



Foto: Renato Fernando Amabile

Capítulo 26

As gerações que sucedermos no futuro
Lançarão mão da ciência e tecnologia.
Só viverão num ambiente limpo e puro
usando fonte alternativa de energia.

Se for capaz de aprisionar o que emana
Da onda do mar que espumante vem e vai
Plantar deserto, onde a chuva nunca cai
Sem prejuízo adicional à vida humana.

Geovane Alves de Andrade



Fontes Alternativas de Energia e Perspectivas do Uso da Agroenergia no Mundo

Frederico Ozanan Machado Durães

Esdras Sundfeld

José Euripedes da Silva

Abstract

The world demand for renewable energy creates a great opportunity for Brazil's development. The country has unequal natural comparative advantages (soil, climate, available area) and built advantages (technology of agricultural production for tropical conditions, consolidated technical skills) to supply large part of that demand. Regional differences establish a context of development considering the vocation and potential of each site - with great potential for the five terrestrial biomes, especially in the exploitation of raw materials suitable for biomass production and its conversion into energy. These characteristics let to apply a model of national development which addresses: (a) supply of renewable energy produced and consumed in the region, with adequate energy balance, (b) generation of employment and income in the countryside and cities, (c) socio-economic insertion and reduction of regional differences, (d) reduction of emission of greenhouse gases, and attention to environmental services. In this context, the World is looking back to the region of the Brazilian Cerrados, as one of the potential areas for expansion of production of food, fiber and energy. The potential for biomass production is already consolidated by the lead in agricultural tropical technology. Under the sustainability concept, the increase of production require new science to raise productivity by increasing efficiency in the use of inputs, either by recycling or by using alternative materials in the supply of plant nutrients.



Introdução

O homem modifica a natureza, e a velocidade das alterações dos processos naturais tem provocado algumas situações, tais como o modo como a humanidade interage com os recursos do meio ambiente e os fatores e sistemas de produção de bens úteis à sua evolução. As mudanças climáticas e seus efeitos, por exemplo, provocam uma dinâmica evolutiva de tal magnitude que merecem atenção técnica e estratégica. Tanto a consciência coletiva quanto a atitude individual devem refletir sobre as questões da agricultura, da biodiversidade e dos biocombustíveis. A adequação entre as matrizes energéticas fóssil e renovável requer conhecimento, ação para mudanças e comunicação objetiva.

O mundo moderno precisa de energia para a dinâmica evolutiva da sociedade. Energia é a capacidade de realizar trabalho, e a força despendida para obter avanços gera energia produtiva ou não. Portanto, utilidade e desperdício são energias com valores diferenciados.

Esse entendimento leva a uma avaliação da matriz energética mundial, notadamente baseada em energia fóssil, não renovável, oriunda dos derivados de petróleo, gás natural, carvão, xisto e turfa, e remete às atenções mundiais para a oportunidade de outras fontes de energia renováveis, como hidráulica, eólica e de biomassa.

A localização territorial, o domínio de propriedade e uso, a logística e a capacidade gerencial e técnica de prospecção, transformação, distribuição e uso dessas fontes de energia colocam países e grupos político-econômicos em vantagens comparativas perante os demais. Esses elementos básicos são norteadores para as oportunidades, atuais e futuras, de cada um desses grupos de interesse, mas criam condições novas e diferenciadoras para as áreas geográficas em regiões tropicais.

O Brasil requer energia de biomassa porque precisa e quer produzir mais alimentos, mais fibras, mais energia renovável com sustentabilidade socioeconômica e ambiental. Decididamente, o Brasil buscará a utilização racional de mais áreas, com maiores índices de produtividade e atingindo maior volume de produção de energia de biomassa. Os fatores clássicos de produção (terra, capital e trabalho) não criam obstáculo à expansão da agroenergia em bases sustentáveis. A disputa competitiva por insumos modernos, a exemplo de fertilizantes, configura-se como uma questão real a se desenvolver, pois se necessita de eficiência nos processos agrícolas e industriais para saltos de competitividade.



No Brasil, a produção de agroenergia (produção de biomassa e energia de biomassa) não compete com a produção de alimentos. A competência brasileira em agroenergia está fundamentada na cana-de-açúcar para a produção de etanol; soja, mamona, girassol, dendê para a produção de biodiesel; e produtos florestais, especialmente de eucalipto. Também é fato que a análise e a gestão territorial produzem elementos significativos para a equação nacional de desenvolvimento sustentável, incluindo a energia de biomassa. O território brasileiro tem 851 milhões de hectares. Desses, cerca de 400 milhões de hectares são áreas antropizadas. E é nessas áreas que são trabalhadas a agricultura (cerca de 60 milhões de hectares e 140 milhões toneladas de grãos), e a pecuária (220 milhões de hectares com mais de 200 milhões de cabeças de gado). A área de cana-de-açúcar ou de florestas energéticas equivale, cada uma, a pouco mais de 2 % desse total com produção agrícola.

Nesses últimos 30 anos, têm sido observados, em algumas regiões competitivas, redução da área de pastagem e aumento do número de cabeças de gado, decorrências da eficiência do manejo. Entretanto, em outras regiões, houve degradação de áreas de pastagens por causa de manejo inadequado. Estimativas conservadoras apontam o seguinte: se a lotação média de animais no Brasil obtiver 1,4 cabeça por hectare, pode-se ainda dispor de cerca de 100 milhões de hectares para a agricultura, inclusive para a expansão da cultura da cana-de-açúcar.

Fontes Primárias e Secundárias de Energia

A energia solar é a fonte básica de energia, portanto toda a vida na Terra depende da energia do Sol. As formas de vida na Terra, como a conhecemos, são dependentes da energia solar radiante. E o processo básico é a fotossíntese, que permite os organismos clorofilados fazer a conversão da energia eletromagnética em energia química e, portanto, formar a biomassa, direta ou indiretamente (vegetal e animal).

Dentro do Sol, massa é convertida diretamente em energia pelo processo de fusão nuclear, e quantidades pequenas de massa geram grande quantidade de energia (lei de Einstein, $E = mc^2$, em que E é a energia criada, m é a massa da matéria destruída e c é uma constante de valor 300.000 km/h – velocidade da luz). O Sol gera $3,94 \times 10^{23}$ kW.dia⁻¹, alcançando temperaturas de 5.700 °C. Essa energia irradiada leva cerca de 8 minutos para cobrir os 129 milhões de quilômetros até atingir a Terra com uma energia total de cerca de 80.000×10^{12} W, correspondentes a 10 mil vezes a demanda de energia global atual. A energia que alcança a superfície terrestre é de 70 % do seu valor nominal, com intensidades variáveis para cada região do planeta, condição de tempo e horário.



