

*Interdisciplinaridade*

# Biorrefinaria é conceito aplicável ao setor florestal

Francides Gomes da Silva Júnior\*

ACERVO VERACEL



*Floresta plantada de eucalipto para abastecimento industrial, BA*

Os biocombustíveis têm como principal matéria-prima os produtos de origem vegetal e a produção florestal representa nesse cenário um importante pilar, tanto em termos mundiais como nacionais. Entre os biocombustíveis, o etanol se destaca pelo sucesso de sua aplicação, principalmente no caso de veículos

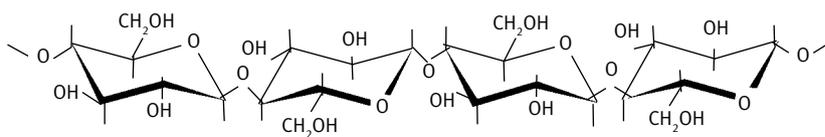
automotores. A produção de etanol pode ser realizada utilizando-se diferentes matérias-primas, como, por exemplo, o milho, principal fonte de matéria-prima na produção de etanol nos Estados Unidos. No entanto, a utilização de culturas agrícolas que também são utilizadas como fonte de alimentos para produção

de etanol tem gerado diversas discussões sobre a disponibilidade desses produtos. É nesse contexto que a produção florestal apresenta-se como alternativa importante para a produção de etanol.

Na produção de biocombustíveis, grande atenção tem sido dada à celulose (Figura 1). Efetivamente, a celulose é o principal polímero natural existente na natureza e está presente em todas as plantas. A celulose é o composto orgânico mais comum na natureza, constituindo entre 40% e 50% de quase todas as plantas. Existem estimativas de que cerca de 50 bilhões de toneladas desse composto químico são produzidas por ano pelas plantas, através do processo de fotossíntese. A celulose está presente também em bactérias e algas, embora em pequenas proporções. Em termos químicos, a madeira, principal produto da atividade florestal, é uma importante fonte de celulose. Nesse ponto específico, faz-se necessário um conhecimento aprofundado das características químicas, físicas e anatômicas da madeira visando à sua utilização industrial, seja para a produção de celulose e papel, madeira serrada, carvão vegetal, painéis de madeira e biocombustíveis, entre outras possibilidades.

Quimicamente, os componentes da madeira podem ser assim divididos: carboidratos, lignina, extrativos e cinza (elementos inorgânicos) (Tabela 1). Os carboidratos são os principais compostos da madeira, responsáveis por 75% da mesma, sendo representados principalmente pelos polissacarídeos. Dentre eles, o mais importante é a celulose, que é um polímero de glicose. A celulose representa, em média, 50% da massa do tecido madeireiro. Dentre os polissacarídeos, um outro grupo de componentes, na sua maioria também insolúvel em água, é constituído pelas hemiceluloses ou polioses. Ocorrem em menor quantidade que a celulose e caracterizam-se por conterem na formação de seus polímeros outros açúcares além da glicose.

FIGURA 1 | REPRESENTAÇÃO QUÍMICA DA CELULOSE



Fonte: Elaborado pelo autor

TABELA 1 | COMPOSIÇÃO MÉDIA DE MADEIRAS DE CONÍFERAS E FOLHOSAS

CONSTITUINTE	CONÍFERAS	FOLHOSAS
Celulose	42 ± 2%	45 ± 2%
Polioses	27 ± 2%	30 ± 5%
Lignina	28 ± 2%	20 ± 4%
Extrativos	5 ± 3%	3 ± 2%

