

## AS NOVAS TRAJETÓRIAS TECNOLÓGICAS DOS BIOCOMBUSTÍVEIS PARA AVIAÇÃO

JORGE TELLO-GAMARRA

Universidade Federal do Rio Grande (FURG) / Escola de Química e Alimentos (EQA), Brasil  
jorgetellogamarra@gmail.com

MARCELO SILVEIRA BADEJO

Universidade Federal do Rio Grande (FURG) / Escola de Química e Alimentos (EQA), Brasil  
badejo@gmail.com

JÉSSICA GOMES

Universidade Federal do Rio Grande (FURG) / Engenharia Agroindustrial, Brasil  
jessica91gomes@hotmail.com

### RESUMO

A indústria da aviação na busca por minimizar os impactos ambientais da queima de combustíveis fósseis procura um substituto. Neste cenário, os biocombustíveis surgem como um substituto para esta indústria. O presente estudo tem por objetivo identificar as trajetórias tecnológicas dos biocombustíveis para aviação e analisá-las no intuito de identificar a melhor alternativa. Trajetórias tecnológicas são caminhos que determinada tecnologia percorre. O método utilizado na pesquisa foi a revisão bibliográfica das diferentes tecnológicas utilizadas para a produção dos biocombustíveis para aviação. O resultado preliminar indica que, atualmente, nenhuma das trajetórias tecnológicas identificadas apresenta ser economicamente competitiva com o combustível convencional para aviação. Também houve discrepâncias entre as matérias primas utilizadas e os processos de conversão. Em determinadas trajetórias, as matérias primas representam um custo relativo mais baixo, porém seu processo de conversão utiliza tecnologia de custo mais alto. Matérias primas celulósicas tem sua vantagem competitiva baseada em seus altos padrões de sustentabilidade. Enquanto matérias primas provenientes de plantas oleaginosas competem com espaço agricultável para a produção de alimentos.

**Palavras chave:** Trajetórias tecnológicas, biocombustíveis, aviação.

### 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, existe uma crescente preocupação com a sustentabilidade ambiental do planeta, com o impacto econômico devido às mudanças climáticas e com o esgotamento dos recursos naturais não renováveis (ELKINGTON, 1998; NYGREN *et al.* 2009; BRENNAN; OWENDE, 2010).

Além disso, o aumento na demanda energética do setor de transportes em geral preocupa a todos pela sua grande dependência do petróleo (BOIES *et al.* 2011). Dentro do setor transporte, o setor aéreo, além de ser um grande dependente dos combustíveis fósseis<sup>1</sup>, é um dos setores que mais cresce.

<sup>1</sup> Os combustíveis de petróleo representam 34% dos custos operacionais da indústria aérea (BOEING *et al.* 2013).

Nesse cenário, é oportuno o desenvolvimento de novos combustíveis que sejam menos poluentes, que minimizem os impactos do incremento da demanda de combustíveis fósseis na aviação e que respeitem os princípios do desenvolvimento sustentável (ELKINGTON, 1998). Assim sendo, os biocombustíveis se apresentam como uma importante alternativa.

Os biocombustíveis destinados à aviação estão sendo produzidos em escala piloto. Voos teste já foram realizados por diversas companhias, com o propósito de estudar o desempenho dos biocombustíveis *drop-in*<sup>2</sup>.

Quando se trata de biocombustíveis para aviação, verifica-se a existência de um novo paradigma tecnológico e dentro deste paradigma, observa-se a existência de diferentes rotas tecnológicas para a sua produção. Toda esta lógica pode ser analisada como o que na literatura se conhece como paradigmas tecnológicos e trajetórias tecnológicas, sendo os biocombustíveis um novo paradigma tecnológico, o qual pode ser produzido através de diferentes trajetórias tecnológicas.

Por definição, as trajetórias tecnológicas são caminhos, que determinada tecnologia percorre, até que se torne viável. Elas fornecem explicações sobre a inovação tecnológica e como a ciência evolui, em ondas impulsionadas pelas mudanças de paradigmas científicos (TEECE, 2008).

Para analisar as novas mudanças no mercado dos combustíveis para a aviação, o objetivo deste artigo é identificar as diferentes trajetórias dos biocombustíveis para aviação. Trajetórias estas que, atualmente, estão sendo desenvolvidas e avaliadas em busca das mesmas características físico-químicas dos combustíveis convencionais.

No que tange às matérias primas que apresentam potencialidade para a produção de biocombustíveis em grande escala são diversas, principalmente aquelas que contenham significativa concentração de açúcares, amido e óleo, além de resíduos como lignocelulose, resíduos sólidos urbanos e gases de exaustão. As tecnologias aplicadas na transformação destas matérias primas compreendem a conversão de lipídios, a conversão bioquímica e a conversão termoquímica. Diante destes fatos os biocombustíveis *drop-in* se tornam uma boa opção para a aviação por não acarretarem grandes mudanças nas infraestruturas das aeronaves (KOHLENER et al. 2014).

O presente trabalho apresenta-se dividido em seções. Inicia com a apresentação e introdução ao tema, na segunda seção é tratada a natureza do termo trajetórias tecnológicas e nas subseções é apresentada sua origem e definições. A terceira seção descreve uma perspectiva do mercado dos biocombustíveis destinados à indústria aérea. Na quarta seção são apresentadas as possíveis trajetórias tecnológicas dos biocombustíveis de aviação. Na quinta seção é feito um comparativo entre as trajetórias identificadas, levando em consideração aspectos como tecnologias de refino e matérias primas. Na sexta seção estão apresentados os resultados e a conclusão da pesquisa, identificando a melhor trajetória que satisfaça os requisitos de sustentabilidade, segurança energética e viabilidade econômica.

## 2. TRAJETÓRIAS TECNOLÓGICAS

### 2.1. Origem

Uma forma de analisar a evolução da relação entre as firmas e a relação delas com a economia global é seguir sua trajetória. Ou seja, conhecer a trajetória da firma permite verificar se esta é uma empresa inovadora, no sentido de inovar para ganhar mais participação

---

<sup>2</sup>Biocombustíveis *Drop-In* são biocombustíveis que podem ser misturados até uma proporção de 50% com os convencionais, sem necessitar de adaptações na infraestrutura de abastecimento dos aviões.

de mercado ou mesmo para permanecer competitivo. Esta trajetória, geralmente, está relacionada ao seu desenvolvimento tecnológico. As tecnologias surgem nas firmas como formas de resolver seus problemas continuamente. Durante o seguimento de uma trajetória tecnológica é sempre buscado a obtenção de matérias primas com baixo custo ou a inovação em tecnologias de processamento com baixo custo operacional ou qualidade diferenciada.

