

ROADMAP TECNOLÓGICO EM MATÉRIAS-PRIMAS RENOVÁVEIS: UMA BASE PARA A CONSTRUÇÃO DE POLÍTICAS E ESTRATÉGIAS NO BRASIL

Paulo Coutinho

IDEOM/BRASKEM, Av. das Nações Unidas, 8501, 24º andar, 05425-070 São Paulo – SP, Brasil

José Vitor Bomtempo*

Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Horácio Macedo, 2030, Bl. E, Ilha do Fundão, 21941-909 Rio de Janeiro – RJ, Brasil

Nota metodológica: *Roadmaps* tecnológicos e a construção do *roadmap* matérias-primas renováveis (rMPR)

Conceituação e formatos dos roadmaps

Os *roadmaps* tecnológicos começaram a ser usados no final dos anos 1970, na Motorola.¹ Nas últimas 3 décadas, o conceito se difundiu largamente, ultrapassando a utilização pelas empresas e adquirindo muitas vezes um caráter interorganizacional. Hoje os *roadmaps* são largamente utilizados por países (EUA, Coreia, Japão, Reino Unido, etc) e empresas (GE, Siemens, GM, Shell, etc). No Brasil, a ferramenta vem sendo adotada na identificação e planejamento de áreas prioritárias do governo (CGEE e ABDI, por exemplo) e mesmo pela Petrobras.

Os *roadmaps* costumam ser vistos segundo duas perspectivas principais: a perspectiva da empresa e a perspectiva interorganizacional.² Na primeira, busca-se integrar desenvolvimento tecnológico e planejamento do negócio, avaliar o impacto de novas tecnologias e as correspondentes evoluções dos mercados. Na perspectiva interorganizacional, busca-se compreender um determinado ambiente tecnológico e avaliar as ameaças e oportunidades para os grupos de interesse na referida área tecnológica. Os *roadmaps* tornam-se assim instrumentos das políticas governamentais de inovação que visam promover a convergência tecnológica e construir a colaboração entre diferentes setores. Esse processo traz novos desafios na construção e utilização dos *roadmaps*, que não são particularmente presentes nos usos empresariais.³ Muitos dos *roadmaps* interorganizacionais costumam ser divulgados como forma de criação de uma plataforma de discussão de um tema tecnológico relevante entre os grupos de interesse. Phaal⁴ identificou mais de 1.500 *roadmaps*, em sua maioria interorganizacionais, disponíveis para consulta livre na internet.

Qualquer que seja a perspectiva – de empresa ou interorganizacional – um *roadmap* é a representação de uma visualização do futuro que procura integrar os aspectos relevantes do negócio (mercados, produtos, tecnologias, processos e pessoas) na dimensão tempo. O *roadmap* é, portanto, uma representação gráfica baseada no tempo, compreendendo um número de camadas que tipicamente incluem perspectivas comerciais e tecnológicas. Diversas formas de representação podem ser utilizadas.^{2,3,5-7} Encontram-se *roadmaps* em múltiplos níveis, barras, tabelas, gráficos, figuras, fluxogramas, único nível e texto.

Uma característica valiosa dos *roadmaps* está na sua apresentação concisa. A sua natureza visual tem especialmente ajudado na discussão estruturada e construtiva de processos de prospecção tecnológica tanto no âmbito das políticas, envolvendo múltiplas organizações e atores, quanto no âmbito das estratégias empresariais, envolvendo as atividades da organização, normalmente em seu ambiente de planejamento tecnológico.

Roadmaps e a utilização de matérias-primas renováveis

A contribuição dos *roadmaps* às organizações, sejam elas empresas ou organismos governamentais, se dá principalmente pela orientação que propiciam ao monitoramento do ambiente e à avaliação e acompanhamento de tecnologias específicas. Incluem-se aqui as tecnologias de ruptura,⁸ que podem ter o potencial de redefinir uma indústria ou eventualmente de criar uma indústria inteiramente nova. Os *roadmaps* de tecnologias de ruptura⁹ podem ser particularmente úteis no cenário atual das indústrias química e de energia. Diversas alternativas de processos e produtos encontram-se em desenvolvimento e em competição para se tornarem opções comerciais para a utilização de MPR. O caráter de ruptura desse processo precisa ser monitorado e trazido para um debate entre os grupos de interesse, de modo a criar condições para a construção de políticas e estratégias. No caso brasileiro, a criação dessas condições pode ser defendida como de grande importância para a posição que a indústria brasileira pode vir a ocupar na indústria do futuro. É essa a proposição do *roadmap* cuja metodologia de elaboração é apresentada a seguir.