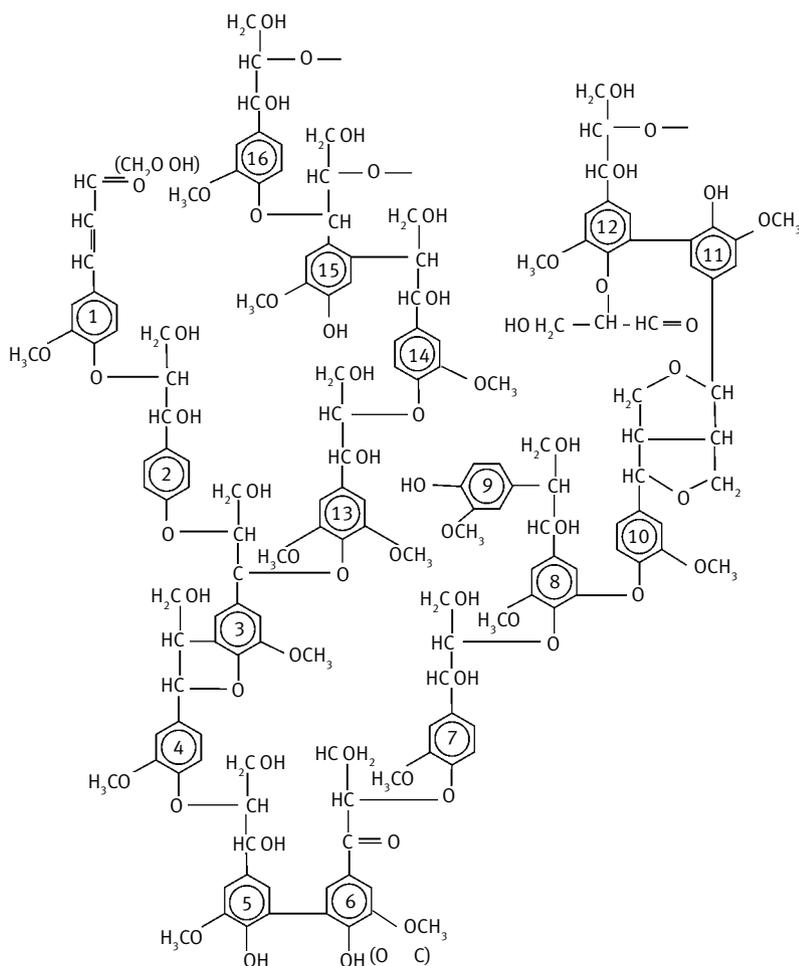
Fonte: Elaborado pelo autor

Outro importante grupo químico da madeira são as substâncias fenólicas, constituídas por compostos aromáticos, caracterizados pela presença de grupos hidroxifenólicos parcialmente metilados. A grande parcela das substâncias fenólicas compreende o sistema conhecido como lignina, um composto amorfo, insolúvel em água e solventes comuns, caracterizado pela presença maciça de unidades de fenilpropano polimerizadas em sua estrutura. Ela pode chegar a representar até 35% da massa do tecido madeireiro. Outras substâncias fenólicas solúveis em água e solventes comuns podem estar presentes no tecido madeireiro, citando-se como exemplos os taninos e os materiais coloridos. A lignina é um composto natural bastante complexo e com uma grande gama de possibilidades de utilização e produção de diferentes bioprodutos. É fato

comprovado que na composição química elementar da lignina ocorrem única e exclusivamente carbono, hidrogênio e oxigênio. A composição elementar percentual varia principalmente se a lignina for obtida de coníferas ou de folhosas e com o método de isolamento (Figura2).

Num amplo sentido, a madeira caracteriza-se como sendo um material constituído fundamentalmente por compostos de elevado grau de polimerização e peso molecular (celulose, hemiceluloses e lignina), os quais são considerados como os verdadeiros responsáveis pelas morfologia e estrutura suas. Os compostos de baixo peso molecular (extrativos e componentes minerais) representam apenas uma pequena parcela e, muitas vezes, são considerados como simples acessórios da madeira, em termos estruturais. As composições químicas da

FIGURA 2 | MODELO ESTRUTURAL DA LIGNINA



Fonte: Elaborada pelo autor

TABELA 2 | COMPOSIÇÃO ELEMENTAR DA LIGNINA

ELEMENTOS	CONÍFERAS (%)	FOLHOSAS (%)
C	63 - 67	59 - 60
H	5 - 6	6 - 8
O	27 - 32	33 - 34

Fonte: Elaborada pelo autor

lignina e polioses diferem em coníferas e folhosas, enquanto que a celulose é um componente uniforme da madeira (Tabela 2).

A complexidade química da madeira traz no seu bojo uma ampla possibilidade de processamento químico e termoquímico, visando à produção de biocombustíveis e bioprodutos. É nesse contexto que surge o conceito de biorrefinaria, em analogia às tradicionais refinarias de petróleo, que obtém dessa matéria-prima vários produtos. Considerando-se as indústrias de transformação que utilizam a biomassa florestal como matéria-prima, o setor de celulose e papel é o que mais se aproxima de uma biorrefinaria. As empresas dedicadas à produção de carvão vegetal, que se preocupam com a recuperação dos subprodutos desse processo termoquímico de transformação da madeira, também podem ser incluídas no conceito de biorrefinaria.

