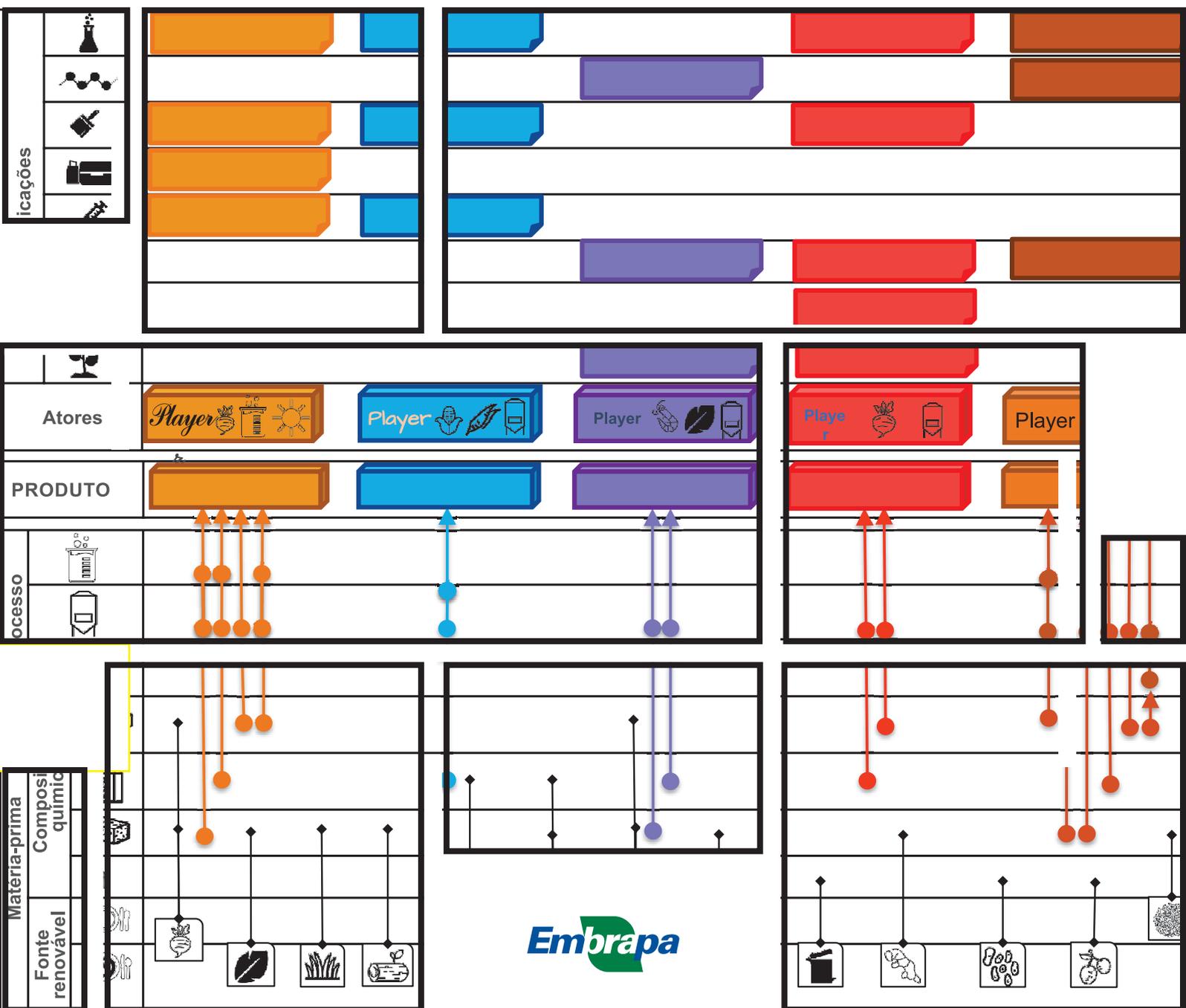




Mapas de rotas tecnológicas de ácidos carboxílicos de base biológica obtidos por bioconversão



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agroenergia
Ministério da Agricultura e Pecuária**

DOCUMENTOS 51

Mapas de rotas tecnológicas de ácidos carboxílicos de base biológica obtidos por bioconversão

Melissa Braga
João Ricardo Moreira de Almeida

Embrapa Agroenergia
Parque Estação Biológica (PqEB), s/nº
Ed. Embrapa Agroenergia
Caixa Postal 40315
CEP 70770-901, Brasília, DF
Fone: +55 (61) 3448-1581
Fax: +55 (61) 3448-1589
www.embrapa.br/agroenergia
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente
Patrícia Verardi Abdelnur

Secretária-executiva
Lorena Costa Garcia Calsing

Membros
Alexandre Nunes Cardoso
Betulia de Moraes Souto
João Ricardo Moreira de Almeida
Leonardo Fonseca Valadares
Melissa Braga
Patricia Abrão de Oliveira Molinari
Priscila Seixas Sabaini

Supervisão editorial
Antonio Claudio da Silva Barros

Revisão de texto
Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica
Rejane Maria de Oliveira Cechinel Darós

Projeto gráfico
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Capa e editoração eletrônica
Júlio César da Silva Delfino

Imagem da capa
Melissa Braga

1ª edição

Publicação digital - PDF (2023)

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa, Superintendência de Comunicação

Braga, Melissa.

Mapas de rotas tecnológicas de ácidos carboxílicos de base biológica obtidos por bioconversão / Melissa Braga, João Ricardo Moreira de Almeida. – Brasília, DF : Embrapa Agroenergia, 2023.

PDF (56 p.) : il. color. – (Documentos / Embrapa Agroenergia, ISSN 2177-4439 ; 51).

1. Mapas tecnológicos. 2. Bibliometria. 3. Pantetometria. 4. Renováveis. 5. Sinais. I. Título. II. Série.

CDD (21. ed.) 547

Rejane Maria de Oliveira Cechinel Darós (CRB-1/2913) © Embrapa, 2023

Autores

Melissa Braga

Química, doutora em Tecnologias Químicas e Biológicas, analista da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF

João Ricardo Moreira de Almeida

Biólogo, doutor em Microbiologia Aplicada, pesquisador da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAP/DF), pelo financiamento do projeto sob o número 236/2019.

Apresentação

As Linhas de Atuação da Embrapa Agroenergia, as quais correspondem às plataformas industriais de biorrefinarias, são: (i) açúcares C5/C6, (ii) óleos vegetais, (iii) biogás, (iv) algas, v) lignina e vi) bio-óleo/syngas. O presente trabalho está relacionado com a Plataforma Industrial de Açúcares e apresenta os resultados de análises prospectivas realizadas sobre ácidos carboxílicos com cadeias de até seis carbonos, baseadas em bibliometria e patentometria, a partir das quais um mapa de rotas tecnológicas sobre produtos e processos associados à conversão de monossacarídeos foi desenvolvido.

O trabalho foi desenvolvido a partir das atividades de inteligência estratégica do Observatório de Tendências em Biocombustíveis e Bioprodutos (OTBB). Essas atividades foram executadas a partir do levantamento de informações contidas em artigos científicos e documentos de patentes, por métodos quantitativos e qualitativos, seguidas pela análise e consolidação dessas informações em um mapa de rotas tecnológicas, com perspectivas de curto, médio e longo prazos sobre o uso de açúcares C5/C6 para produção de intermediários químicos, combustíveis e materiais.

Dessa forma, o trabalho apresenta informações estratégicas relacionadas com a Plataforma Industrial de açúcares, incluindo os principais processos aplicados à obtenção de ácidos mais relevantes segundo a literatura científica recente em horizontes de curto, médio e longo prazo. Assim, as informações obtidas são importantes para pesquisadores e empresas que atuam no desenvolvimento tecnológico de processos e produtos renováveis. Por fim, o aproveitamento das biomassas locais irá promover um incremento na sustentabilidade e competitividade das indústrias brasileiras.

Alexandre Alonso Alves
Chefe-Geral da Embrapa Agroenergia

Sumário

Introdução	11
Ácidos carboxílicos como produtos de base biológica	12
Mapas de Rotas Tecnológicas como estratégia competitiva	12
Etapas do método de mapeamento tecnológico	13
Etapa 1: Identificação dos ácidos de base biológica de maior relevância científica e tecnológica	13
Etapa 2: Análise de tendências por meio de sinais	14
Etapa 3: Mapeamento tecnológico dos processos de bioconversão	16
Iniciativas de escala (semi-)industriais	16
Pesquisas aplicadas	16
Pesquisas científicas	16
Perspectivas dos processos de bioconversão por mapeamento exploratório	17
Mapas de Rotas Tecnológicas dos processos de bioconversão em diferentes estágios de desenvolvimento	20
Grupo 1	21
Presente/Curto prazo	21
Médio prazo	22
Longo prazo	32
Grupo 2	38
Presente/Curto prazo	38
Médio prazo	40
Longo prazo	42
Grupo 3	44
Presente/Curto prazo	44
Médio prazo	46
Longo prazo	48
Considerações finais	51
Referências	54

1. Introdução

Nos últimos anos, o planeta evoluiu significativamente rumo à bioeconomia. Os tratados internacionais para a redução da emissão de carbono, a busca pela autossuficiência energética, a crescente demanda por alimentos e a limitação de recursos não renováveis têm impulsionado o desenvolvimento de alternativas de processos e produtos sustentáveis e renováveis, pautados na inovação e no conhecimento biotecnológico e químico (Biorefineries..., 2012; Biobased, 2014; Ewing, 2015; Taylor et al., 2015; Roesler, 2017; Meeting..., 2018).

A transformação da biomassa pode resultar em uma grande quantidade de produtos capazes de substituir os oriundos do petróleo, ou mesmo no desenvolvimento de novos produtos. No entanto, barreiras técnicas e econômicas devem ser superadas antes de esses produtos serem explorados industrialmente. De fato, o baixo custo é um pré-requisito essencial para que os produtos de base biológica sejam utilizados como materiais de partida na indústria química (Almeida et al., 2012). Nesse contexto, vários esforços em pesquisa e desenvolvimento têm sido envidados no desenvolvimento de processos mais eficientes, os quais culminarão em novos compostos químicos de base biológica a serem fornecidos a preços competitivos resultando no aumento significativo do potencial de mercado (Vaz Junior,, 2018).

Dentre os diferentes produtos de base biológica, os ácidos carboxílicos estão entre as classes de compostos mais promissoras em razão do amplo uso como intermediários na indústria química e farmacêutica, bem como no uso direto na indústria de alimentos (Baumann; Westermann, 2016). Muitos são intermediários ou produtos finais de processos microbianos ou enzimáticos, como os ácidos cítrico, láctico, acético. Na outra ponta, estão os clássicos petroquímicos, como os ácidos acrílico, adípico, metacrílico. Entre esses dois extremos, existem os novos produtos de base biológica, com potencial de substituir os petroquímicos (não renováveis), gerando produtos com as mesmas ou diferentes funcionalidades. Alguns exemplos deste último caso são os ácidos furano-2,5-dicarboxílico e 3-hidroxipropiônico.

Diante da inegável importância técnica e econômica dos ácidos carboxílicos de cadeia curta nessa nova conformação da indústria em desenvolvimento, existe uma quantidade expressiva e diversificada de informações disponíveis sobre eles na literatura científica. Essas informações, entretanto, estão sujeitas a mudanças rápidas, encontram-se pulverizadas e refletem na maioria das vezes o que é realizado isoladamente na academia, ou sob o ponto de vista de instituições regionais, como a União Europeia, o Departamento de Energia dos Estados Unidos e outras. As empresas que investem massivamente no desenvolvimento desses produtos e processos, por sua vez, não tornam públicos os resultados dos trabalhos de pesquisa em curso. A abundância de informações por um lado e a escassez de outro são fatores complicadores no levantamento e na organização de informações estratégicas sobre tecnologias, produtos e mercados mais promissores, em um dado horizonte de tempo, para a tomada de decisão sobre o desenvolvimento de novos produtos.

Buscando entender e antecipar o percurso do desenvolvimento de processos de produção de ácidos carboxílicos a partir da biomassa, este trabalho apresenta o mapa de rotas tecnológicas de produção desses ácidos por conversão de substâncias mediada por organismos vivos ou preparações enzimáticas deles derivadas, processo este definido pela IUPAC (do inglês *International Union of Pure and Applied Chemistry*) como bioconversão (Compendium..., 2014). Os resultados gerados descrevem os futuros possíveis acerca da bioconversão e de mercados de ácidos carboxílicos de base biológica.

O método semiquantitativo para identificação de sinais e tendências aqui empregado poderá ser aplicado na avaliação de cenários tecnológicos para outros produtos, sejam eles de base biológica

ou não, e os resultados gerados apoiam gestores e pesquisadores na tomada de decisão sobre onde investir recursos em pesquisa e desenvolvimento.

Em termos de Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) definidos pela Organização das Nações Unidas, este trabalho contribui especialmente para o ODS 9 – “Inovação Industrial e Infraestrutura”, na medida em que estimula a industrialização sustentável, com eficiência aumentada no uso de recursos naturais e maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente corretos. Além disso, busca promover o fortalecimento da pesquisa científica, por meio da melhoria das capacidades tecnológicas de setores industriais, incentivando a inovação em produtos essenciais para a sociedade moderna.

2. Ácidos carboxílicos como produtos de base biológica

Os métodos de produção comercial dos ácidos carboxílicos variam entre processos bioquímicos (de bioconversão) e químicos, a depender do ácido e mercado consumidor. Certos ácidos carboxílicos como o acético e propiônico, produzidos por fermentação até meados do século XX, perderam a conexão com a bioconversão com o advento dos petroquímicos, que geralmente são obtidos mais eficientemente a menor custo. Atualmente, apenas uma pequena fração desses ácidos é produzida por bioconversão (Sauer et al., 2008).

Contudo, na busca por processos sustentáveis, de menor demanda energética e menos agressivos ao meio ambiente, os processos de bioconversão voltam a ser alvo de pesquisas como rota alternativa de obtenção dos tradicionais produtos petroquímicos. Soma-se a esse fator, a rápida evolução da biotecnologia nos últimos anos, que amplia as possibilidades de novos produtos oriundos da bioconversão ou que reexamina bioprocessos abandonados, com vistas à viabilidade econômica.

Como resultado, muitos autores revisitam essas rotas, sob um novo enfoque, o da sustentabilidade (Sauer et al., 2008; López-Garzón; Straathof, 2014; Alonso et al., 2015; Becker et al., 2015; Baumann; Westermann, 2016; Song et al., 2016; Wang et al., 2016; Murali et al., 2017; Atasoy et al., 2018; Strazzeria et al., 2018). Nesses trabalhos, somam-se aos ácidos tradicionalmente produzidos por bioconversão, como o acético e cítrico, um grande rol de outros ácidos passíveis de serem obtidos a partir de biomassa por esses processos (Braga et al., 2020). Muitos deles são desconhecidos ou pouco explorados, mas com boas perspectivas de substituição de petroquímicos ou de se tornarem novos produtos com características diferenciadas.

A depender do grau e do tipo de transformação aos quais a biomassa de partida é submetida, uma pluralidade de produtos químicos, entre eles os ácidos carboxílicos, pode ser obtida. Embora essa diversidade de processos e produtos agregue possibilidades e valor à biomassa, destacadamente a residual, traz um dilema para os gestores e tomadores de decisão, que precisam decidir em qual produto investirão seus recursos humanos e financeiros.

3. Mapas de Rotas Tecnológicas como estratégia competitiva

O Mapa de Rotas Tecnológicas é uma das ferramentas de estudos de futuro mais populares no ambiente empresarial e vem sendo empregada há décadas nesses ambientes. Por se tratar de uma ferramenta capaz de representar várias perspectivas de caminhos estratégicos, ela tem sido empregada em ambiente industrial com fins de planejamento (Oliveira et al., 2012), na academia como forma de consolidar dados científicos e tecnológicos (Ananda et al., 2009; Gonzalez-Salazar et al., 2016; Moreno; Sipponen, 2020), por agências governamentais como ferramenta de prospecção para políticas públicas (Clean Energy Council, 2008; Biorefineries..., 2012; SEAI, 2013).

A ferramenta é amplamente empregada no Brasil, com finalidades semelhantes. Sobre renováveis, a Braskem realizou em 2009 um processo de reflexão relativo ao tema, envolvendo departamentos internos da empresa, universidades e outras instituições de pesquisa. O processo consistiu na elaboração de estudos, por meio da realização de reuniões conjuntas e outras atividades interativas envolvendo as partes interessadas. Um dos resultados foi a elaboração de um Mapa de Rotas Tecnológicas em matérias-primas renováveis (Coutinho; Bomtempo, 2011). Na época, o projeto mostrou-se inovador em razão da interação da empresa com a universidade para a utilização do método.

Destaca-se também a atuação no âmbito acadêmico do Núcleo de Estudos Industriais e Tecnológicos na Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, em especial o método de utilização de dados secundários obtidos em artigos e patentes (Borschiver; Silva, 2016) e a utilização deles no contexto de renováveis (Santos, 2011; Coelho; Borschiver, 2016).

Não menos relevantes, estão os trabalhos de mapeamentos tecnológicos publicados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGTEE) e pela Confederação Nacional da Indústria - CNI (Química..., 2010; Brazil..., 2016; Dutta et al., 2020) e a abordagem de temas relevantes para o País.

Por fim, cita-se o trabalho da Embrapa Agroenergia, que se vale dos mapas de rotas tecnológicas como estratégia de planejamento de pesquisa, elaborados em workshops com a equipe de pesquisa para definição de metas e atividades de pesquisa em um dado campo de interesse (Braga et al., 2021).