A busca do entendimento da forma de relacionamentos entre as firmas sob o ponto de vista das bases tecnológicas deu origem ao conceito de trajetórias tecnológicas. Este termo visa explicar a evolução de um paradigma tecnológico dentro das firmas e em seu ambiente. O paradigma define a origem da tecnologia e a trajetória representa o caminho, indicando a direção da mudança tecnológica. Para entrar em um determinado nicho de mercado ou simplesmente traçar a evolução de uma tecnologia, é indispensável conhecer com clareza sua trajetória tecnológica.

Inicialmente, os estudos sobre trajetórias tecnológicas deram-se na década de 70, com os economistas Richard Nelson e Sidney Winter, que atribuíram às trajetórias tecnológicas como sendo um desenvolvimento normal de uma nova tecnologia dentro de uma firma, sendo aplicada para resolução de problemas ou simplesmente como uma forma de crescimento da firma (PARAYIL, 2003). Nelson e Winter (1982, p. 259) também atribuem ao termo trajetórias tecnológicas como sendo “trajetórias naturais”, para descrever algumas características da tecnologia como a exploração de economias de escala e de mecanização de processos (NELSON; WINTER, 1982). Trajetórias naturais são específicas para uma determinada tecnologia ou amplamente difundidas num “regime tecnológico” (NELSON; WINTER, 1982).

Para os economistas Nelson e Winter (1982), o desenvolvimento tecnológico segue uma trajetória com próprias regras, que por ser imune a influências da firma e de fora da firma é uma “trajetória natural”. Mais tarde Giovanni Dosi, em 1982, “descontente” com esta afirmação, de que qualquer desenvolvimento tecnológico ser ‘natural’ ou imune a influências da firma ou fora dela, escolheu um termo mais neutro, como “trajetórias tecnológicas” que descreve um caminho natural percorrido em uma firma (GREEN *et. al.* 1994).

As mudanças contínuas de um processo tecnológico, ao longo de sua trajetória podem ser definidas, segundo Dosi (1982), por paradigma tecnológico. Como uma ‘ciência normal’, o ‘progresso técnico’, ou melhor, sua trajetória tecnológica é um padrão de resolução de problemas inseridos em um paradigma tecnológico (DOSI, 1982).

Dosi (1982), também, mostrou que a trajetória é restrita a fatores como matérias primas, conflitos industriais, forças de mercado e legislações específicas. A trajetória tecnológica é moldada pela economia como um todo, pelo governo através das leis e pelo mercado envolvendo todo o tipo de transação que vai desde o montante a jusante.

Segundo Saviotti (1986, p. 778), uma tecnologia pode ser representada por um conjunto de variáveis, estas variáveis podem sofrer mudanças consideráveis ao longo do tempo. Porém, apenas algumas direções para mudanças estão disponíveis, mesmo para variáveis que requerem mudanças; esta reflexão, Saviotti (1986) identifica como trajetórias naturais e servem para explicar as alterações que tecnologias passam ao longo de sua evolução.

O conceito de “marcos tecnológicos” introduzido por Sahal (1981, p. 61) para explicar o progresso tecnológico, é semelhante ao de trajetórias tecnológicas. Segundo Sahal (1981), os “marcos tecnológicos” caracterizam o processo de inovação tecnológica, sendo que este processo é determinado pela interação entre o acaso e a necessidade, ou seja, entre a necessidade de inovação da firma e ao acaso da necessidade de levar à evolução da tecnologia. Posteriormente, o trabalho de Dosi (1982) foi um importante aporte para o entendimento das trajetórias tecnológicas.

## 2.2 Definições e argumentações sobre trajetórias tecnológicas

Como já mencionado anteriormente, Giovanni Dosi (1982) escolheu um termo mais neutro intitulando como *trajetórias tecnológicas* para descrever evolução natural do progresso tecnológico. Desta forma, trajetórias tecnológicas são um conjunto de atividades para a resolução de problemas dentro do contexto de um paradigma tecnológico. Sendo assim, uma trajetória tecnológica é um conjunto de possíveis rotas tecnológicas, cujos limites exteriores são definidos por um paradigma (DOSI, 1982).

Dentro do estudo das trajetórias tecnológicas, Dosi (1982) demonstra um entendimento sociológico e organizacional sobre os aspectos tecnológicos da inovação tecnológica (TEECE, 2008). Trajetórias tecnológicas fornecem explicações sobre as inovações tecnológicas e dizem respeito à forma como a ciência evolui, em ondas impulsionadas pelas mudanças de paradigmas científicos (TEECE, 2008). De uma forma simplificada, pode-se dizer que as trajetórias tecnológicas aplicam-se à resolução de problemas, usando como meio a pesquisa tecnológica (BIONDI; GALLI, 1992).

Kirkels (2014, p. 171) define trajetórias tecnológicas como uma série de pequenas inovações, que se acumulam em um caminho tecnológico, no percurso de uma tecnologia. Uma vez que um caminho foi selecionado e estabelecido, as trajetórias mostram uma dinâmica própria. Entretanto as trajetórias se completam entre si, podem ser distintas, porém se “apoiam” entre elas (KIRKELS, 2014).

Castellacci (2008, p. 979) define trajetórias tecnológicas como sendo o padrão da atividade de resolução de “problemas normais”. O autor dá ênfase ao descrever trajetórias tecnológicas no ramo da economia industrial, como a própria estratégia de inovação da firma. Por exemplo, as trocas que as firmas de diferentes setores da economia têm com seus fornecedores (CASTELLACCI, 2008), ou quanto tempo a indústria leva para renovar suas máquinas e equipamentos.

Na medida em que setores industriais são capazes de realizar de uma forma mais integrada o compartilhamento de informações, novas tecnologias são criadas. Setores tecnicamente avançados estão aptos a desenvolver novas tecnologias internas e fornece-las para as demais economias. Logo, à medida que as relações entre fornecedores especializados e as firmas tornam-se estreitas, a possibilidade de a firma inovar e desenvolver-se aumenta. A trajetória tecnológica é inovadora e baseia-se na aquisição de equipamentos, bem como nos diversos tipos de conhecimento tecnológico avançado criado dentro da própria firma ou proveniente das relações com seus fornecedores e clientes (CASTELLACCI, 2008).