Método de construção do rMPR

O processo de construção dos *roadmaps* é muitas vezes tão importante quanto o documento final.² Por isso, a interação e a dinâmica de participação dos grupos envolvidos, durante e após a elaboração do *roadmap*, devem ser cuidadosamente consideradas na metodologia. Existem muitas proposições de metodologia na literatura. Este artigo toma como referência duas das mais conhecidas e utilizadas: a de Albright e Kappel⁵ e a de Phaal, Farrukh e Probert.¹⁰ Essas metodologias, desenvolvidas por meio de diversos projetos de construção de *roadmaps* empresariais, foram adaptadas ao caso do rMPR.

Dois pontos em particular foram centrais na construção do rMPR. O primeiro está relacionado à dificuldade de obter visões de médio e longo prazo dos profissionais envolvidos com o dia a dia das empresas. A visão desses profissionais, intensamente solicitados pelas questões imediatas, tende a uma perspectiva de curto prazo. O segundo ponto

*e-mail: vitor@eq.ufrj.br

decorre do risco de transformar o *roadmap* num exercício estático. O mercado e a tecnologia, principalmente em casos como o das MPR, devem ser tratados como “vivos” e em constante mutação. Existe nos exercícios prospectivos o risco de se limitar à geração de um documento final que traduz apenas a visão de momento. Torna-se assim imperativo divulgar o documento e promover foros de discussão para que o próprio *roadmap* possa, ao mesmo tempo, acompanhar a dinâmica da indústria e envolver os diversos grupos de interesse. Com isso, o rMPR ultrapassa os limites da empresa e pode atingir o seu objetivo de ser uma plataforma de discussão do problema.

Drivers para utilização crescente de MPR

Diversos fatores podem ser vistos como determinantes do interesse crescente pelas MPR, entre os quais os de maior peso são: o potencial da biologia industrial ou *white biotechnology*, as restrições ambientais ao uso de matérias-primas fósseis, a orientação das estratégias empresariais e a perspectiva da inovação tecnológica como saída de crise.

A biologia está se tornando um poderoso vetor de dinamismo da economia mundial, como base da inovação no século XXI. A evolução dos conhecimentos em biologia contribui para maior utilização da biomassa, seja na preparação e produção de matérias-primas, nas tecnologias de conversão e mesmo na obtenção de novos produtos. Novos conhecimentos baseados em engenharia genética, novos processos fermentativos e enzimáticos estarão crescentemente disponíveis.

A questão ambiental é, sem dúvida, outro fator de peso no aumento do interesse pelas MPR. Apesar das dificuldades políticas que têm cercado as decisões dos grandes foros internacionais, pode ser tomada como consensual a ideia de que as restrições ambientais ao uso de tecnologias que contribuam para o aquecimento global serão crescentes nos próximos anos. Em consequência, espera-se que as metas de utilização de biocombustíveis sejam mantidas e implementadas. Entretanto, em resposta aos debates e críticas que têm atingido os chamados biocombustíveis de primeira geração, vislumbra-se que os biocombustíveis do futuro podem vir a ser novos produtos, produzidos a partir de novas matérias-primas e novos processos de conversão. Uma consequência da confirmação do mercado dos biocombustíveis, principalmente do etanol, é a viabilização de biorrefinarias integradas, em substituição à produção única de combustíveis, como conceito de exploração de biomassa. Tem se consolidado a ideia de que as biorrefinarias, produzindo biocombustíveis e outros produtos (produtos químicos e bioeletricidade), contribuiriam para viabilizar economicamente a exploração da biomassa e melhorar os resultados ambientais (balanço energético e redução de emissão de gases do efeito estufa) dos processos.¹¹

As orientações estratégicas definidas por algumas empresas importantes reforçam o processo de construção de uma indústria baseada em biomassa. Du Pont estabeleceu, já em 1998, princípios de sustentabilidade para a sua trajetória de crescimento no século XXI que se baseiam fortemente na biotecnologia e na utilização de MPR.¹² Mais recentemente, a BASF também passou a identificar em seus documentos estratégicos a biotecnologia e as MPR como uma das bases do crescimento futuro da empresa. Devem ser destacadas ainda iniciativas da Dow, DSM e Novozymes. No âmbito brasileiro, Petrobras, Braskem, Oxiten e Quattor têm projetos e iniciativas em MPR. Não se pode deixar de mencionar ainda as empresas de petróleo que têm investido na base tecnológica em biocombustíveis, o que guarda relação direta com a construção da indústria de aproveitamento de biomassa do futuro.