Neste trabalho, Mapas de Rotas Tecnológicas acerca dos ácidos carboxílicos foram delineados empregando-se dados provenientes de publicações científicas e de documentos de patentes. Em meio à profusão de publicações nessas fontes na atualidade, um tratamento matemático e analítico desses dados foi empregado para seleção e hierarquização das tecnologias mais promissoras, conforme descrito a seguir.

4. Etapas do método de mapeamento tecnológico

Foram escolhidos para o mapeamento os ácidos carboxílicos de cadeia curta, contendo entre um e seis átomos de carbonos, mais relevantes segundo a literatura científica recente, obtidos a partir de rota fermentativa ou enzimática. O método de três etapas desenvolvido e descrito detalhadamente em trabalho anterior dos autores foi empregado (Braga, 2022). A seguir, as etapas utilizadas são explicadas resumidamente.

4.1. Etapa 1: Identificação dos ácidos de base biológica de maior relevância científica e tecnológica

Os ácidos carboxílicos de cadeia curta (C1–C6), passíveis de serem obtidos a partir da conversão de glicose, foram divididos em três grupos considerando três critérios: fonte tradicional da matéria-prima, similaridade química em relação aos petroquímicos e ao tamanho do mercado (Braga et al., 2020):

- Grupo 1: ácidos de base biológica com rota bioquímica operando em escala (semi-) industrial.
- Grupo 2: ácidos chamados de *drop-in*, por possuírem mesma composição química do petroquímico, podendo, portanto, serem integrados diretamente à cadeia produtiva pré-existente.
- Grupo 3: ácidos com ao menos uma das seguintes características: i) potenciais substitutos funcionais de petroquímicos, com composição química distinta; ii) novos produtos com aplicações diferenciadas em relação aos pré-existentes ou iii) relacionados a poucos e pequenos segmentos de mercado, produzidos em pequena escala. Independentemente de onde se enquadraram nesses subgrupos (i a iii), há um ponto em comum entre eles: até o momento são pouco explorados

comercialmente por questões técnicas ou econômicas, mas têm potencial de serem blocos-construtores ou intermediários de outros produtos com grande interesse econômico.

Em seguida, a taxa de crescimento e o número de publicações científicas e patentárias associadas a esses ácidos nas bases de dados Web of Science (WoS) e Derwent Innovation Index (DII) foram medidos, e os ácidos com taxa de crescimento de publicações positiva, e acima de 10 publicações, seguiram para a Etapa 2. Graficamente, os passos desta etapa estão representados na Figura 1.

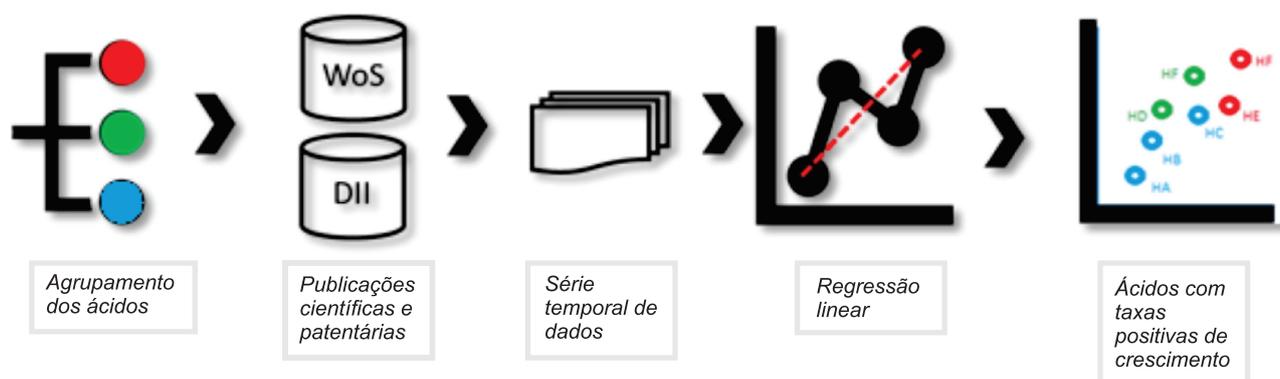


Figura 1. Resumo gráfico do método empregado para o mapeamento tecnológico na Etapa 1.

Fonte: Braga (2022).

4.2. Etapa 2: Análise de tendências por meio de sinais

As palavras-chave e Classificações Internacionais de Patentes (CIP), como elementos que capturam a essência de publicações científicas e documentos de patentes (Luan et al., 2013; Choi et al., 2015; Chanchetti et al., 2016), foram empregadas para avaliar a evolução dos temas ou áreas tecnológicas afins aos ácidos carboxílicos selecionados na Etapa 1.

As evoluções anuais das palavras-chave e das CIP de quatro dígitos foram obtidas para cada ácido na forma de matrizes criadas pelo software *VantagePoint V.8 (Search Technology)* entre os anos de 2008 e 2017, totalizando assim 10 anos. Essas matrizes foram tratadas matematicamente, a fim de considerar evolução da razão da CIP ou palavra-chave em questão em relação às demais no ano de análise, assim como valorizar as publicações mais recentes. Para tanto, o grau de visibilidade (DoV) das palavras-chave ou CIP de quatro dígitos (i) no ano (j) foram calculados da seguinte maneira (Yoon, 2012):

$$DoV_{ij} = \left(\frac{FT_{ij}}{N_j} \right) \times \{1 - tw \times (2017 - j)\} \quad (\text{Equação 1})$$

em que FT_{ij} é a frequência total de ocorrência de uma palavra-chave ou CIP de quatro dígitos “i” no ano “j”, N_j é o número total de publicações científicas ou patentes no ano “j”. Neste trabalho, “2017” é o último ano da análise e “tw” é a constante que determina o impacto do tempo no campo tecnológico em análise, podendo variar de 0 a 1. Neste trabalho, “tw” foi definida como 0,05, ou seja, o desconto na relação FT/N é de no máximo 50% para o ano mais distante do momento presente (ano de 2017).

A identificação de sinais (fracos/fortes e emergentes/declínio/estáveis) no período de 2008 a 2017 foi feita por meio do posicionamento das 30 palavras-chave e CIP de quatro dígitos mais recorrentes em um gráfico de dispersão, no qual a ordenada compreende as taxas de crescimento de DoV, chamada de “Td”, e a abscissa, as médias aritméticas dessas palavras-chave ou CIP de quatro dígitos. Esse gráfico foi dividido em zonas delimitadas por três linhas pontilhadas, conforme ilustrado na Figura 2.

As palavras-chave e as CIP posicionadas à direita e à esquerda das médias das citações (x) são consideradas sinais fortes e fracos, respectivamente. Horizontalmente, as palavras-chave ou CIP com as variações positivas mais significativas ($Td \geq +0,01$) são consideradas Emergentes ou Crescentes; o oposto ($Td \leq -0,01$), Declinantes; e, entre essas duas linhas, Estáveis. Palavras-chave e CIP de quatro dígitos nas Zonas I, II, IV, V e VI foram consideradas na avaliação de tendências tecnológicas, sendo designadas a seguir como “relevantes”. A Zona III foi desconsiderada por combinar baixas x e Td .

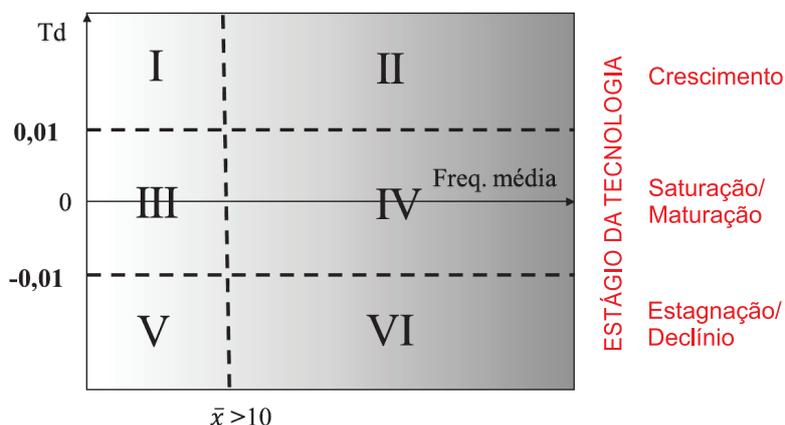


Figura 2. Representação esquemática da evolução das palavras-chave CIP de quatro dígitos, por taxas de crescimento (Td) e frequência média – Gráfico de Sinais. Os algarismos romanos delimitam as seguintes zonas: I) sinais fracos, emergentes; II) sinais fortes, emergentes; III) irrelevante, ruídos; IV) sinais fortes, estáveis; V) sinais fracos, declinantes; VI) sinais fortes, declinantes.

Fonte: Braga (2022).

Para dar subsídio à análise e interpretação desses dados, foram empregados mapas de correlação das CIP de quatro dígitos ou das palavras-chave, no software *VantagePoint*, com o intuito de identificar se, como e com quais frequências elas ocorrem entre si e com as demais palavras-chave ou CIP de quatro dígitos. Nesses mapas de correlação, cada ponto (ou nó) representa uma CIP ou uma palavra-chave relevante. A proximidade e os vínculos entre elas denotam a intensidade do relacionamento (alta ou baixa correlação) com base nas demais CIP e palavras-chave relevantes associadas ao ácido.

Em suma, nesta etapa, foram identificados os sinais e a correlação entre eles, conforme ilustrado na Figura 3, a fim de traçar o direcionamento tecnológico dos ácidos selecionados, especialmente no que tange aos mercados-alvo e às aplicações, responsáveis pelo aumento do interesse científico e tecnológico identificado na Etapa 1.

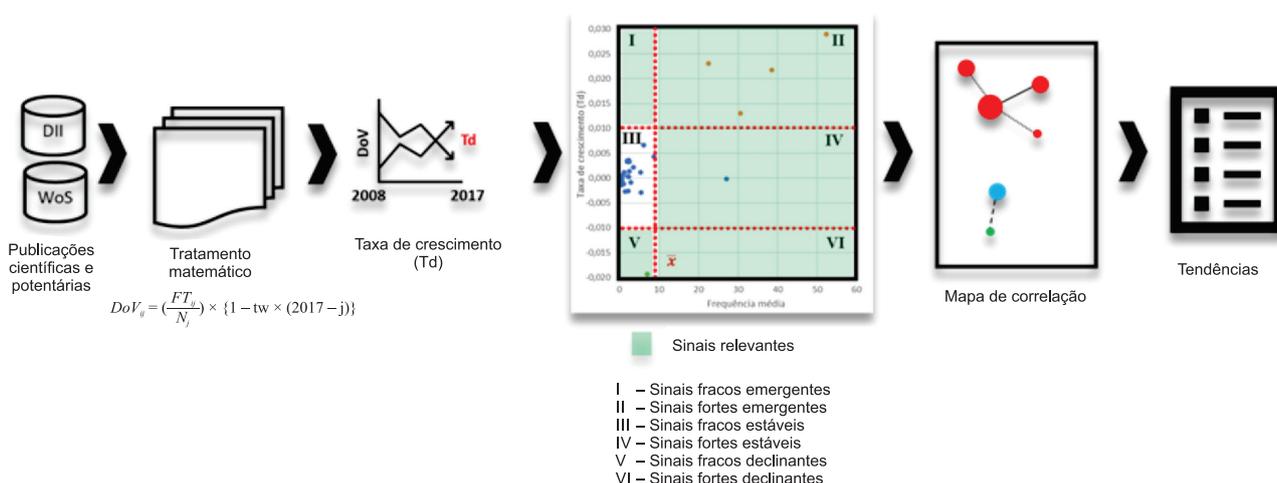


Figura 3. Resumo gráfico do método empregado na Etapa 2.

Fonte: Braga (2022).

4.3. Etapa 3: Mapeamento tecnológico dos processos de bioconversão

4.3.1. Iniciativas de escala (semi-)industriais

A busca preliminar por iniciativas ou projetos acerca da produção em escala de demonstração (semi-industrial) ou industrial dos ácidos escolhidos foi feita inicialmente em fontes secundárias e, posteriormente, a apuração da informação recuperada foi feita no sítio eletrônico da referida instituição (fonte primária). Nos casos em que a informação não pôde ser encontrada diretamente na fonte primária, buscou-se a confirmação em uma segunda fonte, seja ela primária ou secundária de igual ou maior credibilidade que a primeira, fonte da informação original.

As fontes secundárias especializadas em dados de mercado, disponíveis on-line, empregadas neste trabalho foram: i) revistas eletrônicas especializadas em renováveis e blogs como *Green Chemicals Blog*; ii) relatórios de organizações internacionais vinculadas ou não a órgãos governamentais; iii) sites de comércio eletrônico de produtos; e iv) empresas de consultoria de mercado.

4.3.2. Pesquisas aplicadas

A fonte bibliográfica para a identificação das pesquisas aplicadas, aqui compreendidas por pesquisas que visam a industrialização e comercialização, foram documentos de patentes referente a depósitos efetuados no período de 2008 a 2017, relacionados ao tema de bioconversão de matérias-primas renováveis a ácidos carboxílicos.

Para tanto, associou-se à estratégia de busca descrita no item 4.1 a CIP C12P que representa “processos de fermentação ou processos que utilizem enzimas para sintetizar uma composição ou composto químico desejado ou para separar isômeros ópticos de uma mistura racêmica” (WIPO, 2019).

Todos os resumos dos documentos recuperados foram lidos e examinados para excluir os dissociados do tema de bioconversão. Apenas instituições com quatro ou mais pedidos de patentes depositados no período foram adicionadas ao mapa, por serem consideradas as mais atuantes no tema no período da análise.

4.3.3. Pesquisas científicas

A fonte bibliográfica para a identificação das pesquisas científicas, aqui compreendidas por pesquisas que visam ampliar o conhecimento científico e tecnológico sobre um determinado tema, desenvolvidas até o estágio da prova de conceito, foram publicações científicas realizadas no período de 2008 a 2017, relacionadas ao tema de bioconversão de matérias-primas renováveis a ácidos carboxílicos.

Para tanto, associou-se à estratégia de busca descrita no item 4.1 as palavras-chave derivadas dos seguintes prefixos: *enzym* OR ferment* OR yeast* OR fung* OR bacteri* OR microorganism\$*. O elemento de truncagem asterisco (*) empregado estende a busca para toda e qualquer derivação dessa palavra a partir da posição em que se encontra. O elemento de truncagem cifrão (\$) corresponde a um ou zero caractere onde está posicionado.

Da mesma forma feita em 4.3.2, todos os resumos dos documentos recuperados foram lidos e examinados para excluir os dissociados do tema de bioconversão. Foram consideradas instituições com atividade consistente no tema aquelas com quatro ou mais publicações no período.

4.3.4. Perspectivas dos processos de bioconversão por mapeamento exploratório

Os Mapas de Rotas Tecnológicas dos processos fermentativos e enzimáticos foram construídos a partir da integração das informações coletadas e analisadas nas etapas anteriores. A organização dessas informações foi feita de forma matricial, fazendo uso de representações gráficas, cores, informações qualitativas e quantitativas.

4.3.4.1. Arquitetura do mapa

Três camadas principais foram empregadas: Mercados, Produtos e Tecnologias. Compõem a camada de Mercado as subcamadas de Aplicações e Atores que operam nessas cadeias produtivas. A camada de Produtos é composta pelos ácidos dos Grupos 1, 2 e 3, enquanto a camada de Tecnologias, pelas subcamadas de Processos e Matérias-primas. As informações foram inseridas em formas geométricas, agregando dados e informações relacionadas, e a integração entre as camadas foi feita por meio de cores ou setas. A descrição detalhada dessa composição é feita a seguir, por camada.

- Camada de Mercado

A subcamada de Aplicações foi pré-estabelecida com base nas principais categorias de produtos químicos ou utilidade dos ácidos. São elas: solventes; polímeros; tintas e revestimentos; cosméticos e higiene pessoal; medicamentos; alimentos, bebidas e rações; adesivos e outros.

A subcamada dos Atores (ou *players*) contemplou as instituições mais atuantes no contexto dos ácidos carboxílicos de base biológica no período da análise. A representação dessas instituições, sejam elas da iniciativa privada ou pública, foi feita por meio das respectivas logomarcas, quando disponíveis. A essas instituições, foram associadas informações de matéria-prima renovável, processo e, se aplicável, escala de produção (demonstrativa ou industrial).

- Camada de Produto

Composta exclusivamente por ácidos dos Grupos 1, 2 e 3. Para agrupar os ácidos similares e permitir a comparação da evolução entre eles, foram construídos três mapas distintos, para Presente/Curto, Médio e Longo prazos.

- Camada de Tecnologia

Duas são as subcamadas principais relativas à Tecnologia: Matérias-primas e Processos. A subcamada de Matérias-primas relaciona os principais insumos agroindustriais associados à pesquisa ou produção dos ácidos, classificando-as como “comestíveis” e “não comestíveis” a fim de separar e identificar as iniciativas envolvendo matérias-primas concorrentes com os alimentos. A composição química do componente principal da transformação (substrato) foi indicada também nessa subcamada, haja vista que a biomassa pode ter vários componentes principais.

Embora os Processos de transformação da biomassa sejam essencialmente os bioquímicos (ou bioconversão), foram incluídas subcamadas de processos químicos e físicos, pois algumas das rotas são híbridas, combinando outros recursos que vão além das enzimas ou microrganismos. Foram desconsiderados os processos relacionados ao pré-tratamento da biomassa, tais como moagem e sacarificação de polissacarídeos.

4.3.4.2. Análise temporal

As colunas da estrutura matricial do Mapa de Rotas Tecnológicas correspondem ao escopo temporal de Presente/Curto, Médio e Longo prazos, referente ao momento atual até 5 anos, de 5 a 10 anos e acima de 10 anos, respectivamente.

