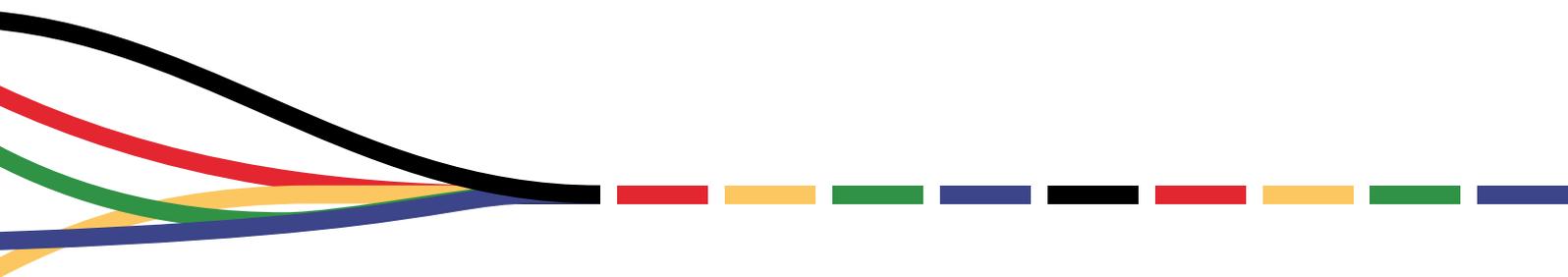


Avaliação Ambiental Preliminar para o Licenciamento de Plantas de Produção de Eletrocombustível Renovável de Aviação Próximas a Aeroportos Remotos no Brasil



ProQR

COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS
SEM IMPACTOS CLIMÁTICOS



Todas as indicações, dados e resultados deste estudo foram compilados e cuidadosamente revisados pelos(as) autores(as). Apesar disso, podem ocorrer erros com relação ao conteúdo. Dessa forma, nem a GIZ nem os(as) autores(as) podem ser responsabilizados(os) por qualquer reivindicação, perda ou prejuízo, direto ou indireto, resultante do uso ou da confiança depositada sobre as informações contidas neste estudo que sejam, direta ou indiretamente, resultante dos erros, imprecisões ou omissões de informações.

As ideias e opiniões expressas nesta publicação são dos(as) autores(as) e não refletem necessariamente a posição do Ministério do Meio Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU), ou da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

A duplicação ou reprodução do todo ou de partes do estudo (incluindo a transferência de dados para sistemas de armazenamento de mídia) e distribuição para fins não comerciais são permitidas, desde que a GIZ seja citada como fonte da informação. Para outros usos comerciais, incluindo duplicação, reprodução ou distribuição do todo ou de partes desta publicação, é preciso de autorização escrita da GIZ.

*As figuras são adaptadas das fontes bibliográficas.

**Publicado por**

ProQR – Combustíveis Alternativos sem Impactos Climáticos
Cooperação Técnica Brasil-Alemanha para o Desenvolvimento Sustentável

Coordenação do ProQR

Marcos Oliveira Costa

Elaboração Técnica

Maria Angélica Garcia (coordenadora)
Kênia Godoy (colaboradora)
Túlio Marcos Godoy (colaborador)

Revisão de técnica

Marcos Costa
Elizabeth Melo

Revisão de texto

Ana Terra Mejia Munhoz

Projeto gráfico e diagramação

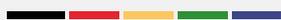
João Bosco Gouvea Ramos

Direção do ProQR

Eduardo Soriano Lousada (MCTI)
Tina Ziegler (GIZ)

Execução do ProQR

MCTI	GIZ
Rafael Silva Menezes	Marcos de Oliveira Costa
Gustavo de Lima Ramos	Elizabeth Melo

Junho 2020**Contatos**

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
Coordenação-Geral de Estratégias e Negócios
Departamento de Tecnologias Estruturantes
Secretaria de Empreendedorismo e Inovação
Esplanada dos Ministérios - Bloco E – Sala 346
70.067-900, Brasília-DF, Brasil
+55 61 2033-7817

Deutsche Gesellschaft für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
SCN Quadra 1 Bloco C Sala 1401 - 14º andar
Ed. Brasília Trade Center
70711-902 Brasília-DF, Brasil
+55 61 2101-2170

Este estudo foi elaborado no âmbito do Projeto Combustíveis Alternativos sem Impactos Climáticos (ProQR), realizado por meio da Cooperação Técnica Brasil-Alemanha para o Desenvolvimento Sustentável, em parceria com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) e por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Este projeto é parte da Iniciativa Internacional para o Clima (IKI), apoiada pelo Ministério do Meio Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU), com base em decisão do Parlamento alemão.

O Projeto ProQR tem o objetivo de criar um modelo de referência internacional para combustíveis alternativos sem impactos ambientais, para transporte aéreo e setores sem potencial de eletromobilidade.

Sumário

1. Sumário Executivo	8
1.1. Apresentação	8
1.2. Aspectos Gerais da Avaliação Estratégica para Plantas de ECR	8
1.3. Diretrizes e Recomendações	10
2. Apresentação	12
3. Contribuições do QAV para o Efeito Estufa	13
3.1. O Acordo de Paris	13
3.2. Modal Aeroviário e Emissão de Gases do Efeito Estufa	14
4. Arcabouço Legal e Normativo que Rege o Licenciamento	18
4.1. Amparo Legal e Normativo Atinente	18
4.1.1. Exigências Legais quanto à Localização do Empreendimento	20
4.1.2. Atendimento aos Padrões e Limites de Emissão Previstos na Legislação Ambiental	24
4.2. Outras Exigências Correlatas ao Tema	25
5. Análise do Ciclo de Vida do QAV e do ECR	27
5.1. Produção de Eletrocombustíveis Renováveis	27
5.1.1. Rotas de Produção do Querosene de Aviação Sintético	28
5.1.1.1. Obtenção do Syngas	29
5.1.2. Síntese de Fischer-Tropsch	33
5.1.3. Informações Complementares para a Avaliação de Impactos	34
5.1.4. Etapa de Separação dos Produtos da Reação de FT	36
5.2. Ciclo de Vida do Querosene de Aviação	36
5.2.1. Fase <i>Upstream</i>	36
5.2.2. Fase <i>Midstream</i>	37

5.2.2.1. Desidratação e Dessalinização	37
5.2.2.2. Destilação à Pressão Atmosférica	37
5.2.2.3. Destilação a Vácuo	38
5.2.2.4. Hidrotratamento	38
6. Análise Comparativa do Ciclo de Vida dos Combustíveis de Aviação	40
6.1. Vantagens Ambientais da Adoção do Eletrocombustível Renovável	40
6.2. Comparação entre QAV e ECR	43
7. Diretrizes e Recomendações	45
7.1. Sugestão de Diretrizes para ECRs no Brasil	45
7.2. Recomendações	48
8. Considerações Finais	51
9. Referências Bibliográficas	52

Lista de figuras

Figura 1. Distribuição dos campos de aviação no Brasil. Fonte: ANAC (2018).	15
Figura 2. Etapas gerais de obtenção do Syngas. Fonte: elaboração própria	28
Figura 3. Inovações no processo de produção dos eletrocombustíveis renováveis. Fonte: elaboração própria	29
Figura 4. Demonstração de planta com sistema de captador de dióxido de carbono. Fonte: MORRIS (2017).	30
Figura 5. Esquema representativo de uma eletrólise SOEC. Fonte: adaptado de SolidCell Inc.	31
Figura 6. Processo de gaseificação. Fonte: adaptado de GTC (2014).	31
Figura 7. Plasma móvel. Fonte: PLAZARIUM (2018) apud EBNER (2018).	31
Figura 8. Contêiner móvel de unidade de pirólise. Fonte: BIOGREEN (2018) apud EBNER (2018).	32
Figura 9. Ciclo geral da gaseificação por plasma. Fonte: elaboração própria	32
Figura 10. Demanda de água por litro de combustível de aviação (representação de volume de água para ECR-PtL $\sim 1,4$ e para Jatropha $19.914,914 \text{ L}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{L}_{\text{Combustível}}$). Fonte: SCHMIDT et al. (2016).	41
Figura 11. Diretrizes para a continuidade dos projetos e estudos para o licenciamento ambiental de ECRs. Fonte: elaboração própria	46
Figura 12. Processos básicos a serem detalhados para elaboração do estudo de alternativas tecnológicas em fase prévia à definição do Termo de Referência. Fonte: elaboração própria	50
Figura 13. Fatores determinantes para a avaliação integrada de suporte para o estudo de alternativas locais. Fonte: elaboração própria	50