O termo biorrefinaria tem se difundido nos últimos tempos, porém sem uma conceituação clara. De forma geral, está associado a um conjunto de instalações industriais que integra processos de conversão de biomassa e equipamentos para a produção de combustíveis, energia e produtos químicos oriundos da biomassa. Uma biorrefinaria tem como objetivo utilizar de forma completa os componentes da biomassa disponível, para produção de alimentos, combustíveis, produtos químicos, energia e calor, de forma a maximizar o retorno econômico do investimento realizado. Na área florestal, o termo está bastante associado às indústrias de celulose e papel. Para esse setor, representa um conjunto de ações que tem por objetivo buscar novas aplicações para os co-produtos da produção de celulose e papel.

No que diz respeito à utilização da madeira para a produção de celulose e papel, é necessário contextualizar o produto celulose destinado à produção de papel. O elemento estrutural de uma folha de papel é a fibra que do ponto de vista químico, é

FIGURA 3 | PLANTIO DE EUCALIPTO E GIRASSOL



Fonte: José Luiz Stape

TABELA 3 | CARACTERÍSTICAS DA LIGNINA OBTIDA DO PROCESSAMENTO DO LICOR NEGRO DE UNIDADES DE PRODUÇÃO DE POLPA CELULÓSICA

TEOR DE SÓLIDOS, %	60 – 70
Teor de cinzas, %	<0,4
Poder calorífico, MJ/kg	25,4
Composição elementar, %	C 64,6; O 26,4; H 5,7; Cl 0,005; Na 0,03

Fonte: Elaborado pelo autor

constituída principalmente por moléculas de celulose. No processo de obtenção de fibras para produção de papel, é imperioso que a estrutura anatômica das fibras seja preservada – dessa forma, o termo celulose, para o setor, seria melhor representado pela expressão “polpa celulósica” (*market pulp*). Essa necessidade de se manter uma estrutura anatômica preservada implica na implantação de uma série de operações unitárias industriais específicas. Quando se considera a celulose do ponto de vista químico como matéria-prima, e não mais a estrutura fibrosa, abre-se um leque de possibilidades bastante amplo em termos de processamento industrial.

No processamento químico da madeira para produção de polpa celulósica, há a degradação significativa da lignina, que mantém as fibras unidas, e dos demais componentes da madeira, inclusive dos carboidratos, o que é indesejável. Os resíduos do processo químico de individualização das fibras da madeira são

concentrados e queimados em caldeiras visando à obtenção de energia. Entre os componentes químicos da madeira presentes nesses resíduos estão lignina, celulose, xilanas, glucomanas e outros de menor importância. Na utilização da celulose oriunda de tecidos vegetais para produção de biocombustíveis é necessário, em um primeiro estágio, isolá-la. Nesse processo de isolamento, grande quantidade de lignina é obtida. As pesquisas sobre a produção de biocombustíveis a partir de celulose não têm focado a utilização de um possível subproduto desse processo, que é a lignina.

A recuperação da lignina existente no licor negro de fábricas de polpa celulósica é um processo que foi descrito há bastante tempo na literatura (a separação da lignina é obtida por precipitação devida à acidificação do meio). Algumas adaptações atuais desse processo buscam o uso de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para a acidificação. Em comparação com

a utilização de ácidos convencionais, como os ácidos sulfúrico ou clorídrico, o emprego do dióxido de carbono apresenta vantagens, tanto de ordem industrial, como de ordem ambiental, pela possibilidade de seqüestro de carbono. A utilização de dióxido de carbono comercial pode representar, contudo, uma barreira de ordem econômica ao processo. Em unidades industriais de produção de polpa celulósica, existem pontos de produção de CO<sub>2</sub>, como por exemplo, o forno de cal. A utilização de parte do CO<sub>2</sub> gerado nessa etapa do processo é uma importante alternativa técnico-econômica na produção de lignina a partir do processo químico de produção de polpa celulósica.

Uma das utilizações mais simples da lignina recuperada a partir do processo químico de produção de polpa celulósica é como combustível para caldeiras. Para esse fim, a lignina deve ter como uma de suas características um elevado poder calorífico útil e um baixo teor de elementos inorgânicos, como o sódio, por exemplo (Tabela 3).