Notícias recuperadas em sítios de divulgação da empresa foram empregadas para o preenchimento das informações de Presente/Curto prazo; documentos de patente, para Médio prazo, e publicações científicas foram utilizadas para Longo prazo, conforme ilustrado na Figura 4.

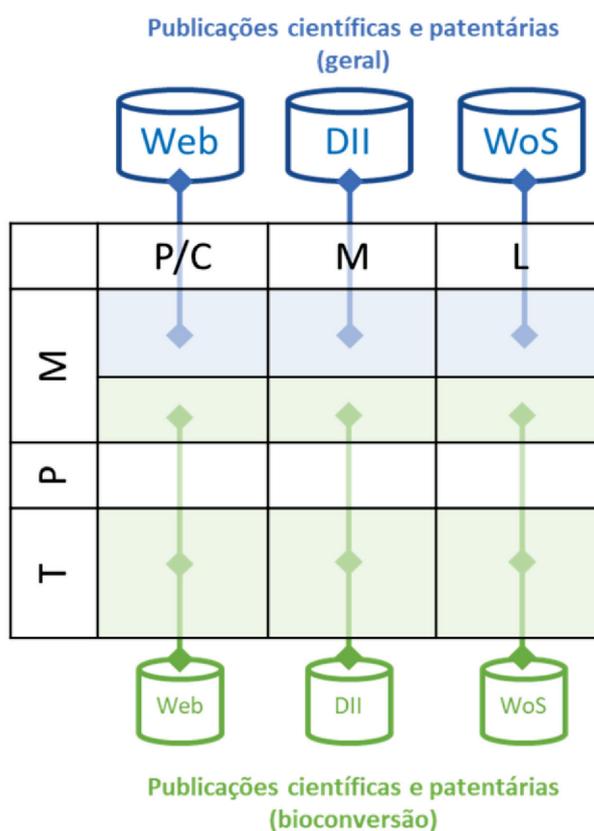


Figura 4. Resumo gráfico do método empregado na Etapa 3 a partir das bases de dados Derwent Innovation Index (DII), Web of Science (WoS) e da web. Em azul, estão as informações provenientes do item 4.2 e, em verde, do item 4.3.

Fonte: Adaptada de Braga (2022).

- Presente/Curto prazo: Notícias da web

O setor produtivo vale-se com certa frequência da mídia eletrônica para promover o progresso de suas atividades industriais, sejam acordos de parceria ou comerciais (*joint ventures*), aquisições, aumento de escala, inauguração de novas plantas industriais e novas frentes de pesquisa. Embora o grau de detalhamento técnico seja pequeno, trata-se de uma fonte de informação relevante em um contexto tecnológico. Essas movimentações revelam o aumento de interesse segundo o planejamento estratégico da empresa, motivado por um mercado promissor a ser explorado.

As notícias de web, relacionadas a processos produtivos de ácidos carboxílicos de base biológica, recuperadas em fontes de informação confiáveis ou disponibilizadas pela própria instituição, foram empregadas para o preenchimento da subcamada de Atores, escopo temporal de Presente/Curto prazo. Quando pertinente, um breve retrospecto ao passado recente será feito para o melhor delineamento do cenário atual.

- Médio prazo: Documentos de patente

Informações identificadas nos documentos de patentes recuperados na base de dados DII foram utilizadas para o preenchimento das camadas relativas a Médio prazo. Adotou-se essa fonte de informação como representante de uma perspectiva entre 5 e 10 anos partindo de duas premissas:

- a) A tecnologia revelada em documentos de patentes geralmente é associada a estágio de demonstração em ambiente relevante (Watss; Porter, 1997; Lezema Nicolás et al., 2018). Por essa lógica, esses produtos ou processos objeto de proteção sucedem e decorrem das atividades de pesquisa, incluindo os estudos investigativos e laboratoriais, porém antecedem a produção em ambiente operacional ou industrial, com fins comerciais.
- b) A busca por ácidos carboxílicos renováveis favoreceu o estabelecimento de parcerias e a criação de linhas de negócio no final da década dos anos 2000, porém, na década seguinte, pequenas, médias e grandes empresas deixaram o negócio (Belém et al., 2020). Independentemente das razões que motivaram essas movimentações, esse fato indica se tratar de um campo tecnológico bastante ágil, no qual importantes movimentações acontecem em intervalos que raramente ultrapassam 10 anos. Assim, foi proposto o intervalo de 5 a 10 anos para a implementação das tecnologias descritas nos documentos de patentes. Esse limite pode ser o limite inferior para indústrias que contêm ácido carboxílico em seu portfólio de produtos, ou o limite superior no caso das universidades, por dependerem da transferência e da adesão por outros Atores.

Os documentos de patente proveram as informações para a subcamada de Aplicações, por meio do método de sinais (item 4.2) e os Atores com quatro ou mais famílias de patentes associadas ao processo de bioconversão, depositadas entre os anos de 2008 e 2017.

- Longo prazo: Publicações científicas

De forma análoga à feita aos documentos de patente, os temas identificados como Sinais Emergentes em palavras-chave e instituições associadas a quatro ou mais publicações científicas foram empregados para o preenchimento do Mapa em longo prazo. Adotou-se essa fonte de informação como representante de uma perspectiva acima de 10 anos com base em três premissas:

- a) Os Atores constituem predominantemente instituições de pesquisa, que dependem de um parceiro ou cliente com interesse e capacidade econômica para dar continuidade ao desenvolvimento visando a industrialização.
- b) A pesquisa científica descrita nessas publicações encontra-se predominantemente em escala de bancada ou de laboratório e tendem a ser mais exploratórias ou disruptivas, razões pelas quais podem apontar as tendências de um futuro mais distante.
- c) Em ambientes acadêmicos, a liberdade científica tende a predominar e trilhar caminhos próprios, com menor influência de estratégias corporativas.

Analogamente ao descrito para os documentos de patente, as publicações científicas proveram informações para a subcamada de Aplicações por método de sinais (item 4.2) e os Atores com quatro ou mais publicações científicas associadas ao processo de bioconversão, divulgadas entre os anos de 2008 e 2017.

4.3.4.3. Aspectos gráficos do Mapa de Rotas Tecnológicas

Além da divisão em camadas de Mercado, Produto e Tecnologia e respectivas subcamadas, alguns recursos gráficos foram empregados para promover a fácil identificação dos Atores, Processos e Matérias-primas pelo leitor. São eles:

- Cores distintas e específicas para cada um dos ácidos da camada de “Produto” foram usadas para a vinculação dos ácidos com as demais camadas do mapa, a saber, Mercado e Tecnologia.
- Retângulos foram usados para agrupar os dados e informações de Atores e Aplicações. Neste caso, além das cores, o preenchimento desses retângulos foi empregado como um recurso para destacar conteúdos eminentes, identificados pelo método de Sinais ou por iniciativas comprovadas em fontes primárias, especificamente, websites das empresas.
- Setas vincularam as subcamadas “Matérias-primas” e “Processos” aos “Produtos”.
- Logomarcas, quando disponíveis, foram usadas para identificar os Atores.
- Número de famílias de patentes ou de publicações científicas foram usadas para hierarquizar os Atores, de modo que aqueles com número de famílias ou de publicações ocupassem as primeiras posições no retângulo associado. Os valores obtidos foram apresentados entre parênteses, ao lado da logomarca do Ator.

Símbolos, representando genericamente as matérias-primas e os processos, foram identificados nas respectivas subcamadas e posicionados à direita da logomarca na subcamada “Atores”. Nos casos em que a matéria-prima não foi identificada pela fonte consultada, o símbolo foi omitido. Visto que uma matéria-prima poder ser empregada por mais de um Ator, na produção de mais de um ácido (Produto), não foram atribuídas cores distintivas aos símbolos. Exclusivamente, no período de Presente/Curto prazo, símbolos representando as escalas industrial () e demonstrativa () foram empregados.

5. Mapas de Rotas Tecnológicas dos processos de bioconversão em diferentes estágios de desenvolvimento

O resultado da mineração de dados em fontes bibliográficas de ácidos produzidos ou passíveis de produção a partir da glicose resultou em 68 ácidos de cadeia curta compostos exclusivamente por átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio. Entre os quais, 44 deles, apresentados na Tabela 1, por grupo, foram escolhidos para o mapeamento por apresentarem taxas positivas de crescimento no período analisado (Braga et al., 2020).

Tabela 1. Ácidos carboxílicos produzidos ou com potencial de serem produzidos a partir de glicose, agrupados de acordo com o processo de manufatura e tamanho de mercado.

Grupo 1	ácido acético, ácido ascórbico, ácido butírico, ácido caproico, ácido cítrico, ácido fumárico, ácido glicólico, ácido glucárico, ácido glucurônico, ácido glucônico, ácido isobutírico, ácido isovalérico, ácido itacônico, ácido láctico, ácido málico, ácido propiônico, ácido succínico, ácido tartárico, ácido valérico
Grupo 2	ácido acrílico, ácido adípico, ácido fórmico, ácido maleico, ácido metacrílico
Grupo 3	ácido 2-cetoglutárico, ácido furano-2,5-dicarboxílico (2,5-FDCA), ácido glicérico, ácido glioxílico, ácido 3- hidroxibutírico (3-HB), ácido 4-hidroxibutírico (4-HB), ácido 3-hidroxipropiônico (3-HP), ácido pirúvico

Fonte: Braga (2022).

5.1. Grupo 1

O mapa relacionado ao momento Presente/Curto prazo para o Grupo 1 é o mais povoado dentre os três grupos de ácidos descritos neste trabalho, resultado do maior número de atividade industrial e iniciativas para esse grupo, no referido intervalo de tempo. Essa condição tende a se acentuar com o desenvolvimento de novas ferramentas biotecnológicas e com o fortalecimento dos princípios e das bases da bioeconomia por causa do estabelecimento de processos de bioconversão para os ácidos dos Grupos 2 e 3.

5.1.1. Presente/Curto prazo

As Matérias-primas renováveis empregadas na atualidade como fontes de substratos para fermentação industrial para produção dos ácidos do Grupo 1 constituem essencialmente sacaríneas e amiláceas, fontes de glicose ou amido, respectivamente, provenientes das biomassas de menor custo e mais disponíveis regionalmente (Figura 5). São exemplos dessas biomassas, beterraba sacarina (*sugar beet*), cana-de-açúcar, sorgo, mandioca, arroz e, principalmente, milho. As matérias-primas residuais de constituição lignocelulósica são predominantemente palha/sabugo de milho, gramíneas, bagaço de cana-de-açúcar ou outros resíduos abundantes regionalmente. Em se tratando destas matérias-primas, o processo produtivo encontra-se em escala demonstrativa ou semi-industrial, associado a dois tipos de empresas: aquelas cujas bases se estabelecem em produtos sustentáveis, ou petroquímicas, cujo intuito é substituir, ainda que parcialmente, o produto de origem fóssil para agregar a ele características sustentáveis.

As bases dos Processos produtivos representados na Figura 5 são bioquímicas, embora possam integrar complementarmente processos físicos ou químicos, a depender do ácido ou do Ator-fabricante. Os produtos e as principais características dos processos atuais e as expectativas em curto prazo são:

- Ácido acético: a produção por bioconversão que atualmente responde por 10% da quantidade anualmente produzida e acontece de forma fragmentada não deverá passar por grandes mudanças em termos quantitativos, por não ser competitiva com o produto petroquímico. As iniciativas mais recorrentes que propõem transpor essa barreira envolvem bioconversão de produtos lignocelulósicos e dióxido de carbono e são lideradas por empresas de desenvolvimento de soluções tecnológicas: Afyren, Sekab, Lanzatech, Zea2.
- Ácidos ascórbico e cítrico: produção por processos consolidados, fragmentada em vários fabricantes, a maioria no território chinês. Não deverá passar por alterações nesse perfil, exceto expansão das capacidades produtivas, em razão do aumento de consumo.
- Ácidos butírico, caproico, isobutírico, isovalérico, propiônico e valérico: monoácidos carboxílicos chamados coletivamente ácidos graxos de cadeia curta (do inglês *short chain fatty acids*), encontram-se em escala semi-industrial, em empresas desenvolvedoras de soluções em biotecnologia que dependem de investimento para expandirem o negócio ou da transferência de tecnologia para outras empresas capazes de evoluir na escala produtiva. As empresas em questão são Afyren, ChainCraft, Lanzatech (*venture capital* da BASF), Metabolic Explorer e Zea2.
- Ácidos fumárico e málico: é desconhecida a quantidade produzida e consumida desses ácidos atualmente a partir de fontes renováveis de matéria-prima, porém, a julgar pelo grande número de empresas petroquímicas que contêm esses ácidos no catálogo de produtos comerciais, a produção de base petroquímica predomina. Consequentemente, a produção por bioconversão a partir de biomassa é pequena, concentrada em empresas de biotecnologia Anhui Sealong Biotechnology, CMBEC e Tate&Lyle. O aumento da demanda por produtos alimentícios industrializados pode impactar positivamente o consumo desses produtos e, proporcionalmente, a produção por bioconversão.

- **Ácido glicólico:** o produto de base biológica, obtido por bioconversão enfrenta a concorrência com produto petroquímico, embora a maior parte seja destinada a mercados capazes de absorver custos mais elevados de produção, como o cosmético e polímeros especiais, como os poli-hidroxicanoatos. Três iniciativas em bioconversão destacam-se neste monitoramento, pela proposta de base renovável para atender mercados de maiores volumes: CrossChem, Lygos e Metabolic Explorer.
- **Ácido láctico:** o ácido láctico enantiomericamente puro, D(+) ou L(-), é um dos casos mais representativos da importância industrial da bioconversão. As características principais da produção são as seguintes: i) os maiores produtores são de origem europeia e norte-americana e as maiores plantas ainda estão situadas nessas regiões; ii) a maioria dos microrganismos são proprietários ou constituem segredo de negócio; e iii) a maior parte da produção é destinada para a produção de polímeros, o poli(ácido láctico) – PLA, ou derivados dele. Embora o polímero não seja um produto novo, o número de parcerias estabelecidas recentemente e a expansão de capacidade produtiva de plantas indicam o fortalecimento do ácido láctico para esse mercado em até 5 anos.
- **Ácido succínico:** apontado como o caso mais eminente por muitos especialistas (Werpy; Petersen, 2004; Patel et al., 2006; Conway, 2008; Bozell; Petersen, 2010; De Jong et al., 2012; Potencial..., 2014; E4tech(UK), 2017), por ser um precursor em potencial para outros produtos economicamente interessantes, como o 1,4-BDO. O ácido succínico foi responsável por várias iniciativas relevantes na década de 2000 e de 2010, com o surgimento de *startups*, estabelecimento de *joint ventures* e adesão de multinacionais petroquímicas a esse novo negócio. Contudo, a queda no preço do petróleo tornou o processo renovável economicamente inviável, levando à bancarrota, venda e êxodo de muitos desses atores. Atualmente a produção industrial acontece apenas nas instalações da LCY, Roquette Frères e Succinity, sem expectativa de mudança desse cenário em curto prazo.
- **Ácido tartárico:** o principal concorrente do ácido obtido por bioconversão é o produto da extração do mosto. Entre os ácidos do Grupo 1, é o que está menos associado a novos projetos e iniciativas que indiquem o surgimento de novas plantas produtivas ou expansão de capacidade produtiva. A produção por bioconversão concentra-se em território chinês, em plantas que não excedem 20.000 T/ano, a exemplo da CMBEC, Hangzhou Bioking Biochemical Engineering, Hangzhou Regin Biotechnology, Yantai Taroke Bioengineering.

As Aplicações dos ácidos pertencentes ao Grupo 1 estão distribuídas por variados mercados, como mostra a Figura 5. A maior parte, em volume, dos ácidos de base biológica é consumida pela indústria alimentícia, na forma ácida ou de sal, como agente acidulante ou tamponante. A indústria cosmética também concentra número semelhante de aplicações ao da indústria alimentícia, porém em volumes significativamente menores.

5.1.2. Médio prazo

A Figura 6 demonstra a diversificação dos insumos agroindustriais propostos como Matérias-primas para a produção dos ácidos, na perspectiva de médio prazo. São exemplos desses insumos, os óxidos de carbono (monóxido e dióxido), as pentoses (xilose e arabinose), o glicerol, entre outros resíduos agroindustriais (biomassa lignocelulósica, restos de alimentos, microrganismos reaproveitados de outros processos). Essa diversificação pode ser interpretada como uma evidência não somente da valorização de resíduos agroindustriais, mas também da busca pela redução de custo operacional e autossuficiência de insumos para a indústria local. Os casos em que essa diversificação é mais pronunciada são os ácidos láctico e succínico.