Lista de quadros

Quadro 1. Consulta pública de empresas autorizadas (SDL). Fonte: ANP (2020).	16
Quadro 2. Comparação das emissões de CO ₂ pelo uso de combustíveis fósseis no Brasil, na Região Norte e no estado do Amazonas destinados a diversos fins e ao transporte aéreo. Fonte: Azevedo et al. (2018 – SEEG modificado até 2015)	42
Quadro 3. Processo de produção do QAV e consagrados processos impactantes. Fonte: elaboração própria	43
Quadro 4. Processo de produção do ECR e potenciais e principais processos impactantes. Fonte: elaboração própria	44

Lista de siglas

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
APP	Área de Preservação Permanente
ASA	Áreas de Segurança Aeroportuária
ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedade Americana para Testagem e Materiais)
CECAV	Centro Nacional de Pesquisa e Conservação das Cavernas
CNPCT	Comissão Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais
CSP	Energia Solar Concentrada
ECR	Eletrocombustível renovável
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
GEE	Gases de efeito estufa
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Agência Alemã de Cooperação Técnica)
GLP	Gás liquefeito de petróleo
IATA	Associação Internacional de Transporte Aéreo
Ibama	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IEA	International Energy Agency (Agência Internacional de Energia)
Iphan	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
OACI	Organização da Aviação Civil Internacional
ONG	Organização não governamental
PNPCT	Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais
Pronar	Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar
Rima	Relatório de Impacto Ambiental
SIN	Sistema Interligado Nacional
SPK-FT	Combustível parafínico hidroprocessado por Fischer-Tropsch
UC	Unidade de Conservação
WGS	<i>Water Gas Shift</i>
WMO	World Meteorological Organization (Organização Mundial de Meteorologia)



1. Sumário Executivo

1.1. Apresentação

O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) e a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ – Agência Alemã de Cooperação Técnica) iniciaram, em agosto de 2017, o projeto Combustíveis Alternativos sem Impactos Climáticos (ProQR) no âmbito do Acordo Básico de Cooperação Técnica entre os governos do Brasil e da Alemanha, celebrado em 1996.

Aqui se apresenta o Sumário Executivo do documento-base referente à Avaliação Ambiental Estratégica preliminar da licenciabilidade (viabilidade do licenciamento ambiental) da implantação do processo de produção de eletrocombustível renovável (ECR) em unidades modulares (contêineres) em aeroportos remotos no território nacional – especialmente naqueles que, para operar, recebem grandes volumes de querosene de aviação (QAV) via modais de transporte rodoviário ou aquaviário.

Segundo a regulamentação da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o ECR é equivalente ao denominado “SPK-FT combustível parafínico hidroprocessado por Fischer-Tropsch”.

1.2. Aspectos Gerais da Avaliação Estratégica para Plantas de ECR

O setor de transporte aéreo é responsável pela geração de 2,5% dos gases de efeito estufa (GEE). As concentrações de dióxido de carbono (CO₂), um reconhecido GEE, na atmosfera da Terra alcançaram recorde em 2016, pois o aumento foi de 50% acima da média da década anterior, segundo a Organização Mundial de Meteorologia. Diante dos compromissos de redução das emissões globais de GEEs no Acordo de Paris, companhias do setor aeroviário vêm buscando alternativas que concorrem para a minimização dos lançamentos dos gases por aeronaves. Essas emissões podem saltar para 15% em 2050, segundo a Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA).

Há no Brasil, conforme traz o capítulo 2 do documento-base, normas e resoluções que podem instruir a decisão de um licenciamento ambiental de plantas para produção de ECR em locais remotos que seja mais apropriado ao porte e ao potencial poluidor do ECR.

A principal característica do ECR, conforme apresentado nos capítulos 3 e 4 do documento-base, é que sua produção é estritamente baseada na captação de CO₂ e de água (H₂O). Apesar de seu processamento químico ser eletrointensivo, as plantas construídas em módulos (contêineres) deverão ser supridas exclusivamente por fontes de energia alternativas renováveis – solar (termossolar ou fotovoltaica) e/ou eólica. Segundo a proposição do ProQR, que pressupõe o uso de combustíveis alternativos sem impactos climáticos, as plantas instaladas em locais remotos não poderão ser supridas pelo Sistema Interligado Nacional (SIN) porque este é conectado a fontes mistas (incluindo termoelétricas movidas a combustíveis poluentes e emissores de GEEs).

A inovação na produção do biocombustível ECR refere-se às suas diferentes fases desde a obtenção da matéria-prima, passando por processo termelétrico intensivo mediado por energia de fonte renovável no processo químico de conversão até o produto final sem a emissão de efluentes atmosféricos aromáticos e sulfatados.

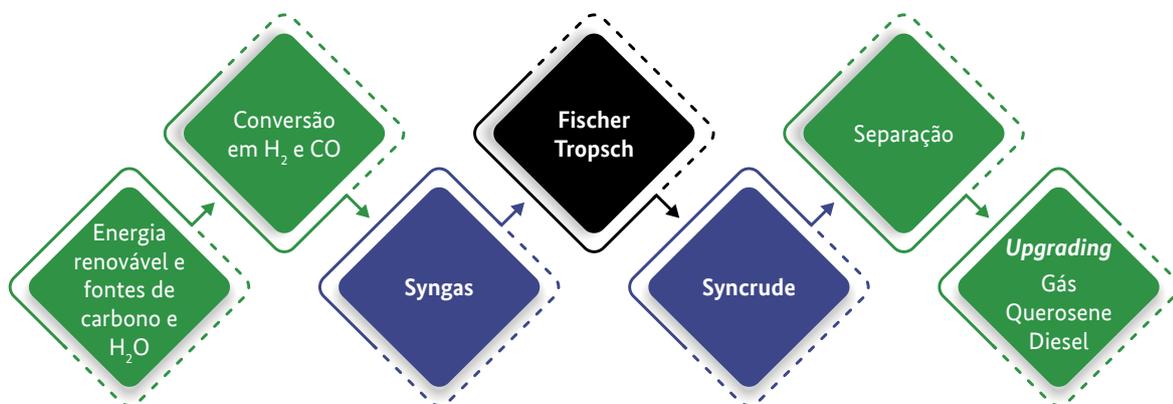
Com propriedades técnicas similares às do QAV, o ECR pode ser produzido a partir de biomassa (subprodutos/resíduos industriais) ou pela captação de CO₂ do ar atmosférico, ou mesmo, em alguns casos, diretamente de processos industriais que emitem quantidades indesejáveis de CO₂. Entretanto, o ECR, diferente do QAV, poupa a atmosfera do lançamento de altas quantidades de óxidos de enxofre, monóxido de carbono, hidrocarbonetos poliaromáticos, material particulado, óxidos de nitrogênio e dióxido de carbono em altas altitudes pela aeronave.

Em comparação com a indústria petroquímica para a produção do QAV, a produção e o uso de ECR no transporte aéreo provocarão redução significativa de grandes volumes de efluentes atmosféricos como o CO₂ e outros gases próprios da combustão do QAV, pois este é matéria-prima e não efluente ou resíduo da produção e do uso.

O ProQR considera como fonte de biomassa para extração de CO₂ (quando não capturado diretamente do ar), entre outros, o aproveitamento da **glicerina** para a produção do ECR. Esta é um importante subproduto excedente da produção de biodiesel no Brasil.

Para a síntese do ECR, são necessárias grandes quantidades de carbono, água e energia, conforme as seguintes etapas:

- obtenção do Gás de Síntese (*Syngas*) a partir de fontes ricas em carbono e água para a obtenção de monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H₂) a serem utilizados na reação de Fischer-Tropsch – pressupõe-se a captura de CO₂ do ar atmosférico ou o aproveitamento de emissões de CO₂ (CoSOEC, gaseificação por plasma, gaseificação e pirólise);
- transformação do *Syngas* em hidrocarbonetos de maior massa molar por meio de reações exotérmicas – reação de Fischer-Tropsch;
- separação dos produtos – etapa de *upgrading*, na qual são obtidos os produtos finais por meio de processos tradicionais de refino, como hidrotratamento e isomerização.