Outro elemento distinto na abordagem de trajetórias tecnológicas é o referenciado por Fleck *et. al.* (1990, p. 636), enfatizando que o conceito de trajetórias tecnológicas é enriquecedor, pois este explica-se aos padrões de inovação tecnológica e suas implicações. O conceito de trajetória tecnológica foi criado para esclarecer as mudanças ocorridas na tecnologia utilizada pelas firmas, tanto global quanto endógeno ao desenvolvimento tecnológico. Uma simples trajetória tecnológica não se aplica a uma forma global de gerenciamento de tecnologias, ou seja, a trajetória é muito específica para uma determinada tecnologia, sendo ela simples ou complexa. Trajetórias tecnológicas baseiam-se na preservação de um conjunto de forças sociais estáveis, econômicas e técnicas, que servem para o desenvolvimento tecnológico (FLECK *et. al.* 1990).

Segundo Pavitt (1984, p. 353), diferentes atividades principais dentro da firma geram diferentes trajetórias tecnológicas. Estas trajetórias podem ser agrupadas em 3 grandes categorias: dominado pelo fornecedor, intensivo em produção e baseado em ciência. Além disso, as diferentes trajetórias tecnológicas podem ser explicadas por diferenças setoriais em três características: as fontes de tecnologia (P&D próprio ou contratado), as necessidades dos usuários (preços, desempenho e confiabilidade) e os meios de se apropriar dos lucros

derivados da inovação (direitos de propriedade, patentes, segredo industrial). Por fim, Pavitt (1984, p 354) resume trajetórias tecnológicas como “direções de desenvolvimento técnico que são cumulativos e auto gerados, sem referência repetida ao ambiente econômico externo à firma” (PAVITT, 1984, p. 355).

A seguir apresenta-se no quadro 1 resumo sobre as principais definições sobre trajetórias tecnológicas.

**Quadro 1. Definições de trajetórias tecnológicas**

<b>Autores</b>	<b>Definição</b>
Saviotti (1986, p. 778)	“Trajetórias naturais explicam as alterações que as tecnologias passam ao longo de sua evolução”
Nelson e Winter (1982, p. 259)	“Trajetórias Naturais são específicas para uma determinada tecnologia ou amplamente difundidas num regime tecnológico”
Dosi (1982, p.)	“Trajetória Tecnológica é um padrão de resolução de problemas inseridos em um Paradigma Tecnológico”
Kirkels (2014, p. 171)	“Trajetórias tecnológicas são uma série de pequenas inovações que se acumulam em um caminho tecnológico, no percurso de uma tecnologia”
Castellacci (2008, p. 979)	“Trajetórias tecnológicas como sendo o padrão da atividade de resolução de problemas normais”
Pavitt (1984, p. 355)	Trajetórias tecnológicas como “direções de desenvolvimento técnico que são cumulativos e auto gerados, sem referência repetida ao ambiente econômico externo à firma”

**Elaboração: própria**

O conceito de trajetórias tecnológicas, aprimorou-se com o tempo, ajustando-se à necessidade da firma de solucionar problemas. O termo possui a capacidade de abranger grandes e as mais variadas definições, é um termo que se adequa às mais remotas finalidades, entretanto o seu significado seguira a mesma essência.

### 3. O MERCADO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS PARA AVIAÇÃO NO MUNDO

A indústria de aviação, no mundo, é dependente do combustível. Fundamentalmente do petróleo. Como média mundial, o combustível representa atualmente 34% dos custos operacionais (BOEING *et al.* 2013). Portanto, a indústria de aviação é fortemente afetada pelas constantes mudanças nos preços do petróleo, o qual faz com as companhias aéreas não consigam planejar seus orçamentos, dificultando a sua saúde financeira (HONG *et al.* 2013).

Além das incertezas devido à instabilidade no preço do petróleo e ao aumento da demanda que esta indústria tem, existe grande preocupação para reduzir as emissões de Gases de efeito Estufa (GEE). Isto tudo, faz com que a indústria de aviação procure outras fontes de energia, sendo os biocombustíveis uma alternativa emergente.

Os biocombustíveis para aviação estão sendo produzidos em escala piloto e já são usados em voos testes e comerciais, em uma aplicação que já envolve mais de 20 companhias aéreas de todo mundo (BOEING *et al.* 2013). Mais de 1600 voos comerciais com biocombustíveis já foram operados pelo mundo desde 2011, quando o uso deste tipo de combustível foi aprovado (BRASIL ECONÔMICO, 2015).

A indústria aérea precisa de combustíveis sustentáveis, que possuam as mesmas características técnicas que os combustíveis fósseis utilizados. Porém estas empresas acreditam que o principal desafio a ser enfrentado é garantir as quantidades suficientes de

biocombustíveis para o abastecimento de um mercado em franco crescimento (GEGG et. al. 2014). Para enfrentar este desafio as companhias aéreas e os produtores de biocombustíveis firmaram parcerias para reduzir a vulnerabilidade na cadeia de suprimentos e para potencializar os investimentos em novas tecnologias, já que estes são considerados investimentos de alto risco e longo prazo.

Apesar dos biocombustíveis “drop-in” não serem competitivos ao ponto de vista econômico, os vários voos já realizados estão gerando receita às companhias aéreas. Os desafios a serem enfrentados agora, são aumentar sua escala de produção, associados a disponibilidade de matéria prima, processo de conversão, bem como sua disposição final até as companhias aéreas (BOEING et. al. 2013).

O desenvolvimento do mercado de biocombustíveis para aviação, principalmente os biocombustíveis drop-in, enfrenta um conjunto de restrições, sendo as principais, os custos de produção, a falta de investimentos públicos e privados, a escassez de matéria prima, falta de organização da cadeia produtiva e a ausência de um marco legal.

Os custos de produção dos biocombustíveis são o primeiro grande desafio para expandir e estabilizar o mercado. Para Gegg et al. (2014), a tarefa de estabelecer e estabilizar os preços dos biocombustíveis para aviação é complicada, pois está influenciada por vários fatores voláteis como os processos de produção, os custos de matéria prima, custos com a infraestrutura necessária e os custos legais envolvidos.

