Policy Brief

Novembro 2016

Acumulação de Capacidades Tecnológicas, Inovação e Competitividade Industrial: Alguns Resultados para a Indústria Brasileira da Indústria Sucoenergética¹

Paulo N. Figueiredo, Mauricio C. Pinheiro, Rubia Wegner, Felipe Queiroz, Bernardo Cabral e Fernanda Perin

1 Introdução

O desenvolvimento industrial e tecnológico é um dos fatores decisivos para que os países avancem para a categoria de alta renda *per capita*. Não se trata de uma panaceia, mas a história ensina que nações que se desenvolveram industrialmente, por meio da acumulação de capacidades tecnológicas para inovação, também obtiveram significativo desenvolvimento socioeconômico. Tornaram-se países de alta renda, transformaram-se em líderes no mercado global e em fornecedores de tecnologia para vários tipos de indústria².

Nesse sentido, este documento é parte integrante de um projeto de pesquisa mais amplo sobre o tema da acumulação de capacidades tecnológicas e competitividade industrial no Brasil, que examinou alguns setores industriais, entre eles o sucoenergético³.

Há grande
variabilidade
dentro da indústria
sucoenergética
e dentro de suas
empresas em termos
de acumulação de
capacidades para
áreas específicas.

¹ O estudo mais amplo que deu origem a este documento se encontra em Figueiredo et al. (2016).

² Ver Pinheiro et al. (2015) e Pinheiro e Figueiredo (2015).

³ Trata-se de pesquisa financiada pela Rede de Pesquisa e Conhecimento Aplicado (RPCAP) da Fundação Getúlio Vargas (FGV), e com envolvimento de pesquisadores de duas unidades da FGV: a Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas (EBAPE) e o Instituto Brasileiro de Economia (IBRE). A pesquisa está sendo desenvolvida no âmbito do Programa de Pesquisa em Aprendizagem Tecnológica e Inovação Industrial no Brasil, da EBAPE/FGV, pela equipe: Paulo N. Figueiredo e Mauricio Canêdo Pinheiro (coordenadores) e assistentes de pesquisa Bernardo Cabral, Felipe Queiroz, Fernanda Perin e Rubia Wegner. O conteúdo deste documento reflete as ideias e perspectivas dos autores e não necessariamente as da Fundação Getúlio Vargas ou de quaisquer outras instituições.

1.1 Por que a indústria sucroenergética?

Açúcar e bioetanol são produtos tradicionais no setor sucroalcooleiro. Após intensa transformação nos últimos 15 anos, esse setor tem sido identificado como sucroenergético – com a adição de um novo produto, a energia, além de novas rotas tecnológicas para a produção do etanol e de coprodutos, como vinhaça e torta de filtro. A indústria sucroalcooleira ainda apresenta uma posição de destaque no setor sucroenergético brasileiro. O interesse da literatura existente sobre esse setor⁴ é respaldado pela sua importância na economia brasileira: (1) parcela de 18% da energia consumida no país provém da produção de bioetanol e bioeletricidade; (2) geração de mais de 1,2 milhão de empregos diretos; (3) participação de 5,7% nas exportações brasileiras em 2013 (US\$ 15 bilhões)⁵; e (4) representou 2% do PIB nacional em 2014⁶.

Um marco da organização industrial sucroalcooleira foi sua transformação em setor sucroenergético, pelo surgimento de novas formas empresariais com estrutura, rota tecnológica e estratégias distintas. Em vista das denominações utilizadas e da leitura acadêmica que tem sido adotada, nesta pesquisa adotaremos o conceito de indústria sucroenergética. Mais recentemente é possível distinguir, em relação ao bioetanol, pelo menos duas rotas tecnológicas distintas. Essas rotas influenciam a produção de açúcar e de bioenergia, bem como de outros coprodutos, e por isso merecem ser destacadas. A primeira geração de biocombustíveis inclui as tecnologias maduras e convencionais, aplicadas na produção de etanol a partir da cana-de-açúcar ou do milho; de biodiesel a partir de oleaginosas e gorduras animais; e de biometano a partir da digestão anaeróbica de biomassa. A segunda geração abrange um conjunto de biocombustíveis produzidos a partir de novas matérias-primas.

Foram identificadas três áreas tecnológicas na indústria sucroenergética: *feedstock*, processos agrícolas e processos industriais. Em *feedstock*, destacam-se atividades relacionadas ao melhoramento genético de cana-de-açúcar, com o objetivo de obter novas variedades mais produtivas, com maior tolerância ao estresse hídrico, maior resistência às pragas e doenças e melhor adaptação a diferentes ambientes de produção e/ou ao tipo de colheita empregada (manual ou mecânica). O melhoramento genético pode seguir a rota tecnológica convencional ou a de transgenia.

A área de processos agrícolas abarca o plantio, o cultivo e a colheita da cana. É uma fase determinante para a produtividade da indústria, já que a maior quantidade de Açúcar Total Recuperável (ATR) obtida da colheita de cana influencia o rendimento industrial e depende da adaptação das variedades ao solo, além do controle biológico de pragas. A mecanização da colheita da cana-de-açúcar, a partir do protocolo ambiental⁷, deflagrou novos desafios na fase agrícola.

⁴ Ver Furtado, Scandiffio e Cortez (2011).

⁵ Ver Agrostat Brasil (2014) e Brasil (2015).

⁶ Ver Neves e Trombin (2014).

⁷ A presidente da Unica informou que desde 2007, por meio do Protocolo Agroambiental Paulista (Lei nº 11.241, de setembro de 2002), as empresas produtoras comprometeram-se a eliminar a queima da palha até o final de 2014, em terrenos passíveis de mecanização, e até 2017 para as demais áreas.

Em processos industriais, o conhecimento e a experiência acumulados pelo Brasil na produção de etanol de primeira geração são consideráveis, bem como reconhecidos internacionalmente. Entre as principais etapas do processo produtivo, estão extração – a difusão representa avanço tecnológico em relação à moagem – fermentação, destilação, retificação e desidratação do etanol hidratado, isto é, obtenção do etanol anidro. As etapas de recepção, preparo e extração do caldo são bastante críticas na produção de etanol e açúcar.

1.2 A relevância de uma pesquisa criativa

Durante os últimos anos, têm surgido diversos estudos que objetivam examinar a relação entre inovação e competitividade industrial no Brasil, muitos deles com dados em nível da empresa. Não obstante os méritos desses trabalhos, temos argumentado em publicações anteriores⁸ que eles possuem algumas limitações: (i) boa parte utiliza *proxies* ou medidas inadequadas para examinar atividades inovadoras, como é o caso de indicadores de gastos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), número de laboratórios e estatísticas de patentes, que representam apenas uma pequena fração (quando muito) das reais atividades inovadoras; (ii) normalmente os estudos tendem a focar a empresa individual como unidade de observação e deixam de captar nuances internas do processo de acumulação de capacidades tecnológicas – por exemplo, uma empresa pode inovar de maneiras diferentes em áreas tecnológicas distintas; e (iii) raramente pesquisas combinam evidências quantitativas com evidências qualitativas, o que dificulta o entendimento do intrincado processo de desenvolvimento tecnológico dentro de empresas.

2 Método

2.1 Questões e foco da pesquisa

Com esse pano de fundo, a pesquisa mencionada anteriormente foi desenhada para examinar duas questões. A primeira refere-se *até que ponto* e *como* empresas da indústria sucroenergética no Brasil têm acumulado capacidades tecnológicas, tanto para atividades operacionais quanto para inovação; a segunda visa explicar *como* esse processo de acumulação de capacidades tecnológicas tem influenciado o alcance e o fortalecimento (ou enfraquecimento) da competitividade industrial.

A investigação desta pesquisa abrange não apenas a Acumulação de Capacidades tecnológicas (ACT) em si, mas também os seus fatores internos (dentro de setores industriais) e externos, como as políticas públicas. A motivação para contribuir com a geração de novas evidências e explicações sobre a relação entre ACT e competitividade industrial no Brasil relaciona-se não apenas à situação preocupante na qual esta última se encontra, mas também às limitações dos estudos e abordagens existentes.

⁸ Ver Figueiredo e Pinheiro (2016).

2.2 Estratégia de pesquisa

A implementação da metodologia envolveu um exame intra e intersetorial e em nível de empresas, com cobertura ao longo de quatro períodos distintos de tempo (triênios entre 2003 e 2014). Essa cobertura permitiu captar nuances e mudanças ao longo do tempo nas questões investigadas, ou seja, a dinâmica do processo de acumulação de capacidades tecnológicas e seu impacto na competitividade industrial.

Como ressaltado com detalhes em publicações anteriores⁹, a estratégia de pesquisa seguiu as três etapas do modelo analítico representado na Figura 1. Na etapa A, identificou-se ao longo do tempo padrões de ACT de empresas da indústria sucroenergética. Na etapa B, analisou-se o que influenciou os níveis e padrões de ACT por meio da incidência de diferentes mecanismos de aprendizagem implementados pelas empresas. Na etapa C, testou-se quais foram os resultados gerados pela ACT em termos de impactos sobre o desempenho competitivo das empresas (produtividade do trabalho e inserção internacional).

Essas três etapas buscaram analisar não apenas diferenças e semelhanças entre as empresas pesquisadas da indústria sucroenergética, como também áreas tecnológicas distintas dentro das próprias empresas. Para esta pesquisa são analisadas as áreas de *feedstock* (melhoramento da cana), de processos agrícolas (plantio, cultivo e colheita) e de processos industriais (processos produtivos e produtos).

Nossa análise vai além do setor industrial e/ou da empresa como um todo e capta acumulação de capacidades para áreas tecnológicas específicas dentro de empresas.