No campo das estratégias deve ser destacada a importância de segmentos utilizadores chave como embalagens e automóveis. O anúncio recente da Coca-Cola da chamada *plantbottle*, que deverá

conter até 30% de material baseado em fontes renováveis, é uma indicação expressiva das tendências estratégicas relacionadas às MPR. Movimentos de empresas como a Coca-Cola podem contribuir de forma decisiva para o estabelecimento de novos conceitos que podem se difundir pela economia. No segmento de embalagens sustentáveis têm sido registradas muitas iniciativas das empresas mais diretamente ligadas ao consumidor final, como os produtores de alimentos e os grandes distribuidores. Isso sugere a existência de oportunidades de atuação para as empresas químicas capazes de oferecer novos materiais e novos conceitos de embalagens.

No caso da indústria automobilística, duas tendências fortes influenciam as perspectivas da utilização de produtos derivados de MPR. A primeira refere-se à redução de emissões e melhora de eficiência ambiental dos carros. Nesse ponto, os biocombustíveis encontram-se em competição com os carros elétricos que merecem, atualmente, grande destaque nas estratégias da indústria automobilística. No que se refere aos materiais estruturais, algumas montadoras anunciam em seus relatórios de sustentabilidade metas de utilização de biomateriais, como é o caso da Toyota que tem como meta utilizar materiais renováveis ou reciclados em 15% das peças em resinas.

A segunda tendência forte está relacionada à perspectiva de crescimento da indústria que se volta para os mercados emergentes. Nesses mercados, a necessidade de reduzir custos e produzir carros adaptados às condições locais abre oportunidades de inovações que podem oferecer oportunidades aos biocombustíveis e bioprodutos.

Por fim, cabe ressaltar que a inovação tecnológica é vista historicamente como estratégia de saída de crise. Os períodos de crise já foram aproveitados no passado por países e empresas para redesenhar suas posições no mercado. O extraordinário projeto Du Pont que resultou no nylon foi um projeto de pesquisa fundamental desenvolvido nos anos 30 em plena depressão econômica. Atualmente, as manifestações do governo americano em relação à busca de liderança em novas fontes de energia e, mais concretamente, os recursos alocados pelos programas voltados para os biocombustíveis avançados¹³ reforçam a ideia de que as inovações em MPR podem ter peso na recuperação da economia.

Mesmo se fatores como preços baixos de petróleo, não avanço das restrições ambientais ou perda de espaço dos biocombustíveis em função de outras soluções para o transporte – como os carros elétricos, por exemplo – podem representar uma possibilidade de redução dos esforços em utilização das MPR, as previsões e estudos existentes sugerem que os fatores favoráveis acima apontados continuarão a pesar nas próximas décadas. As previsões de evolução dos principais mercados, apresentadas a seguir, confirmam essa tendência.

Evolução dos mercados

A evolução do mercado de produtos derivados das MPR deve considerar em perspectiva três vetores interrelacionados, mas que podem ter dinâmicas próprias: os biocombustíveis para transporte, os bioprodutos em geral, e os biopolímeros em particular.

Crescimento esperado dos biocombustíveis

Os biocombustíveis hoje comercializados são o bioetanol e o biodiesel. Contrariamente à indústria do etanol, já consolidada e mundialmente considerada a referência do setor, a indústria brasileira de biodiesel é recente e ainda se encontra em estruturação. Mediante rotas biológicas, o bioetanol pode ser produzido com base em qualquer biomassa que contenha quantidades significativas de amido (milho, trigo e outros cereais e grãos) ou açúcares (cana e beterraba).

Projeta-se um crescimento da ordem 14% a.a. para os biocombustíveis líquidos nos próximos 5 anos, sendo o mercado atual da ordem de US\$ 26 bi.¹⁴ Para o mercado americano em particular,

existe uma previsão de incorporação de biocombustíveis avançados que corresponde a uma taxa anual média de crescimento da ordem de 10% para os próximos 20 anos.¹⁵

Crescimento esperado de bioprodutos

A definição de bioprodutos pode ser bastante diversa. Podem ser identificados 3 grupos: tradicionais, produzidos por fermentação e produzidos por processos enzimáticos.

O primeiro grupo inclui borracha natural, óleos essenciais e extratos naturais, produtos botânicos, nutracêuticos, hidrocolóides, PUFAs (ácidos graxos poli-insaturados) e oleoquímicos. É certamente o mais volumoso hoje, com um mercado estimado em cerca de US\$ 35 bi.¹⁴ O crescimento esperado é relativamente modesto e não inclui, na maioria dos casos, produtos ou processos inovadores.

