

Roadmap Tecnológico da Biometanização da Palha

Technology Roadmap of the Biomethanation of Straw

Fernanda Cardoso¹

Suzana Borschiver¹

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Resumo

Neste estudo, foi elaborado um *roadmap* tecnológico da biometanização da palha, com o objetivo de apresentar, de maneira visual, o estado da arte da produção de biogás no ambiente internacional, a fim de que essa análise possa ser utilizada para explorar a dinâmica – identificação, seleção e desenvolvimento – das tecnologias emergentes no setor agrícola. Destacam-se alguns resultados obtidos por meio da análise do *roadmap* tecnológico, como a relevância dos *players* chineses, o que apontou para o grande investimento da China em Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação (PD&I) nesse mercado em comparação ao resto do mundo, e a determinação das principais tecnologias para o pré-tratamento da palha, crucial para a viabilidade do processo. O *roadmap* permitiu ainda o acompanhamento dos movimentos estratégicos em curto, médio e longo prazo de companhias multinacionais que não são conhecidas atualmente pela produção de biogás como a Novozymes, Shell e Texaco.

Palavras-chave: Roadmap Tecnológico. Biogás. Palha.

Abstract

A technology roadmap for straw biomethanization was developed with the objective of visually presenting the state of the art of this sector in the international environment and so that it can be used to explore the dynamics of emerging technologies, assisting in the identification, selection and development of technologies to satisfy this market. We highlight some results obtained through the roadmap analysis, such as the relevance of the Chinese players, which pointed to China's large investment in RD&I in this market compared to the rest of the world, and the determination of the main technologies for pre-treatment of the straw, crucial for the viability of the process. The roadmap has been able to track strategic short, medium and long-term movements in this sector by multinational companies that are not currently known for biogas production, such as Novozymes, Shell and Texaco.

Keywords: Technology Roadmap. Biogas. Straw.

Áreas tecnológicas: Inovação. Prospecção Tecnológica. Desenvolvimento.

1 Introdução

No Brasil, o setor agrícola destaca-se por sua importante participação no Produto Interno Bruto (PIB). O elevado peso dos produtos agrícolas na pauta de exportações e sua contribuição para o controle da inflação exemplificam a importância da agricultura para o desempenho da economia nacional (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2012). Esse setor gera resíduos e subprodutos como a palha e a vinhaça, que são potenciais poluidores de cor-



pos hídricos e solos, além de causadores de problemas com a saúde pública, devendo receber destinação e transporte adequados, sem que isso afete em demasia o preço do produto final. Em consequência, diversos esforços têm sido empreendidos na minimização e/ou no reuso dos resíduos agrícolas, bem como no estabelecimento de novos usos de produtos e subprodutos agrícolas em substituição aos recursos não renováveis (ROSA *et al.*, 2011).

Por se tratar de um setor econômico estratégico para o Brasil e pelos esforços de valorização de seus resíduos, este trabalho objetivou a elaboração e a atualização de um *roadmap* tecnológico da biometanização de um dos principais resíduos agroindustriais, a palha, apresentando o estado da arte desse setor no ambiente internacional, a fim de que essa análise possa ser utilizada para explorar a dinâmica – identificação, seleção e desenvolvimento – das tecnologias emergentes no setor agrícola.

A palha também é um dos principais resíduos agrários no mundo. Por exemplo, aproximadamente 700 milhões de toneladas de resíduos agrícolas são gerados em todo o território chinês anualmente, correspondendo a mais de 50% do montante de biomassa gerado na China. Desses resíduos, a palha de arroz é um dos principais e pode chegar a 203 milhões de toneladas anuais (LUO *et al.*, 2015), seguida pela palha de milho (YANG *et al.*, 2013).

O Brasil também é um grande gerador desse resíduo, principalmente pela produção agrícola de trigo (PINHEIRO; GAIDZINSKI; SOUZA, 2007), de cana-de-açúcar (ROCHA *et al.*, 2011) e de arroz (FERREIRA-LEITÃO *et al.*, 2010). Uma das práticas mais comuns no Brasil, e no mundo, de destinação da palha é sua queima, com o propósito de facilitar as operações da colheita. Porém, essa prática emite gases de efeito estufa como o carbônico (CO₂), o óxido nitroso (N₂O), o metano (CH₄) e a formação de ozônio (O₃), bem como polui a atmosfera com a fumaça e a fuligem produzidas (ANTUNES; AZANIA; AZANIA, 2013). Além disso, a queimada da palha nos campos pode ser prejudicial à estrutura do solo e à qualidade do plantio da nova safra (WU *et al.*, 2015).

Outra prática em ascensão no setor agrícola é lançar a palha sobre a superfície do solo formando uma cobertura morta denominada palhada. Essa cobertura sofre ação física, química e biológica que beneficia o solo com nutrientes e matéria orgânica, ajudando a reduzir o uso de fertilizantes. Porém, essa prática se mostra ainda mais prejudicial ao meio ambiente, pois emite quase o dobro de óxido nitroso na atmosfera se comparada à prática da queimada, com um potencial de efeito estufa 296 vezes maior do que o do dióxido de carbono (JUTTEL, 2011).

O processo de biometanização, também conhecido como digestão anaeróbica para a produção de biogás, se apresenta como uma promissora destinação da palha e é promovido como uma fonte energética renovável. Trata-se de uma destinação de resíduos orgânicos bem consolidada e praticada há séculos mundialmente, porém ganhou mais destaque nos últimos anos com o aumento da preocupação socioambiental quanto à dependência de combustíveis fósseis, à destinação correta dos resíduos e às mudanças climáticas derivadas do agravamento do efeito estufa. Nesse sentido, os resíduos agroindustriais, de origem orgânica e não recalcitrantes, são passíveis de sofrerem digestão anaeróbica (CURRY; PILLAY, 2012; KAYHANIAN; RICH, 1995).

O biogás gerado a partir desse processo pode sofrer pós-tratamento e ser inserido na rede de gás natural, convertido em energia térmica e elétrica e como biocombustível veicular (JUTTEL, 2011). Por exemplo, o digestato, um resíduo líquido ou sólido gerado a partir desse processo, é rico em nitrogênio e pode ser destinado à produção de biofertilizante, à correção de

solo (OWAMAH, 2014; ROMERO *et al.*, 2013), à ração animal (ZHOU *et al.*, 2014) e à geração energética (WEI; HAN, 2015).