A exploração de energias primárias e secundárias (Fig. 1 e 2) visando a sua utilização pela sociedade, em todos os tempos, é dependente do conhecimento dos recursos naturais e de formas de utilização em escala. É, pois, estratégico para humanidade a oportunidade de mudanças da matriz energética de fóssil para renovável, o que faz com que cada território tenha condições diferenciadas para essa aplicação. Instabilidade de preços do petróleo, mudanças climáticas e emissão de gases de efeito estufa trazem para as energias alternativas renováveis a oportunidade de mudanças significativas na matriz energética mundial. Colocam os países na faixa tropical em condições de exploração racional de seus recursos naturais, com conhecimento novo, para contribuir para essa matriz energética de transição. A agroenergia (agricultura, indústria e logística), portanto, coloca as experiências exitosas da agricultura de alimentos em disponibilidade para contribuir para a agricultura de energia. Desde que a produção e a distribuição de alimentos compõem ações dependentes de energia, a energia de biomassa constitui uma grande oportunidade para essa matriz de transição entre as fontes fósseis e as renováveis, até o estabelecimento de competências para a utilização de energia solar de forma mais direta e acessível à população como um todo. Exemplos de tecnologias e primeira geração (biocombustíveis, tais como etanol e biodiesel), de segunda geração (etanol de material lignocelulósico), e de terceira geração (células de hidrogênio) são desenvolvimentos técnico-científicos e de integração de logística produtiva e comercial que estão em andamento.

Os aumentos significativos nos preços dos combustíveis fósseis têm viabilizado a utilização de algumas fontes energéticas alternativas que antes não apresentavam competitividade econômica, entre as quais, a agroenergia. Estudos mostram que o uso do álcool combustível passa a ser viável do ponto de vista econômico frente à gasolina (tributação excluída) para preços de petróleo acima de US\$ 35.00 a US\$ 40.00 o barril. Por ser uma tecnologia ainda imatura, a mesma relação é estimada entre US\$ 60.00 a US\$ 80.00 para o biodiesel. Baseado nessas relações e nas cotações do barril de petróleo atuais e projetadas, conclui-se que deve crescer o uso de biomassa para a produção de energia de biocombustíveis. Agregam-se a essa estratégia as possibilidades de uso de biomassa para a co-geração de energia (calor e bioeletricidade) e incorporação de matéria orgânica nos solos (condicionador de solos tropicais, a exemplo dos sistemas de plantio direto).

Input	Processamento			Output
Biomassa	<i>Tecnologia de geração de combustível</i>	<i>Combustível produzido sólido</i>	<i>Tecnologia de energia</i>	<i>Saída de bioenergia</i>
Madeira, polpa de papel, resíduos de madeira	Cortar, picar, despedaçar, esmagar, empacotando ou criando fardos, prensas	Cavacas, micro-placas de madeira, pellets, pó de serra, briquetes	Combustão direta (pilha, <i>stockers</i> , suspensão, caldeiras de leito fluidizados) Co-combustão Gasificação	Calor Eletricidade Vapor Movimentação mecânica
Agri-resíduos, p. ex., cascas de arroz, de nozes, bagaço, palha, varas de algodão, etc.		Resíduos da colheita		
Madeira		Carvão de lenha		
Turfa		Briquetes de turfa		
Resíduos urbanos e industriais		Combustíveis de recuperação sólidos		
Biomassa	<i>Tecnologia de geração de combustível</i>	<i>Combustível produzido líquido</i>	<i>Tecnologia de energia</i>	<i>Saída de bioenergia</i>
Cana-de-açúcar, sorgo, sacarino, mandioca, beterraba, batatas, trigo, milho, madeira	Extração/Esterificação Pirólise Hidrólise/Fermentação Destilação	Alcoois: etanol, metanol	Motor de combustão interna, geradores elétricos	Transporte Calor Eletricidade
Óleos vegetais (girassol, pinhão, amendoim, mamona, soja, colza), óleos de nozes (óleo de palmas, coco), óleos reciclados		Biodiesel		
Etanol e celulose		Combustível gelificado		
Madeira		Pirólise do óleo		
Biomassa		<i>Tecnologia de geração de combustível</i>		
Resíduos de animais, lama de esgotos, resíduos agro-alimentares, lixo	Digestão anaeróbica	Biogás	Motor de combustão interna	Eletricidade Transporte Cozimento Aquecimento

Fig. 1. Bioenergia: da biomassa à energia.



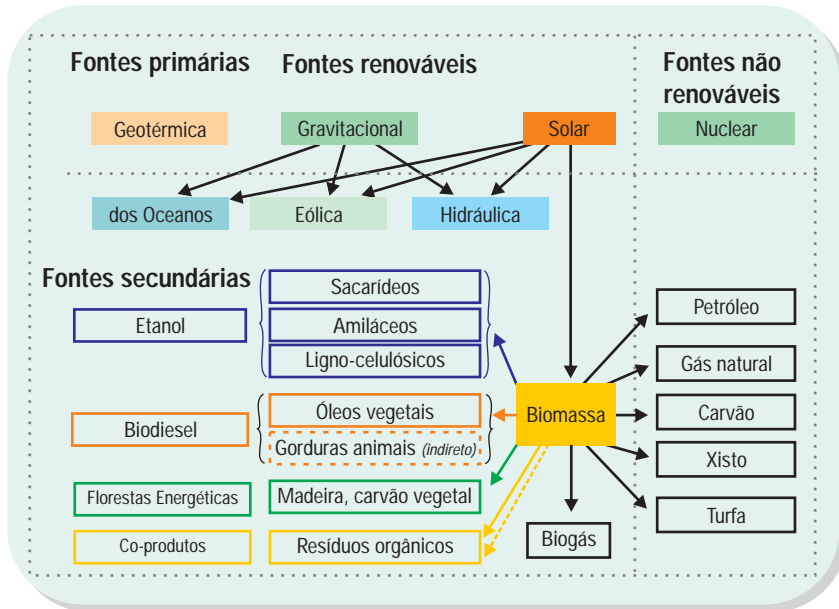


Fig. 2. Classificação geral das fontes de energia.

Produção de Biomassa e Energia de Biomassa

Biomassa é o produto da fotossíntese, cujo processo resulta da conversão da energia eletromagnética em energia química, em organismos clorofilados. Esse processo constitui-se de uma transformação energética em basicamente dois processos associados - fotoquímica (fotofosforilação) e bioquímica (redução de carbono ou ciclo de Calvin-Benson), resultando na assimilação de CO_2 atmosférico e produção de carboidratos (açúcares). Essa energia pode ser convertida em combustível, eletricidade ou calor. As fontes orgânicas que são usadas para produzir energias usando esse processo são chamadas de biomassa. Os combustíveis mais comuns da biomassa são os resíduos agrícolas, madeira e plantas como a cana-de-açúcar, que são colhidos com o objetivo de produzir energia.

A biomassa – composta por cerca de 220 bilhões de toneladas de matéria seca anual – parece ser a maior e mais sustentável fonte de energia renovável pronta para uso. Estimativas indicam que a biomassa possa produzir entre 3.000 EJ^2 a 4.500 EJ^2 de energia.