Etapas gerais de obtenção do Syngas.

De maneira geral, as vantagens ambientais quanto à incorporação do ECR no *blend* de combustível para as aeronaves podem assim ser sintetizadas:

- o ECR pode ser misturado ao QAV usado em aeronaves em uma proporção de 50%, conforme as resoluções n.ºs 778 e 779/2019 da ANP;
- o uso do ECR reduz muito a emissão de GEEs. Em especial, o ECR não emite gases contendo enxofre ou outros GEEs quando de sua combustão e, portanto, vai ao encontro das metas propostas pela Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) de redução dos GEEs até 2050;
- as plantas de produção podem ser instaladas bem próximas aos campos de aviação e de forma modular (por meio de contêineres), de maneira a ampliar a oferta segundo a demanda de regiões longe de refinarias de QAV;
- as fontes renováveis e ecologicamente sustentáveis de suprimento de energia devem ser a eólica ou solar, de baixo impacto ambiental;
- as matérias-primas são o dióxido de carbono e a água (e este suprimento de água, se a matéria-prima for a glicerina, é significativamente menor que o de todas as outras fontes de CO₂, mesmo que não fóssil – algas, *Jatropha*, cana-de-açúcar);
- a reação de Fischer Tropsch, processo químico bem conhecido, é o ponto central de todo o processo de produção e converte o *Syngas* em eletrocombustível;
- a utilização de água é significativamente menor que em outros processos de produção de combustível para aviação e bem atrativa do ponto de vista ambiental;
- contribui substancialmente para a redução da emissão dos GEEs durante a produção e o consumo de QAV, não só na extração, produção e transporte, mas também no uso (que deverá complementar o QAV em até 50%), contemplando todo o ciclo de vida.

1.3. Diretrizes e Recomendações

No documento-base, são propostas diretrizes e recomendações para agregar dados e informações que previnam a configuração de zonas cinzentas capazes de interferir no andamento e na segurança jurídica até a efetivação dos empreendimentos em respeito aos procedimentos obrigatórios e tácitos de licenciamento ambiental.

Portanto, são estabelecidas as seguintes diretrizes estratégicas:

1. estabelecer um estudo prospectivo e propositivo de mecanismos que promovam a integração institucional, política e burocrática;
2. estabelecer um mapeamento ambiental e das fontes de insumos e comparação entre QAV e ECRs como fontes de GEE;
3. avançar no detalhamento de instalação, operação e manutenção das unidades de produção de ECR;
4. propor ações efetivas e exequíveis para a garantia dos ritos burocráticos de um licenciamento ambiental seguro do ponto de vista jurídico, social e ambiental para os tomadores de decisão.



As alternativas tecnológicas a serem investigadas e ponderadas devem ser estritamente relacionadas à decisão de produção de ECRs, pois:

- garantem pelo menos 50% de redução de emissão de GEEs (*blend* de 50% com o QAV);
- minimizam significativamente a circulação de QAV em caminhões movidos a diesel das refinarias até os aeroportos remotos;
- utilizam, como premissa de projeto, fontes de energia elétrica exclusivamente solar ou eólica.

Finalmente, o presente estudo declara a relevância e a licenciabilidade ambiental da produção do ECR em território brasileiro do ponto de vista ambiental, especialmente focado nas metas para a redução dos GEEs para o transporte aéreo.



2. Apresentação

O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) e a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ – Agência Alemã de Cooperação Técnica) iniciaram, em agosto de 2017, o projeto Combustíveis Alternativos sem Impactos Climáticos (ProQR). O projeto foi oficialmente instituído por meio do Ajuste Complementar, em 26 de junho de 2017, ao Acordo Básico de Cooperação Técnica entre o governo da República Federativa do Brasil e o governo da República Federal da Alemanha, de 17 de setembro de 1996.

O ProQR visa à criação de um modelo de referência internacional para a aplicação de combustíveis alternativos sem impactos climáticos no transporte aéreo ou em segmentos de transporte sem potencial de eletromobilidade. Combustíveis alternativos, nesse sentido, são combustíveis sintéticos, cujo insumo principal é energia elétrica renovável, além de dióxido de carbono e água.

Os biocombustíveis são substâncias derivadas de biomassa renovável, tais como o biodiesel e o etanol. Um biocombustível pode substituir, parcial ou integralmente, compostos de origem fóssil em motores ou em outros tipos de geradores de energia. Por serem biodegradáveis, e praticamente livres de enxofre e compostos aromáticos, não causam impactos elevados ao meio ambiente.

Com relação à terminologia adotada no presente trabalho, “eletrocombustível renovável” (ECR) é apropriado por se tratar de um combustível alternativo, principal mote do ProQR. Na regulamentação brasileira determinada pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o ECR equivale ao denominado SPK-FT: combustível parafínico hidroprocessado por Fischer-Tropsch.

Por concepção, o processo de produção do ECR, eletrointensivo *per se*, deve ser exclusivamente suprido por meio da autoprodução de energias solar e/ou eólica. Além disso, a matéria-prima utilizada é o dióxido de carbono (CO₂) e a água (H₂O). Portanto, as opções de implantação de unidades descentralizadas para a produção do ECR baseiam-se na premissa de que *inputs* de energia e matéria-prima serão apenas os direcionados à redução de gases de efeito estufa (GEEs).

Este relatório apresenta elementos técnicos para subsidiar e propor diretrizes exequíveis do ponto de vista da regulação do processo de licenciamento ambiental de ECR para aviação.

3. Contribuições do QAV para o Efeito Estufa

3.1. O Acordo de Paris

As concentrações de CO₂ na atmosfera da Terra alcançaram recorde em 2016, segundo a Organização Mundial de Meteorologia (WMO, na sigla em inglês). O aumento naquele ano foi 50% maior do que a média dos dez anos anteriores, conforme relatou Oksana Tarasova, chefe do programa de observação atmosférica da WMO à BBC (MCGRATH, 2019):

o maior aumento até então tinha sido o provocado pelo El Niño anterior, de 2.7 ppm de 1997 a 1998. Agora o aumento foi de 3.3 ppm, que é também 50% maior que a média dos últimos dez anos.

Cientistas dizem que esse resultado ameaça tornar inatingíveis as metas globais de controle do aquecimento global. Por meio do Acordo de Paris, 195 países assumiram o compromisso de manter o aumento da temperatura média do planeta abaixo de 2°C, mas “reunindo esforços para limitar o aumento de temperatura a 1,5°C”.

As discussões em todo o mundo, especialmente depois das sessões plenárias da COP 21 (Conferência das Partes), a cúpula do clima de Paris, centraram-se nas ações necessárias para frear as emissões de GEEs e lidar com os impactos da mudança climática.

O documento ainda conclama os países a

adotarem reduções rápidas a partir de então, de acordo com a melhor ciência disponível, de modo a atingir um equilíbrio entre as emissões antropogênicas por fontes [queima de combustíveis fósseis] e pela remoção por sorvedouros de gases de efeito estufa na segunda metade deste século.

Consonante ao Acordo de Paris (elaborado para substituir o Protocolo de Quioto em 2020), as iNDCs perderam o I (de *intended*, ou pretendidas), uma vez que não são mais intenções e sim compromissos, os quais foram assinados pelo governo brasileiro por meio do Ministério do Meio Ambiente. O Acordo de Paris é o primeiro acordo vinculante contra as mudanças climáticas e começou a vigorar em 92 dos 151 países presentes em Paris em 4 de novembro de 2016, dias antes da COP 22 (em Marrakesh).

Resumidamente, assim ficaram os principais pontos do Acordo de Paris:

- países devem trabalhar para que o aquecimento fique muito abaixo de 2°C, buscando limitá-lo a 1,5°C;
- países ricos devem garantir financiamento de US\$ 100 bilhões por ano para o desenvolvimento de alternativas ao uso de tecnologias geradoras de GEEs;

- não há menção à porcentagem necessária de corte de emissões de GEEs, apesar de os países membros estarem conclamados a relatar que um pico global de emissões deve ser atingido “assim que possível, reconhecendo que esse pico levará mais tempo em países em desenvolvimento”; e, finalmente que
- o Acordo também inclui um mecanismo para a revisão periódica das promessas nacionais dos países de rever suas metas de desacelerar as emissões de GEEs, que não atingem nem metade da ambição necessária para evitar o aquecimento de 2°C.