Para compreender o estado da arte das tecnologias envolvidas no setor de biometanização da palha, as áreas que mais carecem de pesquisa e que são as mais exploradas, objetiva-se a elaboração de um *roadmap* tecnológico. Assim, será possível identificar janelas de oportunidade e estudar os melhores focos para alocação de investimentos (BORSCHIVER; LEMOS, 2016).

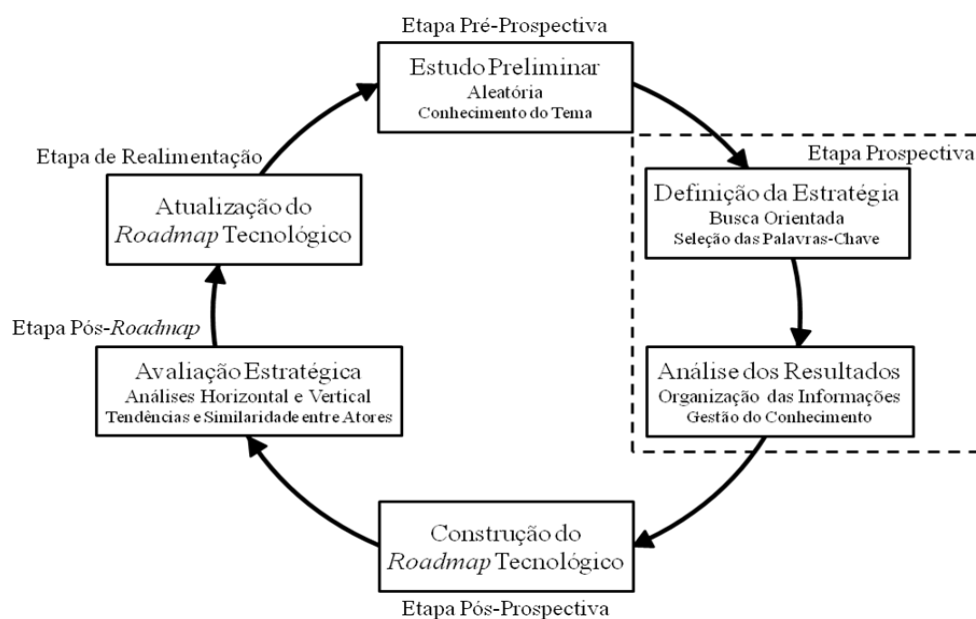
O *roadmap* tecnológico é um documento visual, em forma de mapa, que reconhece os principais *players* envolvidos e os parâmetros-chave do mercado, o produto e a tecnologia ao longo do tempo, atuando como uma ferramenta prospectiva e de tomada de decisão. Descreve de maneira clara as conexões entre tarefas e prioridades para ação em curto, médio e longo prazo, apresentando um roteiro que conecta tecnologia, produto e mercado em elevados níveis de abstração.

O tema em estudo também se destaca por sua interdisciplinaridade, pois envolve os setores nacionais estratégicos de Gerenciamento de Resíduos, Energias Renováveis e Geração de Fertilizantes Orgânicos. Portanto, a visualização do comportamento do mercado mundial frente a essa tecnologia e a identificação dos principais *players* envolvidos em diferentes faixas temporais podem ajudar os órgãos nacionais a direcionarem projetos futuros nessa área.

2 Metodologia

O *roadmap* tecnológico pode ser compreendido como uma representação organizada que inter-relaciona informações obtidas a partir do estudo de um tema específico. Para a sistematização dos procedimentos e a garantia da obtenção do objetivo final, há a necessidade do estabelecimento de uma metodologia (BORSCHIVER; LEMOS, 2016). De maneira objetiva, a construção do *roadmap* se divide em cinco etapas principais, como esquematizado na Figura 1.

Figura 1 – Metodologia para a elaboração e atualização do *roadmap* tecnológico



Fonte: Adaptada de Borschiver e Lemos (2016)

Inicialmente foi realizada a etapa **Pré-Prospectiva**, que se baseou em uma busca aleatória a respeito da biometanização de resíduos agroindustriais para se obter uma visão geral do seu estado da arte, adquirir conhecimento acerca desse tema, bem como desvendar seus principais *drivers*, ou taxonomias.

Em seguida, durante a etapa **Prospectiva**, foi realizada uma entrevista com dois professores especialistas em biogás da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), para orientar a seleção do resíduo agroindustrial a ser abordado e as palavras-chave a serem utilizadas durante a busca orientada.

O resíduo agroindustrial a ser estudado foi selecionado a partir de uma busca estratégica em base de patentes que combinou as palavras-chave relacionadas à produção de biogás e a cada tipo de resíduo. Optou-se pelo uso da base de dados mundial Espacenet, do European Patent Office (EPO), e da base de dados nacional americana United States Patent and Trademark Office (USPTO), por possuírem mais patentes relacionadas à produção de biogás e permitirem opções complementares de pesquisa. A partir da busca realizada na base de patentes europeia, pôde-se concluir que as palavras-chave referentes à palha correspondem a 29% dos resultados e que esta é considerada a principal matéria-prima agrária para a produção de biogás.

Com a **Definição da Estratégia**, processou-se uma busca orientada em mídia digital, de artigos e patentes depositadas e concedidas, que recuperou os documentos necessários para a **Análise dos Resultados**.

O *roadmap* tecnológico costuma ser separado em quatro períodos temporais, os quais têm atrelados a si um tipo de documento (BORSCHIVER; LEMOS, 2016). Para a construção desse mapa, foram realizadas quatro buscas para alocar documentos referentes a cada recorte temporal, a saber:

- a) Longo Prazo – Nesse recorte foram analisados artigos científicos que demonstram alto grau inicial de desenvolvimento da tecnologia, uma vez que se encontram em fase de estudo acadêmico. A base de dados utilizada para essa pesquisa foi a Scopus¹, levando-se em consideração:
 - a. Período analisado: publicações entre 01/01/2012 e 31/12/2016.
 - b. Tipos de documentos: *articles, articles in press and reviews*.
 - c. Combinação de palavras-chave: (*straw, lign**, *cellulos** ou *bagasse*) e (*biogas*, “*bio gas*”, “*marsh gas*”, *biomethan**, *methane*, *methanation*, *methani**, “*anaerobic ferment**”, “*anaerobic digest**” ou “*anaerobic react**”).