No que tange ao segundo fator, a falta de investimentos, identifica-se que apesar deste mercado ser promissor, há uma falta interesse tanto por parte das grandes firmas, quanto por parte dos governos (GEGG et. al. 2014). Isto pode se explicar devido às incertezas sobre novas tecnologias, falta de legislação, dificuldade em obter crédito e alto risco para o desenvolvimento desta nova geração de biocombustíveis (GEGG et. al. 2014).

A obtenção da matéria prima, também é um fator de restrição para o desenvolvimento de mercado de biocombustíveis para aviação. Além da produção de algumas destas competir com a produção de alimentos, a falta de oferta em quantidade suficiente para atender a produção de biocombustíveis é preocupante (GEGG et. al. 2014).

A quarta restrição para o desenvolvimento dos biocombustíveis para aviação está relacionada com a falta de uma cadeia de fornecimento consolidada, não existindo, por exemplo, uma coordenação entre os diferentes elos desta cadeia. Além disso, a ausência de insumos obriga as companhias aéreas desenvolver elas mesmas a sua própria cadeia de fornecimento, tendo que garantir a própria matéria prima, a própria tecnologia de processamento e a própria logística a ser realizada (TELKAMP, 2012).

A falta de um marco legal é o quinto fator restritivo. A ausência deste marco legal faz com que não existam os incentivos necessários para regular a produção, estimular a inovação e até mesmo usufruir dos benefícios das firmas que decidam investir produzindo estes biocombustíveis. A falta de legislação não só no que diz respeito a financiamentos, como também, leis que prevejam um controle ambiental, tendo assim como fiscalizar a produção de biocombustíveis destinados a aviação (GEGG et. al. 2014). Se não houver uma legislação clara e qualificada não há como fiscalizar e punir quem não trabalha de forma sustentável, que é o principal objetivo das partes interessadas nos avanços do mercado de biocombustíveis.

Independentemente dos esforços de algumas companhias que estão produzindo e vendendo biocombustíveis drop-in para um mercado fechado, os biocombustíveis para aviação ainda não possuem uma comercialização regular na cadeia de suprimentos aéreos e não possuem uma indústria desenvolvida, plenamente comercial (BOEING et. al. 2013). Segundo os especialistas, precisa-se acima de tudo vencer barreiras e preencher lacunas relacionadas ao abastecimento sustentável de matéria prima, as tecnologias de refino a serem utilizadas, e a logística empregada no uso de biocombustíveis para aviação, contudo o

paradigma acena com boas possibilidades de levar a indústria aérea a uma evolução. Portanto, analisar as diferentes trajetórias tecnológicas destes biocombustíveis é uma tarefa importante.

#### 4. TRAJETÓRIAS TECNOLÓGICAS EXISTENTES DOS BIOCOMBUSTÍVEIS

Com o forte interesse das indústrias aeronáuticas participarem do esforço global na redução de emissão de GEE e diminuir sua dependência com combustíveis não renováveis, bem como o desenvolvimento sustentável, tem-se intensificado a busca por caminhos alternativos a um novo combustível aéreo. A indústria de aviação está buscando desenvolver biocombustíveis *drop-in*, que contenham as mesmas características físico-químicas que os combustíveis convencionais (BOEING et. al. 2013).

Os biocombustíveis alternativos para aviação estão ganhando espaço e novas tecnologias estão sendo estudadas pelo mundo. Porém é importante ressaltar que o sucesso da implementação dos biocombustíveis *drop-in*, dependerá essencialmente de sua trajetória tecnológica, ou seja, combinar matérias primas, com tecnologias de refino, respeitando os critérios de produção sustentável e de forma economicamente viável (KOHLENER et. al. 2014).

Trajетórias tecnológicas são, por definição, os caminhos que determinada tecnologia percorre, até que esta, torna-se realmente viável do ponto de vista de econômico e de processamento (DOSI, 1982). Trajetórias tecnológicas surgem para resolução de problemas no âmbito do paradigma tecnológico, para este artigo, o paradigma tecnológico seria o biocombustível para aviação, e as trajetórias tecnológicas seriam as diferentes rotas tecnológicas para a sua produção.

O principal obstáculo a ser enfrentado, pelas possíveis novas rotas tecnológicas, é produzir biocombustíveis de maneira sustentável. Desta forma, os desafios impostos são: (a) a não competição com os alimentos, (b) a redução de emissão de carbono, (c) o não desmatamento para obtenção de espaço agricultável para produção de matéria prima e (d) não gerar impactos ambientais e sociais (HENDRICKS et. al. 2011).

No relatório desenvolvido pela parceria entre Boeing, Embraer, FAPESP e UNICAMP, *Plano de Voo para Biocombustíveis de Aviação no Brasil: Plano de Ação*, a proposta inicial do projeto tem como objetivo avaliar no Brasil, os desafios relacionados à agricultura, tecnologias de conversão, logística, variáveis econômicas e sustentáveis, associadas ao desenvolvimento e comercialização de biocombustíveis para aviação.

O Brasil tem um grande potencial e conhecimento pela experiência na produção de biocombustíveis e segundo o relatório, com uma vantagem estratégica global única. Para realizar a avaliação, as parcerias envolvidas realizaram workshops pelo Brasil, nas cidades de São Paulo (FAPESP), Piracicaba (ESALQ/USP), Campinas (FEQ/UNICAMP), Belo Horizonte (FIEMG), Brasília (Embrapa Agroenergia), Rio de Janeiro (ANP) e São José dos Campos (DCTA) com o propósito de identificar as novas trajetórias tecnológicas dos biocombustíveis aéreos (BOEING et. al. 2013).

O primeiro passo para desenvolver uma trajetória é a identificação da matéria prima a ser utilizada. Dentro do paradigma, biocombustíveis para aviação, as matérias primas com potencial para a produção de biocombustíveis são plantas que contenham açúcares, amido e óleo, além de resíduos como lignocelulose, resíduos sólidos urbanos e gases de exaustão industrial (BOEING et. al. 2013).

Estas matérias primas combinadas às tecnologias refino–tecnologias agroindustriais, são capazes de fornecerem valores energéticos satisfatórios, ao qual a indústria de aviação deseja. Mas, como qualquer tecnologia inovadora necessita de esforços em P&D para

otimizar processos, reduzir custos e melhorar a logística das culturas envolvidas, na produção de biocombustíveis aéreos (BOEING et. al. 2013).