Figura 1. Modelo analítico da pesquisa

Fonte: Adaptado de Bell e Figueiredo (2012) e Figueiredo (2015).

⁹ Ver Figueiredo e Pinheiro (2016).

A análise da pesquisa se baseou em observações quantitativas e relações estatísticas entre as três etapas do modelo analítico da Figura 1, e também em evidências qualitativas com o intuito de enriquecer a interpretação das relações. A Figura 2 apresenta um exemplo ilustrativo da escala utilizada nesta pesquisa para examinar a acumulação de capacidades tecnológicas em níveis de empresas. Essa escala faz uma distinção fundamental entre capacidades tecnológicas de produção (para operar tecnologias e sistemas de produção existentes) e capacidades tecnológicas inovadoras (para mudar e/ou criar tecnologias e sistemas de produção). As capacidades tecnológicas inovadoras são, por sua vez, desagregadas em quatro níveis: do básico à liderança mundial¹⁰. Essa escala é aplicada para o exame da acumulação de capacidades para áreas tecnológicas específicas da indústria sucroenergética: agrícola e industrial.

Figura 2. Escala de níveis de capacidades tecnológicas

Fonte: Bell e Figueiredo (2012) e Figueiredo (2001, 2015).

2.3 Coleta de Dados

A pesquisa foi baseada em evidências empíricas primárias colhidas diretamente da indústria sucroenergética por meio da aplicação de questionários, combinadas com trabalhos de campo. Quinze empresas produtoras da indústria sucroenergética no Brasil foram selecionadas para responder os questionários. Cinco representantes desse conjunto de empresas também foram entrevistados. Essas empresas correspondem aproximadamente – considerando-se o *ranking* da Única com 67 empresas para 2014 – uma parcela de 42% da capacidade de moagem da indústria sucroenergética nacional. Quanto aos volumes de produção, as 15 empresas respondem por 41% do etanol (anidro e hidratado), 36% do açúcar (produção diária) e 47% da cogeração de energia elétrica. Entre as 15 empresas da amostra, predomina a carteira de produtos que combina etanol, açúcar e bioenergia. Apenas quatro empresas (3% da amostra) não produzem bioenergia, mas apenas açúcar e etanol. Nem todas as empresas mantêm em sua carteira de produtos, simultaneamente, açúcar, etanol e bioenergia.

¹⁰ Ver Figueiredo e Pinheiro (2016).

3 Principais Resultados

3.1 Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas

Foram identificadas pela pesquisa significativas diferenças entre as empresas da indústria sucroenergética no Brasil. Mais especificamente, foram encontradas diferenças não só entre as empresas produtoras, mas também em relação às áreas tecnológicas: *feedstock*, processos agrícolas e processos industriais. A seguir, essas diferenças das empresas produtoras por áreas tecnológicas serão exploradas.

Padrões de acumulação de capacidades tecnológica na área *feedstock*

A Figura 3 evidencia as diferenças das empresas produtoras na área de *feedstock* quanto à acumulação de capacidades tecnológicas. Isto é, notam-se cinco padrões de acumulação de capacidades tecnológicas da área de *feedstock*, que estão descritos na figura abaixo.

Figura 3. Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área *feedstock* (2003-2014)

Fonte: Os autores (2016).

Padrão 1 Feedstock: permanência em capacidade de produção

Duas empresas produtoras mantiveram, de 2003 a 2014, somente a capacidade de usar as tecnologias existentes para o tratamento da cana-de-açúcar. Isto é, mantiveram a capacidade de

operar e implementar tecnologias existentes no período considerado. As empresas se envolveram em atividades de fornecimento de matéria-prima uniforme e de qualidade consistente, de manutenção de jardins clonais e de trocas com pessoal de instituições de pesquisa.

Padrão 2 Feedstock: permanência em capacidade inovadora básica

É composto de empresas produtoras que, de 2003 a 2014, permaneceram com capacidade de implementar modificações e melhorias na tecnologia existente e disponível, bem como atender certificações e testes de qualidade. As empresas do Padrão 2 *Feedstock* mapearam e controlaram a qualidade da cana-de-açúcar, tendo sido capazes de realizar melhorias nas variedades desenvolvidas por instituições de pesquisa (e.g. CTC, Ridesa), bem como de realizar esforços em atividades como experimentação e jardins clonais. Entre 2003 e 2014, as empresas do padrão 2 implementaram estações de multiplicação, análises, testes e seleção de novas variedades. Isso significa que, na operação de seus viveiros e de estações experimentais, as empresas passaram a empregar novas técnicas fitossanitárias. Essas empresas mantiveram departamentos de controle de qualidade, mas não laboratórios de P&D.

Padrão 3 Feedstock: evolução de capacidade inovadora básica para intermediária

É composto por empresas produtoras que, de 2003 a 2008, estavam no padrão de capacidade inovadora básica e, a partir de 2009 a 2014, acumularam capacidades tecnológicas até a capacidade inovadora intermediária. Assim, de 2003 a 2008, eram capazes de realizar pequenas adaptações em tecnologias de variedades (*feedstock*) e, a partir de 2009-2011, acumularam capacidades para implementar modificações relativamente complexas. Para evoluírem de capacidade inovadora básica para intermediária, essas empresas precisaram fazer esforços na criação de programas próprios de melhoramento genético e lançamento de novas variedades de cana-de-açúcar. Elas tiveram frequente apoio operacional, para criação de bancos de germoplasma, dos institutos de pesquisa especializados, como CTC, IAC e Ridesa. Essas empresas, portanto, ao implementarem novas tecnologias em *feedstock*, avançaram, especialmente em parceria, para o desenvolvimento de atividades adicionais, como banco de germoplasma, leveduras e novas técnicas de brotação (MPB).

Padrão 4 Feedstock: evolução de capacidade inovadora básica para avançada

São as empresas produtoras que evoluíram, em 2009-2011, da capacidade inovadora intermediária até a inovadora avançada, mantendo-se aí até 2012-2014. Dessa forma, de 2003 a 2008 já eram capazes de implementar modificações relativamente complexas baseadas em engenharia e experimentações. De 2009 até 2014, acumularam capacidades tecnológicas para implementar atividades inovadoras em *feedstock* próximas àquelas realizadas pelos líderes mun-

diais, à base de P&D aplicado. Por exemplo, a empresa Ômega tem investido crescentemente em parcerias e melhoramentos para adaptar variedades já tradicionalmente utilizadas às condições edafoclimáticas de suas unidades produtivas em diferentes regiões do país. A Ômega mantém ainda uma equipe de engenheiros e técnicos dedicada a avaliar o desempenho de todas as variedades que cultiva.

Padrão 5 Feedstock: permanência em capacidade inovadora avançada

É composto de uma empresa produtora que permaneceu em capacidade inovadora avançada, em 2012-2014. Essa empresa iniciou suas atividades em 2011, já em nível de inovação avançada. De início, já era capaz de implementar atividades inovadoras em *feedstock* próximas àquelas realizadas pelos líderes mundiais, à base de P&D aplicado. Essa empresa acumulou capacidades tecnológicas para realizar projetos de P&D em novos germoplasmas, bem como projetos de diferentes marcadores moleculares.

O fato de as empresas produtoras da amostra desta pesquisa não terem, em *feedstock*, acumulado capacidades tecnológicas para evoluir até a capacidade inovadora de liderança mundial não significa que a indústria sucroenergética brasileira não tenha projetos e parcerias em P&D básico. As instituições de pesquisa, como CTC e Ridesa, cumprem um papel essencial no desenvolvimento de novas variedades de cana-de-açúcar.

Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área processos agrícolas

A Figura 4 evidencia as diferenças das empresas produtoras na área de processos agrícolas quanto à acumulação de capacidades tecnológicas. Isto é, notam-se cinco padrões de acumulação de capacidades tecnológicas da área de processos agrícolas, descritos na figura abaixo. Como se observa, apenas as empresas do Padrão 3 Agrícola mudaram sua tendência de acumulação de capacidades tecnológicas, o que ocorreu a partir de 2006-2008.

Figura 4. Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área processos agrícolas (2003-2014)

Fonte: Os autores (2016).

Padrão 1 Agrícola: permanência em capacidade de produção

São empresas que conseguiram implementar e operar a tecnologia existente, isto é, realizar controle de limpeza da cana para aproveitamento da palha, controle do tráfego no canavial e implementação de novas técnicas de plantio.

Padrão 2 Agrícola: permanência em capacidade inovadora básica

De 2003 a 2014, essas empresas permaneceram com capacidade de realizar pequenas adaptações e melhorias nas tecnologias existentes para produção de cana-de-açúcar, mantendo para isso grupos de engenheiros e técnicos qualificados trabalhando em produtos e processos agrícolas. As empresas produtoras do Padrão 2 Agrícola passaram a utilizar técnicas avançadas de tratos culturais, controle de pragas (química e biológica) e técnicas computadorizadas de otimização do *layout* da fazenda. Essa otimização se deu com zonas de tráfego controlado, padrão de espaçamento de cana e *layout* de sulcação. Portanto, entre as empresas do Padrão 2 Agrícola, foram observados esforços para introdução de melhorias.