A partir dessa busca, foram encontrados 2.485 documentos e selecionados os primeiros artigos obtidos por relevância, para uma análise aprofundada até a obtenção de aproximadamente 50 artigos de acordo com o escopo do trabalho.

- b) Médio Prazo – Nesse recorte foram analisadas patentes solicitadas (do inglês, *applied patents*) que, apesar de demonstrarem um grau avançado de desenvolvimento da tecnologia pelo detentor da patente, como a proteção ainda está sob análise, possivelmente o objeto estará mais distante de sua fase comercial.

A busca de patentes depositadas foi realizada nas bases USPTO e Espacenet, em título e

¹ Disponível em: <www.scopus.com>. Acesso em 22 dez. 2018.

resumo. Na busca na base Espacenet, levou-se em consideração:

- a. Período analisado: publicações entre 01/01/2012 e 31/12/2016.
- b. Combinação de palavras-chave: (*straw*, *bagasse*, *lign** ou *cellulos**) e (*biogas*, *methane*, “*marsh gas*”, *methanation* ou (*anaerobic* e (*ferment**, *digest** ou *react**))).

Foram analisadas as primeiras 50 patentes de cada ano no período entre 2012 e 2016, totalizando 94 documentos relevantes ao escopo da pesquisa.

Na busca na base USPTO, levou-se em consideração:

- a. Período analisado: publicações entre 01/01/2012 e 01/06/2018.
- b. Combinação de palavras-chave: (*straw*, *cellulos\$* ou *lign\$*) e (*biogas*, *methane* ou (*anaerobic* e (*digest\$*, *react\$* ou *ferment\$*))).

Foram analisadas todas as patentes de cada ano no período entre 2012 e 2016. A busca e a análise de patentes depositadas na base USPTO geraram oito documentos. Depois da exclusão dos documentos encontrados nas duas bases, foram extraídos 107 documentos de patente.

- c) Curto Prazo – Nesse recorte foram analisadas patentes concedidas (do inglês, *issued patents*) que, em teoria, demonstram o grau avançado de desenvolvimento tecnológico pelo detentor da patente. Essa conclusão baseia-se no fato de que, se houver proteção de patente, o objeto estará mais próximo de sua fase comercial.

A busca de patentes concedidas foi realizada nas bases USPTO e Espacenet, em título e resumo.

Na busca na base Espacenet, levou-se em consideração:

- a. Período analisado: publicações entre 01/01/2012 e 31/01/2016.
- b. Combinação de palavras-chave: (*straw*, *bagasse*, *lign** ou *cellulos**) e (*biogas*, *methane*, “*marsh gas*”, *methanation* ou (*anaerobic* e (*ferment**, *digest** ou *react**))).

Foram analisadas as primeiras 50 patentes de cada ano no período entre 2012 e 2016, totalizando 56 patentes concedidas relevantes ao escopo pesquisa.

Na busca na base USPTO, levou-se em consideração:

- a. Período analisado: publicações entre 01/01/2012 e 01/06/2018.
- b. Combinação de palavras-chave: (*straw*, *cellulos\$* ou *lign\$*) e (*fermen*, *methane* ou (*anaerobic* e (*digest\$*, *react\$* ou *fermente\$*))).

Foram analisadas todas as patentes de cada ano no período entre 2012 e 2016.

- d) Estágio Atual (ano zero) – Nesse recorte, encaixam-se as informações obtidas por meio de mídias especializadas e *websites* de empresas, de organizações governamentais e de não governamentais. Os conteúdos desses documentos são, obrigatoriamente, voltados para ações, tecnologias, parcerias e outros movimentos atuais.

As buscas por *players* diferentes e atuantes no setor de produção de biogás a partir da palha foram realizadas em *websites* de busca e na plataforma da Biofuels Digest com as palavras-chave: “*straw*”, “palha”, “*lignocellulosic*”, “*lignocellulose*”, “*lignocelulose*”, “segunda geração”, para o *roadmap* de digestão anaeróbica da palha, combinadas a “biogás”, “*biogas*”, “metano”, “*methane*”, “*biomethane*” “*anaerobic digestion*” e “digestão anaeróbica”.

Também foi feita a avaliação dos atores encontrados nos demais recortes temporais, para descobrir se eles possuem atualmente alguma tecnologia envolvida na produção de biogás e, caso possuam, se foram inseridos no **Estágio Atual** do mapa.

Depois da pesquisa e da coleta dos documentos, foi feita a análise dos resultados obtidos e a esquematização em base de dados, para facilitar a posterior estruturação do *roadmap*. Para tal, foi utilizada a ferramenta computacional Excel, integrante do Pacote Office da Microsoft®. Essa etapa de prospecção deve ser sistematizada para a extração da informação necessária (BORSCHIVER; LEMOS, 2016); e a metodologia utilizada, segmentada em três níveis:

- a. Macro – Nesse nível foram recuperadas as informações imediatas do documento como título, ano, autor, origem do autor, etc.
- b. Meso – Nesse nível foram necessárias a leitura e a análise do resumo do documento de forma a extrair suas informações principais. Em alguns casos, também foi necessária a leitura do conteúdo do artigo e da reivindicação (*claim*) da patente para complementar a informação. Em seguida, foram criadas taxonomias de forma a definir o assunto principal e seu agrupamento antes de passar para o nível seguinte de análise.
- c. Micro – Nesse nível foram extraídas informações ainda mais detalhadas de cada classe Meso, para melhor compreensão e caracterização da taxonomia.

Cada camada, neste trabalho, se refere a uma taxonomia Meso, enquanto as subcamadas são as taxonomias Micro.

Na etapa seguinte, denominada **Pós-Prospectiva**, as informações analisadas foram organizadas em forma de mapa, destacando visualmente os aspectos mais relevantes do estudo, assim como a inter-relação entre as informações. O modelo adotado para este estudo é o genérico, proposto por Phaal, que consiste em representação gráfica baseada no tempo e compreende um número de camadas e subcamadas que tipicamente incluem perspectivas comerciais e tecnológicas (BORSCHIVER; LEMOS, 2016).