3.2. Modal Aeroviário e Emissão de Gases do Efeito Estufa

O modal aeroviário é um importante meio de transporte, que compete com os demais por ser mais rápido e considerado mais seguro. Realiza o movimento de pessoas e mercadorias urgentes e de grande valor pelo ar por meio de aviões, helicópteros e outros veículos aéreos (MENDONÇA, 2000).

O transporte aéreo cresce em todo o mundo e preocupa os órgãos ambientais e as autoridades. Do total de emissões globais de carbono, 2,5% são provenientes da aviação (CARBON MARKET WATCH, 2013). Embora este seja um dos menores índices de emissões de CO₂, é mais prejudicial se comparado ao de outras fontes. De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 1999), isso ocorre porque os poluentes lançados pelas aeronaves potencializam os efeitos do CO₂, por conta das grandes altitudes em que são emitidos (alta troposfera e baixa estratosfera), incidindo diretamente sobre a concentração de GEEs.

Gases de combustão emitidos na queima do QAV, como partículas de óxidos de enxofre, monóxido de carbono, hidrocarbonetos poliaromáticos, material particulado, óxidos de nitrogênio e dióxido de carbono, provocam importantes contribuições para o aumento do efeito estufa. O efeito direto das emissões de CO₂ é o maior aprisionamento de raios infravermelhos, causando o incremento do efeito estufa e o aquecimento da superfície terrestre (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1999).

Segundo dados da Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA, 2008), a aviação comercial cresceu a uma taxa média de 5% ao ano nos últimos 33 anos. Apesar de o transporte aéreo representar, atualmente, 3% das emissões de GEEs, esse percentual poderá saltar para 15% em 2050, considerando o ritmo de aumento da demanda global. Atenta a essa perspectiva, a indústria da aviação estabeleceu metas para atingir um crescimento neutro de carbono até 2020 e reduzir em 50% as emissões de CO₂ até 2050 – tendo como referência os níveis de emissão em 2010.

Em 2009, a indústria da aviação traçou três metas globais para abordar seu impacto climático:

- eficiência média anual de combustível de 1,5% entre 2009 e 2020 – o crescimento da indústria está caminhando para atender a esse curto prazo;
- estabilizar as emissões líquidas de CO₂ nos níveis de 2020 com crescimento neutro em carbono – até o momento da publicação (IATA, 2008), a Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) entendia ser possível que o setor de aviação cumprisse tal meta adotando tecnologia complementar, combustíveis sustentáveis de aviação e regras operacionais e de infraestrutura;
- reduzir as emissões líquidas de CO₂ da aviação para a metade do medido em 2005 até 2050.

Esses objetivos, então considerados ambiciosos, mas exequíveis com a estratégia que a indústria implementou por meio de um acordo celebrado em outubro de 2016 sobre a adoção de um esquema de compensação e redução de carbono para a aviação internacional pela OACI, sofreram delongas.

Entretanto, o fato de ter sido pactuado o acordo para a redução da geração de GEEs pelo setor revela uma perspectiva otimista de retomada de parte das diretrizes – o que inclui a substituição de combustíveis preocupantes do ponto de vista da emissão de GEEs por eletrocombustíveis renováveis. Esse é um avanço para a discussão institucional, científica e industrial no Brasil.

A redução de emissões mobiliza a indústria, universidades e institutos de pesquisa em todo o planeta na busca de novas tecnologias, que envolvem desde mudanças na estrutura e composição das asas até maior eficiência dos motores.

O mercado mundial está precisando reduzir as emissões no setor aeronáutico e o único jeito é usando biocombustíveis. Entre 30% a 40% dos custos de um voo comercial são gastos com o combustível. O Brasil tem sido líder na área de biocombustíveis e não pode perder essa corrida. O País tem tradição nessa área e uma biodiversidade muito grande, o que permitiria identificar oleaginosas e outras plantas e fontes para a produção de biocombustível (MACHADO, 2018).

Para tanto, o ProQR representa um sólido avanço no território nacional, especialmente em se tratando de uma propositura que pode ser bastante eficaz quando se consideram as proporções continentais do Brasil. Essa grandeza territorial impõe o tratamento de alternativas para o suprimento das demandas por combustível de aviação para aeroportos em regiões remotas (Figura 1), pois estes dependem do fornecimento de redes de distribuição de querosene de aviação oriundas de refinarias muito distantes dos centros de consumo.

A distância entre as fontes que produzem querosene de aviação e os centros consumidores impõe que os modais de transporte sejam bastante utilizados para o abastecimento do setor. Não é o propósito do presente estudo analisar a distribuição do combustível de aviação, mas importa destacar que o principal modal é o rodoviário – isso implica a utilização de caminhões-tanque, que também contribuem para a emissão de GEEs por serem movidos a combustível fóssil, o diesel.

Figura 1. Distribuição dos campos de aviação no Brasil. Fonte: ANAC (2018).



O Brasil possui quase 2.500 aeródromos em seu território. Conforme dados da ANAC, são 677 aeródromos públicos e 1.770 privados. O fluxo de tráfego aéreo nos aeródromos brasileiros apresenta-se de forma concentrada, assim, percentual expressivo dos aeródromos possui baixo volume de tráfego.

A ANP tem cadastradas nove distribuidoras de querosene de aviação no Brasil (ANP, 2020). Oito delas localizam-se na região Sudeste e uma em Manaus (AM), na região Norte. Isso ratifica que as demandas de combustível para os aeroportos remotos (longe dos centros das refinarias de petróleo), concentradas no eixo Sul-Sudeste, são supridas também por combustíveis geradores de emissões poluentes e de GEEs.

Quadro 1. Consulta pública de empresas autorizadas (SDL). Fonte: ANP (2020).

Razão Social		Município	UF
1.	Petrobahia S.A.	Salvador	BA
2.	Rede SOL Fuel Distribuidora S.A.	Ribeirão Preto	SP
3.	Petróleo Sabbá S.A.	Manaus	AM
4.	AIR BP Brasil Ltda.	São Paulo	SP
5.	Gran Petro Distribuidora de Combustíveis Ltda.	São Paulo	SP
6.	AIR BP Petrobahia Ltda.	Salvador	BA
7.	Raizen Combustíveis S.A.	Rio de Janeiro	RJ
8.	Petrobras Distribuidora S.A.	Rio de Janeiro	RJ
9.	Petrobras Distribuidora S.A.	Rio de Janeiro	RJ

Dessa forma, as etapas para a implantação de alternativas que concorram para o alcance das metas internacionais de ampliação da produção de biocombustíveis vão ao encontro das diretrizes do Acordo de Paris. O setor aeroviário internacional está investindo em quatro pilares: desenvolvimento de novas tecnologias (incluindo desenvolvimento e pesquisa de combustíveis ambientalmente sustentáveis), garantia de operações aéreas mais eficientes, melhor uso da infraestrutura aeroportuária e mensuração do mercado global (MCTI, 2020).

As alternativas aos combustíveis fósseis devem ser centradas na ampliação de biocombustíveis – combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos produzidos a partir de biomassa, pois emitem dióxido de carbono neutro em carbono quando queimados. A maioria dos biocombustíveis, como o bioetanol e o biodiesel presentes no mercado, são processados a partir de plantas fotossintéticas contendo carbono-14 (MCTI, 2020).

A American Society for Testing and Materials (ASTM) adota critérios rigorosos para a aceitação de misturas de biocombustíveis com o QAV de origem fóssil. Esses critérios procuram garantir a qualidade do combustível antes e depois da mistura (*blend*) com o QAV, para que não haja necessidade de alteração nos equipamentos e sejam atendidos os mesmos parâmetros de segurança na utilização em aeronaves comerciais de grande porte (ANP, 2016).