As fontes renováveis têm potencial para atender a grande parte do acréscimo da demanda de energia do mundo, independentemente da sua finalidade (biocombustível ou co-geração de bioeletricidade e calor). A viabilidade econômica, a sustentabilidade de cada fonte e a disponibilidade de recursos renováveis para a geração de energia são variáveis entre regiões. Os biomas terrestres (Amazônia, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Caatinga e Pantanal) e aquáticos brasileiros têm alto potencial de produção de biomassa, e a energia de biomassa coloca nas ações de PD&I um forte componente de matérias-primas, processos e produtos. Decididamente, inovação é a chave para o aumento da produção sustentável e a segurança alimentar.

O aumento na produtividade, em virtude da inovação tecnológica, significa ganhos em eficiência energética e redução nos impactos ambientais, pois menor área está sendo utilizada para a produção de alimentos e energia. Por sua vez, os ganhos em eficiência criam a oportunidade para o planejamento, atendendo a uma agenda que compatibilize a produção de alimentos e biomassa para energia.

A agroenergia, ou agricultura de energia, provém de quatro fontes básicas de biomassa: as derivadas de cultivos ricos em carboidratos (sacarídeos e amiláceos), que produzem o etanol; as derivadas de lipídeos vegetais e animais, que geram o biodiesel; a madeira, que pode gerar o metanol, briquetes ou carvão vegetal; e os resíduos e dejetos da agropecuária e da agroindústria, que podem gerar bioeletricidade e calor.

Agroenergia: plataformas

O Brasil definiu diretrizes objetivas para o negócio de agroenergia, estabelecidas no Plano Nacional de Agroenergia (2006-2011), focando quatro plataformas (Fig. 3) voltadas para a produção de energias de biomassa: (1) etanol; (2) biodiesel; (3) florestas energéticas e (4) aproveitamento de co-produtos e resíduos.

A diversificação regional das matérias-primas adequadas a cada produto permite a aplicação de modelos de produção que melhor se adaptem às condições regionais.

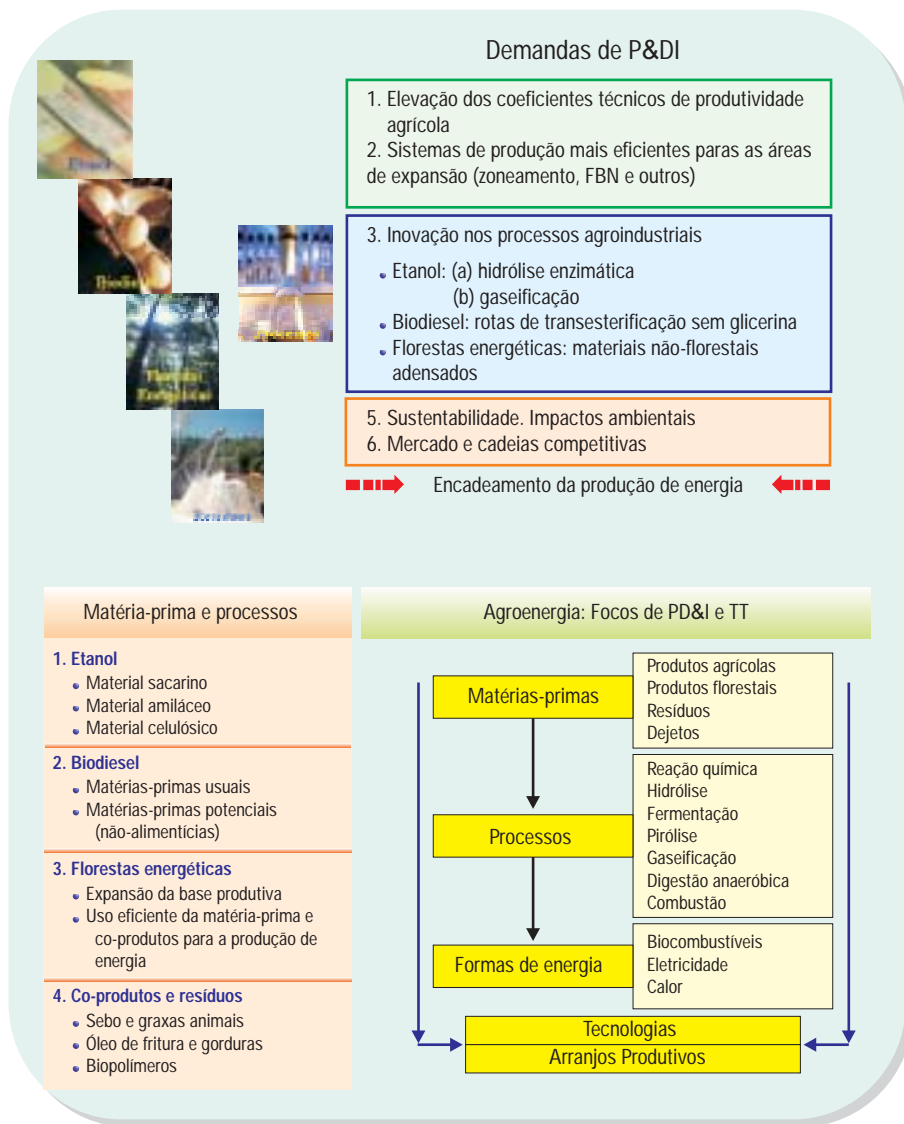


Fig. 3. Plataformas de P&DI em Agroenergia (focando em soluções: produção de biomassa e energia de biomassa).



Nessas plataformas, são contemplados os estudos que visam a:

- (a) Elevação dos coeficientes técnicos agroeconômicos (por exemplo: exceto para o dendê, as matérias-primas usuais - soja, mamona, girassol, algodão, amendoim, etc. - para produção de biodiesel rendem, aproximadamente, 500 litros de óleo vegetal por hectare e, para que um programa desses se torne sustentável, é necessário que esse coeficiente atinja, pelo menos, 1.000 litros por hectare; no caso do etanol, há ainda espaço para a obtenção de cultivares de cana-de-açúcar com índices técnicos de rendimento acima de 80 t/ha em lavouras de sequeiro).
- (b) Definição de sistemas de produção sustentáveis, mais eficientes e com menor impacto ambiental para as áreas de expansão, por meio de zoneamentos, novas cultivares, tecnologias redutoras do uso de fertilizantes (fixação biológica de nitrogênio), etc.
- (c) Inovação em processos agroindustriais (obtenção do etanol celulósico por meio de hidrólise enzimática e gaseificação; estudo de rotas de transesterificação para produção de biodiesel sem a co-produção de glicerina).
- (d) Balanço energético do sistema, requerimento necessário para determinar a viabilidade do projeto.
- (e) Estudos transversais de mercado, impactos socioeconômicos e ambientais.

A Embrapa e as Pesquisas sobre Agroenergia e Biocombustíveis

A crescente preocupação mundial com o meio ambiente e com as desigualdades sociais advindas do atual modelo de desenvolvimento, baseado no uso, em larga escala, de combustíveis fósseis, principalmente o petróleo, conduz para uma proposta de desenvolvimento que tenha como meta a sustentabilidade socioeconômica e ambiental.

A produção de energia por meio de biocombustíveis visando reverter, em parte, o processo de degradação em que se encontra o planeta apresenta-se como uma das alternativas viáveis na atualidade, despontando como vetor maior desse processo a agricultura energética, promotora de mudanças recentes no Brasil e no mundo.