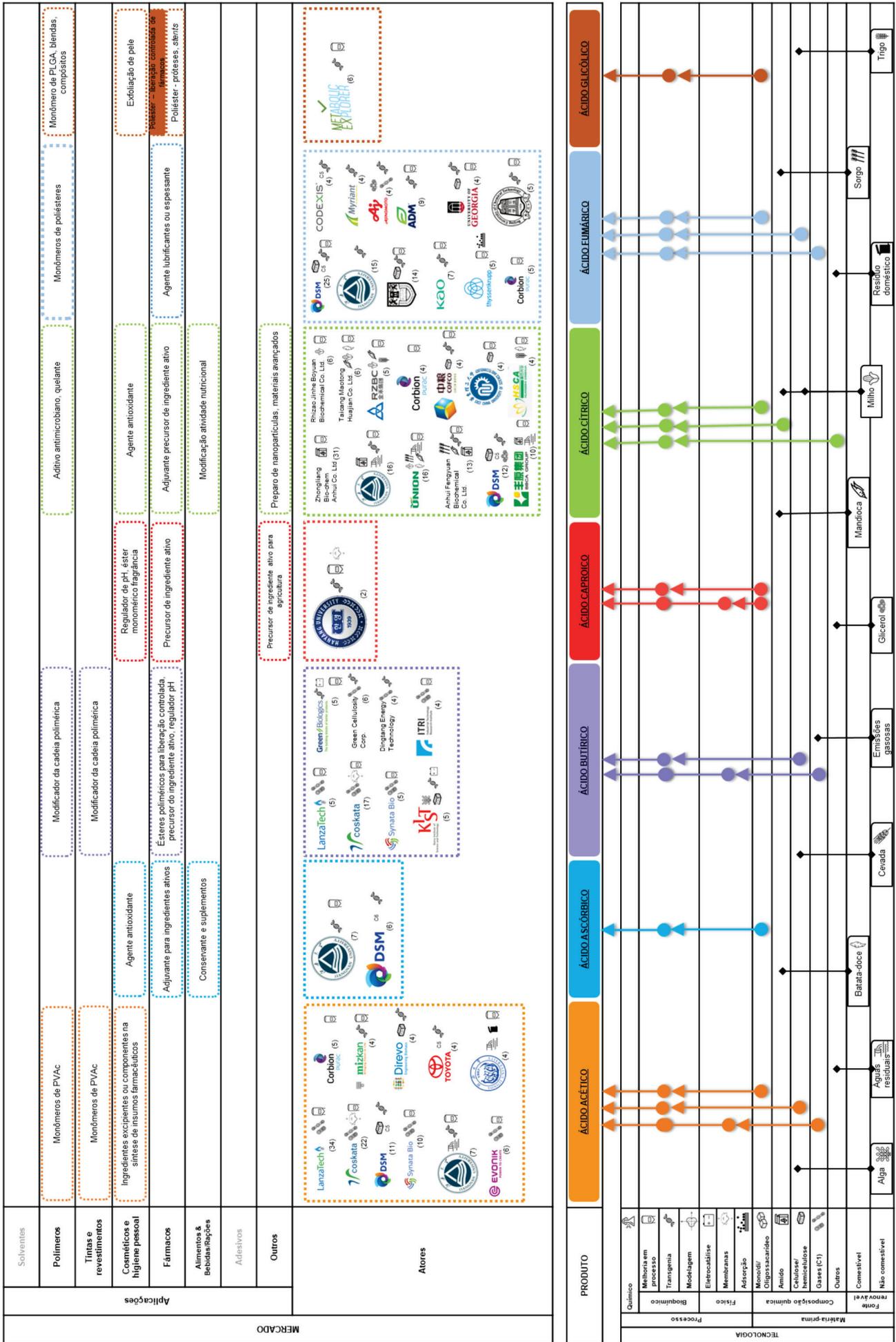


Figura 6. Mapa de Rotas Tecnológicas dos ácidos pertencentes ao Grupo 1, em Médio prazo (continua).

Fonte: Braga (2022).

		Solvantes			
		Polímeros		Número de poliésteres	
		Tintas e revestimentos		Número de poliésteres	
		Cosméticos e higiene pessoal		Número de poliésteres - géis	
		Fármacos		Precursor de ingrediente ativo	
		Alimentos & Bebidas/Bebidas		Ésteres monoméricos - aroma	
		Adesivos		Número de poliésteres	
		Outros		Adjuvante em fertilizantes, cimento e composição de surfactantes	
		Atores			

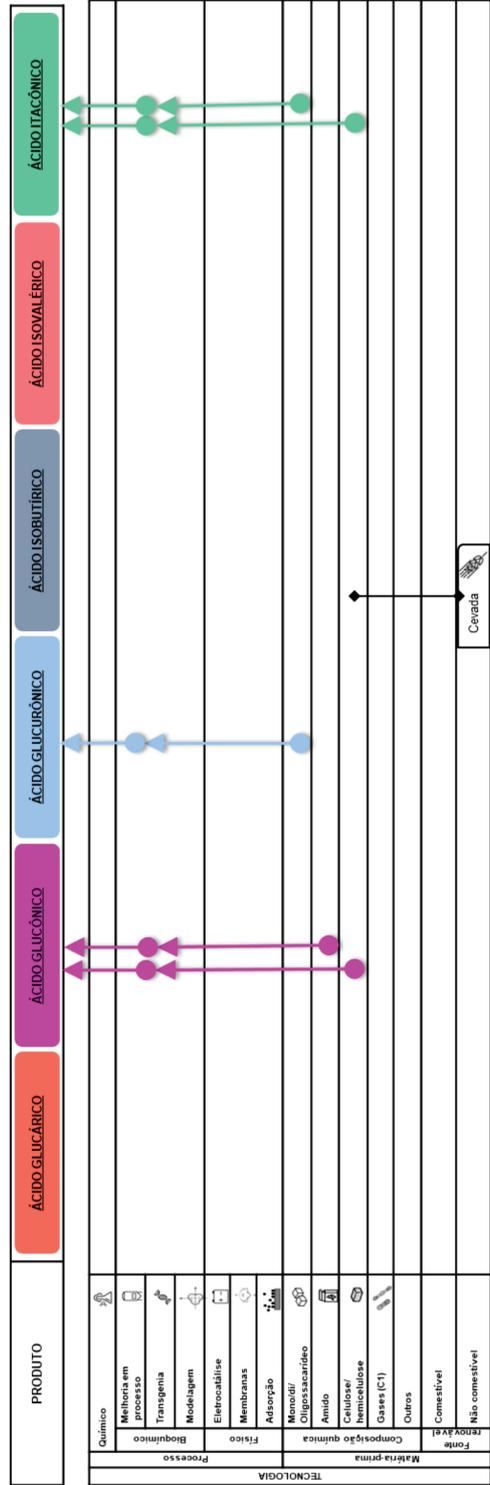


Figura 6. Mapa de Rotas Tecnológicas dos ácidos pertencentes ao Grupo 1, em Médio prazo.

Fonte: Braga (2022).

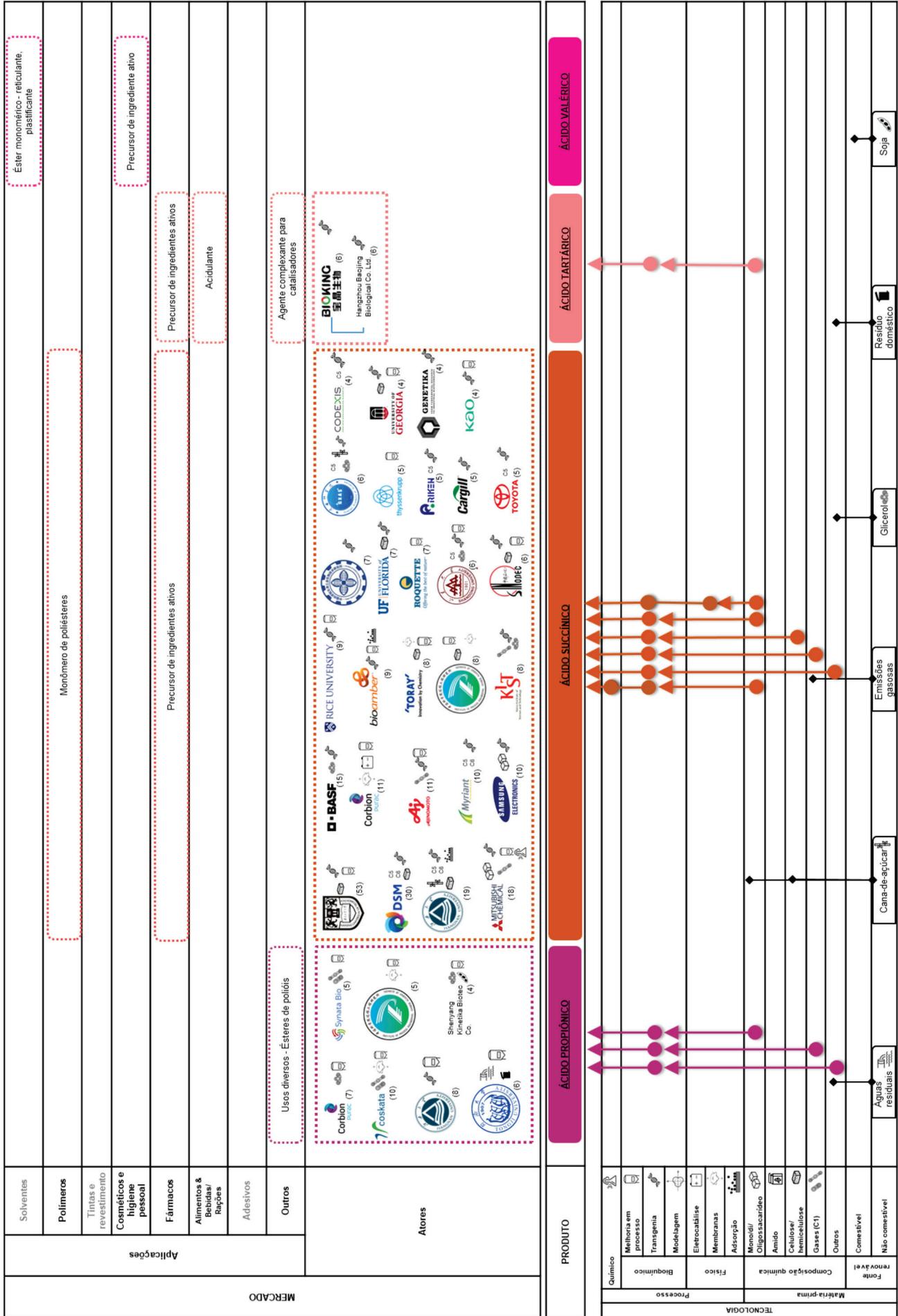


Figura 6. Mapa de Rotas Tecnológicas dos ácidos pertencentes ao Grupo 1, em Médio prazo (Continua).

Fonte: Braga (2022).

Mantidos os Processos bioquímicos como as bases das transformações dos substratos até o ácido, os documentos de patentes recuperados revelam a integração dos processos físicos, especialmente na separação do ácido no meio (*downstream*), após a bioconversão. Para tanto, membranas especiais e sólidos adsorventes são os recursos mais empregados com essa finalidade.

Poucos são os casos de Atores que exercem atividade produtiva, identificados no Mapa de Presente a Curto prazo (Figura 5), encontrados no Mapa de Médio prazo (Figura 6). A Lanzatech para o ácido acético; a DSM para o ascórbico; a COFCO para o cítrico; e a Corbion, Jindan e Cargill para o láctico são esses casos. A condução de pesquisa aplicada resultante em (pedidos de) patente desses fabricantes pode significar otimizações em processos produtivos pré-existentes e fortalecimento das posições desses Atores nesse segmento. Para os demais Atores, os que não exercem atividade produtiva em andamento, a presença no Mapa pode significar uma diversificação em seu portfólio de produtos.

Entre todos os Atores da Figura 6, a DSM é a instituição mais atuante e com o portfólio de patentes mais relevante em termos de depósitos de patentes. Desenvolve pesquisa aplicada acerca dos ácidos acético, ascórbico, cítrico, fumárico, itacônico, láctico, málico e, destacadamente, o succínico e grande número de patentes depositadas colocam-na em posição de destaque em todos os campos relacionados a esses ácidos na Figura 6. Guardadas as particularidades de cada (pedido de) patente, a estratégia da empresa está no uso de organismos geneticamente modificados capazes de metabolizar resíduos lignocelulósicos, especialmente pentoses provenientes desses materiais, em uma ampla diversidade de produtos, entre os quais os ácidos apresentados acima.

No Mapa da Figura 6, além das empresas/indústrias, os Atores constituem universidades e centros de pesquisa e desenvolvimento, com quatro ou mais patentes depositadas relativas à bioconversão. Embora essas instituições não exerçam atividade produtiva, realizam pesquisa aplicada relevante nessa área tecnológica, e suas patentes podem ser licenciadas e exploradas economicamente por outras empresas do ramo. Por essa razão, foram incluídas no Mapa. Contudo, apesar de possuírem número de famílias de patentes próximo ou superior ao de muitas empresas, essas famílias geralmente possuem menor abrangência territorial.

Isso posto, entre as universidades, destaca-se, pela atuação e pelo portfólio de patentes mais relevante, a Jiangnan University, com pesquisas aplicadas relacionadas aos ácidos acético, ascórbico, cítrico, fumárico, glucurônico, láctico, málico, propiônico e succínico. A transgenia e a diversificação de matérias-primas constituem as bases de pesquisa realizada pela universidade.

Considerando as bases fornecidas pelos documentos de patente, em termos de Matérias-primas, Processos e Atores, as seguintes perspectivas são traçadas, em Médio prazo, por Produto:

- **Ácido láctico:** é o ácido mais relevante sob o aspecto industrial, por acumular o maior número de Atores, variedade de processos e de matérias-primas associadas. A julgar pelo efeito técnico descrito nos documentos de patente analisados, novas tecnologias em surgimento estarão fundamentadas em transgenia de cepas bacterianas ou fúngicas, em processos físicos para promover eficiência da bioconversão (por exemplo, eletroquímica) ou na separação do produto do meio metabolizado por meio de membranas. A grande variedade de fontes de substratos para o processo deverá determinar a funcionalidade dos microrganismos geneticamente modificados, de modo a torná-los aptos a metabolizar esses insumos. As universidades, representando cerca de 50% dos Atores associados a esse ácido, remetem a uma base científica em formação em face da grande demanda tecnológica. O interesse no PLA justifica a presença de grandes consumidores finais do polímero entre os depositantes, a exemplo da Samsung Electronics, Toyota e Hyundai.

- **Ácido succínico:** as estratégias pautadas na modificação genética de microrganismos (especialmente *E. coli*) e ajustes em processos deverão promover a melhoria em índices ou coeficientes técnicos associados à produção do ácido. Esses processos propostos, aplicáveis a outros diácidos de quatro carbonos pertencentes ao Ciclo de Krebs, também deverão favorecer outros diácidos como o málico e fumárico. Matérias-primas de menor custo que a glicose, como o dióxido de carbono, o glicerol, a xilose e os materiais lignocelulósicos, deverão ser exploradas em médio prazo.
- **Ácidos fumárico e málico:** a transgenia poderá prover soluções tecnológicas para reverter em médio prazo o cenário pouco otimista observado em curto prazo para esses ácidos. Instituições desenvolvedoras de soluções tecnológicas, como universidades, indústria de equipamentos e fabricantes de enzimas, poderão ser as responsáveis por esses processos.
- **Ácidos acético, butírico, propiônico:** uso de monóxido de carbono e dióxido de carbono como substrato para a bioconversão tende a ser solução mais viável para a produção desses ácidos. Lanzatech, Evonik, ITRI, Green Cellulosity e adquirentes da Coskata e Sinata Bio são as instituições de destaque com essas estratégias para esses ácidos.
- **Ácido cítrico:** diversificação das matérias-primas, variando desde novas fontes de amido – matéria-prima atualmente empregada para a produção comercial – até águas residuais da indústria. As bases do processo industrial, com *A. niger* não geneticamente modificado, deverão se manter.
- **Ácidos ascórbico, caproico, glicólico, glucônico, glucurônico, tartárico:** pesquisa aplicada pouco expressiva em número de Atores e depósitos de patentes. Exceto pela transgenia, não são verificadas outras tendências ou particularidades associadas à bioconversão.
- **Ácidos glucárico, isobutírico, isovalérico, valérico:** a ausência de instituições com quatro ou mais pedidos de patente indica em médio prazo o alcance do estágio de maturidade, retração ou estagnação de tecnologias associadas à bioconversão de matérias-primas renováveis até esses ácidos.

Em termos das tendências para as Aplicações, o método de Sinais desenvolvido neste trabalho proveu as projeções para os próximos 5 a 10 anos por meio da análise dos documentos de patente referentes a cada ácido. Os resultados foram consolidados na Figura 6. São poucas as alterações no perfil de Aplicação dos ácidos, comparativamente ao momento presente em curto prazo, apresentadas na Figura 5. Os casos de maior destaque e as respectivas tendências em médio prazo são:

- **Ácido itacônico:** expansão dos domínios tecnológicos, com Sinais Fortes Emergentes relacionados aos mercados de tintas e revestimentos (C09D), cosméticos (A61K), adesivos (C09F), fertilizantes (C05G) e surfactantes (C09K).
- **Ácido isovalérico:** na forma de éster monomérico, como aromatizante de alimentos, por causa do Sinal Forte Emergente A23L.
- **Ácido glicólico:** crescimento importante como monômero de composições poliméricas para administração controlada de fármacos, em razão do Sinal Forte Emergente A61K.
- **Ácido glucurônico:** ganha importância em decorrência do aumento do consumo ácido hialurônico em preparações farmacêuticas e médicas por causa do Sinais Fortes Emergentes A61K e A61P.
- **Ácido propiônico:** redução das áreas tecnológicas em relação ao apresentado na Figura 5, com Sinal Forte Estável relacionado apenas a ésteres de polioliol (C07C).