Padrão 3: evolução de capacidade inovadora básica para intermediária

É composto de empresas que, de 2003 a 2014, permaneceram em capacidade inovadora intermediária, realizando atividades como implementar modificações relativamente complexas baseadas em engenharia e experimentações. De acordo com o diretor agrícola da empresa Alfa, por exemplo, foi estruturada em 2008 uma área para realizar atividades de monitoramento via satélite das condições de lavoura e plantio e para a previsão de safra. As empresas do Padrão 3 Agrícola acumularam capacidades tecnológicas para, sobretudo, desenvolver melhorias como novos métodos de manejo e novos equipamentos agrícolas. Parcerias, principalmente com empresas fornecedoras, foram primordiais para que as empresas produtoras do Padrão 3 Agrícola avançassem em atividades de desenvolvimento de máquinas e implementos agrícolas apropriados para a colheita de cana-de-açúcar. Entre as empresas desse padrão, estão aquelas que ampliaram suas unidades produtoras para regiões de expansão recente da fronteira agrícola.

Padrão 4 Agrícola: permanência em capacidade inovadora intermediária

É composto de empresas produtoras que elevaram suas capacidades tecnológicas de capacidade inovadora básica para capacidade inovadora intermediária. São empresas que, até 2006-2008, eram capazes de realizar pequenas adaptações em tecnologias de produção de cana-de-açúcar e, a partir de 2009-2011, elevaram suas capacidades tecnológicas de modo a implementar modificações relativamente complexas baseadas em engenharia e experimentações. Essas empresas expandiram sua equipe, composta por engenheiros e técnicos alocados em diferentes unidades relativas a desenvolvimento de produto, redesenho de produto e sistemas de automação. As empresas do Padrão 4 Agrícola reconheceram que a busca por colhedoras e implementos mais eficientes têm dinamizado as interações entre empresas produtoras e fornecedoras e instituições de pesquisa. De fato, muitos projetos de novas máquinas agrícolas foram desenvolvidos. Porém, na percepção das empresas produtoras do Padrão 4 Agrícola, esses projetos ficaram restritos a algumas empresas produtoras da indústria sucroenergética e às maiores fornecedoras, e as novas máquinas são relativamente pouco testadas.

Padrão 5 Agrícola: permanência em capacidade inovadora avançada

Há uma única empresa com capacidade inovadora avançada, tendo iniciado suas operações em 2011 (o período de cobertura da pesquisa vai até 2014). Desde o início essa empresa contava com uma rede engenheiros e técnicos especializados com habilidades para compartilhar conhecimento externo. Esses profissionais implementaram pesquisa básica e desenvolveram pesquisa aplicada, bem como desenho e desenvolvimento de maior complexidade dos processos industriais. Esta única empresa que acumulou capacidades tecnológicas em capacidade inovadora avançada realizou esforços para desenvolver processos agrícolas automatizados e utilizar *software* para as operações desses processos. Nessa perspectiva, duas inovações podem

ser citadas: (i) P&D em sistema de mecanização de baixo impacto realizado em parceria com CTBE e Jacto e (ii) concepção, prototipagem e desenvolvimento de novos sistemas de colheita e de plantio realizados em parceria com CTBE, Agricef¹¹ e empresa Ômega. Ambas as atividades não estão concluídas, isto é, sua implementação pelas empresas não ocorre em larga escala.

O fato de as empresas produtoras da amostra desta pesquisa não terem, em processos agrícolas, acumulado capacidades tecnológicas para evoluir até capacidade inovadora de liderança mundial não significa que a indústria sucroenergética brasileira não tenha projetos e parcerias em P&D básico. No período de 2003-2014, as empresas produtoras realizaram parcerias principalmente para buscar uma máquina colhedora totalmente adaptada à colheita de cana-de-açúcar.

Padrões de acumulação de capacidades tecnológica na área processos industriais

A Figura 5 evidencia quatro padrões de acumulação de capacidade tecnológica na área processos industriais. As empresas do Padrão 2 Industrial e do Padrão 4 Industrial apresentaram inflexões em sentido contrário, entre os triênios 2006-2008 e 2009-2011, na acumulação de capacidades tecnológicas. Enquanto as empresas do Padrão 4 Industrial elevaram suas capacidades tecnológicas de inovação básica para intermediária, as empresas do Padrão 2 Industrial foram na direção contrária.

¹¹ Empresa de consultoria criada em 2005, em Campinas-SP. Visa desenvolver projetos de engenharia, bem como soluções inovadoras para otimizar a produção agrícola. Mantém parceria com a Unicamp e empresas privadas para desenvolver ações nesse sentido. Basicamente, a sua área de atuação envolve: desenvolvimento e avaliação de máquinas e equipamentos agrícolas, avaliação de componentes de máquinas agrícolas, automação agrícola.

Figura 5. Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área processos industriais (2003-2014)

Fonte: Os autores (2016).

Padrão 1 Industrial: permanência em capacidade inovadora básica

As empresas desse padrão permaneceram em capacidade inovadora básica, realizando pequenas adaptações e melhorias nas tecnologias existentes. Para isso, contaram com grupos de engenheiros e técnicos trabalhando na implementação dessas pequenas adaptações em processos e produtos. As empresas do Padrão 1 Industrial introduziram modificações e melhorias sobretudo em termos de aproveitamento dos resíduos em processos industriais, bem como melhorias no aproveitamento da vinhaça. Para atender os mercados de exportação, esse grupo precisa criar capacidades para melhorar as características do bioetanol e assim conquistar algumas certificações de qualidade internacionais, como *Better Sugarcane Initiative* (Bonsucro), por exemplo.

Padrão 2 Industrial: involução de capacidade inovadora intermediária para básica

É composto de duas empresas produtoras que involuíram de capacidade inovadora intermediária para básica. De 2003 a 2008, essas empresas realizavam melhorias relativamente complexas e/ou modificações em processos industriais e, de 2009 a 2014, passaram a realizar somente pequenas melhorias e modificações. As dificuldades financeiras enfrentadas por ambas as empresas explicariam o dismantelamento de suas capacidades tecnológicas acumuladas.

Padrão 3 Industrial: permanência em capacidade inovadora intermediária

São empresas que, de 2003 a 2014, permaneceram em capacidade inovadora intermediária, isto é, realizaram atividades como implementar modificações relativamente complexas baseadas em engenharia e experimentações. Essas empresas contaram com equipes de engenheiros e técnicos alocados em diferentes unidades, relativas a desenvolvimento de produto, redesenho de produto e sistemas de automação. A renovação tecnológica das moendas foi realizada pelas empresas do Padrão 3 Industrial a partir da década de 2000, dada a constatação de que o desenvolvimento de equipamentos e as melhorias de processos para extração do caldo, tratamento, fermentação e separação do bioetanol precisavam ser retomados e intensificados. As empresas do Padrão 3 Industrial buscaram parcerias para melhorar seus processos de fermentação, tendo sido as universidades e as consultorias os parceiros mais visados. A fermentação passou a ser objeto de maior atenção entre as empresas produtoras, incluindo a melhoria da fermentação por microrganismos utilizados.

Padrão 4 Industrial: evolução de capacidade inovadora básica para avançada

São empresas que evoluíram de capacidade inovadora básica para avançada. Até 2006-2008, essas empresas eram capazes de realizar pequenas adaptações e melhorias nas tecnologias existentes. A partir de 2009-2011, acumularam capacidades tecnológicas para realizar atividades de P&D aplicado próximas da fronteira tecnológica internacional. De 2003 a 2008, essas empresas produtoras acumularam capacidades tecnológicas para realizar atividades como a implementação de controles não sistemáticos de processos de qualidade em acordo com recomendações ambientais, bem como de processos produtivos. A partir daí, realizaram melhorias nas características do produto e padronização como resultado da automatização; e pequenas melhorias em processos, equipamentos, sistemas e produtos etc. As empresas do Padrão 4 Industrial acumularam capacidades tecnológicas de modo a avançar nas técnicas de aplicação e desenvolvimento de resultados de projetos. Por exemplo, a empresa Beta investiu na criação de processos de produção de biogás, e realizou esforços conjuntos de engenharia, engenharia reversa e projetos com a TreeBio. A TreeBio é uma empresa brasileira especializada em equipamentos e sistemas para tratamento de água e efluentes industriais. Sistemas de biodigestão termofílica também constituem áreas de atuação dessa empresa.

O fato de as empresas produtoras da amostra desta pesquisa não terem, em processos industriais, acumulado capacidades tecnológicas para evoluir até capacidade inovadora de liderança mundial não significa que a indústria sucroenergética brasileira não tenha projetos e parcerias em P&D básico. No período de 2003-2014, as empresas produtoras realizaram parcerias voltadas a melhorar os processos de fermentação e de extração, já que a colheita mecanizada modificou as propriedades da cana-de-açúcar, impondo novas condições aos processos industriais. Algumas empresas se inseriram na rota do bioetanol celulósico (segunda geração), mas a crise financeira enfrentada pela indústria em 2008 dificultou a adoção dessas tecnologias. Ainda

assim, é relevante o fato de que todas as empresas do Padrão 4 Industrial realizaram esforços de inovação nesse sentido. Um exemplo é a pesquisa em biorrefinaria e biocombustíveis avançados em andamento, sobretudo, no âmbito das empresas Alfa e Delta.

3.2 O que explica as diferenças entre os padrões de acumulação de capacidades tecnológicas? O papel dos mecanismos de aprendizagem

Os mecanismos de aprendizagem referem-se aos esforços e investimentos feitos pelas empresas para adquirir e assimilar conhecimento tecnológico, acumulando capacidades tecnológicas tanto para atividades de produção quanto para atividades inovadoras. Nesse sentido, a seguinte pergunta se impõe: empresas que usam mais intensamente determinados mecanismos acumulam mais capacidades tecnológicas?

O Quadro 1 mostra os tipos de mecanismo de aprendizagem examinados nesta pesquisa. Os mecanismos intraorganizacionais representam a geração interna de conhecimento por parte da empresa, enquanto os mecanismos interorganizacionais representam os fluxos e ligações de saber tecnológico entre empresas e demais organizações. Tanto os mecanismos intra quanto os interorganizacionais podem gerar vários tipos de resultado.