Durante a **Etapa Pós-Roadmap**, foi realizada uma avaliação estratégica do setor por meio de análises horizontais e verticais. Essas análises permitiram desvendar tendências do mercado ao longo do tempo, observar a similaridade entre os atores e supor as estratégias dos *players* mais relevantes em curto, médio e longo prazo.

Com o passar do tempo, o mapa tecnológico necessitou de atualizações para que permanesse relevante ao setor a que se propunha atender. A **Etapa de Realimentação** propõe a **Atualização do Roadmap Tecnológico** por meio da alimentação do mapa com informações atuais e inovadoras. Parte-se da premissa de que o responsável pela atualização do mapa deve voltar às etapas anteriores, realizando uma nova revisão bibliográfica, para conhecer o tema e ficar a par de tecnologias disruptivas. A partir disso, deve realizar uma nova pesquisa orientada nas bases de dados para levantar documentos referentes ao período em que o mapa permaneceu estático.

Com o objetivo de atualizar o mapa, foi efetuada a repetição da metodologia de busca para a coleta e a análise dos documentos publicados no período entre 01/01/2017 e 31/05/2018. As patentes depositadas em Médio Prazo e que foram concedidas dentro desse período foram transferidas para em Curto Prazo.

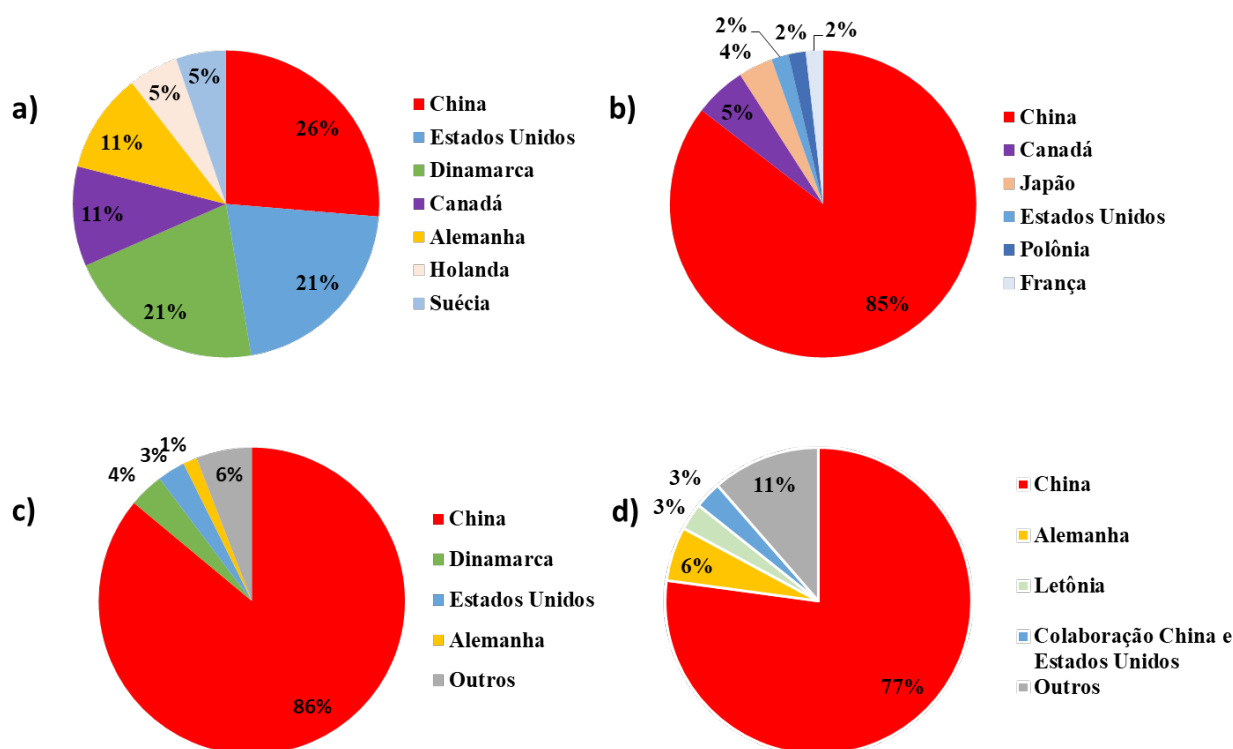
Com a análise dos novos documentos, foi possível inseri-los no mapa e realizar uma nova avaliação estratégica do setor, acompanhando a evolução das tecnologias e dos *players* com o passar do tempo. Por meio dessa metodologia, o *roadmap* tecnológico pode ser visto como um documento vivo e dinâmico, que acompanha as mudanças constantes do setor e que permite a identificação de tendências entre os *players*, tecnologias emergentes e processos inovadores.

2 Resultados e Discussão

Foram realizadas análises de cada um dos prazos temporais – Macro, Meso e Micro – para conhecer as principais tendências. A análise Macro abrange os países com mais documentos publicados e as universidades, os centros de pesquisa e as empresas relacionadas ao assunto.

Dentre as análises no nível Macro que podem ser realizadas nos documentos recuperados, destaca-se a que se refere aos principais países onde estão sendo realizadas pesquisas e desenvolvimento de tecnologias sobre o assunto abordado. O gráfico da Figura 2 apresenta os países que publicaram os documentos analisados e seus respectivos percentuais de ocorrência.

Figura 2 – Análise dos países de publicação dos documentos



Legenda: a) mídia especializada; b) patentes concedidas; c) patentes depositadas; d) artigos científicos.

Fonte: Elaborada pelas autoras deste artigo (2018)

A China foi o país que publicou mais documentos, entre artigos e patentes, e o que possui o maior número de empresas, centros de pesquisa e universidades que atuam no setor no presente, além de ser o país que mais investe em Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação (PD&I) no mercado de biometanização da palha. Apesar de possuir relevância em relação ao número de empresas que apresentam em mídias digitais sua atuação no setor, considerando o Estágio

Atual, os Estados Unidos não se destacam na publicação de artigos e patentes. É interessante pontuar que essa tendência se mostrou a mesma antes e depois da realimentação de documentos no mapa, na fase de atualização.

Nas análises Meso e Micro, descritas no Quadro 1, os artigos foram categorizados de acordo com os aspectos mais relevantes em torno da produção de biogás a partir de resíduos lignocelulósicos, mais especificamente a palha. Esses aspectos foram devidamente identificados na etapa inicial do estudo (fase Pré-Prospectiva), cujo foco era apontar as grandes áreas de exploração científica do tema em questão.