O licor negro, resíduo do processo de produção de polpa celulósica, além de ser rico em lignina, apresenta elevados teores de xilana, especialmente quando a produção de polpa celulósica se baseia na utilização de espécies florestais de folhas, como o eucalipto. A separação de xilanas de alto peso molecular do licor negro pode ser feita pela aplicação de membranas de separação. A separação e posterior fermentação dos carboidratos presentes no licor negro de fábricas de polpa celulósica, visando à produção de etanol e metanol, é outro importante passo para transformação de fábricas de produção de polpa celulósica em efetivas biorrefinarias. O processo de fermentação gera elevado volume de CO<sub>2</sub>, na razão aproximada de 1:1 – ou seja, para cada tonelada de etanol, gera-se uma tonelada de CO<sub>2</sub>. Quando combinado com a produção de lignina, o CO<sub>2</sub> gerado na produção de etanol pode ser

utilizado no tratamento do licor negro para a produção de lignina, o que, além de integrar os processos produtivos, promove uma significativa redução dos custos de produção.

Quando se considera o tema biorrefinaria aplicado ao setor florestal, várias são as possibilidades de fontes de matéria-prima. Nos processos de transformação da madeira, a casca, que em média representa entre 8 a 15% da massa de madeira de uma tora, deve ser removida e, na maioria dos casos, é queimada em caldeira de biomassa, quando poderia ser utilizada na remoção de alguns extrativos de elevado valor, como o tanino, ou mesmo como fonte de carboidratos e lignina. Em serrarias, a geração de resíduos sólidos é da ordem

de 50 a 60%, que também são fontes de lignina e carboidratos. Um dos processos de transformação da madeira que tem expressiva importância no Brasil, embora não seja devidamente considerado como biorrefinaria, é a produção de carvão vegetal. Nesse processo, existe a possibilidade de condensação dos gases oriundos da carbonização, dando origem a um subproduto genericamente chamado de licor pirolenhoso, que tem em sua composição alcatrão, ácido acético e vários outros compostos orgânicos. Devidamente processados, os compostos podem contribuir para a geração de valor adicional para a unidade industrial de produção de carvão vegetal.

A questão, portanto, da biorrefinaria não deve ser abordada estritamente

sob um foco de processo industrial, ou seja, uma seqüência de operações unitárias visando à obtenção de alguns produtos específicos. A abordagem deve ser mais ampla, considerando-se todos os aspectos da produção agrícola. A possibilidade de implantação de sistemas agroflorestais visando a fornecer matérias-primas para biorrefinarias completa de maneira ampla todo o ciclo de produção. Os temas energia, bioenergia, biocombustíveis e biorrefinaria são efetivamente multidisciplinares e devem assim ser abordados. 

---

\* **Francides Gomes da Silva Júnior** é professor do Departamento de Ciências Florestais da USP ESALQ ([fgomes@esalq.usp.br](mailto:fgomes@esalq.usp.br)).

## REVISTA Desde 1943 contribuindo para o avanço das ciências agrárias

# SCIENTIA AGRICOLA

Indexada na mais conceituada base de dados científicos internacional, a Web of Science/Current Contents, do ISI

### ASSINATURA

Assinatura anual: R\$ 80,00

Exemplar avulso: R\$ 30,00

### PERIODICIDADE

Seis números por ano.

### CUSTO PARA PUBLICAÇÃO

Se o 1º autor ou o autor correspondente for assinante:

- R\$ 18,00 por página impressa no formato final, até 6 páginas.
- R\$ 60,00 por página adicional.

Se o 1º autor e/ou autor correspondente não for assinante:

- R\$ 36,00 por página impressa no formato final, até 6 páginas.
- R\$ 120,00 por página adicional.

### COMO ASSINAR

1. Depósito em conta bancária:

Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz

- Banespa (033) | Agência 0041 | Conta 13.50077-2 ou
- Banco do Brasil | Agência 3149-6 | Conta: 4008-8

2. Enviar para o endereço abaixo o comprovante de depósito (Via Fax ou Carta) juntamente com os dados pessoais: nome, instituição, endereço completo, telefone, e-mail.

### USP ESALQ / SCIENTIA AGRICOLA

Comissão de Publicações

Av. Pádua Dias, 11 • CP 9 • 13418-900

Piracicaba - SP • Brasil • Tel/Fax: (19) 3429-4401

e-mail: [scientia@esalq.usp.br](mailto:scientia@esalq.usp.br)

[www.esalq.usp.br/scientia](http://www.esalq.usp.br/scientia) • [www.scielo.br/sa](http://www.scielo.br/sa)