Quadro 1. Mecanismos intra e interorganizacionais de aprendizagem

Mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais	Mecanismos de aprendizagem interorganizacionais		Resultados
	Mecanismos interorganizacionais	Parceiros	
1. Criação interna de conhecimento	1. Aprendizado com usuários líderes	1. Universidades e institutos de pesquisa locais	1. Informações técnicas sobre processos existentes
	2. Pesquisa e desenvolvimento (P&D)		2. Informações técnicas sobre produtos existentes
2. Compartilhamento interno de conhecimento	3. Contratação de profissionais	2. Universidades e institutos de pesquisa internacionais	3. Melhorias e adaptações em processos existentes
	4. Treinamento técnico com parceiros		4. Melhorias e adaptações em produtos existentes
3. Integração interna de conhecimento	5. Treinamento em programas educacionais formais	3. Fornecedores	5. Criação de novos processos
	6. Assistência técnica	4. Firms competidoras	6. Criação de novos produtos
4. Codificação de conhecimento	7. Aquisição de conhecimento codificado	5. Consultorias	7. Criação de novos conhecimentos científicos
		6. Clientes	8. Patentes

Fonte: Os autores (2016).

Para examinarmos o papel dos mecanismos de aprendizagem na ACT, elaboramos um índice de incidência de mecanismos de aprendizagem intra e interorganizacionais¹². Após a construção desse índice, testou-se estatisticamente e com evidências qualitativas a relação entre mecanismos e padrões de ACT.

Portanto, as diferenças entre as empresas produtoras da indústria sucroenergética no Brasil em termos de padrões de acumulação de capacidades tecnológicas podem ser explicadas pelas diferentes fontes de mecanismos de aprendizagem intra e interorganizacionais que foram por utilizadas pelas empresas da amostra desta pesquisa.

Foram encontradas, entre as empresas da amostra, incidências distintas de tipos de mecanismo de aprendizagem, tipos de parceria envolvidos nesses mecanismos e tipos de resultado gerados. A partir de 2009-2011, a frequência média de uso de todos os mecanismos intraorganizacionais aumentou em pelo menos 8% (Figura 6). Já os mecanismos intraorganizacionais foram usados de forma errática, não sendo possível afirmar que houve crescimento ou redução da frequência média de uso ao longo do tempo (Figura 7). Por exemplo, “aprendizado com usuários líderes”, “diferentes formas de ensino formal” e “assistência técnica” apresentaram valores diferentes em cada triênio; e foram relativamente menores as frequências de uso de “pesquisa e desenvolvimento”, “treinamento” e “aquisição de conhecimento codificado”. Em todos os períodos, o mecanismo mais frequente em média foi a “aquisição de conhecimento codificado”. Ainda assim, “consultorias” foram os parceiros mais frequentes das empresas produtoras da amostra da pesquisa em todos os triênios considerados, seguidas por “fornecedores”, cuja frequência média de 19%, em 2003-2005, aumentou para 21% em 2006-2011.

Em geral, as empresas produtoras da indústria sucroenergética recorreram aos mecanismos intraorganizacionais com frequência média maior, na comparação com os mecanismos interorganizacionais, no período de 2003 a 2014.

Crescimento de longo prazo dessa indústria dependerá também da diversificação de produtos, para além do etanol. Mas isso depende da acumulação de capacidades tecnológicas diferentes das existentes, que, por sua vez, envolverá novos investimentos em aprendizagem tecnológica.

¹² A incidência pela qual o i -ésimo mecanismo de aprendizagem é utilizado por uma empresa é definido por: $y_{it} = \frac{\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K Y_{ijkt}}{JK}$. Onde i indica o tipo de mecanismos intra ou interorganizacional; j indica resultado; k indica parceiro; t denota período; e Y é uma função indicadora, que assume valor unitário se a empresa usou o mecanismo i , em parceria com agente do tipo k , para atingir o objetivo j no período t , e zero caso contrário. Ademais, J e K denotam o total de resultados e de parceiros possíveis, respectivamente. Para mecanismos intraorganizacionais o valor de k é zero e de K igual a 1.

Figura 6. Evolução da incidência dos parceiros de aprendizagem intraorganizacionais, valores médios em % (2003-2014)

Fonte: Os autores (2016).

Figura 7. Evolução da incidência dos mecanismos de aprendizagem interorganizacionais, valores médios em % (2003-2014)

Fonte: Os autores (2016).

Figura 8. Evolução da incidência dos parceiros de aprendizagem interorganizacionais, valores médios em % (2003-2014)

Fonte: Os autores (2016).

Área *feedstock*: o papel dos mecanismos de aprendizagem na ACT

Na área de *feedstock*, foi possível distinguir distintos níveis de ACT pelas diferenças entre as empresas produtoras quanto à frequência média de uso de todos os mecanismos intraorganizacionais. De fato, em comparação às empresas que acumularam capacidades inovadoras em *feedstock* (Padrão 2, Padrão 3 e Padrão 5), as empresas do Padrão 1 (capacidade de produção) recorreram aos mecanismos internos de aprendizagem com menor frequência média, tendo sido o mais frequente a “integração interna de conhecimento” (Figura 9). De forma similar, as empresas do Padrão 5 *Feedstock* (Permanência em capacidade inovadora avançada) geraram resultados de maior complexidade tecnológica – tais como “criação de novos processos produtivos”, “patentes” e “criação de novos conhecimentos científicos” – com frequência média maior comparado às empresas dos demais padrões (Figura 10).

Figura 9. Diferenças entre os padrões de ACT na área *feedstock* na frequência média de uso de mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias dos mecanismos intraorganizacionais. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Figura 10. Diferenças entre os padrões de ACT na área *feedstock* na frequência média de resultados de mecanismos intraorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias dos resultados de mecanismos intraorganizacionais. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

À exceção de “aprendizado com usuários líderes” e “pesquisa e desenvolvimento”, foi possível distinguir padrões de ACT pelas diferenças entre as empresas produtoras quanto à frequência média de uso de todos os mecanismos interorganizacionais. Por exemplo, as empresas que acumularam capacidades de produção – Padrão 1 *Feedstock* – praticamente não usaram mecanismos interorganizacionais de aprendizagem (Figura 11). Os mecanismos interorganizacionais mais usados pelas empresas, e com maiores diferenças em termos de frequência de uso, foram “aquisição de conhecimento codificado” e “treinamento técnico com parceiros”. A empresa do Padrão 5 *Feedstock* realizou com frequência média maior, comparativamente aos demais padrões, parcerias com “universidades e institutos de pesquisa locais” e “universidades e institutos de pesquisa internacionais”. As empresas que realizaram parcerias com universidades locais e internacionais com frequência média comparativamente maior, bem como apresentaram uma frequência média maior de uso de mecanismos como “aquisição de conhecimento codificado” e “pesquisa e desenvolvimento” geraram resultados de maior complexidade tecnológica e com frequência média comparativamente maior (Padrão 5 *Feedstock*, Padrão 3 *Feedstock*).

Figura 11. Diferenças entre os padrões de ACT na área *feedstock* na frequência média de mecanismos interorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias dos mecanismos interorganizacionais. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Figura 12. Diferenças entre os padrões de ACT na área *feedstock* na frequência média de parceiros em mecanismos interorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias dos tipos de parceiro. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Empresas que acumularam capacidade inovadora avançada geraram, com mais frequência, novos conhecimentos e produtos com universidades e institutos de pesquisa.

Figura 13. Diferenças entre os padrões de ACT na área *feedstock* na frequência média de resultados de mecanismos interorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias dos resultados de mecanismos interorganizacionais. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Área processos agrícolas: o papel dos mecanismos de aprendizagem na ACT

Na área processos agrícolas, foi possível distinguir níveis de ACT pelas diferenças entre as empresas produtoras quanto à frequência média de uso de todos os mecanismos intraorganizacionais. A Figura 14 sugere que nas empresas do Padrão 2 Agrícola, a frequência média de uso de todos os mecanismos internos foi a menor. Mecanismos como “criação interna de conhecimento” e “compartilhamento interno de conhecimento” apresentaram frequência média de uso maior pela empresa do Padrão 5 Agrícola. São mecanismos cuja incidência de uso está associada a uma organização mais complexa da empresa em termos de departamentos de engenharia e de P&D. É possível identificar por meio da Figura 15 que as empresas que, em processos agrícolas, acumularam mais capacidades tecnológicas (Padrão 5 Agrícola, Padrão 4 Agrícola), geraram, a partir dos mecanismos internos de aprendizagem, resultados como “criação de novos conhecimentos científicos” e “patentes”.

Figura 14. Diferenças entre os padrões de ACT na área processos agrícolas na frequência média de uso de mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias dos mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Figura 15. Diferenças entre os padrões de ACT na área processos agrícolas na frequência média de resultados de mecanismos intraorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias dos resultados de mecanismos intraorganizacionais. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Em relação aos mecanismos interorganizacionais em processos agrícolas, apenas em “assistência técnica” e “treinamento em programas educacionais formais” não foi possível distinguir ACT pelas diferenças entre as empresas produtoras quanto à frequência média de uso dos mecanismos. “Aquisição de conhecimento codificado” foi o mecanismo mais utilizado por empresas do Padrão 5 Agrícola e Padrão 3 Agrícola, isto é, aquelas que mais investiram no desenvolvimento de novas máquinas e implementos agrícolas. Já “treinamento técnico com parceiros” foi se tor-

nando mais usado pelas empresas de quaisquer Padrões Agrícolas de 2009-2011 até 2012-2014 (Figura 16).