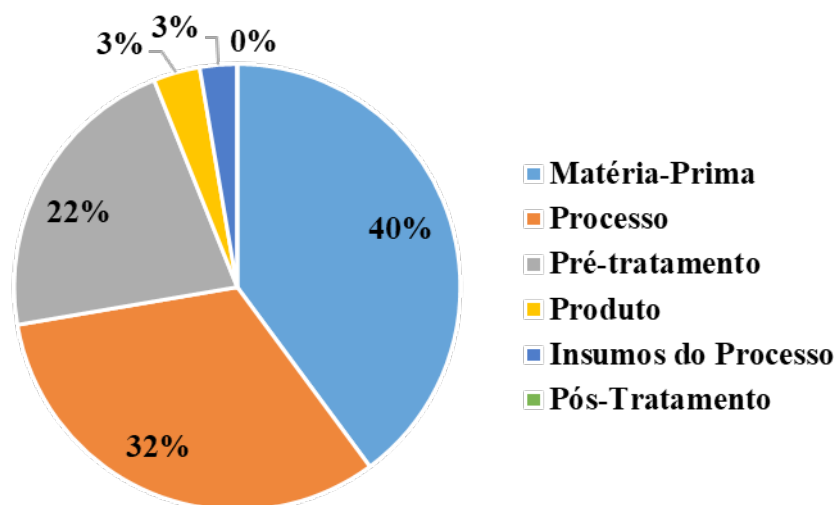
Quadro 1 – Taxonomias Meso e Micro do roadmap

MESO	MICRO
Pré-tratamento	Biológico
	Químico
	Físico
Processo	Parâmetros do Processo
	Múltiplos Estágios
	Codigestão
Pós-tratamento	Biogás
	Digestato
Produto	Fertilizante
	Biogás
	Bioenergia
	Outros Biocombustíveis
	Outros Bioprodutos
Insumos do processo	Reator
	Equipamentos Acessórios
Matéria-prima	Palha de Trigo
	Palha de Milho
	Palha de Arroz
	Palha de Soja
	Outras Palhas

Fonte: Elaborado pelas autoras deste artigo (2018)

Enquanto a taxonomia Meso define o assunto do documento e o agrupa, a taxonomia Micro detalha a taxonomia Meso e possibilita sua compreensão e caracterização aprofundada. A análise Meso de artigos está detalhada no gráfico da Figura 3.

Figura 3 – Análise Meso detalhando os desafios tecnológicos dos artigos depois da atualização do mapa

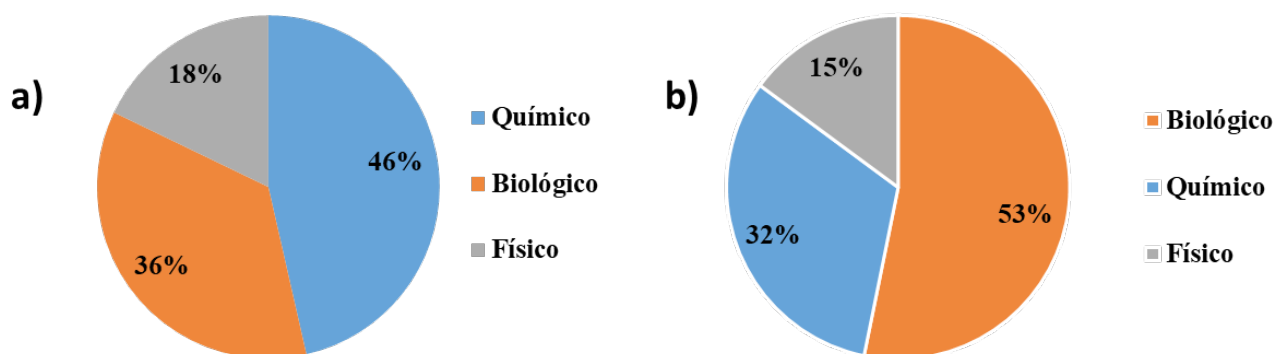


Fonte: Elaborada pelas autoras deste artigo (2018)

É possível observar que a taxonomia “Matéria-Prima” é a mais abordada nos artigos científicos, aparecendo em 59 documentos; seguida de “Processo”, com 48; e “Pré-Tratamento”, com 32. Isso demonstra a importância que as universidades e os centros de pesquisa da área dão aos tipos de palhas estudadas e as suas características específicas. Observa-se ainda o interesse dos *players* na geração de produtos a partir da digestão anaeróbica e a importância dos pré-tratamentos para viabilizar o processo em longo prazo para cada tipo de resíduo lignocelulósico.

A seguir, o gráfico da Figura 4 apresenta as taxonomias Micro identificadas e relacionadas ao “Pré-Tratamento”, assim como a porcentagem de artigos científicos referentes a ele.

Figura 4 – Análise Micro referente ao “Pré-Tratamento” de artigos científicos



Legenda: a) durante a elaboração do mapa; b) depois da atualização do mapa.

Fonte: Elaborada pelas autoras deste artigo (2018)

Dos 28 artigos recuperados no pré-tratamento da matéria-prima durante a elaboração do mapa, 13 tiveram como foco o processo químico e dez, o processo biológico. Depois da realimentação do mapa, o número de documentos com esse *driver* meso passou para 47, sendo 25 deles com foco no processo biológico e 15, no processo químico. Em ambos os casos, o pré-tratamento físico permaneceu com um número reduzido de documentos. Com isso, é interessante observar a mudança de tendência antes e depois da atualização do mapa, inferindo-se