De maior interesse para a identificação dos mercados da chamada *white biotech* são os produtos químicos por fermentação e por processos enzimáticos. Esses dois grupos representam hoje um mercado estimado em US\$ 15 bi. Incluem-se aqui a introdução e o crescimento de novos biopolímeros, de produtos químicos convencionais, inclusive produtos de volume, a partir de rotas biológicas. Estima-se um potencial de crescimento anual de 8%.¹⁴

É interessante cotejar essa visão do mercado mundial com a visão do mercado americano projetada para um período mais longo. Bioprodutos são definidos aqui como qualquer produto gerado a partir de biomassa, que poderiam de outra forma ser produzidos usando matérias-primas fósseis. O mercado americano de bioprodutos hoje se situa em cerca de 10 milhões de toneladas. Espera-se que atinja 25 milhões em 2030, o que corresponde a uma taxa de crescimento anual, em volume, de 4,3%.¹⁵

Crescimento esperado de biopolímeros

Os biopolímeros incluem os polímeros extraídos diretamente da biomassa, com ou sem modificação (ex.: derivados da celulose e do amido), produzidos diretamente de micro-organismos no seu estado natural ou modificados geneticamente (ex.: PHA, PHB), novos polímeros obtidos a partir de biointermediários (PLA, *Green PET*), plásticos biodegradáveis obtidos por aditivação de plásticos convencionais (Ecoflex, poliéster biodegradável da BASF) e plásticos convencionais produzidos a partir de MPR (biopoliétileno).

O crescimento relativo desses biopolímeros dependerá ainda da definição de sustentabilidade que vier a ser estabelecida nas normas ambientais. Se a definição se der com base na carga de gases de efeito estufa gerados, o espaço de biopolímeros convencionais a partir de fontes renováveis sustentáveis (ex.: polietileno a partir de etanol de cana) pode crescer de forma significativa. Se, entretanto, prevalecer uma visão de contestação da utilização de plásticos em razão da poluição visual gerada, o segmento pode favorecer os ditos biodegradáveis, como o PLA. Esse debate ainda não está formulado com clareza na sociedade. Deve ser assinalado que grandes consumidores de plásticos, como indústrias de alimentos e supermercados, para responder às pressões ambientais sobre seus produtos, têm optado por embalagens sustentáveis baseadas em polímeros biodegradáveis.

As estimativas do mercado atual de biopolímeros são, em razão das diferentes definições adotadas, bastante discrepantes. De modo geral, o mercado europeu encontra-se bem mais desenvolvido do que o americano. Destaque-se em particular o potencial de crescimento dos biopolímeros. No período 2003 a 2007 a capacidade de produção cresceu na faixa de 40% ao ano e o potencial técnico de substituição de plásticos petroquímicos por bioplásticos é estimado em 90%.¹⁶ Destaquem-se as elevadas taxas de crescimento dos bioplásticos biodegradáveis, como PLA e outros, que são atualmente da ordem de 17% ao ano.¹⁶

O potencial de crescimento dos bioplásticos é ainda refletido na

evolução do mercado de embalagens, no qual as embalagens ditas sustentáveis têm crescimento esperado para os próximos anos na faixa de 25% ao ano. Entretanto, o conceito de embalagem sustentável não está ainda claramente estabelecido. Como discutido acima, pode-se identificar aqui uma oportunidade aberta que dependerá de um complexo processo de formação de opinião e de regulamentação. As empresas químicas inovadoras podem encontrar uma oportunidade de atuação proativa na cadeia das embalagens plásticas, participando do processo de desenvolvimento de novos conceitos de embalagem sustentável que venham a utilizar seus materiais.

Dinâmica da inovação em biocombustíveis, bioprodutos e biorrefino

A evolução dos mercados, das tecnologias e dos produtos, como visto no rMPR, sugere a existência de um movimento de amplitude expressiva, em termos dos esforços de pesquisa e de inovação, voltado para a indústria de biocombustíveis e de aproveitamento integral da biomassa. Esse movimento pode ser de importância crucial na moldagem da indústria de biocombustíveis e bioprodutos do futuro. Assim, sua compreensão é chave para a elaboração de políticas voltadas para a área.

A análise desenvolvida nesta seção está organizada em torno das seguintes dimensões:

- a quantidade e diversidade das alternativas propostas,
- a natureza das inovações, destacando as particularidades relacionadas a matérias-primas, processos e produtos,
- o perfil e as estratégias das empresas (*background* do conhecimento, associações, empresas de base tecnológica, novos entrantes e grandes empresas estabelecidas).