A aprendizagem externa foi maciçamente realizada com “consultorias” e “fornecedores” entre as empresas dos Padrões que vão de capacidade inovadora básica até intermediária (Padrão 2 Agrícola, Padrão 3 Agrícola) ou das empresas que evoluíram de capacidade inovadora básica para capacidade inovadora avançada (Padrão 4 Agrícola). Em termos de frequência média de uso, a Figura 18 sugere que as empresas do Padrão 2 Agrícola, do Padrão 3 Agrícola e do Padrão 4 Agrícola se diferenciaram na acumulação de capacidades tecnológicas basicamente em relação à frequência média de resultados gerados. As empresas do Padrão 3 Agrícola se destacaram por terem gerado, em média, uma variedade maior de resultados, utilizando “aquisição de conhecimento codificado”.

Figura 16. Diferenças entre os padrões de ACT na área processos agrícolas na frequência média de mecanismos interorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias dos mecanismos interorganizacionais. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Figura 17. Diferenças entre os padrões de ACT na área processos agrícolas na frequência média de parceiros em mecanismos interorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias dos tipos de parceiro. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Figura 18. Diferenças entre os padrões de ACT na área processos agrícolas na frequência média de resultados de mecanismos interorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias dos resultados de mecanismos interorganizacionais. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Área processos industriais: o papel dos mecanismos de aprendizagem na ACT

Na área industrial, foi possível distinguir níveis de ACT pelas diferenças entre as empresas produtoras quanto à frequência média de uso de todos os mecanismos intraorganizacionais. Por outro lado, “integração interna de conhecimento”, “criação interna de conhecimento” e “compartilhamento interno de conhecimento” foram utilizados com frequência maior pelas empresas que mais evoluíram na ACT, como as empresas do Padrão 4 Industrial (Figura 19). E mecanismos como “integração interna do conhecimento” e “codificação de conhecimento” apresentaram frequência média de uso maior para as empresas do Padrão 1 Industrial. Resultados como informações técnicas sobre produtos e processos existentes e melhorias e adaptações em processos existentes foram gerados nas empresas dos diferentes padrões de acumulação de capacidades tecnológicas (Figura 20).

Figura 19. Diferenças entre os padrões de ACT na área processos industriais na frequência média de uso de mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias dos mecanismos intraorganizacionais. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Figura 20. Diferenças entre os padrões de ACT na área processos industriais na frequência média de resultados de mecanismos intraorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias dos resultados de mecanismos intraorganizacionais. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Na área industrial, foi possível distinguir níveis de ACT pelas diferenças entre as empresas produtoras quanto à frequência média de uso de todos os mecanismos interorganizacionais. Em termos de frequência média de uso, “aquisição de conhecimento codificado” foi maior para a empresa do Padrão 5 Agrícola, assim como “pesquisa e desenvolvimento”. Mecanismos como “treinamento técnico com parceiros”, “treinamento em programas educacionais formais” e “contratação de profissionais”, que representam aprendizado para solucionar ou melhorar questões

mais pontuais dos processos industriais (e.g. amostrador do caldo), apresentaram frequência de uso maior pelas empresas do Padrão 1 Industrial. As empresas que se mantiveram em capacidade inovadora básica (Padrão 1 Industrial) recorreram a uma gama menor de parceiros, do tipo “consultorias” e “fornecedores” (Figura 22). As empresas que se mantiveram em capacidade inovadora básica (Padrão 1 Industrial) geraram, no âmbito dos mecanismos usados e respectivos parceiros, apenas resultados de melhorias e de informações técnicas (Figura 23).

Figura 21. Diferenças entre os padrões de ACT na área processos industriais na frequência média de mecanismos interorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias dos mecanismos interorganizacionais. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Figura 22. Diferenças entre os padrões de ACT na área processos industriais na frequência média de parceiros em mecanismos interorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias dos tipos de parceiro. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Figura 23. Diferenças entre os padrões de ACT na área processos industriais na frequência média de resultados de mecanismos interorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias dos resultados de mecanismos interorganizacionais. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Nota-se que as empresas que mais avançaram na ACT foram aquelas que mais parcerias de aprendizagem realizaram (Padrão 5 *Feedstock*, Padrão 4 Agrícola e Padrão 5 Agrícola, Padrão 3 Industrial e Padrão 4 Industrial), incluindo entre os parceiros “firmas competidoras” e “clientes”. Isso mostra que a criação, o aprofundamento e a renovação de capacidades tecnológicas inovadoras dependem cada vez mais de estratégias de aprendizagem em uma perspectiva colaborativa e sistêmica.

Aliás, a frequência média de incidência do mecanismo “aquisição de conhecimento codificado” foi maior entre as empresas em níveis de capacidade inovadora intermediária e avançada em todas as áreas tecnológicas. Da mesma forma que “pesquisa e desenvolvimento” teve incidência em empresas de capacidade inovadora básica (Padrão 2 Agrícola, Padrão 1 Industrial), as empresas em níveis de capacidade inovadora avançada (Padrão 4 Agrícola e Padrão 5 Agrícola, bem como Padrão 4 Industrial) realizaram P&D com uma gama maior de parceiros. O fato de a incidência de mecanismos internos ser relativamente parecida entre as empresas dos diferentes padrões de ACT de todas as áreas tecnológicas pode indicar que a aprendizagem por fontes externas depende sempre da iniciativa isolada das empresas. É necessário, portanto, incentivar parcerias de aprendizagem em nível global no setor.

Os resultados mostraram que a dinâmica financeira do setor no período estudado – variações dos preços do açúcar e da bioenergia e a dificuldade de inserção externa do bioetanol brasileiro, além do endividamento das empresas – influenciou muito a ACT das empresas produtoras. Por exemplo, as empresas do Padrão 4 Industrial, que buscaram internalizar a rota tecnológica do bioetanol celulósico, tiveram incidência de mecanismos interorganizacionais de aprendiza-

gem com elevada frequência média, utilizando uma gama variada de parceiros. Ainda assim, não evoluíram até a capacidade inovadora de liderança mundial. Da mesma forma, a influência desses esforços em termos de desempenho competitivo não foi destaque em comparação com as demais empresas.

3.3 Qual é o impacto da acumulação de capacidades tecnológicas sobre o desempenho competitivo?

A análise do impacto da acumulação de capacidades tecnológicas sobre o desempenho competitivo nesta pesquisa também foi realizada por meio de testes estatísticos para as áreas agrícola e industrial. Duas variáveis de desempenho competitivo foram analisadas: produtividade do trabalho (receita bruta de vendas dividida pelo número de funcionários) e inserção internacional (proporção das receitas obtidas com exportação). Deve-se chamar atenção que, nesse caso, a divisão por áreas apenas diferencia conjuntos distintos de empresas. Não há como distinguir nos testes relações específicas de produtividade ou exportação por área tecnológica, já que esses dados se referem à empresa, e não à área, como unidade de análise.

A Figura 24 sugere que, entre 2003 e 2014, houve aumento da produtividade das empresas da amostra da pesquisa. Entre 2006-2008 e 2009-2011, a produtividade praticamente dobrou, mantendo-se em expansão no último triênio. A partir do triênio 2006-2008, a indústria sucroenergética passou por transformações como mecanização da colheita, introdução de nova rota tecnológica para o bioetanol e comercialização da bioeletricidade e demais produtos resíduos, bem como mudança da relação de preços de açúcar e bioetanol. Por outro lado, a Figura 25 sugere que as empresas da amostra passaram a obter menor proporção das receitas com exportação a partir de 2009. O mercado externo, aliás, não parece constituir a principal fonte de receitas das empresas da amostra.

Figura 24. Indústria sucroenergética do Brasil: evolução da produtividade (Receita em mil R\$ por trabalhador) das empresas da amostra de 2003 a 2014

Fonte: Os autores (2016).

Figura 25. Indústria sucroenergética do Brasil: evolução proporção da receita obtida com exportações (em %) das empresas da amostra de 2003 a 2014

Fonte: Os autores (2016).

No entanto, a relação entre o desempenho das empresas da amostra, visualizado nas Figuras 24 e 25, e sua acumulação de capacidades tecnológicas não é tão direta. Por exemplo, na área de *feedstock*, os testes estatísticos mostraram que acumular mais ou menos capacidades tecnológicas não teve relação alguma no desempenho competitivo das empresas. Porém, em processos agrícolas, essa relação se observa. A Figura 26 sugere que as empresas que evoluíram até alguma capacidade inovadora – como Padrão 2 Agrícola, Padrão 3 Agrícola e Padrão 4 Agrícola – apresentaram produtividade do trabalho consideravelmente maior do que aquelas que permaneceram em capacidade de produção – como Padrão 1 Agrícola.

É interessante frisar que, no período de tempo adotado nesta pesquisa, as empresas experimentaram um processo de enxugamento substancial da mão de obra empregada na produção da cana-de-açúcar, graças à mecanização da colheita. A mecanização foi acompanhada também da implementação de técnicas mais avançadas de pulverização e cultivo da cana-de-açúcar. A colheita por hectare foi reduzida e as empresas foram obrigadas a buscar melhorias que lhes permitissem manter os níveis de produtividade.