A agroenergia provavelmente tornar-se-á a matéria-prima base de todo um sistema produtivo em função de sua possível sustentabilidade. E o Brasil tem destaque por ser um País tropical que apresenta um elevado potencial para a produção de energia por meio de biomassa.

O desenvolvimento econômico do Brasil apresenta um histórico de uso da energia da biomassa, desde os ciclos econômicos ligados ao açúcar até as florestas energéticas para a siderurgia e o programa brasileiro de álcool (Proálcool), iniciado na década de 1970. O Brasil é o país que mais avançou na tecnologia, na produção e no uso do etanol como combustível, seguido pelos Estados Unidos e, em menor escala, pela Argentina e outros países.

Grandes investimentos estão sendo disponibilizados para viabilizar a produção de etanol a partir de celulose no mundo, principalmente nos EUA. Estrategicamente, será fundamental o Brasil investir em recursos densos em PD&I, especialmente na hidrólise da celulose, evitando, dessa forma, choque de competitividade, fortalecendo ainda mais a liderança do País na produção desse biocombustível.

O Plano Nacional de Agroenergia (PNA 2006 – 2011) e o Programa de Pesquisa em Agroenergia

O Plano Nacional de Agroenergia (PNA) 2006 - 2011 é um marco referencial para o Brasil e define as diretrizes nacionais básicas para a produção de energia de biomassa. Para a implementação do PNA 2006-2011, são descritos como imprescindíveis fortalecimento e consolidação do componente de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I), focando em quatro grandes plataformas: etanol, biodiesel, florestas energéticas e resíduos/co-produtos.

Com base no PNA 2006-2011, o Programa de Pesquisa em Agroenergia assume o desafio do avanço do conhecimento e da geração de inovações que viabilizem técnica e economicamente o aumento do aproveitamento e a produção, de forma sustentável, de energia da biomassa. O programa deve extrapolar o âmbito da produção primária (agropecuária), ocupando-se de inovações em toda a cadeia energética, contemplando aspectos ligados à agroindustrialização; aos processos de conversão de matéria-prima em produtos energéticos e aproveitamento de co-produtos; às questões de gestão e



logística; aos impactos socioambientais; aos cenários futuros da produção e do comércio mundiais, monitorando, inclusive, o desenvolvimento da pesquisa ligada a tecnologias complementares ou concorrentes com as que forem desenvolvidas no País.

No contexto do PNA 2006-2011, coube à Embrapa coordenar ações institucionais e um programa de desenvolvimento tecnológico que melhore as matérias-primas atuais e potenciais do País para a produção de etanol, biodiesel, florestas energéticas e o aproveitamento de seus resíduos para a obtenção de co-produtos. Isso implica desenvolvimento de tecnologia essencialmente agrícola, mas também agroindustrial, que faça a ponte de ligação entre o conhecimento agrônomo e o conhecimento industrial. Dessa forma, a Embrapa desenvolve atualmente um *portfolio* de projetos no tema agroenergia, cujos principais componentes são descritos adiante. Também no contexto do PNA 2006-2011, foi prevista a criação da Embrapa Agroenergia - uma nova Unidade Descentralizada da Embrapa voltada para a pesquisa, o desenvolvimento e a inovação em temas e assuntos da agroenergia, cujo escopo de atuação é apresentado a seguir.

A Criação da Embrapa Agroenergia

Por diretriz do PNA 2006-2011, foi criada a Embrapa Agroenergia, nome síntese do Centro Nacional de Pesquisa de Agroenergia (CNPAAE) da Embrapa, que tem por missão viabilizar soluções tecnológicas inovadoras para o desenvolvimento sustentável e equitativo do negócio da agroenergia do Brasil, em benefício da sociedade.

A Embrapa Agroenergia é uma Unidade de PD&I temática, descentralizada, que atua com a visão estratégica de agronegócio e com foco na inovação tecnológica das cadeias produtivas da agroenergia, constituindo, coordenando e se integrando a várias redes de pesquisa nacionais e internacionais, envolvendo pesquisadores dos outros centros de pesquisa da Embrapa e de outras instituições.

Em virtude da existência de uma rede de pesquisa agrônoma plenamente estabelecida e consolidada em todo o Brasil, tanto no plano federal como estadual, a Embrapa Agroenergia atua de forma cooperativa para a competitividade, buscando o desenvolvimento científico e tecnológico com competências complementares àquelas existentes, e com facilidades e missão de coordenar e trabalhar em rede com as organizações existentes. As competências da Embrapa Agroenergia estão sendo



construídas para atender áreas estratégicas para geração de tecnologias de produtos e processos relacionados à energia da biomassa.

Na área de transferência de tecnologia em agroenergia, estão em estruturação as Unidades Regionais (Coordenadorias Regionais de PD&I em agroenergia), com o objetivo de pautar-se na organização dos temas nas diferentes regiões do Brasil e na formação de empreendedores da agroenergia, com a instalação de culturas, equipamentos, processamentos de produtos e sistemas de geração de energia da agricultura, para demonstração e capacitação de técnicos, empreendedores e agentes das cadeias produtivas da agroenergia. Também ampliará as parcerias com universidades, centros de pesquisa, incubadoras, empresas de base tecnológica, parques tecnológicos, empresa de propósito específico e outras organizações para transferência de tecnologias, capacitação e desenvolvimento de novos negócios de base tecnológica da agroenergia, tendo como base a incubação de novos empreendimentos.

As Plataformas de Pesquisa em Agroenergia da Embrapa

A Embrapa desenvolve atualmente um *portfolio* de projetos no tema agroenergia. Entre eles, destacam-se quatro grandes projetos de caráter transdisciplinar e multi-institucional, com abordagem estratégica e execução de arranjos institucionais complexos, além de uma aplicação intensiva de recursos. São projetos que abordam grandes temas de pesquisa, executados em grandes redes que envolvem invariavelmente centenas de pesquisadores originários da Embrapa e de diversas instituições parceiras. São eles: (1) tecnologias de obtenção de biodiesel; (2) fontes alternativas de agroenergia; (3) produção sustentável de cana-de-açúcar para fins energéticos; (4) utilização da Metagenômica, Genômica e Proteômica visando à prospecção de genes e proteínas de interesse biotecnológico para o setor sucroalcooleiro; (5) pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) em pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) para a produção de biodiesel; (6) pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) em palmáceas para produção de óleo e aproveitamento econômico de co-produtos e resíduos; (7) dinamização do banco ativo de germoplasma de dendê (*Elaeis guineensis*) da Embrapa e apoio ao melhoramento genético; (8) caracterização de fontes alternativas de biomassa e desenvolvimento de rotas tecnológicas para a produção sustentável de etanol a partir de materiais lignocelulósicos;



(9) conservação, caracterização e documentação de espécies nativas e exóticas com potencial de uso em agroenergia; (10) destoxificação da torta de pinhão manso; e (11) florestas energéticas.