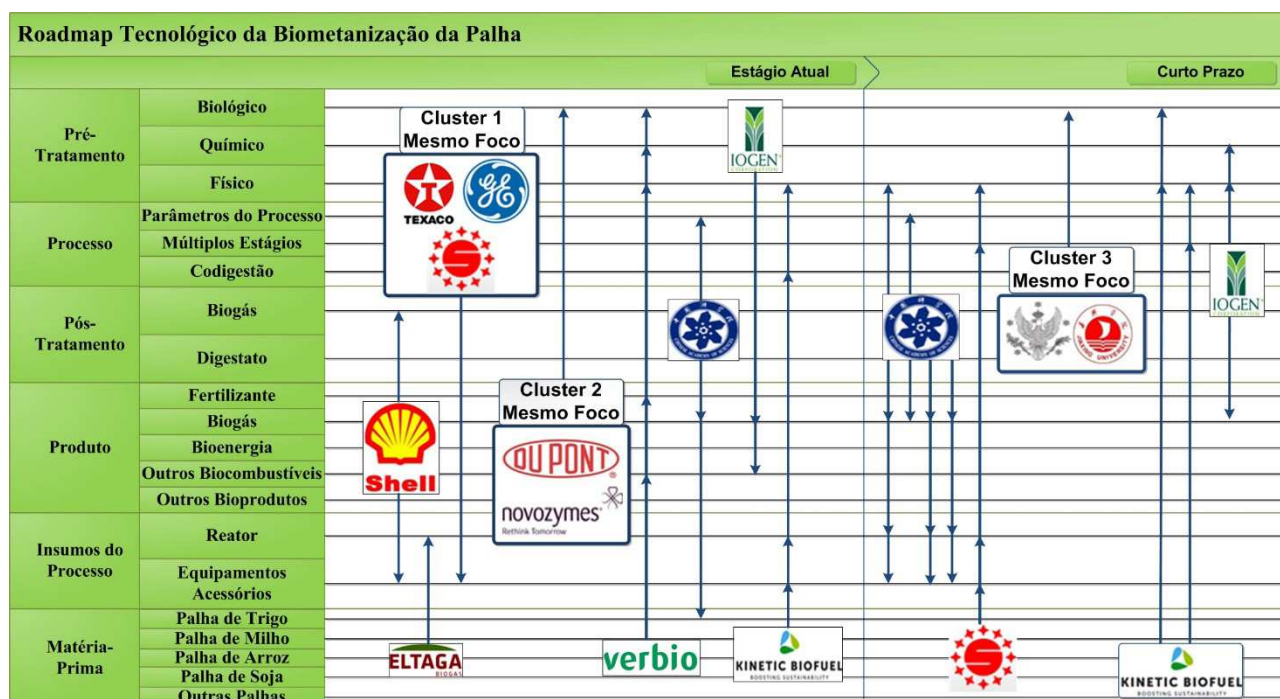
que os artigos científicos publicados mais recentemente apresentam como *drivers* principais o pré-tratamento biológico, impulsionados principalmente por processos de bioadição, que possuem o potencial de baratear a etapa de pré-tratamento e tornar todo o processo mais viável técnica e economicamente.

Depois das análises prospectivas, foi possível elaborar o *roadmap* tecnológico a partir das taxonomias e das informações recolhidas nos documentos de mídia digital, artigos e patentes. Cada logomarca é referente a um *player* específico, que pode ter sido responsável pela publicação do documento de maneira individual ou em conjunto com outros atores. Nesse caso, as logomarcas parceiras estão envolvidas por um quadrado vermelho e enumeradas como *Cluster de Parceria*.

Nesse sentido, existem documentos diferentes cujo foco seja muito similar e as taxonomias sejam as mesmas. Para facilitar a visualização do *roadmap*, *players* cujos documentos tiveram as mesmas taxonomias estão com suas logomarcas envolvidas por um quadrado azul e enumeradas como *Cluster de Parceria*. Caso os mesmos *players* sejam responsáveis por múltiplos documentos, isso está indicado por múltiplas setas de localização horizontalmente distintas da mesma logomarca.

Na Figura 5 estão dispostos os recortes do **Estágio Atual**, que mostram os *players* identificados por meio de mídias especializadas ou artigos científicos com tecnologias que são parte do escopo deste estudo sendo aplicadas no tempo presente e os recortes em **Curto Prazo** referentes às patentes concedidas.

Figura 5 – Estágio Atual e em Curto Prazo do *roadmap* tecnológico da biometanização da palha



Fonte: Elaborada pelas autoras deste artigo (2018)

Na Figura 6 estão dispostos os recortes em Médio Prazo, que mostram os *players* identificados por meio de patentes depositadas, e os recortes em Curto Prazo, referentes aos artigos científicos.

porque esses *players* produzem motores que funcionam com biogás ou vendem lubrificantes especializados para esses motores.

Em Curto Prazo, o campo petrolífero de Shengli aborda um *cluster* de digestão anaeróbica de palha que foi submetida a pré-tratamento físico para produzir biogás. O processo é realizado em múltiplos estágios em uma usina de biogás. O primeiro digestor possui alto teor de sólidos; e o segundo é um digestor de hidrocirculação, que otimiza a biometanização.

O *cluster 2* (Mesmo Foco) é formado pelas empresas Du Pont e Novozymes, que apresentam a mesma tendência de “Pré-Tratamento Biológico” no Estágio Atual.

O principal driver em Curto Prazo é “Produto”, com um foco maior em “Biogás”. Os pré-tratamentos “físicos” e “biológicos” também foram identificados como tendências importantes. A Chinese Academy of Sciences foi a maior contribuinte nesse período, tendo quatro patentes concedidas com foco em várias taxonomias.

O *Cluster 3* (Mesmo Foco) é formado por duas universidades. Jiaying University tem uma patente concedida que reivindica uma metodologia de pré-tratamento biológico sob condições aeróbicas da palha fazendo uso de uma preparação microbiológica; e a Universidade de Varsóvia, um consórcio microbiano especializado para o pré-tratamento da celulose.

O *Cluster 1* (Parceria) destaca a colaboração entre a empresa Jiangxi Huayifeng Ecology Industrial e a Jiangxi University of Science and Technology na publicação de uma patente concedida que visa à codigestão de esterco bovino, palha e minério de turmalina processado, cuja adição aumenta a produção de biogás e a redução da demanda química de oxigênio.

A maioria das taxonomias em Médio Prazo está concentrada no pré-tratamento e no produto, respectivamente. Na taxonomia de pré-tratamento, há uma tendência maior para os processos físicos e biológicos.

Como esperado, em Longo Prazo foi possível identificar uma maior colaboração entre universidades e centros de pesquisa, além de parcerias entre seus atores. Nesse período, a maioria das taxonomias está concentrada em “Matéria-prima”, com foco em palha de arroz e trigo. O processo foi a segunda maior tendência, principalmente de codigestão e parâmetros de processo.