Figura 26. Diferenças entre os padrões de ACT na área processos agrícolas na frequência média da produtividade por trabalhador, valores médios (2003-2014)

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias das variáveis de desempenho. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Se a Figura 25 retrata decréscimo das receitas obtidas com exportações, a Figura 27 mostra um cenário no qual as empresas produtoras que acumularam mais capacidades tecnológicas obtiveram maior receita com as exportações. Como os resultados da Figura 27 não consideram as exportações de açúcar, isto é, estão restritos basicamente ao bioetanol, cabe entender que as dificuldades enfrentadas na exportação de bioetanol foram enfrentadas de forma melhor por empresas que acumularam capacidades tecnológicas para realizar atividades de processos agrícolas automatizados; de desenvolvimento dos *softwares* para automatizar cultivo e colheita; e de desenvolvimento de sistemas de irrigação para o cerrado brasileiro e de novos mecanismos de controle biológico de pragas.

Desempenho competitivo das empresas da indústria sucroenergética está bastante atrelado à área de processos agrícolas.

Figura 27. Diferenças entre os padrões de ACT na área processos agrícolas na frequência média das receitas obtidas com exportação, valores médios (2003-2014)

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias das variáveis de desempenho. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Em processos industriais, a Figura 28 sugere que as empresas produtoras que realizaram mais esforços de aprendizagem para buscar novos processos fermentativos ou de diversificação produtiva e aproveitamento dos resíduos (entre outros) – caso das empresas do Padrão 3 Industrial e do Padrão 4 Industrial – conseguiram produtividade do trabalho maior do que as que buscaram melhorar aspectos mais específicos. Nesse segundo caso, aprimoramentos geralmente relacionados à extração do caldo da cana-de-açúcar, que se tornou uma matéria-prima picada e não mais queimada, impondo a necessidade de as empresas produtoras buscarem melhorias.

Figura 28. Diferenças entre os padrões de ACT na área processos industriais na frequência média da produtividade por trabalhador, valores médios (2003-2014)

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias das variáveis de desempenho. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Verificou-se ainda que os níveis de acumulação de capacidades tecnológicas na área de processos agrícolas estão mais relacionados com ganhos de produtividade do trabalho e do capital para as empresas produtoras. Para as empresas produtoras da amostra desta pesquisa, entre 2003 e 2014, mais investimentos na estrutura organizacional e de gestão, bem como em sistemas técnico-físicos – máquinas e implementos –, foram essenciais, como indicaram os representantes de algumas empresas. Também se verificou que acumular capacidades tecnológicas em processos agrícolas exerce efeito positivo sobre a produtividade do trabalho, sobretudo entre as empresas exportadoras. A área de processos agrícolas ainda exerce uma influência considerável na área de processos industriais, como indicaram os resultados do índice médio de capacidade – em outras palavras, o nível da interação entre processos agrícolas e industriais sempre existiu e persiste nessa indústria.

Pode-se considerar que a produtividade esteve mais associada a fatores externos (políticas públicas e conjunturais). Adicionalmente, as empresas que acumularam mais capacidades tecnológicas em processos agrícolas ampliaram sua inserção externa. Da mesma forma, assumir algum posicionamento em termos de capacidade inovadora fez muita diferença em produtividade do trabalho, processos agrícolas e processos industriais.

4 Reflexões e Recomendações para Políticas Públicas e Estratégias Empresariais

Verifica-se que algumas ações de políticas públicas e também empresariais não geram efeitos desejados por incorporarem conceitos estreitos ou limitados relativos à tecnologia e inovação. Cabe ainda uma reflexão sobre aspectos como financiamento das políticas públicas, diversificação produtiva, capital humano e inserção externa de indústrias baseadas em recursos naturais. Sendo assim, torna-se necessário levar em consideração os seguintes pontos.

Esclarecimentos sobre a perspectiva ampla de tecnologia e inovação

- A tecnologia não é somente maquinaria ou equipamentos, muito menos apenas instalações físicas e laboratórios. Embora essa associação seja comum, sabe-se que em muitos casos a mera aquisição de equipamentos mais modernos não implica necessariamente avanços. Equipamentos tecnologicamente avançados exigem conhecimentos de capital humano qualificado e especializado para serem operados. Exigem também um sistema organizacional capaz de integrar as diversas especialidades profissionais e as instalações físicas num uso eficiente da tecnologia e sua posterior adaptação e aprimoramento.
- Assim como a tecnologia, a inovação também deve ser compreendida de maneira abrangente, ou seja, muito além do tradicional *high-end* à base de P&D. Inovação também envolve um contínuo de atividades que varia desde a imitação duplicativa, em vários níveis de modificações com base de engenharia (como é típico das indústrias alemãs de máquinas, líderes globais em diversos segmentos), até os mais avançados níveis de P&D. A visão limitada de inovação, incorporada em diferentes estratégias empresariais e de políticas governamentais, ignora o papel das atividades inovadoras básicas, que são, em muitos casos, precondições para o engajamento em atividades inovadoras mais sofisticadas.
- Essa perspectiva abrangente é de fundamental importância para compreendermos a dinâmica do processo de inovação, particularmente no contexto de economias em desenvolvimento, como a do Brasil. Nesse caso, a maioria das empresas ainda se encontra no processo de evoluir de níveis de capacidade de produção para níveis progressivos de capacidades tecnológicas inovadoras, especialmente de níveis básicos para níveis superiores.

Financiamento público para inovação

- Políticas públicas de financiamento à produção são diferentes de políticas públicas de financiamento à inovação. A oferta de linhas de créditos para o investimento produtivo, principalmente do BNDES, não se constitui hoje um problema para a indústria sucroenergética no Brasil. O que se verifica é a dificuldade de captação de recursos destinados exclusivamente à inovação. Por um lado, faltam às linhas de créditos para inovação dis-

poníveis processos mais ágeis e menos burocráticos. Devido às exigências financeiras, esses recursos estão disponíveis apenas para empresas de grande porte e exigem detalhes técnicos que muitas vezes inibem a sua procura. Por outro lado, falta às empresas conhecimento e organização na captação de recursos financeiros para inovação. Nesse aspecto, parece essencial uma maior simplificação e divulgação do acesso ao financiamento público existente destinado à inovação.

- O período estudado nesta pesquisa coincide com a implementação de algumas políticas industriais no Brasil nos últimos anos, com o objetivo de fortalecer e expandir a base industrial brasileira por meio da melhoria da capacidade inovadora das empresas, focando no estímulo à inovação e à produção nacional para alavancar a competitividade¹³. Entre essas políticas, destacam-se a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE, 2004-2008), Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP, 2008-2010) e o Plano Brasil Maior (PBM, 2011-2014).
- O PAISS, por exemplo, é parte da estratégia Inova Brasil do PBM, que buscou instaurar um novo modelo de fomento à inovação com articulação de diferentes programas de instituições públicas e coordenando uso de instrumentos como crédito, subvenção, renda e empréstimos não reembolsáveis. Buscou também a redução de prazos e a simplificação administrativa, aumentando a eficiência na alocação de recursos. BNDES e Finep se envolveram na provisão de recursos desse programa, sendo que 48 empresas submeteram 61 planos de negócios para pleitear recursos via PAISS. Um total de 29 empresas (35 planos de negócios) foram contempladas, resultando em R\$ 1,9 bilhão de recursos disponibilizados para projetos inovadores em bioetanol celulósico e biorrefinarias.
- Constatou-se via PAISS a existência de maturidade tecnológica, nas fases agrícola e industrial, do etanol de primeira geração. Os planos de negócios contemplariam as fases de P&D básica e aplicada, além das fases de escalonamento-piloto e demonstração, tendo em sua etapa final a previsão de industrialização e/ou comercialização da tecnologia. As empresas passaram a liderar as iniciativas. As três linhas contempladas foram: (i) etanol celulósico, (ii) novos produtos e (iii) tecnologias de gaseificação.
- No âmbito do PITCE, algumas de suas medidas horizontais, como a Lei do Bem e a Lei da Informática, foram utilizadas por empresas produtoras da indústria sucroenergética. Mas o aspecto do PITCE mais direcionado à indústria sucroenergética diz respeito ao fato de biomassa/energias renováveis serem colocadas como atividades portadoras de futuro. Assim, via Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico da Agropecuária e Energia, foram financiados três projetos de empresas fornecedoras voltados à inovação na tecnologia de aproveitamento da biomassa (reator anaeróbico para transformação do vinhoto e geração de biogás e energia; radar imageador para levantamento topográfico de estimativas de biomassa; e geração de querosene para aviação a partir de biocombustíveis de biomassa e etanol).

¹³ Ver ABDI (2016).

- O país deve olhar a questão energética como um todo e inserir capítulos e tópicos de cada item, sendo os biocombustíveis um deles. Deve ter uma agenda de energia. Vários ministérios e órgãos estão associados à questão energética e não se comunicam entre si: Fazenda, Indústria e Comércio, Minas e Energia, Ciência, Tecnologia e Inovação, Agricultura. Em termos de órgãos, Finep e CTBE, que estão dentro do MCTI, são os mais importantes. Cada uma dessas instituições recebe recursos, mas elas não pensam conjuntamente.
- O PAISS, a despeito dos contratempos com o bioetanol celulósico e as refinarias, mostrou-se uma decisão de política pública que gerou renovação tecnológica de fronteira mundial entre as maiores empresas da indústria sucroenergética. Sua formulação partiu, vale ressaltar, da aproximação do BNDES e da Finep das empresas produtoras. Técnicos do BNDES elaboraram um diagnóstico a respeito do setor para em seguida propor linhas de financiamento e objetivos.