Para a adoção do ECR, a ASTM inclui parâmetros diferentes dos comumente analisados no QAV derivado de petróleo.¹ Fica determinado que os biocombustíveis definidos como SPK (em inglês, *synthesized paraffinic kerosine*), chamado de querosene parafínico sintético, podem ser misturados ao querosene de aviação em até 50% em volume. O ECR é um desses biocombustíveis, como dito anteriormente.

Outrossim, as companhias do setor vêm buscando a melhoria dos motores e dos combustíveis baseados na regulamentação ambiental mundial para as emissões de poluentes durante o pouso e a decolagem das aeronaves, no desenvolvimento de novas tecnologias e no aprimoramento das já existentes. A redução da emissão de CO₂ representa um desafio para as empresas do segmento (RENTES, 2014).

A Resolução nº 496, aprovada em 2018 pela ANAC e em vigor desde janeiro de 2019, vai monitorar e verificar o volume anual de emissões de CO₂ proveniente do transporte aéreo internacional dos operadores aéreos brasileiros para envio dos dados à OACI.

Nesse contexto, a produção de ECR, chamado de “combustíveis sustentáveis de aviação” em inglês (*sustainable aviation fuel*, SAF), representa uma oportunidade de redução de emissões de gases poluentes sem restringir a demanda por transporte aéreo, e o Brasil tem potencial para ser um importante produtor desse combustível.

A proposta de implantação de unidades remotas para a produção de ECRs revela-se uma oportunidade de contribuir para a redução da participação do setor aeroviário na emissão de GEEs com a queima de combustíveis de origem fóssil, especialmente em áreas longínquas (como dos aeroportos das regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste), distantes das refinarias de QAV, o que implica custos ambientais significativos com o transporte do combustível por caminhões-tanques abastecidos com diesel.

1. A norma ASTM D6866 define o teor de carbono biogênico/renovável, uma vez que é reconhecida mundialmente como uma verificação, por terceiros, para apurar a exatidão de misturas de biocombustíveis, como exigido por clientes, fornecedores, fabricantes ou distribuidores.

4. Arcabouço Legal e Normativo que Rege o Licenciamento

As questões e as competências de regulação têm sido caracterizadas, nos últimos anos, pela presença de múltiplos atores institucionais, provocando o que poderia ser caracterizado como fragmentação das decisões institucionais. Esse aspecto é bem observado por Baldwin, Cave e Lodge (2012 *apud* PINTO JÚNIOR *et al.*, 2019), que, ao examinarem a importância crescente do Estado regulador ao longo das últimas três décadas, caracterizam esse fenômeno como um problema de regulação multinível (*multi-level-regulation*). Pesquisadores do Grupo de Economia de Energia (IE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) reforçam ainda que (PINTO JÚNIOR *et al.*, 2019),

[...] segundo esses autores, a fragmentação da autoridade reguladora traz implicações para o exercício da regulação e para os diferentes processos de tomada de decisão. A fragmentação institucional crescente tem valorizado as regras formalizadas e explícitas, e essa tendência tem sido estimulada pela internacionalização de atores econômicos, além de uma confiança mais ampla em contratos formais a serem firmados entre atores.

A presença de diferentes esferas de autoridade institucional para tratar de um determinado problema remete ao conceito de regulação difusa, definido como o exercício de tarefas regulatórias repartidas entre instituições diferentes, com baixo grau de coordenação interinstitucional (Monnerat, 2018). Tal conceito pode, inclusive, ser articulado com a noção de policy mixes destacado (sic.) por Lindberg, Markard e Andersen (2018).

A fim de lançar luz sobre o papel dos órgãos ambientais na regulação dessa nova atividade, previamente determinada como potencialmente poluidora – seu produto final pode provocar impactos ambientais, destarte, ser um processo com redução significativa de emissão de GEEs –, este documento apresenta o cenário de regulação ambiental.

De maneira geral, o arcabouço legal e normativo existente no Brasil para que o processo de licenciamento ambiental siga seu curso, tanto em nível federal quanto em estadual, municipal e distrital, é o mesmo para qualquer tipo de empreendimento. Quer se trate de infraestrutura, geração de energia ou produção de combustível, existe uma série de atos administrativos, normativos e legais que alicerçam a atuação dos tomadores de decisão em suas diferentes instâncias.

Assim, é apresentada uma análise que não se propõe exaustiva, mas é abrangente o suficiente para abordar que tipo de instrumento legal deve ser discutido com os órgãos de meio ambiente para o licenciamento de unidades remotas para a produção de ECR no Brasil.

4.1. Amparo Legal e Normativo Atinente

O **plano de gerenciamento de resíduos sólidos** é parte do processo de licenciamento ambiental do empreendimento ou atividade, conforme previsto no artigo 24 da Lei nº 12.305,

de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, regulamentada pelo Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. A depender do tipo de resíduo e do tipo de processo ou matéria-prima, pode haver exigências adicionais, conforme estabelecido nas resoluções abaixo:

- Resolução Conama nº 5, de 5 de agosto de 1993 – dispõe sobre o gerenciamento de resíduos sólidos gerados nos portos, **aeroportos**, terminais ferroviários e rodoviários;
- Resolução Conama nº 307, de 5 de julho de 2002 – estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos **resíduos da construção civil** – apesar de as plantas de produção de ECR serem propostas para contêineres, podem ser necessários cortes e aterros para nivelamento do terreno;
- Resolução Conama nº 362, de 23 de junho de 2005 – dispõe sobre o recolhimento, a coleta e a destinação final de **óleo lubrificante usado ou contaminado**, o qual pode vir a ser utilizado para a operação da unidade de produção.

Ainda com relação a resíduos, nos casos em que a construção ou operação do empreendimento requer importar **resíduos perigosos** (o que não é esperado até essa fase de avaliação), exigências técnicas e burocráticas adicionais estão previstas na Resolução Conama nº 23, de 12 de dezembro de 1996. Essa resolução dispõe sobre as definições e o tratamento a ser dado aos resíduos perigosos, conforme as normas adotadas pela Convenção da Basileia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito.

O **programa de monitoramento da qualidade do solo e das águas subterrâneas** é previsto para empreendimentos que desenvolvem atividades com potencial de contaminação dos solos e das águas subterrâneas, se necessário estendendo-se para as águas superficiais, conforme a Resolução Conama nº 420, de 28 de dezembro de 2009. A identificação e o diagnóstico das áreas contaminadas, assim como as intervenções que se fizerem necessárias, ou seja, a gestão ambiental da área contaminada, também estão previstos na resolução. Nesse nível de planejamento, o empreendimento em si não apresenta potencial de poluição, mas a área onde será implantado pode vir a possuir algum passivo ambiental, ou pode ser necessário relocar algo com potencial de contaminação/poluição do solo ou da água. A aplicação dessa norma dependerá do local de implantação.

A execução de programas destinados à capacitação dos trabalhadores, visando à melhoria e ao controle efetivo sobre o ambiente de trabalho, bem como sobre as repercussões do processo produtivo no meio ambiente, é uma das incumbências dos empreendedores, conforme o artigo 3º da Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999, que institui a Política Nacional de Educação Ambiental. A sua regulamentação, por meio do Decreto nº 4.281, de 25 de junho de 2002, prevê, no artigo 6º, que deverão ser criados, mantidos e implementados, sem prejuízo de outras ações, **programas de educação ambiental** integrados às atividades de licenciamento e revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras.

Caso as unidades venham a ser instaladas em área rural, as propriedades devem manter **Reserva Legal**, de acordo com a Lei nº 12.651/2012, excetuando-se os casos previstos no artigo 12. Ainda segundo o Novo Código Florestal, se a propriedade do empreendimento não atender ao disposto na referida lei, o empreendedor deverá desenvolver o **Programa de Regularização Ambiental**, conforme disposto no Decreto nº 7.830, de 17 de outubro de 2012.

4.1.1. Exigências Legais quanto à Localização do Empreendimento

Dentro do planejamento de um empreendimento, a sua localização é escolhida em função de critérios técnicos, econômicos e ambientais, que devem estar documentados no estudo das alternativas locais, como parte do Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA). A legislação ambiental traz os critérios que impedem, restringem ou condicionam a implantação e operação de empreendimentos em determinados locais.