Em colaboração com a empresa Bioprocess Control (Sweden) Co. Ltd., líder em tecnologias avançadas de instrumentação e controle, as universidades Hunan Agricultural University e Tsinghua University adquiriram *know-how* para o estudo dos parâmetros envolvidos na biometanização em múltiplos-estágios a partir da codigestão de palha de trigo e de resíduos vegetais.

O centro de pesquisa do governo canadense, Dairy and Swine Research and Development Center of Agriculture and Agri-Food Canada, publicou um artigo científico sobre a produção de biogás a partir de palha de trigo e esterco a temperaturas reduzidas e estado sólido em reatores sequenciais em batelada.

Com o mapa completo em mãos, foi possível realizar análises horizontais e verticais para desvendar as tendências do setor e assumir as estratégias dos jogadores. A análise horizontal foi feita de acordo com os *players* e seu comportamento ao longo do tempo em relação à ênfase do documento para os *drivers*. Um dos exemplos é a Texaco, atualmente responsável pela comercialização de óleo lubrificante especial para motores industriais que trabalham com biogás. Em sua parceria com o centro de pesquisa Georgia Tech Research Corporation, depositou uma patente que trata de uma metodologia que busca melhorar o pré-tratamento de palha para a geração de biogás. Isso indica uma possível estratégia para a empresa em Médio Prazo: deixar

de ser um simples fornecedor de lubrificantes nesse setor para se tornar um eficiente produtor de biogás.

A Shell atualmente vende lubrificantes para motores a biogás e possui uma planta de *clean up* de biogás. Em Médio Prazo, pretende adaptar-se ao conceito de economia circular utilizando o ácido sulfúrico extraído durante o processo de modernização do biogás como insumo no pré-tratamento químico da palha.

Em Médio Prazo, a General Electric aborda uma tecnologia de tratamento que combina a produção de biogás, o pós-tratamento do digestor em biorreator de membrana (MBR), para aumentar sua estabilidade, e um “concentrador de sal” como osmose reversa ou eletrodialise. Consequentemente, a água residual gerada torna-se estabilizada e rica em nutrientes e pode ser usada como fertilizante.

A Kinetic Biofuel iniciou uma campanha global de *marketing* e vendas de plantas completas de biogás a partir da palha e do processo de pré-tratamento físico de briquetagem. Durante a fase de atualização do *roadmap*, foram identificadas duas patentes concedidas e uma solicitada que abordam, além da codigestão de estrume animal, o pré-tratamento da palha por meio de processo enzimático, explosão de vapor e auto-hidrólise. Esse é um fator interessante, uma vez que a empresa está investindo, em Curto e Médio prazo, em uma tecnologia de pré-tratamento de palha diferente da briquetagem, sua especialidade conhecida no Estágio Atual.

No Estágio Atual, a Eltaga Licensing é uma empresa especializada em patentear e vender a tecnologia de seus digestores para empresas que desejam produzir biogás. Ela possui uma patente depositada que reivindica um sistema de alimentação para um digestor anaeróbico em fase sólida que usa matéria-prima de palha. Isso pode indicar que a empresa avalia o sistema de alimentação desse tipo de digestor como uma dificuldade técnica que pretende superar em Médio Prazo.

A Novozymes, empresa especializada na produção de enzimas, possui três patentes que demonstram seus esforços para alcançar um pré-tratamento enzimático ideal que tornará a lignocelulose mais biodisponível para os microrganismos responsáveis pela digestão anaeróbia. Enquanto a Verbio, uma empresa de produção de biogás, vê os pré-tratamentos físicos e químicos como desafios em Médio Prazo para a produção de biogás se tornar mais eficiente.

A Iogen Corporation, líder no desenvolvimento de bioetanol de segunda geração, produz atualmente biogás a partir da vinhaça derivada da fermentação alcoólica de segunda geração da palha. Em Curto Prazo, busca a combinação de pré-tratamentos químicos e físicos para extrair substâncias açucaradas de resíduos ricos em celulose para a separação sólido-líquida. A fração líquida sofre digestão anaeróbica e o processamento térmico sólido. Em Médio Prazo, o resíduo lignocelulósico é pré-tratado com oxidação sulfúrica e úmida para gerar resíduos ricos em compostos fenólicos, que são digeridos anaerobicamente para gerar biogás e sulfeto de hidrogênio, que pode ser reciclado para o processo. A empresa pode estar buscando a geração de biogás como o principal produto da palha, e não como um coproduto do bioetanol 2G.

3 Considerações Finais

O *roadmap* tecnológico é muito efetivo na conexão do planejamento estratégico de negócios com a tecnologia, e esse planejamento depende majoritariamente do julgamento qualitativo

de especialistas técnicos. Do ponto de vista estratégico de uma empresa ou política pública, pôde-se inferir que as melhores alocações de investimento são aquelas que possuem domínio em parcerias e *clusters* de mesmo foco, possibilitando um relacionamento mais próximo com os direcionadores de processos e garantindo a ligação entre tecnologia e estratégia. O principal benefício observado pelo uso e pela atualização dessa ferramenta é a possibilidade da previsão, que pode ser utilizada pelas empresas interessadas em planejar consistentemente suas atividades, alocando seus recursos de forma otimizada e aumentando sua vantagem competitiva.

Com base na atualização e na análise estratégica do *roadmap* tecnológico da biometanização da palha no Estágio Atual, em Curto, Médio e Longo Prazo, pôde-se observar tendências tecnológicas e mercadológicas como a diversidade de agentes envolvidos na evolução de novas tecnologias, com a presença de grandes empresas, institutos de pesquisa e universidades.

O mapa também permitiu visualizar que a maioria das empresas ativas tem uma atividade principal diferente da produção de biogás cuja *expertise* auxilia em alguma etapa do processo. Esse fato pode indicar um posicionamento estratégico de diferenciação da empresa alinhado ao esforço de PD&I em busca de inovações. Por exemplo, a Novozymes, uma empresa especializada na produção de enzimas, destina seus esforços para um pré-tratamento enzimático ideal que tornará a produção de biogás mais eficiente. Shell e Texaco, companhias petrolíferas que atualmente comercializam lubrificantes para motores a biogás, possuem patentes que visam melhorar os processos de pré-tratamento e/ou de atualização de biogás.