5.1.3. Longo prazo

Entre os aspectos de destaque na camada de Tecnologia, projetados para o horizonte de longo prazo (Figura 7), está uma acentuação da característica identificada anteriormente para o médio prazo (Figura 6): a diversificação das Matérias-primas para a produção dos ácidos. A correlação entre o insumo agrícola empregado como fonte do substrato para o processo, a localização da instituição e as características regionais indicam não apenas a tendência de valorização dos insumos locais e de redução dos custos operacionais dos processos, mas também a busca por autossuficiência de matérias-primas. Os exemplos mais evidentes dessa regionalização das matérias-primas são a palma de óleo na Malásia; a uva na Grécia; as algas em Singapura, no Japão, na Coreia do Sul e na Índia; o arroz no Japão e na China; a tâmara na Arábia Saudita, entre outros casos. Além disso, tem sido estratégia recorrente dessas instituições o uso de resíduos de alimentos ou águas residuais provenientes de processos agroindustriais, não apenas como fonte de carboidratos, mas como fonte de nitrogênio para os processos fermentativos.

A grande diversidade de matérias-primas observada impacta nos Processos identificados. Assim, para promover a transformação desses insumos até o ácido de interesse, são propostos ajustes no meio de cultivo em termos de micronutrientes, condições de temperatura e valores de pH, combinações de cepas de diferentes gêneros, consumo de dois substratos distintos simultaneamente, processos de sacarificação e fermentação simultâneos e o pré-tratamento da biomassa para torná-la apta ao processo produtivo.

A subcamada de Atores do Mapa da Figura 7 é constituída predominantemente por universidades e centros de pesquisa, em razão de serem essas as instituições que mais divulgam os resultados de suas pesquisas em bioconversão por meio de publicações científicas. A liberdade científica dessas instituições permite ir além das demandas imediatas de mercado e propor temas mais disruptivos. Acrescenta-se o fato de as publicações científicas serem um meio democrático e sem custo dependendo do veículo de publicação (ao contrário da patente, que tem custos de depósito, manutenção, taxas, anuidades), que tendem a revelar estratégias e interesses regionais em virtude de não estender seus domínios a outros países ou regiões. As considerações feitas anteriormente para estas instituições, no que diz respeito à atividade produtiva, também são válidas neste caso. Ademais, deve-se considerar que os produtos e processos descritos nas publicações científicas encontram-se em um estágio de maturidade que antecede o patenteamento e são de cunho mais exploratório.

Embora essas universidades e centros de pesquisa estejam situados em vários países, nota-se a predominância de instituições de origem chinesa, sul-coreana, japonesa e estadunidense entre as mais atuantes e com maior número de publicações e citações.

As instituições chinesas mais atuantes são: Jiangnan University, por suas pesquisas com os ácidos acético, cítrico, láctico e succínico; Chinese Academy of Science, com os ácidos cítrico, láctico, propiônico e succínico; e Nanjing Technology University, com os ácidos fumárico, láctico, propiônico e succínico. Apenas duas empresas, por meio de seus respectivos centros de pesquisa, constam no Mapa da Figura 7: a Toyota, com o ácido láctico, e a Ajinomoto, com o ácido succínico. O Brasil tem apenas um representante, a Universidade Estadual de Campinas, em razão das pesquisas da universidade com o ácido láctico.

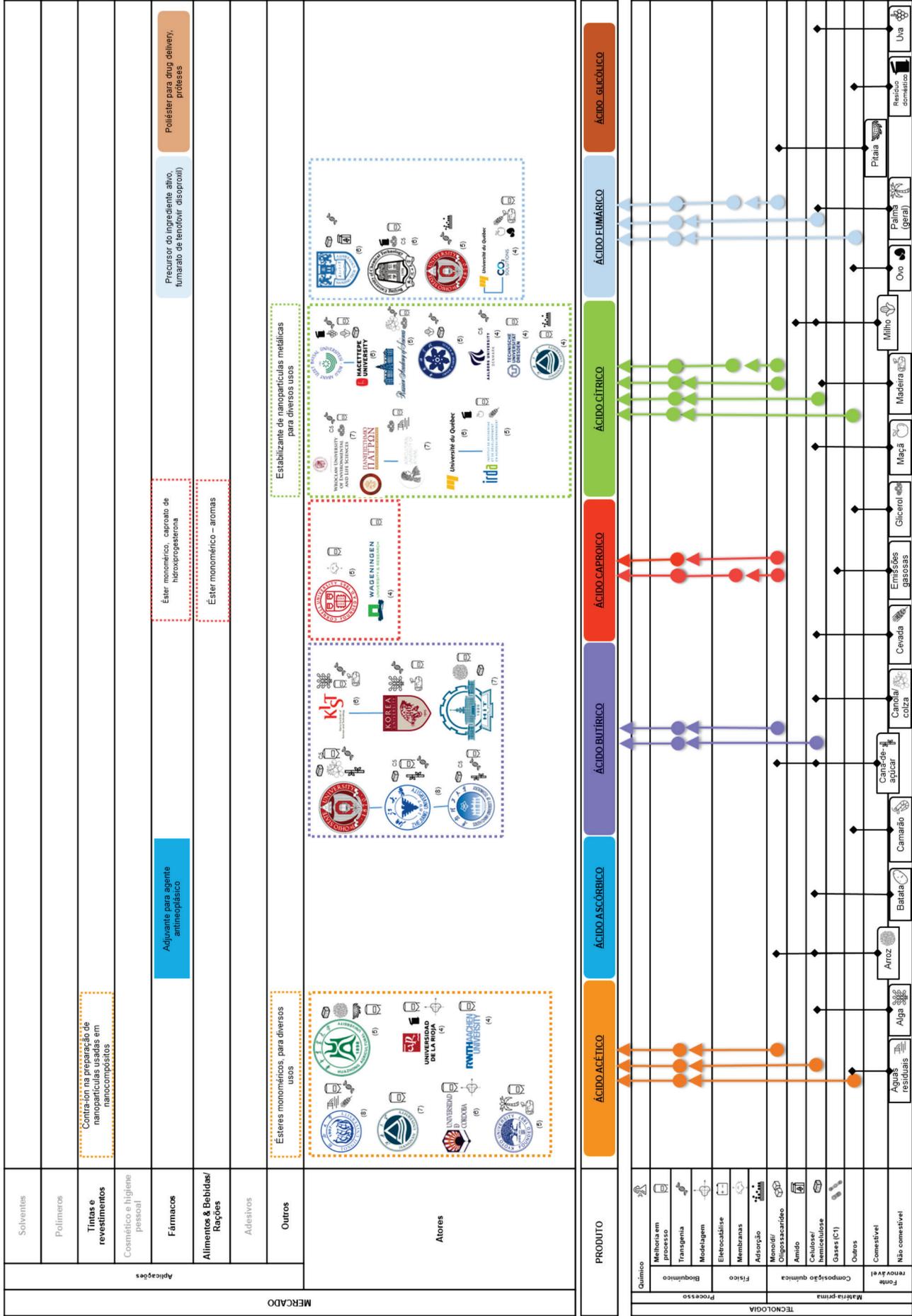


Figura 7. Mapa de Rotas Tecnológicas dos ácidos pertencentes ao Grupo 1, em Longo prazo.

Fonte: Braga (2022).

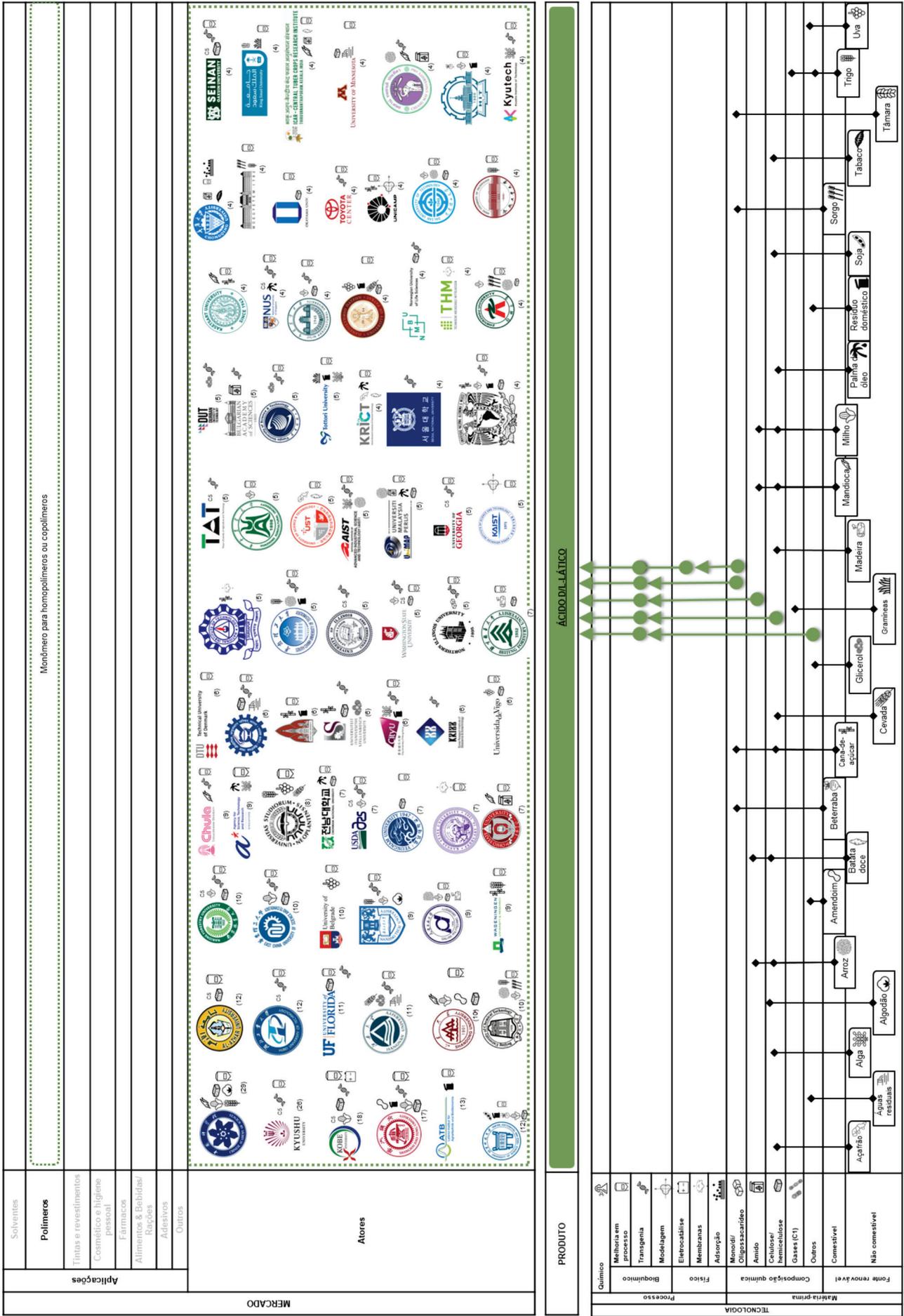


Figura 7. Mapa de Rotas Tecnológicas dos ácidos pertencentes ao Grupo 1, em Longo prazo (Continua).

Fonte: Braga (2022).

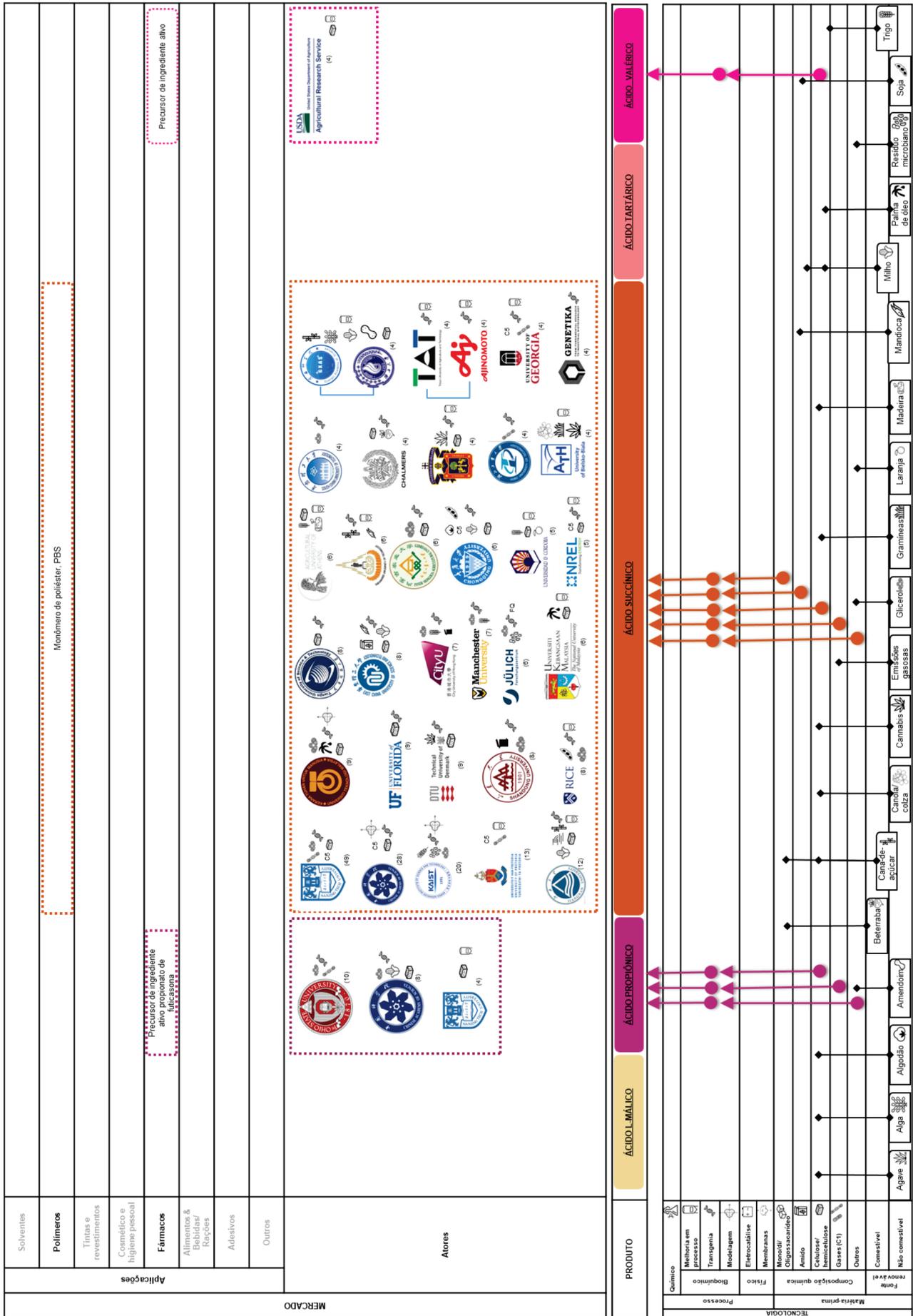


Figura 7. Mapa de Rotas Tecnológicas dos ácidos pertencentes ao Grupo 1, em Longo prazo (Continua).

Fonte: Braga (2022).

Considerando as bases fornecidas pelas publicações científicas, em termos de Matérias-primas, Processos e Atores, as seguintes perspectivas são traçadas, em longo prazo, por Produto:

- Ácidos lático e succínico: o maior número de atores e publicações coloca esses ácidos em condição privilegiada e de destaque em relação aos demais ácidos carboxílicos. As pesquisas no âmbito científico proverão não só as bases para a evolução tecnológica em bioconversão, mas também soluções técnicas para a viabilidade econômica e a expansão da produção desses ácidos, por meio da valorização de matérias-primas locais, especialmente resíduos, como insumos de processo.
- Ácidos butírico, cítrico, caproico e propiônico: indicam a transição dos carboidratos geralmente empregados como substrato de menor custo, para o glicerol proveniente do biodiesel até resíduos (doméstico e águas industriais). A modificação genética de microrganismos deverá ser o recurso para promover o uso desses insumos durante o processo.
- Ácidos acético, fumárico, glucônico e valérico: poucas publicações em relação aos ácidos descritos acima.
- Ácidos ascórbico, glicólico, glucurônico, isobutírico, isovalérico, itacônico, málico e tartárico: a ausência de instituições com quatro ou mais publicações científicas indica desinteresse, pulverização de iniciativas, retração ou estagnação de tecnologias associadas à bioconversão de matérias-primas renováveis nesses ácidos, em longo prazo.

As tendências para as Aplicações, projetadas para o horizonte de mais de 10 anos, reveladas pelo método de Sinais (Braga, 2022) e discutidas no item 4.2, estão consolidadas na Figura 7. Em relação aos Mapas de Curto e Médio prazos (Figura 5 e Figura 6, respectivamente), o Mapa de Longo prazo (Figura 7) demonstra a diminuição de Sinais relevantes, não como indicativo de retração de mercados ou aplicações, mas como ausência de desenvolvimentos significativos relacionados às aplicações originais. Isso posto, casos de maior destaque e as respectivas tendências em longo prazo são:

- Ácidos ascórbico, caproico, fumárico, glucônico, propiônico, valérico: Sinais fortes para atuação como adjuvantes ou coformadores de fármacos, como o caproato de hidroxiprogesterona, gluconato de clorexidina, propionato de fluticasona. O uso do ácido fumárico, como precursor do fumarato de tenofovir desoproxila, e do ácido ascórbico e a possível sinergia desses ácidos com ingredientes ativos no tratamento do câncer deverão prover resultados importantes para esses dois ácidos, por constituírem Sinais Fortes Emergentes.
- Ácidos glicólico, glucônico, itacônico, lático e succínico: Sinais Fortes para o campo de polímeros biodegradáveis e biocompatíveis. As composições poliméricas de ácido itacônico em substituição parcial do ácido acrílico, o uso do ácido glicólico para administração controlada de fármacos e próteses, o uso do ácido glucurônico como monômero do ácido hialurônico constituem as propostas mais promissoras referente à inserção desse ácido no mercado de polímeros, por constituírem Sinais Fortes Emergentes.
- Ácidos acético e cítrico: Sinais Fortes Estáveis como agentes estabilizantes de nanopartículas metálicas para aplicações em nanocompósitos, óptica, etc.