Neste cenário, já identificadas as matérias que podem ser utilizadas nas diferentes trajetórias tecnológicas, o segundo passo é analisar as tecnologias de refino. As tecnologias de processamento que podem ser utilizadas para a produção de biocombustíveis para aviação incluem gaseificação, pirólise rápida, liquefação por solvente, hidrólise enzimática de biomassa celulósica e lignocelulósica, oligomerização de álcool para combustível de aviação (ATJ), hidrocessamento de ésteres e ácidos graxos (HEFA), fermentação de açúcares e dejetos (incluindo resíduos sólidos urbanos, gases de combustão, resíduos industriais) em álcoois, hidrocarbonetos (DSHC) e lipídios. Todas essas tecnologias, segundo o relatório elaborado pela Boeing et. al. (2013), tem grande potencial para a produção de biocombustíveis para aviação (BOEING et. al. 2013).

Deste modo, o estudo realizado previamente para definir as tecnologias de refino a serem utilizadas em escala piloto, teve como objetivo identificar uma tecnologia capaz de produzir moléculas similares aos combustíveis convencionais utilizados na aviação, usando de base matéria primas produzidas e processadas de maneira sustentável (BOEING et. al. 2013).

Até o momento fez-se uma breve análise sobre o tipo de matéria prima e o tipo de tecnologia empregada no processamento para a produção de biocombustíveis, estas variáveis associadas à logística de escoamento tanto da matéria prima, quanto do próprio produto final, formam as trajetórias tecnológicas dos biocombustíveis para aviação.

As trajetórias tecnológicas são a combinação sequencial de diferentes etapas, indo desde a matéria prima, pré-tratamento, conversão e processo de produção específico de combustível para aviação. O Quadro 2, apresenta-se uma síntese das trajetórias identificadas, combinando-se todas estas variáveis descritas acima, salientando que as trajetórias assinaladas têm como base de produção o Brasil.



**Quadro 2. Trajetórias Tecnológicas identificadas na produção de biocombustíveis aéreos tendo como base de produção o Brasil**

	Matérias Primas	Pré-tratamento	Processo de Conversão	Processo de conversão específico de biocombustíveis para aviação	
Trajetórias Tecnológicas	1	Óleo de cozinha usado	Filtração e Neutralização	Conversão de Lipídios	HEFA – Ésteres e Ácidos Graxos Hidroprocessados (1)
	2	Sebo	Rendering	Conversão de Lipídios	HEFA – Ésteres e Ácidos Graxos Hidroprocessados (1)
	3	Plantas Oleaginosas	Extração de Óleo	Conversão de Lipídios	HEFA – Ésteres e Ácidos Graxos Hidroprocessados (1)
	4	Resíduo Sólido Urbano	Separação	Conversão Bioquímica	ATJ – Álcool para combustível de aviação (2)
	5	Gases de Combustão CO, CO/H <sub>2</sub>	_____	Conversão Bioquímica	ATJ – Álcool para combustível de aviação (2)
	6	Plantas com Açúcares	Extração	Conversão Bioquímica	ATJ – Álcool para combustível de aviação (2)
	7	Amido	_____	Conversão Bioquímica	ATJ – Álcool para combustível de aviação (2)
	8	Lignocelulose	Pré-tratamento	Conversão Bioquímica	ATJ – Álcool para combustível de aviação (2)
	9	Plantas com Açúcares	Extração	Conversão Bioquímica	DSHC – Fermentação direta de Açúcares para Hidrocarbonetos (3)
	10	Lignocelulose	Pré-tratamento	Conversão Termoquímica	FT – Querosene parafínico sintetizado hidroprocessado Fischer-Tropsch (4)
	11	Lignocelulose	Pré-tratamento	Conversão Termoquímica	HDCJ – Celulósico Despolimerizado Hidrotratado para combustível de aviação (5)
	12	Algas	Extração de Óleo	Conversão de Lipídios	HEFA – Ésteres e Ácidos Graxos Hidroprocessados (1)
	13	Algas	Pré-tratamento	Conversão Termoquímica	FT – Querosene parafínico sintetizado hidroprocessado Fischer-Tropsch (4)

Fonte: Elaboração própria, com base em Boeing *et al.* (2013)

## 5. CORRELACIONANDO AS TRAJETÓRIAS SOB OS ASPECTOS: TECNOLOGIAS DE REFINO E MATÉRIAS PRIMAS.

Produzir biocombustíveis, para atender a demanda de emissão zero de carbono das companhias, tem sido um incentivo para o crescente aumento de trajetórias tecnológicas. Na tentativa de buscar ou melhorar as rotas existentes, dois pontos importantes precisam de especial atenção: as matérias primas utilizadas e as tecnologias de conversão. Portanto, é necessário realizar um estudo destes pontos, pois são os elementos mais importantes para definir a melhor trajetória para o desenvolvimento dos biocombustíveis na aviação.

### 5.1. Matérias Primas

Matérias primas destinadas a produção de biocombustíveis *drop-in* devem ser cultivadas de maneira sustentável, principal exigência por parte dos interessados em produção, comercialização e aquisição destes biocombustíveis.

De fato, o cultivo da biomassa é um ponto crucial para a expansão dos biocombustíveis “drop-in”. As fontes desta biomassa são vastas e de diferentes resíduos agroindustriais (óleo de cozinha, sebo, resíduo sólido urbano, gases de combustão e lignocelulose), apresentando a vantagem de possuir um custo competitivo e evitar preocupações como a utilização de terras agricultáveis e segurança alimentar (BOEING, et. al. 2013).

Além disso, outras matérias primas com potencial para suprir a demanda de produção dos biocombustíveis, podem ser plantas oleaginosas, plantas com açúcares, amido e algas (BOEING, et. al. 2013). Porém, estas últimas matérias primas apresentam a desvantagem quanto à exploração de terras agricultáveis e segurança alimentar, salvo algumas exceções como as algas e algumas culturas oleaginosas.

As plantas que contenham açúcares e amido são promissoras para o desenvolvimento inicial de biocombustíveis para aviação no Brasil a um curto prazo e ao longo prazo o cultivo de oleaginosas e os materiais lignocelulósicos (resíduo), vindos de resíduos urbanos e industriais podem ser fontes potenciais de matéria primas (BOEING, et. al. 2013).