A variedade de alternativas

Numerosas iniciativas têm sido lançadas para responder aos desafios e explorar as oportunidades que as matérias-primas renováveis oferecem. O desafio é a produção de combustíveis líquidos, bioprodutos e bioenergia, atuando, de forma combinada ou não, no aumento de produtividade e modificação da própria biomassa e nas diversas alternativas de conversão da biomassa, rotas diretas ou em duas etapas, por via fermentativa, enzimática, química ou termoquímica, para se obter diferentes tipos de produtos.

A diversidade de propostas de inovações pode ser constatada, em primeiro lugar, nos diferentes tipos de matérias-primas: culturas existentes, novas culturas com finalidade energética e aproveitamento de resíduos de diversas origens e qualidades. Em cada um dos casos, por sua vez, diferentes abordagens e caminhos são propostos e experimentados, de forma combinada ou não: aumento de produtividade, utilização de terras e recursos não relacionados a alimentos, facilidade logística e preço. Cada uma dessas abordagens, por sua vez, pode trazer também uma variedade de formas para atingir os objetivos traçados, como mostram as múltiplas abordagens para cultivo e utilização das algas.

No nível das tecnologias de conversão, a variedade contempla rotas bioquímicas, termoquímicas ou químicas que podem, ainda, serem combinadas entre si em alguns processos. Mas a variedade ocorre ainda dentro de cada uma das rotas, como a utilização de enzimas e fermentações diversas ou as diferentes opções testadas para a gaseificação da biomassa e conversão em bio-óleo.

Como esperado, a variedade em produtos é menor. Entretanto, duas razões fazem com que o interesse pelas inovações de produto seja crescente. Em primeiro lugar, buscam-se cada vez mais combustíveis *drop in*, com desempenho próximo ou igual ao dos derivados convencionais, que não exigem modificações dos motores e aproveitam a infraestrutura de distribuição existente. Em segundo lugar, a

diversificação da linha de produtos, associando combustíveis, de alto volume e baixos preços, com produtos químicos, de menor volume e de margens mais altas, tem aumentado o interesse por biorrefinarias integradas com múltiplos e novos produtos. Esses projetos estão em relativo atraso se comparados à produção dedicada de biocombustíveis. Mas o conceito é visto como central no futuro da indústria. Deve-se lembrar ainda que a diversificação de produtos favorece o desempenho ambiental dos processos, o que é crítico no caso de algumas matérias-primas como, por exemplo, o milho.

A combinação das múltiplas alternativas em matérias-primas, tecnologias de conversão e variedade de produtos compõe o quadro de diversidade que retrata o estágio atual da indústria baseada em MPR. Naturalmente, a forma como essa diversidade irá se traduzir em inovações difundidas no mercado de combustíveis e de bioprodutos não pode ser antecipada no presente estágio de desenvolvimento das tecnologias. Trata-se efetivamente de um processo voltado para a geração de variedades que, dentro da dinâmica da inovação, serão selecionadas ao longo do tempo e contribuirão para a construção da indústria baseada em biomassa do futuro.

A natureza das inovações

As inovações na utilização de MPR podem ser observadas em três níveis: matérias-primas, processos de conversão e produtos.

Natureza das inovações: as matérias-primas

A busca da matéria-prima ideal, ou de algumas matérias-primas ideais, está em aberto e evoluindo rapidamente. Os requisitos das matérias-primas incluem fatores múltiplos e não facilmente conciliáveis: disponibilidade, preço, qualidade em relação ao processo de conversão, sem esquecer a sustentabilidade ambiental.

No estágio atual parece claro que a cana-de-açúcar, cultivada nos níveis da produtividade brasileira, seria, entre as matérias-primas disponíveis, a mais próxima do ideal. Essa matéria-prima tem sido utilizada até agora apenas como fonte de etanol a partir da fermentação do caldo, além da produção de eletricidade a partir do bagaço. Entretanto, outras alternativas de combustíveis e bioprodutos a partir da cana como o diesel *drop in* da Amyris, o projeto Veranium/BP de etanol celulósico ou o polietileno da Braskem têm surgido, reforçando o valor e potencial da cana-de-açúcar na indústria baseada em biomassa.

Outras culturas energéticas têm sido desenvolvidas como, por exemplo, *switchgrass* e *miscanthus* nos EUA e Canadá, e pinhão manso na Índia e outras regiões. O desenvolvimento dessas culturas tem sido difícil, como é da natureza das inovações, com esperanças e decepções que se alternam em resposta aos esforços dos pesquisadores e investidores. Parece claro que o processo de introdução do cultivo e uso de novas plantas exige um tempo de maturação que não pode ser ignorado e cujos resultados são incertos por natureza.