Perspectivas sobre capacidades tecnológicas de produção e inovadoras

- A capacidade tecnológica é um conjunto ou estoque de recursos à base de conhecimento que permite às empresas realizarem tanto as atividades de produção ou operacionais quanto as de inovação. Enquanto as capacidades de produção estão relacionadas a atividades de uso/operação de tecnologias e de sistemas de produção existentes, a capacidade inovadora permite realizar modificações em tecnologias existentes ou mesmo gerar novas tecnologias.
- A distinção entre os dois tipos de capacidades tecnológicas é essencial para melhor entender o desempenho competitivo de uma empresa e indústria. É possível produzir milhões de toneladas de determinado produto com alta eficiência sem, no entanto, ter capacidade para realizar mudanças no seu processo produtivo. Nesse caso, uma empresa pode ter capacidade tecnológica de produção avançada sem ter nenhuma capacidade tecnológica de inovação.
- Maior capacidade tecnológica de produção pode permitir ganhos no desempenho técnico de uma empresa, enquanto maior capacidade tecnológica inovadora pode permitir a criação de tecnologias que são mais difíceis de serem copiadas ou mesmo criar oportunidades para entrada em novos segmentos de mercado. Assim, ambos os tipos de capacidades tecnológicas devem ser nutridos na empresa, embora requeiram estratégias diferenciadas.
- Por exemplo, as empresas cujo padrão de ACT é de permanência em capacidade produtora (Padrão 1 *Feedstock* e Padrão 1 *Agrícola*) precisarão ampliar a incidência de mecanismos de aprendizagem para virem a realizar modificações e melhorias em processos e produtos. Este esforço poderá desencadear uma tendência de ACT que induza essas empresas a evoluir para capacidades inovadoras. Por outro lado, empresas que

atingiram nível de capacidade inovadora avançada (como as empresas do Padrão 4 *Feedstock*, Padrão 5 *Feedstock*, Padrão 5 Agrícola e Padrão 4 Industrial) devem ampliar a frequência de incidência de mecanismos de aprendizagem para acumular capacidades tecnológicas em direção à liderança mundial.

Empresas na mesma indústria e áreas tecnológicas de uma mesma empresa são diferentes

- As empresas da indústria sucroenergética no Brasil ocuparam diferentes níveis de capacidade inovadora nas três áreas tecnológicas importantes (*feedstock*, processos agrícolas e processos industriais), bem como diferentes níveis de capacidade de produção. Isso sugere que recomendações de estratégias empresariais e de políticas públicas comuns para toda a indústria sucroenergética podem esconder a complexidade e a perspectiva ampla de inovação e dos diferentes estágios de acumulação de capacidades tecnológicas. Da mesma forma, gestores de empresas produtoras devem observar estratégias distintas de ACT para as áreas *feedstock*, processos agrícolas e processos industriais.
- A área *feedstock* parece estar em descompasso na ACT em relação às demais áreas tecnológicas (processos agrícolas e processos industriais). Por outro lado, evoluir na ACT em processos agrícolas tem influenciado a ACT em processos industriais. As estratégias empresariais, principalmente, podem ser construídas observando os elos da cadeia produtiva. Por exemplo, em processos industriais, o fato de a cana-de-açúcar, a partir da mecanização da colheita, passar a ser desfibrada fez aumentar o desgaste do rolo da moenda a cada safra. Há, nesse sentido, um desafio metalmecânico cuja solução envolveria diferentes elos da cadeia produtiva, bem como levaria a maior rendimento da produção de bioetanol e também de açúcar. Não se trata, portanto, de buscar solucionar apenas os problemas específicos de uma dada área, isto é, buscar somente sofisticar máquinas colhedoras de cana-de-açúcar.

Diversificação industrial

- A diversificação produtiva ao longo da cadeia em atividades intensivas em conhecimento representa uma das oportunidades a serem oferecidas pela indústria de recursos naturais. Ela deve ser conduzida de modo a identificar tecnologias emergentes (e.g. biotecnologia, nanotecnologia, *big data*) que possam adicionar valor à base de recursos naturais já existente. Isto é, a diversificação ocorreria para indústrias beneficiadoras e distribuição (*forward linkages*); e para produção de insumos, bens de capital e serviços gerenciais (*backward linkages*). A oferta de insumos originalmente para setores de recursos naturais também pode levar a aplicações diferenciadas desses insumos (*horizontal/lateral linkages*).

- Na indústria sucroenergética, algumas empresas passaram por tais encadeamentos de diversificação. Destas, algumas poucas passaram a exercer elas mesmas as atividades de distribuição e comercialização (o que foi determinante para que não passassem pelas consequências da crise que afligiu o setor). Nas áreas de processos agrícolas e processos industriais, empresas produtoras estabeleceram parcerias para o desenvolvimento de novas máquinas e equipamentos, mas isso não representou sua entrada nessa nova linha de negócios. Apenas uma empresa relatou uma parceria com universidade para aprimorar o tratamento de dados do cultivo da cana-de-açúcar, gerados na automação agrícola. Ainda em termos de *backward linkages*, houve avanço no aproveitamento de resíduos. E, por fim, algumas poucas empresas buscaram, em parcerias com universidades, a aplicação de novas tecnologias, como a nanotecnologia, para melhorar a eficiência da fermentação (processos industriais), bem como a biotecnologia para o desenvolvimento de novas variedades.
- De modo geral, algumas empresas diversificaram para ração animal, bioplásticos e combustível de aviação e bioetanol celulósico, e se aproximaram de novas tecnologias (e.g. biotecnologia, nanotecnologia). No entanto, houve o reconhecimento entre as empresas produtoras de que os avanços em biorrefinaria deverão ser retardados em função das dificuldades financeiras enfrentadas pelo setor.
- A entrada em novas linhas de negócios, como bioenergia, continuou consolidada na carteira de produtos das empresas da indústria sucroenergética. Contudo, com os desafios do aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar para cogeração energética e para produzir o bioetanol, esses produtos podem se tornar concorrentes a depender da tendência altista ou baixista dos seus respectivos preços.

Inserção competitiva internacional

- Depende cada vez mais das negociações com os EUA para exportação do bioetanol combustível, que vêm avançando. O crescimento da demanda de bioetanol (anidro e hidratado) é dependente das medidas da política de regulação de preços. Depende também de tornar o bioetanol reconhecido internacionalmente como o verdadeiro combustível ambientalmente correto. Além disso, um maior número de países produzindo bioetanol poderia ser um fator decisivo não somente para alavancar exportações (tornando-o uma *commodity*), como também para estimular toda a cadeia produtiva brasileira da indústria sucroenergética.

Natureza colaborativa e sistêmica de aprendizagem tecnológica

- A nossa pesquisa corrobora a ideia de que se foi o tempo em que as empresas eram autossuficientes em capacidades tecnológicas e realizavam atividades inovadoras de

forma individual. A pesquisa constatou que grande parte das capacidades tecnológicas inovadoras são acumuladas por meio de parcerias com universidades, institutos de pesquisa locais, consultores e agentes ao longo da cadeia produtiva (fornecedores e clientes). Empresas que acumularam níveis mais avançados de capacidades tecnológicas têm sido mais proativas no estabelecimento de vários arranjos colaborativos com esses tipos de parceiro para a realização de atividades inovadoras. A distribuição das capacidades tecnológicas para além dos muros das empresas, assim como o envolvimento de parceiros externos no processo de inovação, são irreversíveis e confirmam a fragmentação das atividades inovadoras.

- Essa tendência impõe novos desafios aos gestores, que precisam diariamente criar mecanismos de interface com parceiros diversos, assim como aprimorar práticas de coordenação e integração de conhecimentos externos, vindos de parceiros distintos, para dar eficácia ao processo de inovação.
- De modo geral, o setor sucroenergético se diferencia das demais agroindústrias pela existência de cooperação entre os centros e as diversas unidades produtoras não só via financiamento, mas também com efetivas parceiras no desenvolvimento tecnológico (por exemplo, para adaptação de uma variedade à diferentes condições edafoclimáticas).
- O setor conta com instituições de pesquisa (CTC, Ridesa, IAC, CTBE) e universidades (UFSCar, Unicamp etc.) que construíram uma rede de aprendizado para todas as áreas tecnológicas, iniciando por *feedstock*. Em processos agrícolas e processos industriais, “fornecedores” comumente desempenham papel preponderante nos esforços inovadores das empresas produtoras. Embora essa natureza colaborativa da inovação esteja mais enfraquecida – comparativamente a décadas anteriores –, ela tem funcionado especialmente para as empresas maiores (Padrão 4 Agrícola e Padrão 4 Industrial, por exemplo). Muitos empresários manifestaram a necessidade de renovar esse arranjo, destacando aí o envolvimento de representantes de classe (UNICA, por exemplo).
- No entanto, as evidências qualitativas dessa pesquisa indicaram que esse modelo em *feedstock* vem dando sinais de esgotamento, sobretudo para as empresas que não são sócias de instituições como CTC. E, no geral, as variedades têm respondido cada vez menos às necessidades das empresas. Em processos agrícolas e processos industriais, não há um modelo desse tipo, e os fornecedores são os agentes que mais se envolvem em atividades inovadoras. Programas como o PAISS incentivaram a formação de redes de aprendizado com universidades para gerar resultados de maior complexidade tecnológica também em processos industriais.
- O CTC deve pensar em uma política gerencial de longo prazo. Uma variedade nova, por exemplo, é desenvolvida em um ambiente diferente daquele em que será usada e as soluções passam pelo uso de indicadores de *performance*, marcadores no DNA. Nem todas as variedades liberadas são utilizadas, de modo que mensurar as melhorias deve-

ria ocorrer por meio da relação entre o número de variedades melhoradas e o número destas que emplacaram.