Para tanto, a avaliação ambiental estratégica deverá estabelecer critérios parametrizando a localização das unidades produtoras em áreas isoladas ou com condições de abastecimento de combustível para aviação remotas. Como dito anteriormente, a ASTM já emitiu certificação sobre a mistura (*blend*) de ECR com QAV (50% cada) na norma D 7566, anexos I e IV; um *blend* de ECR (de fontes CO₂ e H₂O) na norma D7566, anexos I e IV; ou ECR (glicerina e outros) com adição de QAV em proporção de 50% cada.

No Brasil, as discussões para a normalização do *blend* levaram a ANP a publicar, em 8 de abril de 2019, especificações para unificar as resoluções ANP nº 37/2009 e nº 63/2014, que tratavam dos dois temas separadamente (ANP, 2019):

- Resolução ANP nº 778, que estabelece as especificações dos querosenes de aviação fóssil, alternativo e suas misturas, bem como as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos agentes econômicos que comercializam esses produtos em território nacional;
- Resolução ANP nº 779, que atualiza as definições de querosene de aviação C (QAV-C) e querosene de aviação alternativo e veda a importação de QAV-C, alterando as Resoluções ANP nº 17/2006 e 18/2006.

A revisão do marco regulatório faz parte do trabalho da ANP de aprimorar a qualidade dos combustíveis comercializados em todo o território nacional, incluindo os biocombustíveis, que terão papel-chave no alcance das metas de redução de emissões e no desenvolvimento ambiental, econômico e social.

Outros pontos importantes na regulação ambiental já relativamente resolvidos são os casos de locais próximos ou com potencial impacto sobre Unidades de Conservação (UCs), Áreas de Preservação Permanente (APPs) e sítios do patrimônio, levando a cuidados e exigências adicionais, previstas na legislação ambiental. Tais cuidados devem ser observados pelo requerente e considerados pelos tomadores de decisão para implantação do empreendimento.

A Constituição Federal (artigo 225, parágrafo 4º) qualificou a Floresta Amazônica, a Mata Atlântica, a Serra do Mar, o Pantanal Mato-Grossense e a Zona Costeira como patrimônios nacionais (BRASIL, 1988). Isso implica que seus recursos devem ser utilizados com atenção especial à proteção ambiental. Portanto, empreendimentos aí localizados podem ter mais condicionantes para sua implantação e operação.

Quando existentes, os zoneamentos ecológico-econômicos devem ser observados no planejamento dos empreendimentos. Assim, a atividade proposta deve ser adequada àquela zona, de acordo com sua fragilidade ecológica, capacidade de suporte ambiental e potencialidades.

Entre as áreas protegidas por lei, as UCs são as que possuem mais restrições e condicionantes à implantação de empreendimentos, em especial aquelas de proteção integral, conforme disposto na Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, e sua regulamentação pelo Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002. Empreendimentos que se localizarem no interior ou na zona de amortecimento de UCs estarão ainda sujeitos à autorização do órgão gestor da Unidade e elaboração de estudos de avaliação dos impactos do empreendimento na área protegida, conforme a Resolução Conama nº 428, de 17 de dezembro de 2010.

A proteção legal da Mata Atlântica, conferida pela Lei nº 11.428, de 2 de março de 2006, regulamentada pelo Decreto nº 6.660, de 21 de novembro de 2008, define restrições adicionais a empreendimentos que venham a suprimir vegetação nativa desse bioma. Dependendo do estágio sucessional, a vegetação só “poderá ser suprimida nos casos de utilidade pública e interesse social, em todos os casos devidamente caracterizados e motivados em procedimento administrativo próprio” (artigo 14). O corte e a supressão são vedados quando o proprietário não respeitar as APPs e a Reserva Legal.

As normas de proteção da vegetação nativa estão dispostas na Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que confere às APPs um regime de proteção especial. Tendo ocorrido supressão de vegetação situada em APP, o proprietário da área, possuidor ou ocupante a qualquer título é obrigado a promover a recomposição da vegetação. Essa obrigação tem natureza real e é transmitida ao sucessor no caso de transferência de domínio ou posse do imóvel rural. Ou seja, a recomposição da APP, mesmo que seja um passivo adquirido pelo empreendedor, é exigida na legislação ambiental. A recuperação das APPs, consideradas de interesse social, também está prevista na Resolução Conama nº 429, de 28 de fevereiro de 2011.

Vale destacar que as dimensões territoriais necessárias para a implantação das unidades de produção de eletrocombustíveis são muito reduzidas, o que facilita a seleção de alternativas locais que não intervenham em APPs.

A intervenção ou supressão de vegetação em APPs podem ser autorizadas em casos excepcionais, conforme disposto na Resolução Conama nº 369, de 28 de março de 2006. Esse instrumento restringe a autorização para obras, planos, atividades ou projetos de utilidade pública ou interesse social e exige a comprovação, pelo empreendedor, de:

- cumprimento integral das obrigações vencidas nessas áreas;
- inexistência de alternativa técnica e locacional às obras, aos planos, às atividades ou aos projetos propostos;
- atendimento às condições e aos padrões aplicáveis aos corpos de água;
- averbação da Área de Reserva Legal; e
- inexistência de risco de agravamento de processos como enchentes, erosão ou movimentos acidentais de massa rochosa.

A resolução define, ainda, as medidas ecológicas, de caráter mitigador e compensatório, que deverão ser adotadas pelo requerente. As de caráter mitigador serão definidas no âmbito do referido processo de licenciamento, sem prejuízo, quando for o caso, do cumprimento das disposições do artigo 36 da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000.

Empreendimentos localizados na Zona Costeira devem observar as exigências da Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, regulamentada pelo Decreto nº 5.300, de 7 de dezembro de 2004. Está previsto nesses diplomas que:

- a degradação dos ecossistemas, do patrimônio e dos recursos naturais da Zona Costeira implicará ao agente a obrigação de reparar o dano causado;
- qualquer empreendimento na Zona Costeira deverá ser compatível com a infraestrutura de saneamento e sistema viário existentes, devendo a solução técnica adotada preservar as características ambientais e a qualidade paisagística;
- a área a ser desmatada para instalação, ampliação ou realocação de empreendimentos ou atividades na Zona Costeira que implicar a supressão de vegetação nativa, quando permitido em lei, será compensada por averbação de, no mínimo, uma área equivalente na mesma zona afetada.

Ainda na Zona Costeira Brasileira, em especial no caso da exploração de apicuns e salgados, devem ser observados requisitos adicionais, previstos no artigo 11-A da Lei nº 12.651/2012, tais como salvaguarda da absoluta integridade dos manguezais arbustivos; recolhimento, tratamento e disposição adequados dos efluentes e resíduos; garantia da manutenção da qualidade da água e do solo; e respeito às atividades tradicionais de sobrevivência das comunidades locais.

Segundo o Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional, a depender da classificação da cavidade, o empreendedor deverá adotar, como condição para o licenciamento ambiental, medidas e ações para assegurar a preservação, em caráter permanente, de duas cavidades naturais subterrâneas, com o mesmo grau de relevância, de mesma litologia e atributos similares aos da que sofreu o impacto. Deve ser observada, ainda, a Resolução Conama nº 347, de 10 de setembro de 2004, que dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico e a possibilidade de estudos específicos na área de influência do empreendimento sobre o patrimônio.

Ao Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan), órgão vinculado ao Ministério da Cultura, cabe a anuência, no âmbito do licenciamento ambiental, da implantação de empreendimento potencialmente impactante sobre o patrimônio. Está previsto na Portaria Interministerial nº 60, de 24 de março de 2015, o estudo para avaliação dos impactos sobre o patrimônio histórico, artístico e cultural. Tal patrimônio é uma das dimensões do meio ambiente, compreendido além da dimensão dos aspectos meramente naturalísticos. Assim, nos processos de licenciamento ambiental conduzidos por órgão ambiental federal, estadual ou municipal, o Iphan deverá ser consultado preventivamente. A anuência do instituto é imprescindível para que um empreendimento ou atividade em processo de licenciamento não venha a impactar ou destruir os bens culturais considerados patrimônio dos brasileiros, protegidos por tombamento.