Na busca desses resultados uma via que tem sido privilegiada é o uso da engenharia genética e dos recursos da biotecnologia moderna para aumentar a produtividade e otimizar o balanço entre as características positivas e negativas das plantas. São desenvolvidas pesquisas em matérias-primas já consagradas, como a cana-de-açúcar, e em matérias-primas ainda não utilizadas largamente pela indústria, como os materiais celulósicos em geral, as algas e novas plantas. No caso de plantas ainda não utilizadas, o desenvolvimento é feito na expectativa de que os novos processos de conversão dos materiais celulósicos venham a se tornar comerciais. No caso do etanol, as inovações na produtividade da cana-de-açúcar reforçam os processos convencionais de produção além de reforçar a própria posição da cana-de-açúcar como matéria-prima de eleição.

Na busca de solução para o problema das matérias-primas, duas alternativas merecem no momento o foco das atenções: as algas,

em primeiro lugar, e os resíduos urbanos, em particular os resíduos sólidos (*municipal solid waste*).

Apesar do grande interesse que a utilização de algas como matéria-prima para a produção de biocombustíveis e bioprodutos tem despertado recentemente, os problemas existentes, como mencionado na descrição do rMPR, exigem ainda importantes esforços de pesquisa e desenvolvimento para se atingir a almejada exploração em escala comercial. O atual estágio ainda seria predominantemente de apoio coordenado de agências governamentais, academia, empresas e investidores com vistas à passagem a escalas piloto e demonstração. Uma grande variedade de pesquisas, projetos e temas têm sido anunciados, mas ainda persiste uma disparidade de conceitos e custos que atestam a etapa fluida da tecnologia. De qualquer forma, os projetos em algas parecem sublinhar algumas tendências chave: produção de combustíveis *drop in*, diversificação para produtos de margens elevadas para aplicações especiais em química, farmácia e cosméticos, além de sustentabilidade ambiental inquestionável.

É também crescente o interesse na utilização do lixo como matéria-prima que se insere na construção de uma economia baseada na gestão dos resíduos.²² A perspectiva de novos modelos de negócios associando a solução desse difícil problema das cidades e a geração eficiente e sustentável de energia é uma das linhas em desenvolvimento.

No que se refere à produção de biocombustíveis, alguns projetos têm merecido a atenção dos analistas. O lixo tem grandes vantagens como matéria-prima no que se refere ao custo, que pode ser negativo, ao contrato de fornecimento, que pode ser estabelecido com as municipalidades em prazos compatíveis com a vida útil dos projetos, e à localização, que, sendo próxima ao mercado consumidor dos produtos gerados, simplifica o transporte e a necessidade de infraestrutura adicional. Os desafios da sua utilização, que se colocam então do lado das tecnologias de conversão, têm sido enfrentados por algumas empresas com projetos inovadores em diferentes estágios de maturação como os da Enerkem e Coskata, entre outros.

Natureza das inovações: as tecnologias de conversão

A análise das inovações de processo mostra, em primeiro lugar, uma amplitude de técnicas em desenvolvimento, utilizando diversas bases de conhecimento (fermentação, processos enzimáticos, engenharia genética, gaseificação, pirólise e, ainda, catálise e reações químicas), que traduzem o desafio dos biocombustíveis avançados de forma muito mais ampla do que a simples produção de etanol de celulose. Longe de ser irrelevante, a produção de etanol a partir de materiais lignocelulósicos é um desafio tecnológico importante e que vem sendo perseguido por diversas empresas, mas que não pode ser visto como sinônimo de biocombustíveis avançados, como parece ser às vezes a percepção dominante.

Cabe destacar que, ampliando o grau de variedade e multiplicidade das alternativas em jogo, mesmo tecnologias de conversão de mesma natureza apresentam variantes em desenvolvimento. A via bioquímica pode utilizar duas etapas (hidrólise e fermentação) para converter a lignocelulose em etanol ou procurar fazê-lo numa única etapa. A via termoquímica propõe diversas alternativas para a gaseificação, algumas inovadoras, como a gaseificação por plasma e por metal líquido, outras mais próximas das utilizadas comercialmente e, ainda, diversas opções para transformar o gás de síntese gerado em produto final, incluindo a mais conhecida conversão FT (Fisher-Tropsch) ou a ação de micro-organismos, como propõe Coskata. Ainda no campo dos tratamentos térmicos, não se pode deixar de mencionar a pirólise para produção de bio-óleo, que tem ganhado destaque ultimamente. Da mesma forma, os processos químicos continuam sendo testados e alguns projetos destacados têm proposto a utilização da hidrólise ácida para a produção de etanol a partir de lignocelulose (Bluefire) ou

a conversão química de açúcares em combustíveis *drop in* (Virent). A rota química tem ainda sido mencionada em algumas pesquisas como alternativa para a produção de intermediários de síntese para a construção de plataformas químicas, como a do hidroximetilfurfural (HMF), que vem despertando interesse crescente.