5.2. Grupo 2

Os ácidos do Grupo 2 não têm processos de base biológica e bioconversão estabelecidos industrialmente. Em outras palavras, todos os ácidos deste grupo têm origem petroquímica, obtidos por rotas químicas. Embora tenham altos volumes de consumo e, portanto, seja grande o interesse no desenvolvimento de uma rota renovável de obtenção, a dificuldade técnica de obtenção do ácido em coeficientes técnicos (rendimento, produtividade e concentração) competitivos com o processo químico ainda é uma grande barreira a ser transposta. Como discutido a seguir, as propostas mais promissoras nesse sentido envolvem processos híbridos, com mais de uma etapa, combinando processos químicos e bioquímicos.

5.2.1. Presente/Curto prazo

Não existem iniciativas em escala (semi-)industriais para bioconversão de matérias-primas renováveis em ácidos deste grupo. Como consequência, a camada de Tecnologia e a Subcamada de Atores no Mapa da Figura 8 estão vazias. Considerando os Grupos de ácido proposto neste trabalho, essa constatação é lógica, já que, caso houvesse processos de bioconversão estabelecidos, esses ácidos estariam posicionados no Grupo 1. Nesse sentido, cita-se o caso dos ácidos succínico, propiônico, butírico, valérico, caproico, isobutírico, isovalérico, cuja produção comercial acontece quase exclusivamente por rota química de base petroquímica, mas que possuem iniciativas já em escala (semi-)industrial por bioconversão e, portanto, essas iniciativas foram devidamente apresentadas no Mapa de Presente/Curto prazo do Grupo 1 (Figura 5).

Apesar disso, o monitoramento tecnológico relatado em Braga (2022) revela uma movimentação importante no passado recente para os ácidos acrílico e adípico. Por se tratar dos ácidos de maior valor econômico deste grupo, e de grande importância para a sociedade moderna, atraíram muitos interessados, incluindo os grandes fabricantes como a BASF e Dow, que se associaram a empresas de biotecnologia como Cargill, Novozymes, porém muitos foram os desistentes, especialmente para o ácido adípico. Para o ácido acrílico, a chance da bioconversão prosperar encontra-se em dois ácidos obtidos por bioconversão: o lático e o 3-hidroxiopropiônico, alfa e beta-hidroxiácidos, respectivamente, que por meio da eliminação da hidroxila, por processo químico, podem ser transformados em ácido acrílico.

Para os demais ácidos, fórmico, maleico e metacrílicos, além de não haver iniciativas industriais de bioconversão, não foram identificadas movimentações tecnológicas relevantes no presente ou perspectivas de curto prazo que devam modificar a situação deles ácidos.

A subcamada de Aplicações dos ácidos do Grupo 2 são predominantemente intermediários da indústria química, utilizados como monômeros para polímeros, o mercado que consome a maior parte da produção global, para uso em têxteis, lentes, plásticos, resinas, tintas e revestimentos, adesivos, etc. (Figura 8). Por se tratarem de mercados bem estabelecidos, não são esperadas mudanças significativas no horizonte de 5 anos.

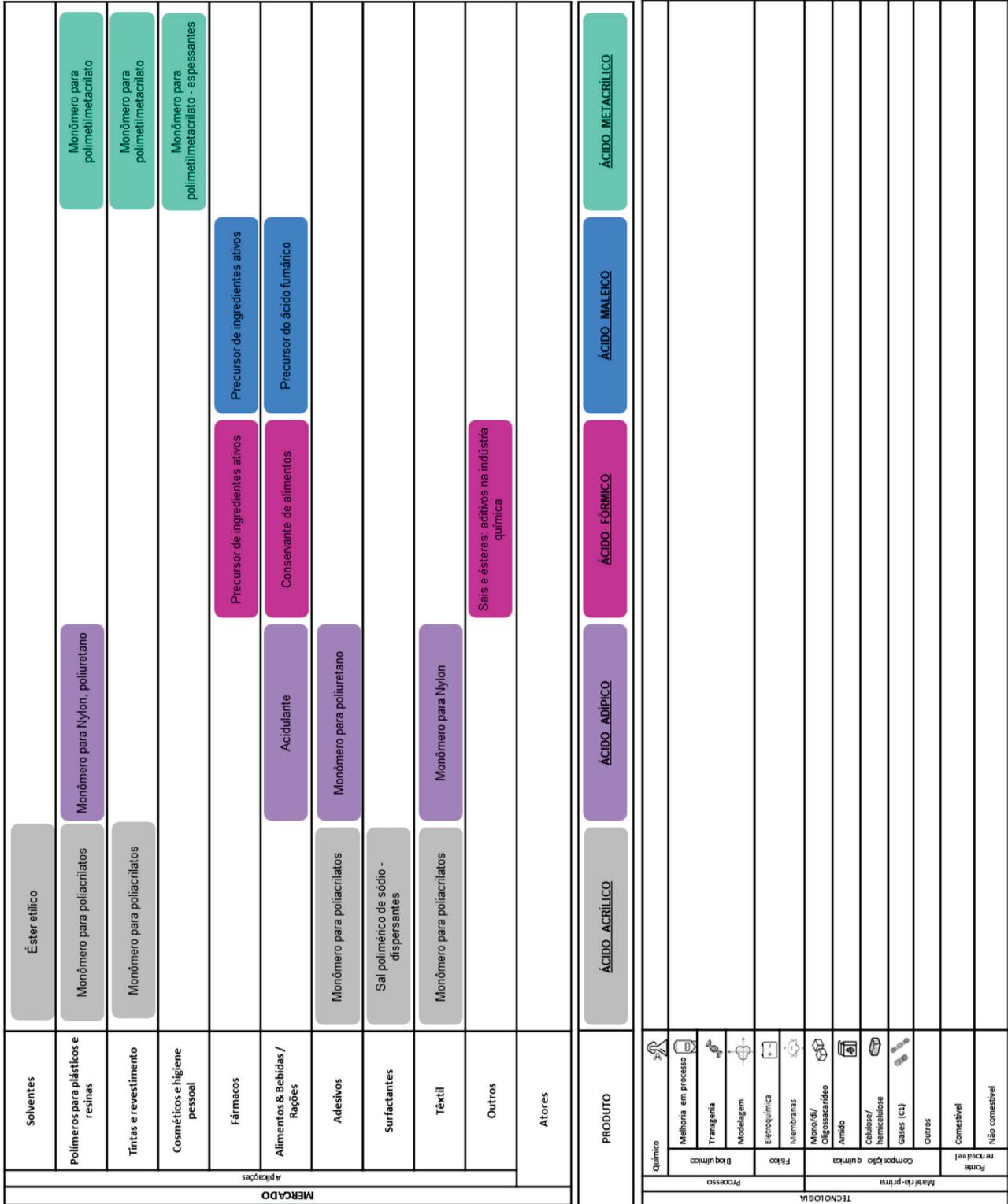


Figura 8. Mapa de Rotas Tecnológicas dos ácidos pertencentes ao Grupo 2, em Curto prazo.

Fonte: Braga (2022).

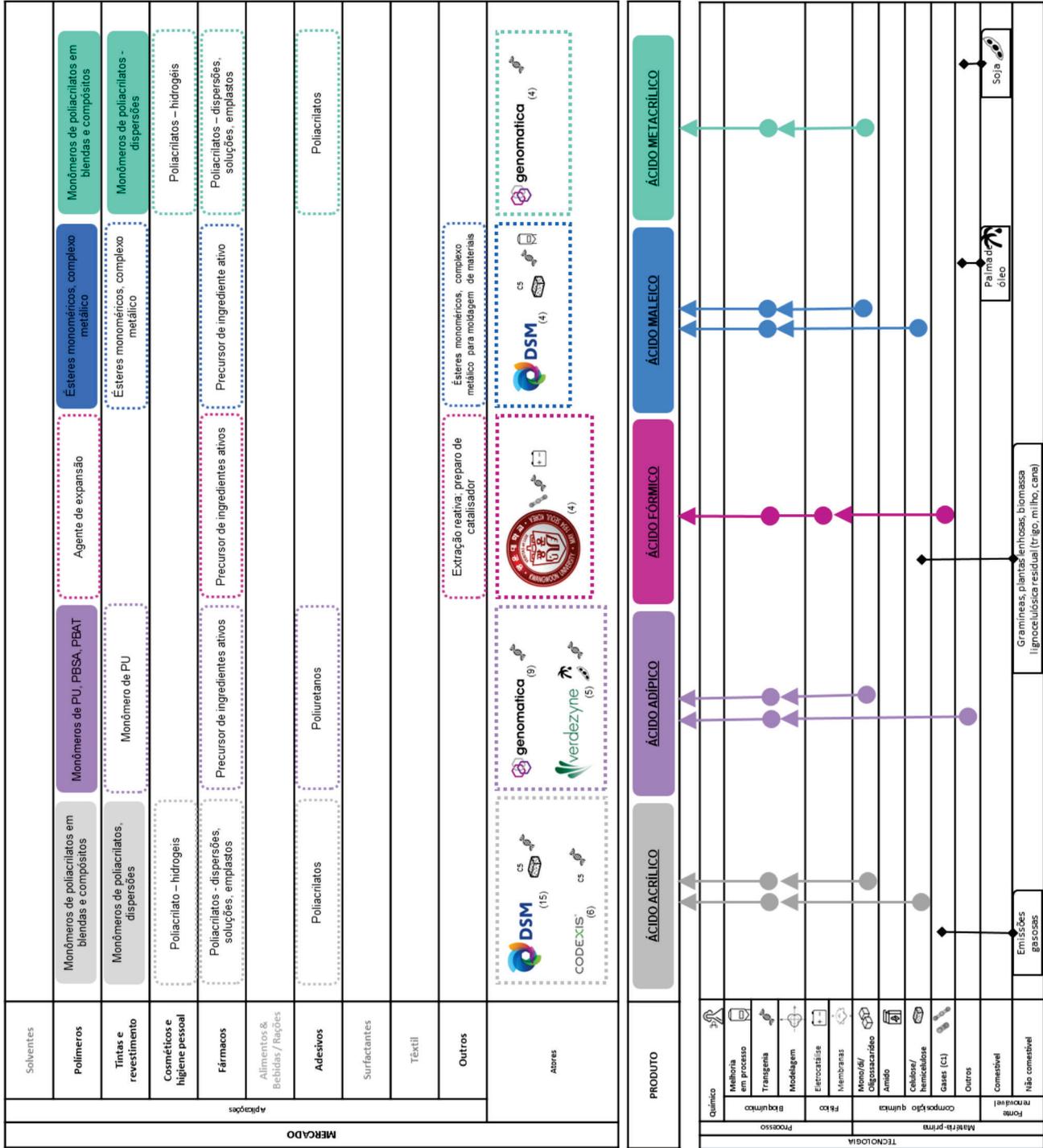
5.2.2. Médio prazo

A camada de Tecnologia de Médio prazo para os ácidos do Grupo 2 na Figura 9 não demonstra grande diversidade de Matérias-primas e de Processos associados à bioconversão. Apenas cinco instituições com quatro ou mais pedidos de patente foram associadas aos ácidos, sendo a maioria desenvolvedoras de soluções tecnológicas em biotecnologia (enzimas, processos) alinhadas à química de renováveis. Em comum têm o desenvolvimento de microrganismos geneticamente modificados, capazes de converter monossacarídeos ou resíduos lignocelulósicos até o ácido de interesse.

A DSM novamente é a empresa mais atuante do Grupo 2, atuando em pesquisas sobre os ácidos acrílico e maleico. A análise dos documentos de patente pertencentes ao portfólio desta empresa revela processos de agregação de valor a pentoses, oriundas da biomassa lignocelulósica, conforme discutido e apresentado anteriormente para os ácidos do Grupo 1. A estratégia da empresa Codexis para o ácido acrílico é a mesma, apesar do número menor de documentos de patentes observados anteriormente, para outros ácidos. A Verdezyne, por sua vez, não apresenta perspectivas de evolução no momento, em decorrência do encerramento das atividades em 2018 e da ausência de interessados nos ativos de propriedade intelectual da empresa. Foi mantida no Mapa em razão do seu relevante portfólio de patentes. Resta assim a Genomatica e o interesse desta empresa na produção da poliamida renovável, da qual o ácido adípico faz parte.

Esse cenário pouco otimista, com poucas atividades voltadas à produção por bioconversão de ácidos do tipo *drop-in*, é agravado se comparado ao portfólio de patente dessas empresas com as do Grupo 1, com poucos Atores, indicando pouco interesse tanto da indústria quanto de instituições de pesquisa e desenvolvimento, especialmente universidades.

Em contrapartida, o desenvolvimento de tecnologias resultantes em novas Aplicações ou na manutenção de pré-existentis favorece o mercado dos ácidos do Grupo 2, no horizonte de 5 a 10 anos (Figura 9). Essas tendências, reveladas pelo método de Sinais, apresentadas em Braga (2022) e discutidas no item 4.2, indicam a renovação tecnológica de mercados em que esses ácidos estão consolidados, destacadamente fármacos, tintas e revestimentos e, principalmente, polímeros, que por sua vez, são responsáveis pelos Sinais Fortes Emergentes associados aos seguintes ácidos:



- Ácidos acrílico e metacrílico: como monômero de polímeros, associados a blendas e compósitos, para uso diverso, mas especialmente para tintas e revestimentos.
- Ácido adípico: como monômero para polímeros com características biodegradáveis, como PBAT e PU.
- Ácido maleico: como éster monomérico, complexado com metais para promover a inserção do metal na matriz polimérica.

5.2.3. Longo prazo

Nenhum dos ácidos do Grupo 2 apresentou iniciativas consistentes, ou seja, instituições, com quatro ou mais publicações, relacionadas à pesquisa científica para produção do ácido a partir de matéria-prima renovável e bioconversão. Dessa forma, a camada de Tecnologia e a subcamada de Atores do Mapa da Figura 10 encontram-se vazias.

As tendências para as novas Aplicações reveladas pelo método de Sinais (Braga, 2022) e também demonstram baixa renovação tecnológica no horizonte maior que 10 anos (Figura 10). Apesar do crescimento de publicações científicas identificado na Etapa 1 (item 4.1) demonstrar crescimento pronunciado em pesquisas científicas relacionadas aos ácidos do Grupo 1, a diversificação de temas resultou em poucos Sinais, resultando assim na diminuição das Aplicações constatadas anteriormente para os horizontes de curto e médio prazos (Figura 9 e Figura 10, respectivamente). Os quatro Sinais Fortes, apresentados na Figura 10, revelam desenvolvimento relevante para os seguintes ácidos:

- Ácidos acrílico, adípico e metacrílico: polímeros, pautados em princípios de composições poliméricas menos agressivas ao meio ambiente, na forma de hidrogéis para os ácidos acrílico e adípico (Sinais Fortes Estáveis) ou polímeros biodegradáveis, a exemplo do PBAT associado ao ácido adípico (Sinal Forte Emergente).
- Ácido fórmico: como um dos componentes em baterias ou células de energia (Sinal Forte Estável).
- Ácido maleico: como coformador de fármacos, em especial o fármaco maleato de timolol (Sinal Forte Estável).

MERCADO		Aplicações				
Solventes						
Polímeros para plásticos e resinas	Monômero para poliacrilatos - dispersões, hidrogéis	Monômero para PBAT	Monômero para poliacrilatos - dispersões, hidrogéis			
	Tintas e revestimento					
Cosméticos e higiene pessoal						
Fármacos			Precursor de ingrediente ativo - maleato de timolol			
Alimentos & Bebidas / Rações						
Adesivos						
Surfactantes						
Têxtil						
Outros			Energia - componente de baterias			
Atores						
PRODUTO		ÁCIDO ACRÍLICO	ÁCIDO ADÍPICO	ÁCIDO FÓRMICO	ÁCIDO MALEICO	ÁCIDO METACRÍLICO
Processo		Tecnologia				
Químico	Melhoria em processo	Químico				
	Transgenia	Biológico				
Fébo	Modelagem	Fébo				
	Eletrônica	Fébo				
Composto químico	Membranas	Composto químico				
	Materiais/Oligosacáridos	Composto químico				
Materiais-pré	Amido	Materiais-pré				
	Celulose/Hemicelulose	Materiais-pré				
Fonte renovável	Gases (C1)	Fonte renovável				
	Outros	Fonte renovável				
Fonte renovável	Comestível	Fonte renovável				
	Não comestível	Fonte renovável				

Figura 10. Mapa de Rotas Tecnológicas dos ácidos pertencentes ao Grupo 2, em Longo prazo (continua).
Fonte: Braga (2022).

Grupo 3

Nos Grupos 1 e 2 abordaram-se produtos de mercados estabelecidos e bem definidos; já neste grupo serão abordados os ácidos cujos mercados são pouco desenvolvidos ou pequenos, não ultrapassando algumas poucas centenas de toneladas por ano. Se por um lado essa transição de *commodities* para a química de especialidades ou química fina agrega valor ao preço do produto, pequenos volumes tendem a fragmentar o mercado em pequenos fabricantes, em negócios do tipo *taylor-made*, produzidos em plantas multipropósito, sob encomenda, o que dificulta a identificação dos fabricantes, das capacidades produtivas e das rotas de produção.

