▶ portanto, colabora para independência energética e geração de receita;
- ▶ **Tecnologia e infraestrutura:**
 - ▶ Maior parte dos equipamentos usados para construção de uma termelétrica com aproveitamento de biomassa é fabricada no Brasil
 - ▶ não tendo necessidade de importação (dependência de tecnologias externas)
- ▶ **Fatores Econômicos:**
 - ▶ Baixo custo de aquisição da biomassa

Desvantagens da utilização da biomassa como fonte energética

- ▶ **Desvantagens**
 - ▶ Desmatamento de florestas, além da destruição de habitats;
 - ▶ Menor poder calorífico quando comparado com outros combustíveis;
 - ▶ Biocombustíveis líquidos contribuem para a formação de chuvas ácidas;
 - ▶ Dificuldades no transporte e no armazenamento de biomassa sólida.

Considerações finais

- ▶ **Mudança da base energética mundial**
 - ▶ **Iminente e inevitável**
 - ▶ Triade (Solar, Eólica e Biocombustíveis – biomassas)
 - Diversificações e características locais
- ▶ **Viabilização das tecnologias**
 - ▶ Depende de incentivos e P&D&I: (Academia + Governo + Empresas)
- ▶ **Estado da arte:** Lacunas a serem preenchidas em toda a cadeia produtiva de produção e aproveitamento de biomassas
 1. Cultivo e desenvolvimento (e.g. genética)
 2. Processos de preparação (*upstream*)
 3. Processos de conversão (design, otimização e controle)
 - ▶ Composição e características intrínsecas a cada biomassa
 4. Processos de separação e purificação (*downstream*)
 5. Logística e transporte de M-P e produtos
 6. Integração e aproveitamento de resíduos e subprodutos
 - ▶ "Conceito de biorrefinaria"

Superar as restrições:

- Econômicas
- Tecnológicas
- Ambientais

Bibliografia

- ▶ NOGUEIRA, L.A.H. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**, 2ª Ed., 2003.
- ▶ Cortez, L.A.B.; Lora, E.E.S.; Olivares Gómez, E. **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Ed. Unicamp, 2008.
- ▶ Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**, Brasília: Aneel, 3. ed., 2008. 236 p.
- ▶ Santos, S. F.; Borschiver, S.; Souza, V. **Biocombustíveis: Mercado, desafios e perspectivas**. Revista Brasileira de Engenharia Química, v.29, n.3, 2013
- ▶ A. D. Kroumov, F. B. Scheufele, D. E. G. Trigueros, A. N. Modenes, M. M. Zaharieva, H. Najdenski. **Chapter 11: Modeling and Techno-Economic Analysis of Algae for Bio-Energy and Co-Products**, Ed. In: R. Rastogi, D. Madamwar, A. Pandey (Eds.) *Algal Green Chemistry - Recent Progress In Biotechnology*, 1. Ed., Elsevier, 2017, 336 p.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR PALOTINA
Programa de Pós-Graduação em Bioenergia
Disciplina: Combustíveis e Biocombustíveis

Obrigado pela atenção!

Contato:

Prof. Dr. Fabiano Bisinella Scheufele

Universidade Federal do Paraná - UFPR - Setor Palotina

Departamento de Engenharias e Exatas - DEE

Email: fabianoscheufele@ufpr.br (fabianoscheufele@gmail.com)