1. O Projeto de Tecnologias de Obtenção de Biodiesel tem como objetivo principal aprimorar a tecnologia de produção de oleaginosas (dendê, mamona, canola, soja e girassol) para obtenção de óleos vegetais destinados à produção de biocombustíveis. Isso inclui, além da tecnologia agrônômica, a identificação das regiões geográficas mais adequadas para o cultivo dessas oleaginosas, o aprimoramento das rotas de obtenção de biocombustíveis por pirólise e transesterificação, o desenvolvimento de protótipos comerciais baseados nessas rotas, a avaliação da viabilidade técnica e econômica dos protótipos e os efeitos dos combustíveis sobre motores estacionários e veiculares, o desenvolvimento de tecnologias inovadoras para o aproveitamento dos co-produtos da produção de energia a partir de biomassa, além do estudo dos impactos ambientais, sociais, econômicos, negociais e de conhecimento da produção e do uso de biocombustíveis. Esse projeto será desenvolvido por uma rede de pesquisa de abrangência nacional, constituída por 15 centros de pesquisa da Embrapa, 9 universidades, 5 institutos e 1 empresa privada, envolvendo cerca de 155 pesquisadores.
2. O Projeto de Fontes Alternativas de Agroenergia pretende investir no uso de espécies perenes, como macaúba, inajá, pinhão-manso e tucumã, como alternativas para ampliar as fontes de matéria-prima para a produção de biodiesel, o que tornará mais estável o fornecimento de energia à sociedade. Objetiva-se nesse projeto desenvolver um conjunto de ações de pesquisa integradas para iniciar o processo de domesticação e seleção de acessos superiores dessas espécies visando produzir óleo vegetal; desenvolver novas metodologias para processamento e caracterização físico-química dos óleos e tortas oriundas do processamento dessas espécies de oleaginosas; gerar conhecimentos e tecnologias para a realização de análises rápidas do teor e qualidade de óleo em sementes; analisar o teor e a qualidade do óleo dessas espécies, desenvolver tecnologias para processamentos e novos usos das tortas e resíduos oriundos da extração do óleo; analisar os efeitos do uso direto dos óleos em motores diesel, desenvolver um sistema informatizado de otimização técnica e econômica de



blend de óleos como substitutos de diesel; avaliar e aperfeiçoar o processo de extração mecânica do óleo da macaúba; analisar a viabilidade econômica e ambiental do uso de macaubeiras em consórcio com pastagens; e avaliar impactos sociais, ambientais e econômicos “ex ante” da exploração de populações naturais e de futuros cultivos em grande escala. Esse projeto está desesenvolvido nos biomas Amazônico, Cerrados, Pantanal, Mata Atlântica e em áreas de transição, por uma rede de pesquisa de abrangência nacional, constituída por 20 centros de pesquisa da Embrapa, 9 universidades e 1 empresa estadual de pesquisa, envolvendo cerca de 168 pesquisadores.

3. O Projeto de Produção Sustentável de Cana-de-Açúcar para Fins Energéticos tem como objetivo desenvolver sistemas produtivos sustentáveis para a cana-de-açúcar colhida crua nas áreas tradicionais de cultivo e de expansão. A estratégia de ação prevê: (i) o desenvolvimento de cana-de-açúcar modificada geneticamente para resistência ou tolerância a pragas e déficit hídrico; (ii) fixação biológica de nitrogênio, buscando otimizar a contribuição da fixação biológica na nutrição da cultura; (iii) zoneamento e modelagem, com o objetivo de identificar o potencial e limitações das paisagens, principalmente nas áreas de expansão, bem como desenvolver sistemas de previsão de safras; (iv) avaliação de impactos socioeconômicos e ambientais e cenários futuros para as áreas tradicionais e de expansão, e (v) o desenvolvimento de alternativas tecnológicas com a finalidade de superar os fatores limitantes dos sistemas de produção em uso, com ênfase em otimização da tecnologia de irrigação, otimização do uso do nitrogênio, desenvolvimento de método de controle biológico da broca gigante e otimização do uso de resíduos da agroindústria, convergindo todas essas tecnologias para o desenvolvimento de um sistema de produção sustentável. Esse projeto está sendo desenvolvido por uma rede de pesquisa de abrangência nacional, constituída por 8 centros de pesquisa da Embrapa, 2 universidades, 1 instituto de pesquisa e 6 usinas, envolvendo cerca de 100 pesquisadores.
4. O Projeto Utilização da Metagenômica, Genômica e Proteômica Visando à Prospecção de Genes e Proteínas de Interesse Biotecnológico para o Setor Sucroalcooleiro tem como objetivo principal a utilização de tecnologias de vanguarda visando contribuir para aumento da competitividade do setor sucroalcooleiro brasileiro. A estratégia de ação prevê: (i) a identificação de



enzimas hidrolíticas de interesse da indústria sucroalcooleira por meio de uma abordagem metagenômica; (ii) a identificação de genes diferencialmente expressos durante a senescência foliar, crescimento do colmo e resposta à aplicação de etanol em cana-de-açúcar visando à obtenção de ferramentas para melhoramento genético da cultura canavieira; (iii) a análise proteômica de folhas da cana-de-açúcar para identificação de proteínas relacionadas ao estresse salino. O desenvolvimento de tecnologias a partir dos resultados obtidos nesse projeto poderá manter o Brasil em posição de destaque dentro da agroindústria canavieira mundial consolidando sua posição de liderança na produção de etanol. Ademais, o projeto irá gerar produtos que deverão beneficiar em grande parte a indústria e os sistemas de produção associados ao setor. Especificamente, alcançadas as metas dessa proposta, espera-se obter vários genes e proteínas que poderão ser patenteados e avaliados tanto em plantas (por exemplo: cana-de-açúcar) como em microrganismos de interesse agroindustrial (por exemplo: leveduras). Nesse projeto, haverá uma efetiva interação entre grupos participantes, além da formação de recursos humanos capacitados para criação e uso de novas técnicas biotecnológicas. Esse projeto está sendo desenvolvido por uma rede de pesquisa, constituída por 3 centros de pesquisa da Embrapa, 3 universidades e 2 institutos de pesquisa, envolvendo cerca de 30 pesquisadores.