5.3.1. Presente/Curto prazo

Não existem iniciativas (semi-)industriais da bioconversão de matérias-primas renováveis em ácidos deste grupo, em grande escala. Foram identificados fabricantes de pequenas quantidades, para a química fina ou ensaios laboratoriais. Contudo, essa proposta está distante do propósito deste trabalho, cujo intuito é identificar iniciativas para o atendimento de demandas volumétricas acima de milhares de toneladas por ano, capazes de substituir direta ou indiretamente o mercado atualmente ocupado pelos produtos petroquímicos. Assim, esses fabricantes serão desconsiderados. Como consequência, a camada de Tecnologia e a Subcamada de Atores no Mapa da Figura 11 estão vazias.

Dada a grande especificidade desses produtos e o uso como componente na formulação de químicas de especialidades, naturalmente, as Aplicações associadas a esses ácidos são menos evidentes ou mais escassas, se comparados aos demais ácidos dos Grupos 1 e 2. Certamente, a camada de Mercado do Mapa da Figura 11 contém poucas aplicações, concentradas em medicamentos ou alimentos funcionais. As quantidades mássicas produzidas anualmente raramente estão disponíveis, e os poucos registros encontrados sugerem que os volumes produzidos anualmente não superam poucas toneladas (Braga et al., 2020).

MERCADO		TECNOLOGIA	
Aplicações		Matéria-prima	
		Fonte renovável	
		Comestível	
		Não comestível	
		Processo	
		Químico	
		Melhoria em processo	
		Transgênia	
		Modelagem	
		Eletrouímica	
		Membrenas	
		Monodif/Oligossacarídeo	
		Amido	
		Celulose/hemicelulose	
		Gases (C1)	
		Outros	
		Comestível	
		Não comestível	
Solventes			
Polímeros	Monômero - poliéster		
Tintas e revestimento			
Cosmético e higiene pessoal			
Fármacos e Dispositivos Médicos	Precursor de insumo farmacêutico ativo		
Alimentos/Rações	Suplemento		
Outros	Suplementos		
Atores			
PRODUTO		ÁCIDO 2-CETOGLUTÁRICO	2,5-FDCA
		ÁCIDO GLICÉRICO	ÁCIDO 3-HB
		ÁCIDO 4-HB	ÁCIDO 3-HP
		ÁCIDO 3-HB	ÁCIDO PIRUVICO

Figura 11. Mapa de Rotas Tecnológicas dos ácidos pertencentes ao Grupo 3, em Curto prazo. Fonte: Braga (2022).

5.3.2. Médio prazo

Glicose, xilose, glicerol e insumos lignocelulósicos são as Matérias-primas propostas como substratos dos processos fermentativos para a obtenção dos ácidos do Grupo 3, na projeção em médio prazo (5 a 10 anos), conforme mostra a Figura 12.

Esses insumos devem compor Processos, em desenvolvimento na indústria e em instituições de pesquisa, relacionados especialmente à transgenia de microrganismos e melhoria de processos. Neste grupo, nota-se um evento não verificado anteriormente em outros grupos: a bioconversão como Sinal Forte Emergente, nos ácidos 2-cetoglutárico, 3-hidroxi-propionico e pirúvico. Isso coloca o desenvolvimento desses bioprocessos como as áreas tecnológicas mais relevantes em relação a esses ácidos.

Os Atores são empresas e instituições de pesquisa e desenvolvimento. Exceto pela Jiangnan University, que surge associada aos ácidos 2-cetoglutárico e pirúvico, não há instituições associadas a mais de um dos ácidos deste grupo. A julgar pela quantidade de patentes atribuída ao conjunto de Atores, o ácido 3-hidroxi-propionico é o mais relevante deste grupo. Além disso, nota-se o interesse exclusivo empresarial, pois todos os Atores com quatro ou mais pedidos de patentes relativos à bioconversão são indústrias.

Considerando essas bases fornecidas pelos documentos de patentes, em termos de Matérias-primas, Processos e Atores, as seguintes perspectivas são traçadas, em médio prazo, por Produto:

- Ácido 3-hidroxi-propionico: o ácido mais relevante sob o aspecto industrial, acumula o maior número de Atores. O desenvolvimento tecnológico da bioconversão de fontes renováveis derivados de resíduos lignocelulósicos, entre eles a xilose, coloca grandes empresas, entre elas produtoras ou consumidoras do ácido acrílico petroquímico, como DuPont, Samsung Electronics e Nippon Shokubai, à frente nessa direção.
- Ácidos 2-cetoglutárico e pirúvico: os esforços em bioconversão resultantes em pedidos de patentes são evidências do progresso na bioconversão na pesquisa aplicada, mas a contribuição desses poucos Atores com estratégias distintas não permite inferir sobre tendências em médio prazo.

- Ácidos 2,5-FDCA, glicérico, 4-HB: iniciativas isoladas e poucos documentos recuperados não permitem inferir tendências sobre a bioconversão como processo para obtenção desses ácidos.
- Ácido 3-HB: a ausência de instituições com quatro ou mais pedidos de patentes indica em médio prazo o baixo interesse em tecnologias associadas à bioconversão de matérias-primas renováveis até esse ácido.

Em termos de Aplicações (Figura 12), a presença de Sinais Fortes indica um cenário favorável para a maioria dos ácidos em médio prazo, com fortalecimento ou crescimento de áreas tecnológicas associadas. Por ácido, esses Sinais revelam o seguinte:

- Ácidos 3-HB, 4-HB e 3-HP: Sinal Forte Emergente em polímeros, sendo 3-HB e 4-HB na forma de PHA para dispositivos médicos ou preparações farmacêuticas; e o 3-HP como precursor do ácido acrílico. Nesse sentido, embora na forma polimérica os hidroxibutiratos encontrem um mercado em ascensão, a possibilidade de síntese direta, in vivo, dos PHAs como o PHBV¹, P4HB², p(3HB-co-4HB)³, por uma ampla gama de microrganismos, reduz a importância da produção dos monômeros para a polimerização subsequente por outros processos. Esse fato pode ser a razão pela qual, embora o polímero seja um Sinal Forte, haja um número insignificante de Atores associados à produção do ácido.
- Ácidos pirúvico e glicérico: Sinal Forte Emergente do ácido como precursor de fármacos.
- Ácido 2-cetoglutárico: Sinal Forte Estável como preparo de aminoácidos, com aplicações na indústria farmacêutica.

5.3.3. Longo prazo

Glicerol e monossacarídeos, principalmente pentoses, serão Matérias-primas que ganharão importância em longo prazo para os ácidos deste grupo (Figura 13). As bases das publicações analisadas, para promover o consumo ou a metabolização desses substratos até os ácidos de interesse, consistem na descrição dos Processos de modificação genética, especialmente de bactérias.

¹ PHBV: poli(3-hidroxibutirato-co-3-hidroxicaprolato)

² P4HB: poli(4-hidroxibutirato)

³ p(3HB-co-4HB): poli(3-hidroxibutirato-co-4-hidroxibutirato)

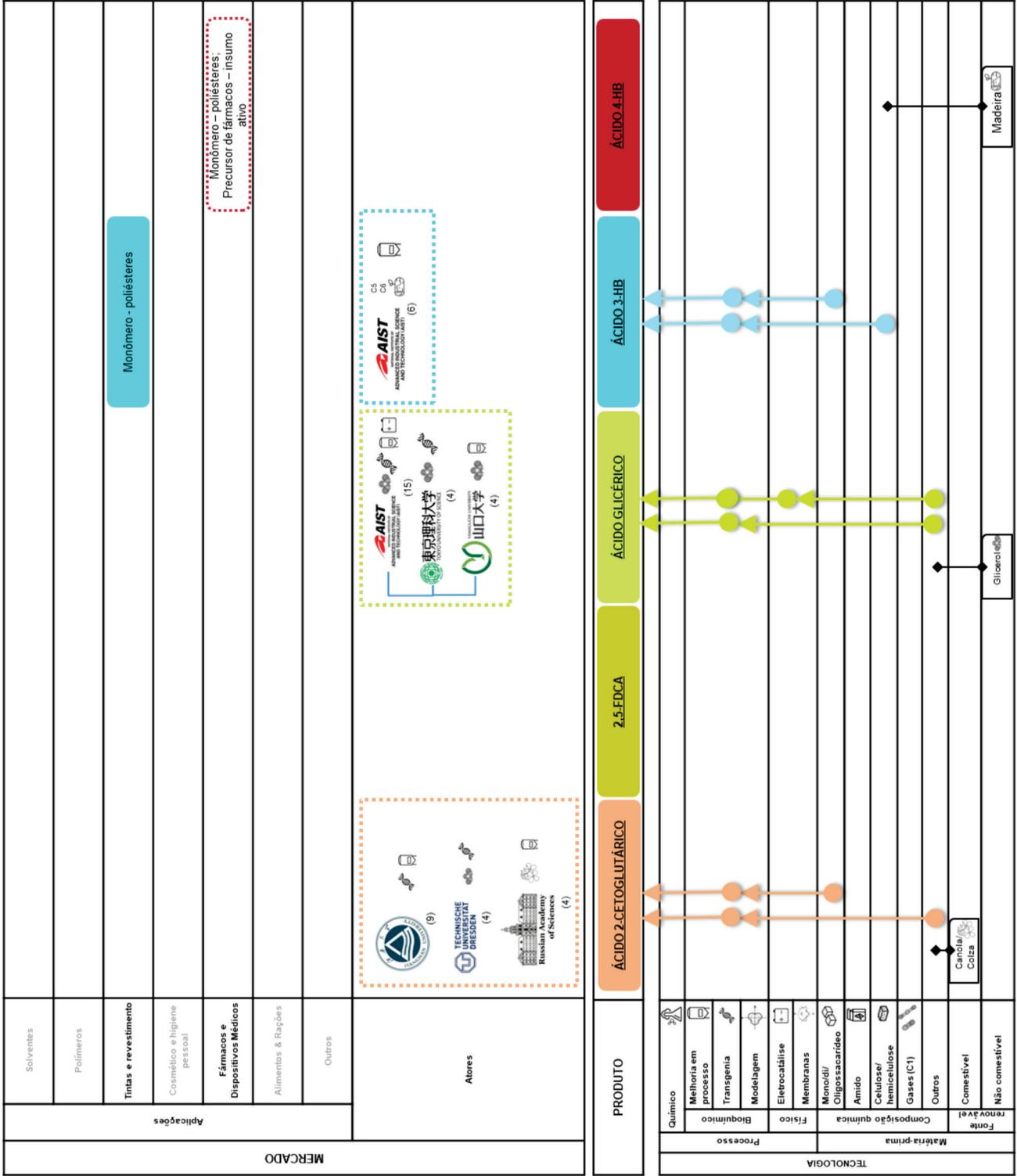


Figura 13. Mapa de Rotas Tecnológicas dos ácidos pertencentes ao Grupo 3, em Longo prazo.

Fonte: Braga (2022).

MERCADO	Aplicações	Solventes	
		Polímeros	
		Tintas e revestimento	
		Cosmético e higiene pessoal	
		Fármacos e Dispositivos Médicos	
		Alimentos & Rações	
		Outros	
	Atores		

PRODUTO		ÁCIDO 3-HP	ÁCIDO PIRÚVICO
TECNOLOGIA	Processo	Químico	
		Bioquímico	
	Físico	Modelagem	
		Eletrocatalise	
	Matéria-prima	Membranas	
		Mono/di/Oligossacarídeo	
		Amido	
		Celulose/hemicelulose	
	Fonte renovável	Gases (C1)	
		Outros	
	Comestível		
	Não comestível		
		Glicerol	

Figura 13. Mapa de Rotas Tecnológicas dos ácidos pertencentes ao Grupo 3, em Longo prazo.

Fonte: Braga (2022).

Os Atores são exclusivamente universidades e centros de pesquisa, entre os quais novamente destaca-se a atuação da Jiangnan University em pesquisas científicas relacionadas aos ácidos 2-cetoglutarico e pirúvico, e o National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) com os ácidos glicérico e 3-HB.

O ácido 3-HP mantém a superioridade absoluta em relação aos demais ácidos, em número de Atores e publicações associadas (Figura 13), de modo semelhante ao constatado em médio prazo (Figura 12). Além de serem universidades ou centros de pesquisa, a principal semelhança entre esses Atores é a estratégia do uso do glicerol como substrato primário ou secundário, associado ou não à glicose. Para tornar isso possível, a engenharia genética ou metabólica é usada em favor dessa transformação. Estratégia semelhante, no que diz respeito ao uso do glicerol como substrato e a modificação genética de microrganismos, é empregada pelas instituições de origem japonesa para a obtenção do ácido glicérico.

As Aplicações projetadas para longo prazo no Mapa da Figura 13 revelam apenas dois Sinais Fortes para o horizonte de longo prazo. O Sinal Forte Emergente reside no uso do ácido 3-HB como monômeros de poliéster, e o Sinal Forte Estável, no uso do 4-HB em polímeros para a liberação controlada de fármacos ou como precursor de fármacos. Para os demais ácidos mapeados, não há áreas relevantes, resultado da pulverização das publicações científicas em outras temáticas diversas.

6. Considerações finais

Neste trabalho, traçou-se um panorama para os ácidos carboxílicos de maior relevância científica e tecnológica, por meio da conjugação de dados de web, de documentos de patente e de publicações científicas. O produto desse trabalho prospectivo deu origem a nove Mapas de Rotas Tecnológicas, que permitiram a representação visual de uma alta densidade de informações sobre o momento atual (até 5 anos) e a projeção em Médio (5 a 10 anos) e Longo prazos (acima de 10 anos).

Os Atores que exercem atividade comercial, pesquisa aplicada ou pesquisa científica foram identificados e hierarquizados por meio de suas respectivas iniciativas de aumento de escala, pesquisa aplicada e científica nos períodos 0-5 anos, 5-10 anos e acima de 10 anos. Esses Atores pertencem a diferentes ramos de atuação da área industrial ou exclusivamente de pesquisa, *startups* e multinacionais. Independentemente do porte, podem ser divididos nas seguintes categorias:

- Fabricantes: empresas que exercem atividade de produção, por bioconversão bioquímica, dos ácidos e buscam por melhorias em seus processos. São elas: Lanzatech (ácido acético); DSM (ácido ascórbico); Cofco, RZBC, HSCA (ácido cítrico); Corbion, Cargill e Henan Jindan (ácido láctico); e Corbion/BASF (ácido succínico).
- Ingressantes: empresas que não possuem o ácido de base biológica obtido por bioconversão em seu catálogo de produtos comerciais, mas que têm interesse direto por meio da inclusão no portfólio ou como usuárias do ácido em seus produtos de linha, geralmente materiais, como Toyota, Hyundai, Samsung.
- Desenvolvedoras de soluções tecnológicas em biotecnologia: instituições cujo interesse axial está no desenvolvimento de microrganismos, proteínas, enzimas ou processos associados. Podem ser divididas em duas subcategorias: empresas (indústrias, *startups*) e instituições de pesquisa e desenvolvimento (universidades, centros de pesquisa). A primeira desenvolve atividade produtiva e comercial desses insumos, a exemplo de DSM, Codexis; a segunda depende do licenciamento da tecnologia para transferi-la ao setor produtivo, sendo as universidades ou os centros de pesquisa no geral os exemplos mais presentes.

Em termos geográficos, constata-se que, no momento atual até um horizonte de 5 anos, as instituições que realizam pesquisa e desenvolvimento acerca dos ácidos de base biológica – assim como de outros produtos de base biológica – concentram-se na Europa e nos Estados Unidos da América, enquanto os fabricantes situam-se na Ásia (especialmente na China). Contudo, os Mapas produzidos nesta etapa revelam uma base tecnológica no âmbito científico e aplicado em formação no continente asiático, especialmente na China e Coreia do Sul, o que poderá tornar essa região centro de referência em desenvolvimento de tecnologias renováveis.

O contexto do passado recente para esses ácidos tem sido instável e de muito risco para os ingressantes. Por um lado a última década foi marcada pela entrada de grandes empresas tradicionalmente petroquímicas, criação de *startups*, estabelecimento de parcerias (*joint ventures*) e criação de empresas de capital de risco (*venture capital*). Por outro lado, nos últimos anos, muitos dessas grandes empresas deixaram o negócio, as *startups* foram adquiridas e não se teve notícia da evolução da pesquisa pelos adquirentes, *joint ventures* foram dissolvidas e o saldo é de poucos remanescentes. Apesar disso, muitas *startups* que encerraram suas atividades tiveram seus ativos tangíveis e intangíveis adquiridos. São exemplos desses casos de interface com a bioconversão: a Myriant, adquirida pela GC Innovation; a Bioamber, pela LCY; a SynataBio e a Coskata adquiridas pela True North Eyes.

Por meio da análise das estratégias individuais dos Atores, traçaram-se as tendências sobre o desenvolvimento da bioconversão até os ácidos dos Grupos 1, 2 e 3. Essas tendências são sustentadas por quatro pilares:

- Biomassa renovável: embora glicose, sacarose, frutose e amido ainda sejam as bases para os processos atuais, os resíduos agroindustriais deverão, em médio ou longo prazos, complementar ou substituir esses insumos tradicionais. O tipo de insumo pode variar, a depender do processo, da região e do ácido almejado, porém os mais prováveis são pentoses (xilose, principalmente) e glicerol. O primeiro, proveniente da hemicelulose, e o segundo, proveniente da produção de biodiesel. A diversificação, contudo, deverá acontecer gradualmente, em médio prazo, inicialmente para os ácidos succínico e lático e, posteriormente, em longo prazo para os demais ácidos. Os óxidos de carbono (dióxido e monóxido de carbono), por sua vez, demonstram ser mais relevantes em curto e médio prazos para ácidos de cadeia menor, sem substituição na cadeia carbônica (por exemplo, acético, butírico).
- Engenharia genética e metabólica: modificações genéticas de fungos, leveduras e bactérias para aumento de rendimento e produtividade, tolerância ao ácido e flexibilidade de consumo ou metabolização de diferentes substratos (geralmente açúcares C5 e C6, concomitantemente). Estratégia adotada em todos os ácidos, mais evidente em médio e longo prazos, mais acentuado para os ácidos succínico e lático - em razão da frequência - e menos acentuado para o ácido cítrico.
- Processos fermentativos ou enzimáticos: otimização do processo fermentativo alterando parâmetros operacionais, como aeração, valor de pH; composição do meio de cultura, como misturas de substratos; *design* de reatores rumo ao processo contínuo, fazendo uso de membranas, leitos fixos; processos eletroquímicos para potencializar a ação dos microrganismos.
- *Downstream*: processos físicos de purificação e concentração do produto, principalmente via adsorção do produto em suportes especiais, troca de contra-íons dos carbonatos (forma de sal do ácido), processo de cristalização.