A utilização de diferentes bases de conhecimento faz com que na maioria dos casos as empresas se vejam inevitavelmente em projetos que privilegiam uma das rotas, o que coloca um nível de incerteza elevado no futuro dessas empresas caso suas apostas venham a perder espaço na evolução da indústria. Algumas empresas e investidores de maior porte e disponibilidade de recursos têm tratado essa incerteza multiplicando suas apostas em diversas plataformas, com a perspectiva de desmobilizar eventualmente as que se mostrarem menos competitivas. É o caso, por exemplo, de Shell e Khosla Ventures. Outras empresas de porte e com volumes de investimento importantes em biocombustíveis e bioprodutos, entretanto, têm diversificando suas apostas de forma mais orientada em termos de tecnologia de conversão, focalizando determinadas áreas do conhecimento. É o caso, por exemplo, de BP e DuPont que se concentram na biotecnologia e nas rotas bioquímicas em suas diversas iniciativas.

A variedade de processos aponta ainda para a presença de empresas com *backgrounds* variados de conhecimento e que tradicionalmente não estavam presentes nos mercados de energia e de química. É o caso de forma notável das empresas de biotecnologia, algumas com histórico de desenvolvimentos importantes em outras indústrias, como a farmacêutica.

Natureza das inovações: produtos

Uma dimensão importante que pode ser evidenciada pela análise das propostas de inovação em desenvolvimento é a relacionada aos novos produtos. Inovações de produto são raras em combustíveis líquidos. A lógica natural da indústria é estabelecer especificações bem definidas de alguns produtos e buscar por meio de inovações de processos a redução de custo e a melhoria de características. Nessa linha, boa parte dos esforços é direcionada para novos processos e para a produção de combustíveis já conhecidos e utilizados, como o etanol. Mas o estágio atual da indústria vislumbra oportunidades de introduzir novos produtos, de origem renovável, que se aproximem da condição de combustíveis ideais e de outros bioprodutos que possam competir com produtos químicos de base fóssil. Um número crescente de projetos tem se interessado pela inovação de produto.

O problema da adaptação dos motores e da construção de infraestrutura de transporte e distribuição para o etanol e outros combustíveis de primeira geração tem aberto um espaço crescente para as inovações de produto com a produção de biocombustíveis *drop in*, o que valoriza os ativos complementares existentes. As discussões atuais sobre as limitações da infraestrutura americana para o etanol e as dificuldades para sua implementação reforçam essa tendência.

Ainda relacionado às inovações de produto, não pode deixar de ser mencionada a crescente importância do conceito de biorrefinaria. Esse conceito sugere que a exploração das MPR precisa integrar uma visão multiproduto, explorando diversas correntes e processos, à semelhança das refinarias de petróleo que derivam do óleo um conjunto variado de produtos. No caso da biorrefinaria, os produtos energéticos aparecem ao lado de produtos químicos. As biorrefinarias têm sido financiadas com empenho pelo governo americano (DOE e NREL). Também na Europa o número de iniciativas é expressivo. No Brasil, algumas iniciativas foram registradas de aproveitamento da cana-de-açúcar para a geração de outros produtos além do etanol. Citam-se os projetos da Oxiten, da Dow e da Braskem. Essa tendência de valorização de bioprodutos ao lado de combustíveis de grande volume é vista como importante na indústria baseada em biomassa que seria, no futuro, centrada em processos integrados de biorrefino

gerando biocombustíveis e outros bioprodutos.

Empresas e estratégias

Podem ainda ser observadas as empresas envolvidas nos desenvolvimentos e a variedade de perfis e abordagens estratégicas. Destacam-se as empresas que contribuem com o seu conhecimento tecnológico de base: empresas de biotecnologia com experiência anterior em outras indústrias, como a farmacêutica, ou criadas diretamente para atuar em bioenergia ao lado de *start ups* com outras bases de conhecimento (engenharia química, química).