Também, é importante ressaltar que embora o custo da matéria prima do campo ou resíduos sejam baixos o custo com o transporte não é importante e deve ser levado em consideração. O Quadro 3 a seguir apresenta-se um resumo dos aspectos positivos e negativos e o custo aproximado, das matérias primas mais promissoras para o desenvolvimento dos biocombustíveis.

**Quadro 3. Aspectos positivos e negativos e o custo aproximado das matérias primas com potencial para desenvolver o mercado de biocombustível para aviação**

Matéria prima	Aspectos positivos	Aspectos negativos	Custos
<b>Óleo de cozinha usado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta variabilidade na qualidade e composição dependendo da área de coleta;</li> <li>Resíduo;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Variabilidade pode ser reduzida pelo pré-tratamento;</li> <li>Danos em equipamentos, aumentando a corrosão;</li> <li>Transporte (matéria prima/biocombustível);</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>R\$ 0,50 a R\$ 1,50 tonelada aproximadamente, dependendo da região;</li> </ul>
<b>Sebo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Redução no impacto da poluição;</li> <li>Produção anual no Brasil 600.000 toneladas;</li> <li>Matéria prima social;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disponibilidade limitada;</li> <li>Transporte (matéria prima/biocombustível);</li> <li>Competição com indústria de cosméticos;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>R\$ 2.000,00 tonelada aproximadamente;</li> </ul>
<b>Plantas Oleaginosas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistema de rotações;</li> <li>Variabilidade de oleaginosas não alimentares;</li> <li>Algumas oleaginosas resistem a falta d'água;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Algumas espécies oleaginosas competem com espaço agricultável;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apresenta grande variação devido a variabilidade de oleaginosas, variando de R\$ 2.500,00 a R\$ 6.000,00 tonelada;</li> </ul>
<b>Resíduos Sólidos Urbanos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Evitam preocupações com segurança alimentar;</li> <li>Custo zero - biomassa;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Problemas com coleta e separação;</li> <li>Custo alto - transporte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Negativo;</li> </ul>
<b>Gases de Exaustão</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Não competem com alimentos;</li> <li>Não competem com terra agricultável;</li> <li>Amplamente encontrado;</li> <li>Aproveitamento Resíduos nocivos;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Problemas com coleta e transporte;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>R\$ 0,00;</li> </ul>
<b>Plantas com açúcares</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alto rendimento;</li> <li>Brasil tem grande experiência na produção e conversão da cana de açúcar;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Competem por terras agricultáveis;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apresenta grande variação devido a variabilidade da biomassa, variando de R\$ 52,00 a R\$ 2.500,00 tonelada;</li> </ul>
<b>Amido</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alto rendimento;</li> <li>Praticidade de plantio e colheita;</li> <li>Custo social;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Competem por terras agricultáveis;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apresenta grande variação devido a variabilidade de oleaginosas, variando de R\$ 170,00 a R\$ 2.500,00 tonelada;</li> </ul>
<b>Lignocelulose</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resíduos agroindustriais, agroflorestais – normalmente;</li> <li>Abundantes e não alimentares;</li> <li>Disponíveis localmente, geralmente em grandes quantidades;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Barreiras tecnológicas;</li> <li>Ampla variedade na composição requer um número maior de processos de conversão;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apresenta grande variação devido a variabilidade da biomassa, variando de R\$ 0,01 a R\$ 170,00 tonelada;</li> </ul>
<b>Algas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta rendimento;</li> <li>Biomassa não alimentar;</li> <li>Crescem rápido;</li> <li>Não necessita de grande espaço para cultivo;</li> <li>Absorvem quantidades considerável de CO<sub>2</sub>, quando cultivadas em céu aberto;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Avanços na tecnologia de extração e no modo de cultivo;</li> <li>Sistemas de cultivo influenciam no custo final da matéria prima;</li> <li>Consumo considerável de água doce no cultivo e extração;</li> <li>Produção em grande quantidade;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Custo de produção da biomassa dependendo da espécie e o modo de cultivo apresenta uma variação US\$ 100,00 a US\$ 3.800,00 tonelada;</li> </ul>

**Fonte:** Elaboração própria com base em Da Rós et. al. (2012), Boeing et al. (2013), Chisti (2013), Chiaramonti et. al. (2014), Mfrural (2015), Drenth et. al. (2015), IPEADATA (2015).

## 5.2. Tecnologias de Refino

Como mencionado previamente as tecnologias utilizadas podem ser agrupadas em três grupos, aos quais derivam sucessivos processos que dão origem aos biocombustíveis, sendo eles: conversão de lipídios, conversão bioquímica e conversão termoquímica (BOEING, et. al. 2013). Pela conversão de lipídios tem-se os processos HEFA – Hydroprocessed Esters and Fatty Acids e CH – Catalytic Hydrothermal, tendo como matérias primas óleo vegetal, sebo e óleo de cozinha usado. O uso destas matérias primas implica no nicho de mercado de fornecimento aos aeroportos, pois as refinarias tendem a permanecer mais perto do campo (BOEING, et. al. 2013).

Na conversão bioquímica inclui os processos DSHC – Direct sugar to Hydrocarbon e ATJ – Alcohol to jet, utilizando diversas matérias primas como resíduos sólidos urbanos, gás de combustão rico em monóxido de carbono e açúcares fermentáveis, produzindo álcoois como produto intermediário que, posteriormente, são transformados em biocombustíveis pelas tecnologias específicas de conversão agroindustriais a DSHC e a ATJ (BOEING, et. al. 2013).

Na conversão termoquímica compreende-se os processos FT – Fischer-Tropsch e HDCJ – Hydrotreated Depolymerized Cellulosic Jet Fuel, apresentando como matérias primas eficientes as lignocelulosicas, que estão disponíveis em quantidades suficientes para atender o mercado de biocombustíveis e são ambientalmente sustentáveis. O processo Fischer-Tropsch possui um custo elevado devido às condições específicas das reações (alta temperatura e pressão), exigindo grandes reatores para diminuir os custos (BOEING, et. al. 2013).

As tecnologias assinaladas para o processo conversão apresentam potencial considerável para produção de biocombustíveis aéreos. O Quadro 4 a seguir apresenta-se um apanhado geral aspectos positivos e negativos e o custo aproximado, das tecnologias específicas de conversão agroindustriais promissoras para o desenvolvimento dos biocombustíveis.