Quanto aos empreendimentos que provocam potencial impacto a territórios legalmente protegidos como Terras Indígenas, deve haver uma manifestação da Fundação Nacional do Índio, isto é, existe a prerrogativa de sua anuência antes da emissão da licença prévia. Os procedimentos adotados pela Funai no âmbito do licenciamento ambiental estão dispostos na Portaria Interministerial nº 60, de 24 de março de 2015 (em substituição à Portaria Interministerial nº 419/2011), e na Instrução Normativa nº 2, de 30 de março de 2015 (em substituição à Instrução Normativa nº 1/2012, modificada pela Instrução Normativa nº 04/2012).

A Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais (PNPCT) foi instituída por meio do Decreto nº 6.040/2007. A política é uma ação do governo federal para promover o desenvolvimento sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais, com ênfase no reconhecimento, fortalecimento e garantia dos seus direitos territoriais, sociais, ambientais, econômicos e culturais, com respeito e valorização à sua identidade, suas formas de organização e suas instituições.

Empreendimento cuja implantação venha a destruir ou mutilar sítios do patrimônio arqueológico ou pré-histórico não o podem fazer sem que antes esses sítios sejam devidamente pesquisados, conforme previsto na Lei nº 3.924, de 26 de julho de 1961. Um dispositivo infralegal, a Instrução Normativa do Iphan nº 1, de 25 de março de 2015, exige dos empreendedores, para fins de licenciamento ambiental, a realização de planos, programas e projetos para a mitigação dos impactos sobre o patrimônio.

As ações e atividades voltadas para o alcance dos objetivos da PNPCT ocorrem de forma intersetorial e integrada, competindo à Comissão Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais (CNPCT) coordenar a implementação dessa política. Entre os representantes de comunidades tradicionais e membros do CNPT, reunidos como organizações não governamentais (ONGs), têm-se membros dos povos faxinalenses, povos de cultura cigana, povos indígenas, quilombolas, catadoras de mangaba, quebradeiras de coco-de-babaçu, povos de terreiro, comunidades tradicionais pantaneiras, pescadores, caçaras, extrativistas, pomeranos, retireiros do Araguaia e comunidades de fundo de pasto.

Para concluir, há de considerar a manifestação do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação das Cavernas (Cecav) nos processos de licenciamento ambiental citados na Resolução nº 347, de 10 de setembro de 2004, em áreas de ocorrência de patrimônio espeleológico.

Portanto, no tocante ao licenciamento ambiental, a legislação que versa sobre o patrimônio espeleológico nacional estabelece que o órgão ambiental competente pelo licenciamento do empreendimento ou atividade é responsável por realizar a análise dos estudos espeleológicos e avaliar o grau de impacto ao patrimônio espeleológico afetado (Resolução Conama nº 347/2004), assim como classificar o grau de relevância da cavidade natural subterrânea, observando os critérios estabelecidos pelo Ministério do Meio Ambiente no Decreto nº 6.640, de 7 de novembro de 2008, e na Instrução Normativa nº 2, de 20 de agosto de 2009).

Ainda existem restrições previstas na legislação ambiental para empreendimentos localizados em:

- **Áreas de Segurança Aeroportuária (ASAs)**, onde “não será permitida implantação de atividades de natureza perigosa, entendidas como ‘foco de atração de pássaros’, como por exemplo, matadouros, curtumes, vazadouros de lixo, culturas agrícolas que atraem pássaros, assim como quaisquer outras atividades que possam proporcionar riscos semelhantes à navegação aérea”, conforme a Resolução Conama nº 4, de 9 de outubro de 1995 – daí a necessidade de estudos cuidadosos quando da utilização de campos eólicos para o fornecimento de energia para a unidade de produção de ECR;
- **praias onde ocorre a desova de tartarugas marinhas**, cujo processo de licenciamento ambiental deve ser submetido a avaliação e recomendação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), ouvido o Centro de Tartarugas Marinhas (Tamar), conforme a Resolução Conama nº 10, de 24 de outubro de 1996;

- **áreas úmidas**, conforme o Decreto nº 1.905, de 16 de maio de 1996, que promulga a Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional, especialmente como Habitat de Aves Aquáticas, conhecida como Convenção Ramsar, de 2 de fevereiro de 1971;
- **regiões endêmicas de malária**, situação em que cabe ao empreendedor elaborar estudos epidemiológicos e conduzir programas voltados para o controle da doença e de seus vetores. Esses programas devem ser implementados nas diversas fases do empreendimento, conforme a Resolução Conama nº 286, de 30 de agosto de 2001, especialmente nos casos em que houver necessidade de desmatamento (fragmentação florestal).

4.1.2. Atendimento aos Padrões e Limites de Emissão Previstos na Legislação Ambiental

Os padrões instituídos na legislação ambiental definem os limites de emissão de determinado poluente ou efluente. Já as normas técnicas, que são periodicamente revisadas, definem as boas práticas da engenharia dentro da realidade tecnológica existente no momento para que se alcance o desempenho ambiental mínimo exigido na legislação. Importa destacar que o estabelecimento de limites de emissão, em especial para poluentes atmosféricos, deve ter como base tecnologias ambientalmente adequadas, abrangendo todas as fases, desde a concepção até a instalação, operação e manutenção das unidades bem como o uso de matérias-primas e insumos². Além disso, o estabelecimento dos limites considera a adoção de tecnologias de controle de emissão de poluentes técnica e economicamente viáveis e acessíveis e já desenvolvidas em escala que permitam sua aplicação prática.

Desde a década de 1970, a legislação ambiental trata do controle da poluição. O Decreto-Lei nº 1.413, de 31 de julho de 1975, regulamentado pelo Decreto nº 76.389, de 3 de outubro de 1975, exige que as indústrias instaladas ou a se instalarem em território nacional promovam as medidas necessárias a prevenir ou corrigir os inconvenientes e prejuízos da poluição e da contaminação do meio ambiente.

Pontos importantes a considerar no momento do licenciamento dizem respeito às alternativas locacionais e tecnológicas, aqui entendidas, por exemplo, como rotas de produção, efluentes, catalisadores utilizados e descartados, e emissões atmosféricas, quando for o caso.

Citam-se as legislações que tratam dos padrões de emissão:

- Resolução Conama nº 1, de 8 de março de 1990, que dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais;
- Resolução Conama nº 3, de 28 de junho de 1990, que dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (Pronar);
- Resolução Conama nº 8, de 6 de dezembro de 1990, que dispõe sobre o estabelecimento de limites máximos de emissão de poluentes no ar para processos de combustão externa de fontes fixas de poluição;
- Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e os padrões de lançamento de efluentes;

2. O artigo 2º da Resolução Conama nº 382, de 26 de dezembro de 2006, estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas.

- Resoluções Conama nº 382, de 26 de dezembro de 2006, e nº 436, de 22 de dezembro de 2011, que estabelecem os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas;
- Resolução Conama nº 396, de 3 de abril de 2008, que dispõe sobre a classificação e as diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas;
- Resolução Conama nº 430, de 13 de maio de 2011, que dispõe sobre as condições e os padrões de lançamento de efluentes e determina que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento, além de imputar aos responsáveis pelas fontes poluidoras dos recursos hídricos a realização do automonitoramento para controle e acompanhamento periódico dos efluentes.

4.2. Outras Exigências Correlatas ao Tema

Os aeródromos devem executar um Plano de Manejo da Fauna, contendo as intervenções necessárias no ambiente ou diretamente nas populações de espécies da fauna, nativa ou exótica, com o objetivo de reduzir o risco de colisões com aeronaves, conforme exigências da Lei nº 12.725, de 16 de outubro de 2012, e da Resolução Conama nº 466, de 5 de fevereiro de 2015. Esse fato revela a preocupação com o uso de fontes de energia renováveis, como a eólica e a solar, pois supostamente estas são atrativos de fauna alada.

O ProQR pressupõe um processo de produção eletrointensivo, mas define como premissa a utilização de fontes renováveis de energia – especialmente solar (termossolar ou fotovoltaica) ou eólica.

Foi promulgada em 24 de julho de 2014, pelo Conama, a Resolução nº 462, que prevê, em seu artigo 17, que empreendimentos eólicos deverão ser dotados de tecnologia adequada para evitar impactos negativos sobre a fauna. O fornecimento de energia para a produção de eletrocombustíveis renováveis define como empreendimento associado a construção de usinas eólicas ou solares (fotovoltaicas ou termossolares).