Identificam-se ainda, como empresas que contribuem com seu conhecimento tecnológico acumulado, algumas empresas de química/biotecnologia (Du Pont) e enzimas (Novozymes). Movimentos recentes de empresas como Monsanto (adquirindo *start ups* brasileiras de genética da cana) e da BASF, anunciando o interesse em encontrar parceiros para atuar também na biotecnologia aplicada à cana-de-açúcar, reforçam a diversidade dos atores atualmente envolvidos na exploração de MPR. Essas empresas contribuem ainda com conhecimentos em engenharia de processos, indispensáveis para a produção em escala industrial. Esses conhecimentos estão, com frequência, ausentes nas empresas de base tecnológica que saem das universidades e centros de pesquisa.

Algumas empresas podem ser caracterizadas pelo seu envolvimento histórico com os combustíveis fósseis: empresas de petróleo e indústria automobilística. Essas empresas, além do aporte de financiamento para os projetos de pesquisa, podem ser importantes detentores de ativos complementares estratégicos para a introdução e adoção das inovações no mercado de combustíveis líquidos. No caso das empresas de petróleo, os biocombustíveis representam igualmente uma oportunidade de diversificação em relação aos combustíveis fósseis.

Encontram-se ainda empresas ligadas ao negócio agroindustrial. Aqui aparecem as empresas tradicionais como Cargill e ADM, com história de envolvimento na agroindústria de alimentos. Essas empresas podem ser vistas também como detentoras de ativos complementares, nesse caso ligados à cadeia de produção agrícola e logística de suprimento.

Dois casos particulares merecem um comentário a parte: Shell e BP. Chama atenção a presença marcante da Shell em cinco projetos diferentes que se estruturaram ao longo dos últimos anos. São cinco plataformas diferentes, todas exploradas na forma de associação ou participação em empresas de base tecnológica. Os projetos incluem a produção de novas matérias-primas (algas), inovações de processo (bioetanol de materiais celulósicos, combustíveis líquidos como diesel pela rota termoquímica e combustíveis a partir de açúcares pela rota química) e inovações de produtos (biogasolina). A abordagem da Shell enfatiza com clareza a aposta na inovação tecnológica como base da competição em biocombustíveis, toma como foco os biocombustíveis avançados e orienta essa aposta para a exploração de diferentes plataformas tecnológicas. Na estratégia da empresa, uma ou mais plataformas poderiam se revelar vencedoras da competição tecnológica, serem escolhidas no processo de seleção e desenvolvidas como negócios em escala comercial. As demais seriam deixadas de lado. Entretanto, o processo de planejamento tecnológico na indústria tem sido dinâmico. Recentemente, a Shell modificou em parte sua posição: a empresa deixou a associação com a Choren (produção de biocombustíveis pela via termoquímica na chamada rota BTL) e, ao mesmo tempo, adquiriu uma posição como produtora importante de etanol de cana-de-açúcar fazendo uma associação com a Cosan, líder do setor no Brasil.

O caso da BP mostra uma abordagem estratégica diferente. A empresa, que informa ter investido cerca de US\$ 1,5 bi desde 2006 em biocombustíveis e bioprodutos, evidenciou sua estratégia de

forma mais clara com os últimos movimentos realizados. BP tem como objetivo atuar de forma ativa na expansão do mercado dos biocombustíveis partindo dos combustíveis de primeira geração e caminhando, na medida do amadurecimento dos projetos, para a produção de biocombustíveis avançados e bioprodutos. A empresa atua hoje em 7 projetos diferentes que vão da produção de etanol de primeira geração à pesquisa avançada em biotecnologia: produção de etanol no Brasil (Tropical, uma *joint venture* BP, Santelisa e Mada), produção de etanol a partir de trigo no Reino Unido (Vivergo, uma *joint venture* BP, DuPont e British Sugar), desenvolvimento de tecnologia e produção de butanol (Butamax, uma *joint venture* BP e DuPont), produção de etanol a partir de materiais lignocelulósicos

(Vercipia, uma *joint venture* BP e Verenum), produção de diesel a partir de açúcares (projeto desenvolvido por Martek, a partir de algas com apoio da BP), biotecnologia de sementes para culturas energéticas de alta produtividade (Mendel com apoio da BP) e, finalmente, a aplicação de US\$ 500 milhões, em 10 anos, para a formação do EBI, *Energy Biosciences Institute*, com a participação de *University of California Berkeley*, *Lawrence Berkeley National Laboratory* e *University of Illinois*.

Com diferenças de enfoque, as estratégias de Shell e BP traduzem bem o processo de construção da indústria baseada em matérias-primas renováveis do futuro.