**Quadro 4. Aspectos positivos e negativos e o custo aproximado das tecnologias de conversão agroindustriais com potencial para desenvolver o mercado de biocombustível para aviação**

Regulamentação / Custo do processo tecnológico	Aspectos positivos	Aspectos negativos	Sustentabilidade	
<b>HEFA – Ésteres e Ácidos Graxos Hidroprocessados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Aprovada pela ASTM D7566 (julho/2011), permitindo 50% de mistura;</li> <li>- Custo baixo;</li> <li>- Processo comercial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta produtividade, sobretudo as plantas Oleaginosas;</li> <li>- A tecnologia é bem comprovada e praticada comercialmente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Abasteceria aeroportos longe de refinarias e próximo de campos agrícolas;</li> <li>- Biomassa sebo apresenta problemas com coleta;</li> <li>- Os custos com a matéria prima pode representar 70% do custo total;</li> <li>- Essas competem com o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel Brasileiro.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Matérias primas como plantas oleaginosas competem com a produção de alimentos;</li> <li>- Utilização de resíduos.</li> </ul>
<b>CH – Hidrotermólise Catalítica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não cumpri os requisitos da ASTM D7566;</li> <li>- Custo alto, devido condições especiais requeridas pela reação (temperatura, pressão, catalisadores).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Eficiência energética maior quando comparado com o processo de gaseificação;</li> <li>- Processo utilizado no tratamento de água residual;</li> <li>- Conversão de vários resíduos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Custo coleta de matérias primas;</li> <li>- Alto investimento na planta;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilização de resíduos como matéria prima;</li> </ul>
<b>ATJ – Álcool para combustível de aviação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Em fase final de aprovação;</li> <li>-Custo alto, devido condições especiais requeridas pela reação (temperatura e pressão).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Custo baixo de matérias primas;</li> <li>- Grande potencial de produção;</li> <li>- Converte álcoois de cadeias curtas em cadeias longas – querosene de avião.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Custo com transporte alto;</li> <li>- Limitações em infraestrutura;</li> <li>- Desejável obter enzimas com alta eficiência, para tornar a hidrólise enzimática economicamente viável;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilização de resíduos como matéria prima;</li> <li>- Resíduos não possuem custo competitivo e não evitam preocupações com segurança alimentar;</li> </ul>
<b>DSHC – Fermentação direta de Açúcares para Hidrocarbonetos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Aprovada pela ASTM D7566 (junho/2014), permitindo 10% de mistura;</li> <li>- Custo alto;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Custo baixo de matérias primas;</li> <li>- 10% de mistura reduz 5% de GEE e 3% de partículas;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitações em infraestrutura;</li> <li>-Desejável obter enzimas com alta eficiência, para tornar a hidrólise enzimática economicamente viável;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Matérias primas providas de plantas com açúcares competem com espaço agricultável e com a produção de alimentos.</li> </ul>

<b>FT – Querosene parafínico sintetizado hidroprocessado Fischer-Tropsh</b>	-Aprovada pela ASTM D7566 (setembro/2009), permitindo 50% de mistura; -Custo operacional alto.	- Custo baixo de matérias primas; - Largamente usado como processo de conversão; - Alto rendimento; -Alta variabilidade de catalisadores.	-Matérias primas lignocelulosicas, apresentam custo alto na coleta e transporte até a unidade de processamento. -Limitações em infraestrutura e investimento alto na planta.	-Utilização de resíduos como bagaço de cana de açúcar, madeira ou resíduos florestais.
<b>HDCJ – Celulósico Despolimerizado Hidrotratado para combustível de aviação</b>	- Em fase de aprovação pela ASTM; - Custo operacional alto.	-Custo baixo de matérias primas; -Maximiza a produção de óleo, com rendimentos 80% em peso.	-Matérias primas lignocelulosicas, apresentam custo alto na coleta e transporte até a unidade de processamento. - Limitações em infraestrutura.	-Utilização de resíduos como bagaço de cana de açúcar, madeira ou resíduos florestais.

**Fonte:** Elaboração própria com base em Sandquist e Guell (2012), Boeing *et al.* (2013) e Holladay *et. al.* (2014)

## 6. RESULTADO E CONCLUSÃO

Sgouridis (2012) reconhece que diferentes medidas estão sendo tomadas na direção certa para o desenvolvimento de biocombustíveis sustentáveis na aviação, entretanto, essa realidade ainda é distante. Ao longo prazo, a incerteza do preço do combustível convencional, juntamente com os benefícios de carbono associados ao uso de biocombustíveis, devem fazer da aviação um setor parceiro e partidário para o desenvolvimento de biocombustíveis (SGOURIDIS, 2012).

O resultado do estudo indica que, atualmente, nenhuma das trajetórias tecnológicas identificadas apresenta ser economicamente competitiva com combustível convencional para aviação. Ademais, há discrepâncias entre as matérias primas utilizadas e o processo de conversão utilizado, ou seja, em determinadas trajetórias, as matérias primas representam um custo baixo, porém seu processo de conversão utiliza tecnologia de custo alto e *vice-versa*.

Matérias primas lignocelulose exibem características que leva a ser considerada uma opção eficiente para fomentar o mercado dos biocombustíveis para aviação, sendo elas: disponíveis em quantidades suficientes, não alimentares, custo baixo e ambientalmente sustentável.

Matérias primas como os gases de combustão apresentam custo negativo, não competem com alimentos nem com terras agricultáveis, além de dar um destino correto a esses resíduos nocivos, amplamente encontrados. Os gases de combustão passam por um processo de fermentação, antes de ser convertido a ATJ, portanto, apesar do processo específico de conversão apresentar custo elevado, a produção é elevada e o refino da matéria prima é simples.

As tecnologias identificadas como promissoras para atender o desenvolvimento do novo paradigma, exigem um longo prazo até possuir um custo oportuno para produção em grande escala. As tecnologias de conversão agroindustriais HEFA – Hydroprocessed esters and fatty acids, ATJ – Alcohol to jet e FT – Fischer-Tropsch, são processos que apresentam um alto rendimento final, utilizando como matérias primas biomassas residuais e plantas oleaginosas.

Chiaromonti (2014) acredita que as rotas indústrias de produção dos biocombustíveis FT de gás natural e carvão e Hidrotratamento de lipídios, são promissoras devido a estes processos apresentarem uma significativa escala de produção, ou seja, um alto rendimento do produto final (CHIARAMONTI, 2014).