Formação diferenciada de capital humano

- Ações para aumentar e melhorar a oferta de recursos humanos, criando massa crítica altamente qualificada, são necessárias para atingir objetivos de inovação na indústria sucroenergética. É importante que o ensino superior público e privado e o sistema de treinamento dentro das empresas forneçam conhecimentos e habilidades apropriados para o alinhamento com novas capacidades inovadoras necessárias para a diversificação industrial.
- É relevante fazer a distinção entre capital humano relacionado a uma tecnologia existente, cujo *mindset* vem sendo preparado desde os bancos das universidades e aprofundado pelas empresas, e capital humano para se engajar em atividades tecnológicas novas para a indústria e para o país, ou seja, para a diversificação industrial (por exemplo, biorrefinarias e bioquímicos). Por isso, é preciso que as empresas, em sintonia com as universidades, se engajem na preparação desses diferentes tipos de capital humano.
- Na indústria sucroenergética, os esforços de aprendizagem intra e interorganizacionais das empresas estão relacionados com as suas capacidades tecnológicas, ainda que de maneiras distintas para cada área. Grande parte desse aprendizado depende da competência e do preparo dos funcionários dessas organizações. Nesse sentido, deve-se pensar na necessidade de as universidades e de as empresas prepararem e treinarem o capital humano para lidar com as futuras rotas tecnológicas da indústria sucroenergética. A área de processos industriais, por exemplo, costuma concentrar funcionários mais bem formados, bem como exigir deles maiores competências.

Políticas públicas devem evitar o protecionismo exacerbado

- A busca por uma política pública de inovação que abranja a coordenação do Estado e das empresas, em uma perspectiva colaborativa e sistêmica, não significa, no entanto, um controle protecionista exacerbado. Uma política de inovação deve possuir coordenação estratégica do Estado ao mesmo tempo em que forneça um ambiente de pressão competitiva. Um ambiente econômico competitivo sistêmico é importante para o desenvolvimento de capacidades inovadoras, pois somente ele estimula o esforço contínuo por parte das empresas para inovar. Restrições às importações dificultam o próprio processo de aprendizagem e acumulação de capacidades tecnológicas dentro das empresas.

- Em termos de política pública, parece ser necessário contemplar diferentes frentes, como formação de recursos humanos; incentivo à inovação (em seu sentido amplo); definição de parâmetros para preços do bioetanol combustível e da energia (dado o aproveitamento da biomassa) e para a tributação da gasolina, isto é, a Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico (CIDE). Mais recentemente, as sinalizações de aumento da CIDE¹⁴ e da proporção de bioetanol anidro adicionado à gasolina¹⁵ trouxeram novo ânimo ao setor, com aumento também do consumo doméstico de bioetanol combustível. O crescimento da demanda de bioetanol (anidro e hidratado) é dependente das medidas da política de regulação dos preços.

Políticas públicas devem ser avaliadas

- A despeito das dificuldades de se avaliar uma política industrial, a avaliação constante de políticas públicas é essencial para o seu aperfeiçoamento. No Brasil, alguns estudos têm buscado a avaliação de políticas públicas, principalmente no que se refere à inovação. Essa avaliação ocorre em termos do impacto de uma dada política sobre a produtividade das empresas e seus gastos com inovação. No país, percebe-se que, em geral, essas políticas carecem de uma elaboração baseada em evidências coletadas diretamente do setor produtivo a que se referem. A questão relevante é se ater a um diagnóstico crível das necessidades e demandas do setor.
- Especificamente para a indústria de recursos naturais, as políticas públicas devem ser cada vez mais pensadas (por consequência, avaliadas) quanto às oportunidades que esses recursos de fato podem oferecer. É necessário, portanto, construir uma agenda de política que contemple aspectos como incentivos ao fortalecimento dos esforços de inovação em recursos naturais; iniciativas para adicionar a diversificação em todos os elos da cadeia produtiva; e suporte às empresas no cumprimento de direitos de propriedade intelectual (na indústria sucroenergética, por exemplo, a CTNBio liberou para fins comerciais, em 2015, a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, um organismo geneticamente modificado fundamental na produção de bioetanol de segunda geração).
- Assim, um estudo voltado para dentro de uma indústria específica (como a sucroenergética) e, mais ainda, atinente a suas áreas tecnológicas (sua cadeia produtiva, por conseguinte) pode fornecer uma perspectiva mais pormenorizada das necessidades, bem como contribuir para a racionalização de mecanismos de monitoramento e avaliação de políticas públicas. De fato, de 1999 a 2012, a indústria sucroenergética foi objeto de políticas que fortaleceram o financiamento de P&D via fundos setoriais, bem como do Plano Brasil Maior (PAISS Agrícola). Os fundos setoriais se destinaram a um maior número de projetos, concentrados em processos agrícolas e em alguma medida de energia.

¹⁴ Para mais detalhes, consultar novaCana (2016).

¹⁵ Para mais detalhes, consultar: Amato e Matoso (2015).

Referências

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). **Brasil Maior**: agenda estratégicas setoriais. Brasília, DF, 2013.

_____. **Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial**. Disponível em: < http://www.abdi.com.br/Paginas/politica_industrial.aspx>. Acesso em: 21 out. 2016.

AGROSTAT BRASIL. **Estatísticas de comércio exterior do agronegócio brasileiro**. Brasília, DF, 2014. Disponível em:<<http://www.agricultura.gov.br/portal/page/portal/Internet-MAPA/pagina-inicial/servicos-e-sistemas/sistemas/agrostat>>. Acesso em: jun. 2014.

AMATO, F.; MATOSO, F. Mistura de etanol na gasolina sobe para 27% a partir de 16 de março. **G1**, 4 mar. 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/noticia/2015/03/mistura-de-etanol-na-gasolina-sobe-para-27-partir-de-16-de-marco.html>>. Acesso em: 20 jul. 2015.

BELL, M.; FIGUEIREDO, P. N. Building innovative capabilities in latecomer emerging market firms: some key issues. In: CANTWELL, J.; AMANN, E. (Ed.). **Innovative firms in emerging market countries**. Oxford: Oxford University Press, 2012.

BELL, M.; PAVITT, K. The development of technological capabilities. In: HAQUE, U. (Ed.). **Trade, technology and international competitiveness**. Washington, DC: The World Bank, 1995.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Secretaria de Comércio Exterior (Secex)**. Disponível em: <<http://alicesweb.mdic.gov.br/>>. Acesso em: 26 jun. 2015.

FIGUEIREDO, P. N. **Technological learning and competitive performance**. Cheltenham: Edward Elgar, 2001.

_____. Discontinuous innovation capability accumulation in latecomer natural resource-processing firms. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 77, n. 7, p. 1090-1108, 2010.

_____. Beyond technological catch-up: an empirical investigation of further innovative capability accumulation outcomes in latecomer firms with evidence from Brazil. **Journal of Engineering and Technology Management**, v. 31, p. 73-102, 2014.

_____. **Gestão da inovação**: conceitos, métricas e experiências de empresas no Brasil. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

_____. Evolution of short-fiber technological trajectory in Brazil's pulp and paper industry: the role of firm-level innovative capability-building and indigenous institutions. **Forest Policy and Economics**, v. 64, p. 1-14, 2016.

FIGUEIREDO, P. N.; COHEN, M.; GOMES, S. **Firms' innovation capability-building paths and the nature of changes in learning mechanisms**: multiple case-study from an emerging economy. Maastricht: UNU-MERIT, 2013 (Working Papers, n. 2013-007).

FIGUEIREDO, P. N. et al. **Acumulação de capacidades tecnológicas e fortalecimento da capacidade industrial no Brasil**: breve análise empírica da indústria sucroenergética. Rio de Janeiro: EBAPE/FGV, 2016. (Technological Learning and Industrial Innovation Working Paper Series). Disponível em: <www.ebape.fgv.br/tlii-wps>.

FIGUEIREDO, P. N.; PINHEIRO, M. C. **Competitividade industrial brasileira e o papel das capacidades tecnológicas inovadoras**: a necessidade de uma investigação criativa. Rio de Janeiro: EBAPE/FGV, 2016. (Technological Learning and Industrial Innovation Working Paper Series). Disponível em: <www.ebape.fgv.br/tlii-wps>. Acesso em: out. 2016.

FURTADO, A.; SCANDIFFIO, M.; CORTEZ, L. The brazilian sugarcane innovation system. **Energy Policy**, v. 39, n. 1, p. 156-166, 2011.

GONZALEZ, R. K. **Processo alternativo de catch-up em indústrias intensivas em recursos naturais**: uma análise empírica da trajetória tecnológica da indústria de bioetanol de cana-de-açúcar no Brasil. 2016. 383 f. Tese (Doutorado) – Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas, Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2016.

INFOSUCRO. **INFOSUCRO – pertence ao Grupo de Sistemas Agroindustriais de Inovação e Competitividade do IE-UFRJ**. Disponível em: <<http://www.ie.ufrj.br/index.php/index-infosucro>>. Acesso em: ago. 2015.

INSTITUTO AGRÔNOMICO (IAC). Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/cana/>>. Acesso em: out. 2015.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Bioenergy**: a sustainable and reliable energy source: a review of status and prospects. Paris: OECD/IEA, 2009. Disponível em: <<http://www.ieabioenergy.com/LibItem.aspx?id=6479>>. Acesso em: jul. 2015.

NEVES, M. F.; TROMBIN, V. G. **A dimensão do setor sucroenergético**: mapeamento e quantificação da safra 2013/14. Ribeirão Preto: Markestrat, Fundace, FEA-RP/USP, 2014.

NOVACANA. [Cepea] Consumo e tributação podem sustentar recuperação do setor de etanol. **novaCana**, 7 jan. 2016. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/etanol/mercado/consumo-tributacao-sustentar-recupera-cao-setor-etanol-2016-070116>>. Acesso em: 15 ago. 2016.