5. O Projeto de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) em Pinhão-Manso (*Jatropha curcas* L.) para a Produção de Biodiesel tem como objetivos principais: (i) instalar um banco ativo de germoplasma (BAG) de pinhão-manso, com acessos oriundos de diversas localidades do Brasil e do exterior, visando garantir a máxima amplitude e variabilidade possível de base genética; (ii) executar a caracterização básica dos acessos do BAG de pinhão-manso, abrangendo fenotipagem, definição de descritores botânicos, genotipagem, ferramentas de biologia avançada e definição de marcadores moleculares para viabilizar o registro de cultivares e subsidiar o melhoramento genético da cultura; (iii) instalar, definir e validar os sistemas de produção (tecnologia agrônômica) de pinhão-manso para as diversas regiões com potencial de produção no Brasil e promover ajustes do processo de produção de biodiesel (tecnologia industrial), visando ampliar as possibilidades de uso econômico de seus resíduos e co-produtos. Esse projeto está sendo desenvolvido por uma rede de pesquisa de



- abrangência nacional, constituída por 11 centros de pesquisa da Embrapa, 8 universidades, 4 institutos de pesquisa, envolvendo cerca de 80 pesquisadores.
6. O Projeto de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) em Palmáceas para Produção de Óleo e Aproveitamento Econômico de Co-Produtos e Resíduos tem como objetivo principal promover o domínio tecnológico/domesticação para incorporação e utilização, no curto, médio e longo prazo, de palmáceas selecionadas pela sua densidade energética e distribuição territorial (macaúba, tucumã, inajá e babaçu) como matérias-primas para produção comercial de óleo, bem como minimizar os gargalos tecnológicos para aproveitamento econômico de co-produtos e resíduos, inserindo as regiões de ocorrência dessas palmáceas na geopolítica de produção de agroenergia. Isso sugere, decididamente, a utilização organizada de espécies de maciços naturais, via programas de exploração sustentável e busca de variabilidade genética com fins de domesticação para cultivos comerciais melhorados. A compreensão do estado da arte atual em palmáceas e a inserção de espécies selecionadas em territórios adequados, associados com arranjos produtivos sustentáveis, são elementos úteis à oferta quali-quantitativa de matérias-primas com patamares superiores de rendimento de óleo por hectare, imprescindíveis para a consolidação do Programa Biodiesel Brasil nos próximos 10 anos. A organização de redes de PD&I em palmáceas, de forma competitiva, é, correntemente, uma das vigorosas estratégias em elaboração e constitui-se em um dos grandes e urgentes desafios para a gestão de ciência e tecnologia para a produção de biodiesel. Esse projeto está sendo desenvolvido por uma rede de pesquisa de abrangência nacional, constituída por 13 centros de pesquisa da Embrapa, 10 universidades, 5 institutos de pesquisa, envolvendo cerca de 100 pesquisadores.
 7. O Projeto de Dinamização do Banco Ativo de Germoplasma de Dendê (*Elaeis guineensis*) da Embrapa e Apoio ao Melhoramento Genético tem como objetivos principais: (i) obter cultivares de dendezeiro com alta produtividade, resistentes ao amarelecimento fatal (AF) e com reduzido crescimento vertical do caule pelo emprego de métodos convencionais e biotecnológicos; (ii) definir protocolos para propagação clonal em larga escala de genótipos elite e genitores, selecionados no programa de melhoramento genético, para incorporação ao sistema produtivo nacional; (iii) produzir um mapa físico de dendê e caiaué baseados em clones de



Bacterial Artificial Chromosomes (BACs), que servirão para orientação e complementação de programas de melhoramento assistido por marcadores moleculares, além de propiciar um ganho no conhecimento genético e na genômica estrutural da espécie; (iv) identificar e caracterizar componentes genéticos de resistência a estresses bióticos e marcadores gênicos funcionais para mapeamento genético a ser utilizado em programas de melhoramento de dendê e caiaué; (v) utilizar a metagenômica como estratégia para identificação do agente causal do amarelecimento fatal (AF); (vi) desenvolver sistema referência de transformação genética de genótipos de dendezeiro para incorporação de genes de resistência para a cultura e (vii) apoiar a dinamização do banco ativo de germoplasma de dendê. O desenvolvimento de tecnologias a partir dos resultados obtidos nesse projeto manterá o Brasil em posição de destaque dentro da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel (RBTB). Ademais, o projeto gerará produtos que deverão beneficiar diretamente a indústria e os sistemas de produção associado ao setor. Esse projeto está sendo desenvolvido por uma rede de pesquisa de abrangência nacional, constituída por 6 centros de pesquisa da Embrapa, 4 universidades, 3 institutos de pesquisa, envolvendo cerca de 50 pesquisadores.

8. O Projeto de Caracterização de Fontes Alternativas de biomassa e Desenvolvimento de Rotas Tecnológicas para a Produção Sustentável de Etanol a Partir de Materiais Lignocelulósicos tem como objetivo geral integrar uma rede/equipe multidisciplinar composta de várias unidades da Embrapa e instituições parceiras a fim de estruturar uma rede para: (i) caracterização, tipificação e melhoramento de matérias-primas em relação à sua qualidade tecnológica, visando maior adequação aos processos industriais de conversão; e (ii) desenvolvimento da tecnologia industrial de conversão de materiais lignocelulósicos a etanol, com foco nos agentes centrais do processo: microorganismos e enzimas. Especificamente, o projeto espera obter os seguintes resultados finalísticos visando à produção de etanol de materiais lignocelulósicos: (i) rota(s) tecnológica(s) definida(s), técnica e economicamente viável(is); (ii) matérias-primas com características melhoradas; (iii) microrganismos selecionados e melhorados; e (iv) genes de interesse ao melhoramento de matérias-primas e microorganismos.



9. O Projeto de Conservação, Caracterização e Documentação de Espécies Nativas e Exóticas com Potencial de Uso em Agroenergia tem como objetivo geral melhorar a infra-estrutura voltada à conservação, à caracterização e à documentação de recursos genéticos de espécies potenciais para agroenergia de unidades da Embrapa localizadas em diferentes regiões e biomas brasileiros. Outro objetivo estratégico é o de expandir e fortalecer as bases científicas e promover a inovação tecnológica de forma a propiciar aproveitamento de fontes alternativas para produção de biocombustível. Os objetivos específicos são: (i) enriquecimento e manutenção dos bancos ativos/coleções de germoplasma com espécies de elevado potencial para produção de óleo vegetal: o pinhão-manso (*Jatropha curcas*) e as palmeiras - dendê (*Elaeis* spp.), macaúba (*Acrocomia* spp.), tucumã (*Astrocaryum* spp.), buriti (*Mauritia flexuosa*), inajá (*Maximiliana maripa*) e babaçu (*Orbignya* spp.); (ii) caracterização fenotípica e genotípica dos acessos das espécies mantidas nos bancos de germoplasma/coleções das espécies oleaginosas potenciais, incluindo descrição morfológica, botânica, físico-química e genética; (iii) criação de bases de dados de BAGs/coleções das espécies com potencial para produção de óleo, disponibilizando os dados para fomentar programas de melhoramento futuros das espécies com potencial para produção de biodiesel. Esse projeto está sendo desenvolvido por uma rede de pesquisa de abrangência nacional, constituída por 18 centros de pesquisa da Embrapa, 16 universidades, 15 institutos de pesquisa, envolvendo cerca de 150 pesquisadores.
10. O Projeto de Destoxificação da Torta de Pinhão-Manso tem como objetivo principal encontrar um processamento efetivo para o resíduo gerado na extração do óleo do pinhão-manso (destinado à fabricação de biodiesel), de modo a inativar fatores tóxicos e antinutricionais, de forma a possibilitar a incorporação em ração animal. Isso inclui diversos tratamentos (químicos, microbiológicos e térmicos) que serão realizados pelos parceiros da Embrapa e de universidades envolvidas. Alguns métodos para detecção de compostos tóxicos e alergênicos ainda precisam ser desenvolvidos para a correta identificação das variantes desses compostos nos acesso brasileiros. Esses métodos desenvolvidos, bem como outros já conhecidos, serão utilizados para aferir a eficiência de cada processamento empregado. Ao final, a avaliação da viabilidade técnica e econômica dos processos será realizada com o objetivo de selecionar a forma mais simplificada e



acessível de destoxificar a torta e viabilizar a cadeia produtiva de biodiesel a partir do pinhão-mansão. Esse projeto está sendo desenvolvido por uma rede de pesquisa de abrangência nacional, constituída por 2 centros de pesquisa da Embrapa, 3 universidades e 1 empresa privada, envolvendo cerca de 15 pesquisadores.