Produzir biocombustíveis ambientalmente sustentáveis é uma tarefa árdua. Ademais adquirir a sustentabilidade vai além de uma qualificação social, é um processo que depende de critérios internacionais, nacionais e regionais, contudo, adequar-se a esses critérios é extremamente importante. O termo sustentabilidade apresenta um peso de valor pra sociedade e agrega valor ao produto comercializado.

Finalmente, a trajetória a ser percorrida pelos biocombustíveis aéreos é longa e exigem esforços em P&D, além de políticas públicas, apoio legislativo e parcerias entre empresas, não só do ramo de aviação, bem como as de refinarias (BOEING et. al. 2013).

## REFERENCIAS

Air Transport Action Group – ATAG: Government Partnership needed for Green Growth in air Travel. Disponível em:

<<http://www.atag.org/our-news/press-releases/73.html?tmpl=pressrelease>>. Acesso em junho de 2014.

Andersen, Birgitte. *The evolution of technological trajectories 1890 – 1990. Structural Change and Economic Dynamics*, v. 9, p. 5-34. 1997.

Biondi, Leonardo; Galli, Riccardo. *Technological Trajectories*. July/August 1992.

BOEING, EMBRAER, FAPESP, UNICAMP. **Plano de voo para biocombustíveis no Brasil: Plano de ação**. Brasil, 2013.

BRASIL ECONÔMICO. Disponível em: <<http://brasileconomico.ig.com.br/negocios/2015-01-15/reducao-de-poluente-ja-e-realidade-em-aereas.html>>. Acesso em março de 2015.

Castellacci, Fulvio. *Technological paradigms, regimes and trajectories: Manufacturing and service industries in a new taxonomy of sectoral patterns of innovation. Resesarch Policy*, Norway, v. 37, p. 978-994. May 2008.

Chiaromonti, David et. al. *Sustainable bio kerosene: Process routes and industrial demonstration activities in aviation biofuels. Applied Energy*, Italy, v.136, p. 767-774, 2014.

Chisti, Yusuf. *Constraints to commercialization of algal fuels. Journal of Biotechnology*, New Zealand, v. 167, p. 201-214, 2013.

Da Rós, Patrícia C. M. et. al. *Microwave-assisted enzymatic synthesis of beef tallow biodiesel. J. Ind. Microbiol Biotecnol*, Brazil, v. 39, p. 529-536, 2012.

De Marchi, Mario et. al. *Testing a modelo f technological trajectories. Resesarch Policy*, Italy, v. 25, p. 13-23. July 1996.

Dosi, Giovanni. *Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. Resesarch Policy*, North Holland, v. 11, p. 147-162, 1982.

Drenth, A. C. *Fuel property quantification of triglyceride blends with an emphasis on industrial oilseeds camelina, carinata, and pennycress. Fuel*, v.153, p. 19-30, 2015.

Fleck, James et. al. *Dinamics of Information Technology Implementation: A reassessment of paradigms and trajectories of development*. July/August 1990.

Gegg, Per et. al. *The market development of aviation biofuel: Drivers and constraints. Journal of Air Transport Management*, v. 39, p. 34-40. July 2014.

Green, Kenneth et. al. *Technological Trajectories and R&D for Environmental Innovation in uk Firms*. 1994.

Hendricks, Robert C. et. al. *Aviation Fueling: A Cleaner, Greener Approach. International Journal of Rotating Machinery*. August 2011.

Holladay, Johnathan et. al. *Renewable routes to jet fuel*. 2014.

Hong, Thong D. et. al. *A study on developing aviation biofuel for the Tropics: Productionprocess—Experimental and theoretical evaluation oftheir blends with fossil Kerosene. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, v. 74, p. 124-130. December 2013.

IPEADATA. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/>>. Acesso em junho de 2015.

Kirkels, Arjan F. *Punctuated continuity:Thetechnologicaltrajectoryofadvanced biomass gasifiers. Energy Policy*, v.68, p. 170 – 182, 2014.

Kohler, Jonathan et. al. *Lead markets in 2nd generation biofuels for aviation: A comparison of Germany, Brazil and the USA. Environmental Innovation and Societal Transitions*, v. 10, p. 59-76, 2014.

Liu, Yu Cheng et. al. *The spherically symmetric droplet burning characteristics of Jet-A*





and biofuels derived from camelina and tallow. **Fuel**, Ithaca, v. 108, p. 824-832. February/March 2013.

MFRURAL. Disponível em: <<http://www.mfrural.com.br/>>. Acesso em junho de 2015.

Nelson, Richard R.; Winter, Sidney G. *In search of useful theory of innovation*. **Research Policy**, North Holland, v. 6, p. 36-76, 1977.

Nygren, Emma et. al. *Aviation fuel and future oil production scenarios*. **Energy Policy**, v. 37, p. 4003-4010, 2009.

Oltra, Vanessa; Saint Jean, Maider. *Variety technological trajectories in low emission vehicles (LEVs): A patente data analysis*. **Journal of Cleaner Production**, France, v.17, p. 201-213, 2009.

Parayil, Govindan. *Mapping technological trajectories of the Green Revolution and the Gene Revolution from modernization to globalization*. **Research Policy**, Singapore, v. 32, p. 971-990, August 2003.

Pavitt, Keith. *Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory*. **Research Policy**, North-Holland, v. 13, p. 343-373. 1984.

Sahal, Devendra. *Technological guidepost na innovation avenues*. **Research Policy**, North-Holland, v. 14, p. 61-82. 1985.

Sandquist, Judit; Guell, Berta M. *Overview of Biofuels for Aviation*. **Chemical Engineering Transactions**, v. 29, p. 1147-1152. 2012.

Saviotti, Pier Paolo. *Systems Theory and Technological Change*. **Futures**, p. 773-786. 1986.

Sgouridis, Sgouris. *Are we on course for a sustainable biofuel-based aviation future?* *Future Science*, p. 243-246. 2012.

Souitaris, Vangelis. *Technological trajectories as moderators of firm-level determinants of innovation*. **Research Policy**, London, v. 31, p. 877-898. July 2001.

Teece, David J. *Dosi's technological paradigms and trajectories: insights for economics and management*. **Industrial and Corporate Change**, v. 17, p. 507-512. 2008.

Telkamp, Renée. *How biofuels could take off*. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*. Germany, v. 3, p. 235-243. 2012.