Observou-se, tanto na análise prospectiva como na análise e avaliação estratégica do mapa, que passou por atualização, que a grande maioria dos documentos de PD&I analisados é de origem chinesa e foi depositada no Escritório de Propriedade Intelectual da China (SIPO). A Chinese Academy of Sciences foi o ator que mais desenvolveu atividades de PD&I relacionadas ao tema em estudo em todos os estágios temporais, provando ser um importante fator de inovação em território chinês. Também vale mencionar a Iogen e Kinetic Biofuels, cujas atividades também se estenderam por múltiplos estágios temporais.

Igualmente, tanto na análise prospectiva quanto a partir do *roadmap tecnológica*, observou-se que a grande maioria dos documentos de PD&I analisados é de origem chinesa e foi depositada no escritório SIPO. Destaca-se que apenas a Shengli Oilfield, a CPI Innovation e a Tsinghua University produziram patentes que foram depositadas em mais de um escritório, um dos critérios que indicam a “qualidade” de uma patente. Esse fenômeno chinês de produção e depósito de patentes em grande volume apenas no próprio território, porém sem objetivo ou pretensão comercial, foi levantado pelo The Economist (2014).

Como sugestão para trabalhos futuros, essa metodologia pode ser aplicada a outros setores importantes da produção de biogás, como seu *clean up* e a produção a partir de dejetos do setor pecuário. Também será interessante uma análise voltada à indústria nacional, a fim de preencher as lacunas em aberto que possam alavancar o desenvolvimento tecnológico do Brasil nesse setor.

Referências

- ANTUNES, J. F. G.; AZANIA, C. A. M.; AZANIA, A. A. P. M. **Impactos ambientais das queimadas de cana de açúcar**. 2013. Disponível em: <http://www.grupocultivar.com.br/ativemanager/uploads/arquivos/artigos/27-01_gc_cana.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2018.
- BORSCHIVER, S.; LEMOS, A. **Technology Roadmap**: planejamento estratégico para alinhar mercado-produto-tecnologia. Rio de Janeiro, RJ: Ed. Interciência, 2016.
- CURRY, N.; PILLAY, P. Biogas prediction and design of a food waste to energy system for the urban environment. **Renewable Energy**, [S.l.], v. 41, p. 200–209, 2012.
- FERREIRA-LEITÃO, V. *et al.* **Waste Biomass Valor**, [S.l.], v. 1, p. 65–76, 2010.
- INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS APLICADAS (IPEA). **Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas**. 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917_relatorio_residuos_organicos.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2018.
- JUTTEL, L. P. **Uso da palha de cana na produção de bioenergia**. 2011. Disponível em: <<http://cnpem.br/uso-da-palha-de-cana-na-producao-de-bioenergia/>> Acesso em: 23 dez. 2018.
- KAYHANIAN, M.; RICH, R. Pilot scale high solids thermophilic anaerobic digestion of municipal solid waste with an emphasis on nutrient requirements. **Biomass and Bioenergy**, [S.l.], v. 8, n. 6, p. 433–444, 1995.
- LUO, L. *et al.* Urea ammoniated pretreatment improving dry anaerobic fermentation characteristics of rice straw. **Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, [S.l.], v. 31, n. 19, p. 234–239, 2015.
- OWAMAH, H.I. Fertilizer and sanitary quality of digestate biofertilizer from the co-digestion of food waste and human excreta. **Waste Management**, [S.l.], v. 34, n. 4, p. 747–752, 2014.
- PINHEIRO, A. C.; GAIDZINSKI, R.; SOUZA, V. P. Utilização da casca de arroz como solvente alternativo para o tratamento de efluentes da Região Carbonífera Sul Catarinense. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – CETEM, 15., Palmas, 2007. **Anais...** Palmas: CETEM, 2007. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie_anais_XV_jic_2007/Alexandre_Clemente_Roberta_Gaizinskil.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2018.
- ROCHA, G. J. M. *et al.* Steam explosion pretreatment reproduction and alkaline delignification reactions performed on a pilot scale with sugarcane bagasse for bioethanol production. **Industrial Crops and Products**, [S.l.], v. 35, p. 274–279, 2011.
- ROMERO, C. *et al.* Raw and digested waste compost leachate as potential fertilizer: comparison with a commercial fertilizer. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 59, p. 73–78, 2013.
- ROSA, M. F. *et al.* Valorização de Resíduos da Agroindústria. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS, 2., Foz do Iguaçu, 2011. **Anais...** Foz do Iguaçu: [s.n.], 2011. Disponível em: <<http://www.sbera.org.br/2sigera/obras/p12.pdf>>. Acesso em: 23 dez. 2018.
- THE ECONOMIST. **Patent Fiction**: are ambitious bureaucrats fomenting or feigning innovation. 2014. Disponível em: <<https://www.economist.com/finance-and-economics/2014/12/11/patent-fiction>>. Acesso em: 23 dez. 2018.

WEI, W.; HAN, F., inventores. Xuzhou Yuxin Environmental Protection Building Materials CO., LTD, Cessionária. **Method for preparing solid biomass fuel**. China patente CN104987908A. 21/10/2015.

WU, A. *et al.* Pilot experiment on biogas production of dry fermentation of wheat straw and cow dung with composting pre-treatment. **Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, [S.l.], v. 31, n. 22, p. 256–260, 2015.

YANG, S. *et al.* Densified biomass fuels production from crop straw pretreated by anaerobic fermentation. **Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, [S.l.], v. 29, n. 17, p. 182–187, 2013.

ZHOU, Z.; MENG, Q.; REN, L. Inventores. China Agricultural University, Cessionário. **Microbial fermentation method for steam-exploded corn straw**. China patente CN103392948B, 15/10/2014.

Sobre as Autoras

Fernanda Cardoso

E-mail: fscardoso2015@gmail.com

Formação: Mestre em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, pela Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (EQ/UFRJ).

Endereço profissional: Avenida Athos da Silveira Ramos, 149, Cidade Universitária – Rio de Janeiro, RJ. CEP: 21941-909.

Suzana Borschiver

E-mail: suzana@eq.ufrj.br

Formação: Doutora em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, pela Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (EQ/UFRJ).

Endereço profissional: Avenida Athos da Silveira Ramos, 149, Cidade Universitária – Rio de Janeiro, RJ. CEP: 21941-909.