11. O Projeto de Florestas Energéticas tem como objetivo geral desenvolver, otimizar e viabilizar alternativas ao uso de fontes energéticas tradicionais não-renováveis, por meio da biomassa de plantações florestais, contribuindo para a ampliação da matriz energética nacional de forma sustentável. Sua estratégia de execução visa: (i) estruturar, nas diversas regiões do País, populações de espécies florestais para oferta de germoplasma com tecnologias silviculturais apropriadas e necessárias à expansão de plantios de florestas para a produção de biomassa em quantidade e qualidade apropriadas para uso energético; (ii) desenvolver, otimizar e viabilizar alternativas de uso da biomassa florestal, como fonte renovável, para diversificar a matriz energética nacional de forma sustentável; (iii) obter produtos de alto valor agregado da biomassa florestal, destinados a geração de energia, por meio do aprimoramento de tecnologias de hidrólise enzimática, pirólise, acidólise e oxidação parcial da matriz lignocelulósica; e (iv) efetuar estudos sobre a viabilidade, competitividade e sustentabilidade das cadeias produtivas de plantios florestais energéticos, bem como dos co-produtos resultantes na obtenção de biocombustíveis. Esse projeto está sendo desenvolvido por uma rede de pesquisa de abrangência nacional, constituída por 17 centros de pesquisa da Embrapa, 15 universidades, 14 institutos de pesquisa, 11 empresas florestais, 4 cooperativas, 7 indústrias e 2 associações de produtores, envolvendo cerca de 130 pesquisadores.

Arranjos Produtivos para Produção de Matérias-Primas no Entorno de Plantas Industriais

O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNBP) tem como diretrizes: (a) implantar um programa sustentável, promovendo inclusão social; (b) garantir preços competitivos, qualidade e suprimento; (c) produzir o biodiesel a partir de diferentes fontes oleaginosas e em regiões diversas. A Lei 11.097/2005, primeiro marco legal para o estabelecimento do PNPB, definiu as percentagens mínimas para a mistura de biodiesel ao diesel, estabeleceu os prazos de vigência para a introdução do novo combustível no mercado e criou, antecipadamente, o mercado do biocombustível, sendo 0,84 bilhão de



litro a 2,5 bilhões de litros, para o B2 e B5, respectivamente. A partir dessa lei e de outros direcionamentos do governo, a Petrobras e o setor privado investiram na instalação de usinas de biodiesel em todo o País, sendo que, no momento, há 52 plantas autorizadas pela ANP (ANP, 9 de abril de 2008), com capacidade instalada de 2,85 bilhões de litros, acima da demanda prevista para o B5.

Matéria-Prima

O princípio da regionalidade da produção e o uso do biodiesel dependem da disponibilidade de matéria-prima, a qual deve atender a quatro critérios para a viabilidade do programa de forma sustentável, com preços competitivos do biocombustível: (1) tecnologia agrônômica definida; (2) tecnologia industrial estabelecida; (3) logística e infraestrutura para produção e (4) escala de produção para garantia de suprimento. Correntemente, entre todas as oleaginosas, a soja é a única que atende aos quatro critérios, porém as diretrizes do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) determinam que ela não pode ser a opção desejável, indefinidamente. Entretanto, as outras oleaginosas convencionais, como mamona, girassol, algodão e dendê, atendem parcialmente aos critérios de viabilidade, pelo que se torna necessário o encaminhamento de soluções para aspectos críticos, como: ordenamento e gestão territorial, logísticas agrícola e industrial, infra-estrutura de produção/armazenagem/escoamento da matéria-prima, fomento e arranjos produtivos locais/regionais.

Arranjos Produtivos

A Embrapa atua para dar suporte ao PNPB, contribuindo em três níveis: (1) mapeamento de tecnologias para liberação imediata; (2) identificação e geração de conhecimento novo no curto, médio e longo prazos; e (3) identificação e articulação de arranjos produtivos local/regional para o entorno de usinas de biodiesel, tal como esquematizado na Fig. 4. Nessa proposta, em articulação público-privada, são estabelecidos os focos técnicos e de gestão, como: zoneamento agroclimático, melhoramento para obtenção de sementes com alto potencial de rendimento agrícola e industrial, sistemas de produção sustentáveis, transferência de tecnologia, capacitação de recursos humanos (gestores e pessoal de apoio na produção de culturas energéticas), organização da produção e de produtores, disponibilidade de matérias-primas e integração da agricultura familiar (AF) no negócio de agroenergia, atendendo às dimensões econômica, social, ambiental, diferenças regionais e inclusão social.

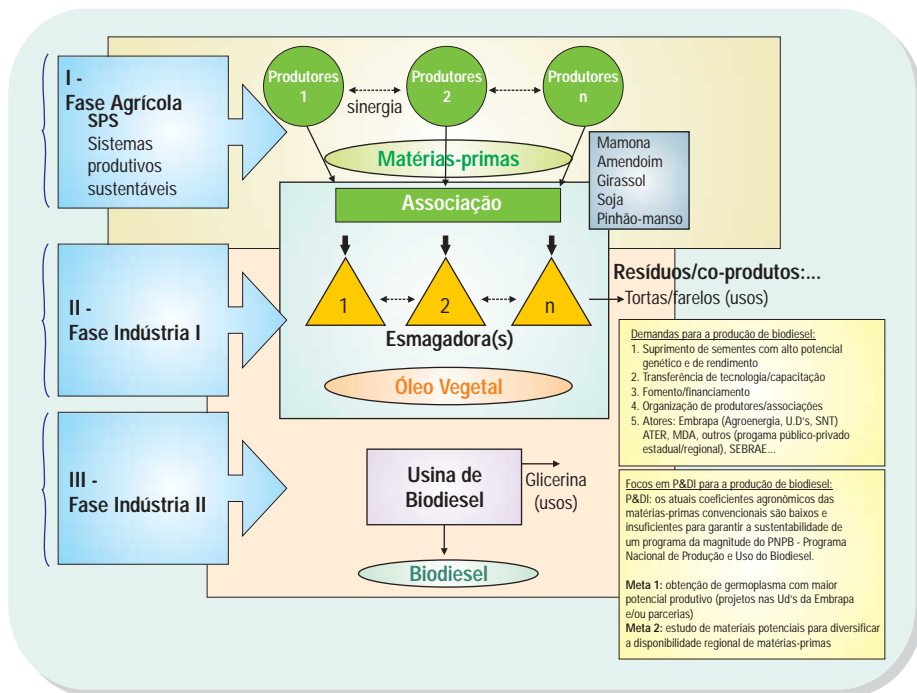


Fig. 4. Esquema da organização do arranjo produtivo para o entorno de usinas de biodiesel.