Essas abordagens demonstram o alinhamento e as respostas às demandas apontadas para remover aqueles que são os principais obstáculos no caminho da bioeconomia: altos custos de produção em

relação aos petroquímicos e redução da complexidade logística da biomassa, que é utilizada como matéria-prima, tecnologias pouco eficientes, baixa competitividade de bioprodutos comparativamente aos petroquímicos e um mercado limitado e instável.

Os fatores técnicos listados acima são, de fato, determinantes para a viabilidade dos produtos de base biológica, porém o sucesso ou o fracasso dessas iniciativas depende de inúmeros outros aspectos de cunho ambiental, político, social e econômico. O sucesso da bioconversão está fundamentalmente condicionado ao desenvolvimento da cadeia de valor da biomassa residual, desde a sua produção, coleta, armazenamento, distribuição, suprimento contínuo e pré-tratamento. Essas etapas são determinantes não só para a ininterruptão do processo produtivo, mas principalmente no custo do produto entregue ao consumidor final e, por conseguinte, na sua adesão ao produto de base biológica.

Sob o aspecto tecnológico, os ácidos de base biológica que mais se destacam, seja pela recorrência nas três fontes de informação (notícias de web, publicações científicas e documentos de patente) ou pela evolução nos três estágios avaliados (industrial, pesquisa aplicada, pesquisa científica), são os seguintes, por grupo:

- Grupo 1: os processos estão se renovando recentemente, por meio da pesquisa científica e aplicada, já no contexto da biotecnologia moderna. Os casos em que isso acontecerá de forma mais acelerada e efetiva são os dos ácidos láctico e succínico, enquanto para o cítrico não são esperadas grandes mudanças no processo secular, além de meros ajustes no processo pré-existentes.
- Grupo 2: a demanda e o interesse por esses produtos *drop-in* são altamente impactados pela variação do preço do petróleo, o que os coloca em posição frágil em relação aos demais Grupos. Diante das iniciativas pontuais e pouco expressivas constatou-se que não há espaço para a bioconversão para os ácidos deste grupo no horizonte temporal deste estudo. A melhor situação é a do ácido acrílico, produzido por processo híbrido, via ácido 3-HP do Grupo 3.
- Grupo 3: a alta pulverização de Atores de pequeno porte (fabricantes e desenvolvedoras) dificulta a identificação deles neste mercado. Neste grupo, o destaque em médio e longo prazos é o ácido 3-HP, em razão do vínculo do ácido acrílico (Grupo 2) e da eminente evolução tecnológica, demonstrada pela alta incidência na pesquisa aplicada e científica.

O maior número de iniciativas concentra-se, portanto, em produtos com processos de bioconversão estabelecidos. Este fato demonstra que embora sejam muitas e diversas as propostas de projetos e iniciativas industriais associadas a renováveis, o setor industrial tem se mostrado cauteloso, não apenas investindo em produtos com mercado garantido, mas dividindo custos e responsabilidades do negócio por meio do estabelecimento de parcerias, *joint ventures* ou *venture capitals*.

O resultado reforça a necessidade de redução da dependência de fonte fóssil que vem impulsionando novas iniciativas no âmbito industrial, na produção científica e aplicada. Em curto prazo, exceto para as empresas estabelecidas no ramo, isso acontece de forma cautelosa, diante da fragilidade de mercado para os produtos de base biológica frente aos petroquímicos. Em médio prazo, constata-se um cenário otimista, para os Grupos 1 e 3, resultado do aumento de número de Atores Fabricantes e Ingressantes de tecnologias com aplicação industrial associadas. Em médio e longo prazos, as expectativas para os três grupos são a diversificação e flexibilidade de matérias-primas, ampliando as possibilidades de substratos para bioconversão em uma ampla variedade de culturas agrícolas e, principalmente, resíduos (agroindustriais, agroalimentar ou resíduos urbanos, subprodutos agrícolas).

Referências

- ALMEIDA, J. R. M.; FAVARO, L. C. L.; QUIRINO, B. F. Biodiesel biorefinery: opportunities and challenges for microbial production of fuels and chemicals from glycerol waste. **Biotechnology for Biofuels**, v. 5, n. 1, p. 48-64, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1186/1754-6834-5-48>.
- ALONSO, S. L.; RENDUELES, M.; DÍAZ, M. Microbial production of specialty organic acids from renewable and waste materials. **Critical Reviews on Biotechnology**, v. 35, n. 4, p. 497-513, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3109/07388551.2014.904269>.
- ANANDA, J.; DOMAZETIS, G.; HILL, J. A roadmap to a green chemical industry in Australia. **Environment, Development and Sustainability**, v. 11, n. 5, p. 1051-1071, 21 out. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-008-9166-z>.
- ATASOY, M.; OWUSU-AGYEMAN, I.; PLAZA, E.; CETECIOGLU, Z. Bio-based volatile fatty acid production and recovery from waste streams: Current status and future challenges. **Bioresource Technology**, v. 268, p. 773-786, Nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.07.042>.
- BAUMANN, I.; WESTERMANN, P. Microbial production of short chain fatty acids from lignocellulosic biomass: current processes and market. **BioMed Research International**, p. 15-31, article ID 8469357, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1155/2016/8469357>.
- BECKER, J.; LANGE, A.; FABARIUS, J.; WITTMANN, C. Top value platform chemicals: bio-based production of organic acids. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 36, p. 168-175, Dec. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2015.08.022>.
- BELÉM, D. de L.; BRAGA, M.; ALMEIDA, J. R. M. de. Análise evolutiva dos ácidos carboxílicos de base biológica na indústria internacional. In: ENCONTRO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA EMBRAPA AGROENERGIA, 6., 2020, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2020. p. 243-253. Disponível em: <https://www.embrapa.br/enpi/anais-todos>. Acesso em: 18 out. 2021.
- BIOREFINERIES roadmap. Berlin: Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection, 2012. 105 p. Disponível em: https://www.aufstiegs-bafoeg.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/FS/30759_Biorefineries_Roadmap_en.pdf?__blob=publicationFile&v=3. Acesso em: 16 out. 2021.
- BORSCHIVER, S.; SILVA, A. L. R. da S. **Technology Roadmap**: planejamento estratégico para alinhar mercado-produto-tecnologia. Rio de Janeiro: Interciência, 2016.
- BOZELL, J. J.; PETERSEN, G. R. Technology development for the production of biobased products from biorefinery carbohydrates—the US Department of Energy’s “Top 10” revisited. **Green Chemistry**, v. 12, n. 4, p. 539-554, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1039/b922014c>.
- BRAGA, M. **Análise de futuro dos ácidos carboxílicos de base biológica**: uma abordagem semiquantitativa para o mapeamento tecnológico. 2022. 307 f. Tese (Doutorado em Processos Químicos e Biológicos) – Universidade de Brasília, Brasília, DF. Orientador: João Ricardo Moreira de Almeida, CNPAE. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1148674/1/Analise-de-futuro-dos-acidos.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2023.
- BRAGA, M.; DAMASO, M. C. T.; SANTOS, A. C. **A experiência da Embrapa Agroenergia com Métodos Prospectivos para Inteligência Estratégica de 2018 a 2020**: estudo de caso da Plataforma Industrial de Açúcares C5 e C6. Brasília, DF: Embrapa, 2021.
- BRAGA, M.; FERREIRA, P. M.; ALMEIDA, J. R. M. Screening method to prioritize relevant bio-based acids and their biochemical processes using recent patent information. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 15, n. 1, p. 231-249, set. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/bbb.2156>.
- BRAZIL and United States: a roadmap to an enhanced economic partnership. Brasília, DF: National Confederation of Industry: American Chamber of Commerce for Brazil: U.S. Chamber of Commerce, 2016. 35 p. Disponível em: <https://www.brazilcouncil.org/enhanced-economic-partnership-a-roadmap/>. Acesso em: 16 out. 2021.
- CHANCHETTI, L. F.; DIAZ, S. M. O.; MILANEZ, D. H.; LEIVA, D. R.; FARIA, L. I. L. de; ISHIKAWA, T. T. Technological forecasting of hydrogen storage materials using patent indicators. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 41, n. 41, p. 18301-18310, Nov. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.08.137>.
- CHOI, J.; JANG, D.; JUN, S.; PARK, S. A predictive model of technology transfer using patent analysis. **Sustainability**, v. 7, n. 12, p. 16175-16195, Dec. 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/su71215809>.
- CLEAN ENERGY COUNCIL. **Australian Bioenergy Roadmap**: Setting the direction for biomass in stationary energy to 2020 and beyond. 2012. Disponível em: <https://www.energyfarmers.com.au/wp-content/uploads/01-Australian-Bioenergy-Roadmap.pdf>. Acesso em: 18 out. 2021.

COELHO, K. M.; BORSCHIVER, S. Roadmap tecnológico do ácido levulínico produzido a partir de biomassa lignocelulósica. **Cadernos de Prospecção**, v. 9, n. 4, p. 481-492, 2016. DOI: <https://doi.org/10.9771/cp.v9i4.17951>.

COMPENDIUM of chemical terminology: gold book. International Union of Pure and Applied Chemistry, 2014. 1622 p. Disponível em: <https://goldbook.iupac.org/>. Acesso em: 16 out. 2021.

CONWAY, R. U. S. **biobased products market potential and projections through 2025**. Washington D.C.: [s.n.], 2008. Disponível em: www.usda.gov/oce/reports/energy/index.htm. Acesso em: 23 jan. 2017.

COUTINHO, P.; BOMTEMPO, J. V. Roadmap tecnológico em matérias-primas renováveis: uma base para a construção de políticas e estratégias no Brasil. **Química Nova**, v. 34, n. 5, p. 910-916, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000500032>.

DE JONG, E.; HIGSON, A.; WALSH, P.; WELLISCH, M. **Bio-based chemicals: value added products from biorefineries**. [2012]. Disponível em: <http://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/10/Task-42-Biobased-Chemicals-value-added-products-from-biorefineries.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2023.

DUTTA, S.; REYNOSO, R. E.; ROSSINI, C.; WILKINSON, I.; PARAVINI, V. **Supporting Brazil's future readiness: an innovation, technology and talent readiness roadmap**. São Paulo: National Confederation of Industry, 2020. 132 p. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2020/12/supporting-brazils-future-readiness-innovation-technology-and-talent-readiness-roadmap/>. Acesso em: 16 out. 2021.

E4TECH(UK). **UK Top Bio-based Chemicals Opportunities**. 2017. Disponível em: www.e4tech.com. Acesso em: 26 out. 2022.

EWING, F. **The biorefinery roadmap for Scotland**. Glasgow: Scottish Enterprise, 2015. 9 p. Disponível em: <https://www.lifesciencesscotland.com/wp-content/uploads/2017/08/BiorefineryRoadmapforScotland.pdf>. Acesso em: 26 out. 2022.

GONZALEZ-SALAZAR, M. A.; VENTURINI, M.; POGANIETZ, W.-R.; FINKENRATH, M.; KIRSTEN, T.; ACEVEDO, H.; SPINA, P. R. Development of a technology roadmap for bioenergy exploitation including biofuels, waste-to-energy and power generation & CHP. **Applied Energy**, v. 180, p. 338-352, Oct. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.07.120>.

LEZAMA-NICOLÁS, R.; RODRÍGUEZ-SALVADOR, M.; RÍO-BELVER, R.; BILDOSOLA, I. A bibliometric method for assessing technological maturity: the case of additive manufacturing. **Scientometrics**, v. 117, n. 3, p. 1425-1452, Dec. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-018-2941-1>.

LÓPEZ-GARZÓN, C. S.; STRAATHOF, A. J. J. Recovery of carboxylic acids produced by fermentation. **Biotechnology Advances**, v. 32, n. 5, p. 873-904, Sept./Oct. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2014.04.002>.

LUAN, C.; LIU, Z.; WANG, X. Divergence and convergence: technology-relatedness evolution in solar energy industry. **Scientometrics**, v. 97, n. 2, p. 461-475, Nov. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-013-1057-x>.

MEETING policy challenges for a sustainable bioeconomy. Paris: OECD Publishing, 2018. 196 p. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264292345-en>.

MORENO, A.; SIPPONEN, M. H. Lignin-based smart materials: a roadmap to processing and synthesis for current and future applications. **Materials Horizons**, v. 7, n. 9, p. 2237-2257, Sept. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1039/D0MH00798F>.

MURALI, N.; SRINIVAS, K.; AHRING, B. K. Biochemical production and separation of carboxylic acids for biorefinery applications. **Fermentation**, v. 3, n. 2, p. 1-25, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation3020022>.

OLIVEIRA, M. G. de; FREITAS, J. S.; FLEURY, A. L.; ROZENFELD, H.; PHAAL, R.; PROBERT, D. **Roadmapping: uma abordagem estratégica para o gerenciamento da inovação em produtos, serviços e tecnologias**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2012. 208 p.

PATEL, M. K.; CRANK, M.; DORNBURG, V.; HERMANN, B. **Medium and long-term opportunities and risks of the biotechnological production of bulk chemicals from renewable resources**. Utrecht: Utrecht University, 2006. Disponível em: <https://edepot.wur.nl/183326>. Acesso em: 20 jan. 2023.

POTENCIAL de diversificação da indústria química brasileira. Rio de Janeiro: Bain & Company, 2014. 16 p.

QUÍMICA verde no Brasil: 2010-2030. Ed. rev. e atual. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

SANTOS, M. F. R. F. dos. **Elaboração do Technology Roadmap para biorrefinaria de produtos de lignina no Brasil**. 2011. 307 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro.

SAUER, M.; PORRO, D.; MATTANOVICH, D.; BRANDUARDI, P. Microbial production of organic acids: expanding the markets. **Trends in Biotechnology**, v. 26, n. 2, p. 100-108, Feb. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2007.11.006>.

SEAI. **Bioenergy_RoadmapDublinIreland's EU Structural Funds**. 2013. Disponível em: http://www.seai.ie/Renewables/Bioenergy_Roadmap.pdf. Acesso em: 26 out. 2022.

SONG, Y.; LI, J.; SHIN, H.-D.; LIU, L.; DU, G.; CHEN, J. Biotechnological production of alpha-keto acids: Current status and perspectives. **Bioresource Technology**, v. 219, p. 716-724, Nov. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.08.015>.

STRAZZERA, G.; BATTISTA, F.; GARCIA, N. H.; FRISON, N.; BOLZONELLA, D. Volatile fatty acids production from food wastes for biorefinery platforms: a review. **Journal of Environmental Management**, v. 226, p. 278-288, 15 Nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.039>.

TAYLOR, R.; NATTRASS, L.; ALBERTS, G.; ROBSON, P.; CHUDZIAK, C.; BAUEN, A.; LIBELLI, I. M.; LOTTI, G.; PRUSSI, M.; NISTRI, R.; CHIARAMONTI, D.; LÓPEZ-CONTRERAS, A. M.; BOS, H. L.; EGGINK, G.; SPRINGER, J.; BAKKER, R.; REE, R. van. **From the sugar platform to biofuels and biochemicals**: final report for the European Commission Directorate-General Energy. Wageningen: European Commission, 2015. 183 p. Disponível em: https://ec.europa.eu/energy/content/sugar-platform-biofuels-and-biochemicals_en. Acesso em: 20 jan. 2023.

VAZ JUNIOR, S. Biomass and the green chemistry principles. In: VAZ JR., S. (ed.). **Biomass and green chemistry**: building a renewable pathway. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 1-9. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-66736-2_1

WANG, J.; LIN, M.; XU, M.; YANG, S.-T. Anaerobic fermentation for production of carboxylic acids as bulk chemicals from renewable biomass. In: HATTI-KAUL, R.; MAMO, G.; MATTIASSON, B. (ed.). **Advances in biochemical engineering/biotechnology**. Lund: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2016. p. 323-363. DOI: https://doi.org/10.1007/10_2015_5009.

WATTS, R. J.; PORTER, A. L. Innovation forecasting. **Technological Forecasting and Social Changes**, v. 56, n. 1, p. 25-47, Sept. 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(97\)00050-4](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(97)00050-4).

WERPY, T.; PETERSEN, G. (ed.). **Top value-added chemicals from biomass**: Volume I—Results of screening for potential candidates from sugars and synthesis gas energy efficiency and renewable energy. Oak Ridge: Office of Scientific and Technical Information, U.S. Department of Energy, 2004. 67 p. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy04osti/35523.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2017.

WIPO. **Classificação Internacional de Patente**. Versão 2019.1. Disponível em: <http://ipc.inpi.gov.br/classifications/ipc/ipcpub>. Acesso em: 20 jan. 2023.

YOON, J. Detecting weak signals for long-term business opportunities using text mining of Web news. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 16, p. 12543-12550, Nov. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.04.059>.

Embrapa

Agroenergia

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA E
PECUÁRIA



CGPE 18341