Estratégia da Embrapa

A Embrapa, mediante contratos de parcerias público-público e público-privado, pode participar nos arranjos para definição de zoneamentos agroecológicos, pesquisas para solução de problemas locais, treinamento de gestores e pessoal de suporte nas atividades agrícolas e fornecimento de sementes básicas para empreendimentos de multiplicação, como também na otimização dos processos industriais para transformação de biomassa em energia. Uma ação dessa magnitude, estabelecida em forma de projeto, requer a formação de redes conectando o sistema de pesquisa agropecuária a agentes da Assistência Técnica e Extensão Rural – ATER (públicos e privados) e produtores, com objetivos finalísticos para: capacitação técnica e gerencial contínua de técnicos em culturas energéticas; formação de um fórum permanente de discussão sobre conhecimentos e tecnologias transferíveis para os produtores na área de agroenergia e acompanhamento dos resultados alcançados ao nível de propriedades rurais. O projeto



específico, financiado com recursos de agentes públicos e privados, gerenciados por uma fundação, terá agilidade na execução das atividades planejadas, inclusive contratação de pessoal técnico e de suporte.

Considerações Finais

As perspectivas do uso da agroenergia no mundo e no Brasil são bastante promissoras, porquanto as tendências têm fortemente sinalizado para uma mudança na matriz energética fóssil para uma matriz energética renovável. De fato, considera-se que o crescimento da demanda por agroenergia nos países desenvolvidos ocorrerá principalmente em função da pressão da sociedade pela substituição de combustíveis fósseis, fundamentada em questões econômicas e ambientais. Fatos históricos e recentes têm demonstrado uma oportunidade para os países de áreas tropicais na geração desses produtos agroenergéticos, entretanto fortes evidências têm demonstrado que a inovação de processos e tecnologias são os balizadores para o domínio do conhecimento e da competitividade desse novo negócio – da agricultura de energia. Essa transição deve possibilitar uma utilização, em escala, da energia solar de forma mais direta, bem como oportunidades crescentes para os produtos e co-produtos da agroenergia, para as outras fontes de energia renovável, e o progresso advindo do desenvolvimento da alcoolquímica, lipoquímica e de processos associados.

A produção e o uso de energia de biomassa apresentam complementariedade nas plataformas de etanol, biodiesel, florestas energéticas e resíduos. A execução e a operação de toda a Plataforma de Agroenergia são estratégicas e importantes para um país de dimensões continentais como o Brasil, com grandes diferenças regionais e com necessidades amplas de produção de energia renovável, com critérios econômicos, sociais, ambientais e regionais. Há, portanto, uma necessidade de integração de esforços para o desenvolvimento nacional, nos segmentos de P&DI, produção e uso, e ajustamentos de mercados. Cada uma dessas plataformas *per se* apresenta gargalos tecnológicos e de gestão, que merecem uma ação coesa para a consolidação de um programa nacional de agroenergia para o Brasil.

Decisiva para a expansão da agricultura brasileira e para transformar o Brasil em uma potência na produção de alimentos, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) tem pela frente um novo desafio: contribuir para consolidar a posição do Brasil



como o maior produtor mundial de energia renovável a partir da biomassa. Para que isso possa ocorrer, a Empresa, com outras instituições de pesquisa nacionais, públicas e privadas, vem ampliando substancialmente seus esforços, investimentos e recursos humanos no desenvolvimento de tecnologia agrônômica (sistemas produtivos mais eficientes do ponto de vista energético, com balanços positivo), de tecnologia industrial (processos de eficiência de conversão) e de estudos transversais (ambientais, sociológicos, econômicos, de mercado, de gestão e de políticas públicas, entre outros).

Referências

DURÃES, F. O. M.; MOLINARI, H. B. C.; QUIRINO, B. F.; LAVIOLA, B.; MENDONÇA, S.; **Utilização da metagenômica, genômica e proteômica visando a prospecção de genes e proteínas de interesse biotecnológico para o setor sucroalcooleiro.** Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2008. 40 p. Projeto de Pesquisa.

DURÃES, F. O. M.; SUNDFELD, E.; BHERING, L.; MENDONÇA, S.; LAVIOLA, B.; MOLINARI, H. B. C.; QUIRINO, B. F. **Pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) em palmáceas para produção de óleo e aproveitamento econômico de co-produtos e resíduos.** Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2008. 20 p. Projeto de Pesquisa.

DURÃES, F. O. M.; SUNDFELD, E.; LAVIOLA, B.; MENDONÇA, S.; BHERING, L.; MOLINARI, H. B. C.; QUIRINO, B. F. **Pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) em pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) para a produção de biodiesel.** Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2008. 20 p. Projeto de Pesquisa.

DURÃES, F. O. M.; SUNDFELD, E.; MENDONÇA, S. **Destoxificação da torta de pinhão manso.** Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2008. 50 p. Projeto de Pesquisa.

DURÃES, F. O. M.; SUNDFELD, E.; MENDONÇA, S.; MOLINARI, H. B. C.; LAVIOLA, B.; **Conservação, caracterização e documentação de espécies nativas e exóticas com potencial de uso em agroenergia.** Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2008. 70 p. Projeto de Pesquisa.

DURÃES, F. O. M.; SUNDFELD, E.; MOLINARI, H. B. C.; BHERING, L.; **Dinamização do banco ativo de germoplasma de dendê (*Elaeis guineensis*) da Embrapa e apoio ao melhoramento genético.** Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2008. 20 p. Projeto de Pesquisa.

DURÃES, F. O. M.; SUNDFELD, E.; MOLINARI, H. B. C.; MENDONÇA, S.; MACHADO, C. M. M.; ROCHA, J. D.; **Caracterização de fontes alternativas de biomassa e desenvolvimento de rotas tecnológicas para a produção sustentável de etanol a partir de materiais lignocelulósicos.** Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2008. 100 p. Projeto de Pesquisa.



JUNQUEIRA, N. T. V. **Fontes alternativas potenciais de matéria-prima para produção de agroenergia.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. 290 p. Projeto de pesquisa.

MAGALHÃES, W. L. W.; SILVA, H. D.. **Florestas energéticas na matriz de agroenergia brasileira.** Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2006. 250 p. Projeto de pesquisa.

PLANO Nacional de Agroenergia 2006-2011. 2. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Embrapa, Secretaria de Gestão Estratégica, 2005. 118 p.

SANTIAGO, A. D. **Produção sustentável da cultura da cana-de-açúcar para bioenergia em regiões tradicionais e de expansão no Nordeste e Norte do Brasil.** Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2005. 256 p. Projeto de pesquisa.

VELOSO, J. F. **Desenvolvimento de tecnologias agroindustriais para obtenção de biocombustíveis derivados de óleos vegetais.** Londrina, PR: Embrapa Soja, 2005. 490 p. Projeto de pesquisa.