Já para a geração de energia solar via unidades fotovoltaicas, o processo de licenciamento ambiental de plantas de pequeno porte ainda enfrenta dificuldades. Embora explícito na Resolução Conama nº 279, de 27 de junho de 2001, tal licenciamento em três fases (prévia, implantação e operação) enquadraria essas unidades na categoria “IV - usinas eólicas e outras fontes alternativas de energia”, conforme seu artigo 1º. Entretanto, pelo fato de a fonte fotovoltaica ser de baixo impacto ambiental em comparação com as demais fontes alternativas, as plantas fotovoltaicas de pequeno porte têm merecido tratamento unificado, ou seja, seguem o rito do licenciamento simplificado em vários estados, como Bahia, Minas Gerais, Paraná e São Paulo. Em outras unidades da Federação, têm sido submetidas aos ritos de avaliação de impacto ambiental e elaboração do EIA/Rima.

No caso do combustível de aviação, o licenciamento ambiental é mais complexo por se tratar da indústria petrolífera, desde a extração do QAV até o usuário final (o setor aéreo).

O descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural deve observar a Resolução Conama nº 393, de 8 de agosto de 2007, de maneira que a água a ser lançada, direta ou indiretamente, no mar obedeça às condições, aos padrões e às exigências dispostos nessa Resolução. Também se exige que as empresas operadoras de plataformas realizem um monitoramento semestral da água produzida a ser descartada.

Algumas resoluções trazem procedimentos de licenciamento específicos para o setor de petróleo e gás:

- Resolução Conama nº 23, de 7 de dezembro de 1994 – institui procedimentos específicos para o licenciamento de atividades relacionadas à exploração e lavra de jazidas de combustíveis líquidos e gás natural, cabendo ao empreendedor articular-se com o órgão indigenista oficial, quando for o caso, e elaborar estudos ambientais – Estudos de Impacto Ambiental (EIA), Relatórios de Controle Ambiental (RCA), Estudos de Viabilidade Ambiental (EVA), Relatórios de Avaliação Ambiental (RAA) e Planos de Controle Ambiental (PCA);
- Resolução Conama nº 350, de 6 de julho de 2004 – dispõe sobre o licenciamento ambiental específico das atividades de aquisição de dados sísmicos marítimos e em zonas de transição.

Todo porto organizado, instalação portuária e plataforma, bem como suas instalações de apoio, disporá obrigatoriamente de instalações ou meios adequados para o recebimento e tratamento dos diversos tipos de resíduos e para o combate da poluição, conforme rege a Lei nº 9.966, de 28 de abril de 2000. Também deve realizar a gestão dos resíduos gerados ou provenientes das atividades de movimentação e armazenamento de óleo e substâncias nocivas ou perigosas. A lei ainda exige a implantação de planos de emergência individuais para o combate à poluição por óleo e substâncias nocivas ou perigosas, obrigação que a Resolução Conama nº 398, de 11 de junho de 2008, estende a terminais, dutos, sondas terrestres, refinarias, estaleiros, marinas, clubes náuticos e instalações similares.

As auditorias ambientais objetivando avaliar os sistemas de gestão e controle ambiental nos portos organizados e instalações portuárias, plataformas e suas instalações de apoio e refinarias devem seguir os requisitos mínimos estabelecidos na Resolução Conama nº 306, de 5 de julho de 2002. É de responsabilidade do empreendedor o plano de ação e as ações corretivas para as não conformidades apontadas na auditoria.



5. Análise do Ciclo de Vida do QAV e do ECR

A fim de estabelecer uma base para comparação das vantagens e desvantagens do uso de ECRs e sua produção em unidades remotas como estratégia para a redução dos GEEs no território nacional, apresenta-se neste capítulo o referencial teórico da produção desses eletrocombustíveis e do QAV. A partir dessas informações, será possível extrair os processos impactantes decorrentes que se relacionam ao licenciamento ambiental de acordo com o arcabouço legal e normativo vigente no país.

5.1. Produção de Eletrocombustíveis Renováveis

A produção do ECR, por premissa, é baseada nas matérias-primas CO_2 (um reconhecido GEE) e H_2O . Além disso, seu processamento químico é mediado exclusivamente por energia proveniente de fontes alternativas renováveis – solar e eólica.

A geração de energia solar e eólica, quando não acompanhada de armazenamento térmico, é fundamental como etapa básica de planejamento, uma vez que o processo é eletrointensivo. Seu uso também pressupõe a não emissão de GEEs. Não se espera que as unidades descentralizadas de produção em aeroportos remotos sejam conectadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN), em qualquer uma de suas etapas, pois esse sistema é alimentado por fontes geradoras de GEEs, como termoelétricas a carvão, biomassa ou diesel.

Nesse contexto, poder-se-ia permitir que os excessos de energia gerada nas plantas industriais descentralizadas sejam lançados no SIN; no entanto, essas plantas não poderão receber energia de processo de fontes mistas.

Seguindo a mesma lógica de não interpor quaisquer matérias-primas ou energia que não as aqui discutidas, no caso da disponibilidade em locais remotos de resíduos florestais ou outras fontes de biomassa cuja queima emite GEEs, não serão aceitos suprimentos energéticos poluentes.

A produção e o uso de ECR no transporte aéreo causa, em comparação com a indústria petroquímica e uso do QAV, significativamente menos impactos ao meio ambiente. Em especial, contribui substantivamente para a redução da emissão de GEEs durante a produção e o consumo de QAV, não só na extração, produção e transporte, mas também no uso (que deverá complementar o QAV em até 50%).

Com características combustíveis similares às do QAV, o ECR pode ser produzido a partir de biomassa (subprodutos/resíduos industriais) ou da captação de CO_2 do ar atmosférico, ou mesmo, em alguns casos, diretamente de processos industriais que emitem quantidades poluentes indesejáveis de CO_2 .

5.1.1. Rotas de Produção do Querosene de Aviação Sintético

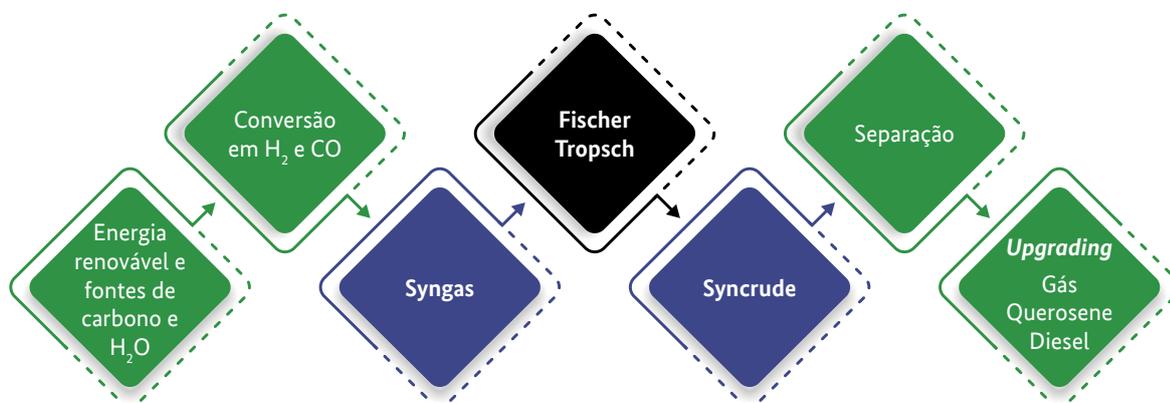
Para a seleção da tecnologia, o ProQR levou em consideração os setores abastecimento de água, segurança alimentar e segurança energética.

O ProQR considera como fonte de biomassa para extração de CO_2 , entre outros, o aproveitamento da **glicerina** para a produção do ECR. A glicerina é um importante subproduto excedente da produção de biodiesel no Brasil. Segundo Silva *et al.* (2008), cerca de 10% do óleo vegetal utilizado como matéria-prima do biodiesel são convertidos em **glicerina**.

Para a síntese do ECR, são necessárias grandes quantidades de carbono, água e energia, conforme as seguintes etapas gerais (Figura 2):

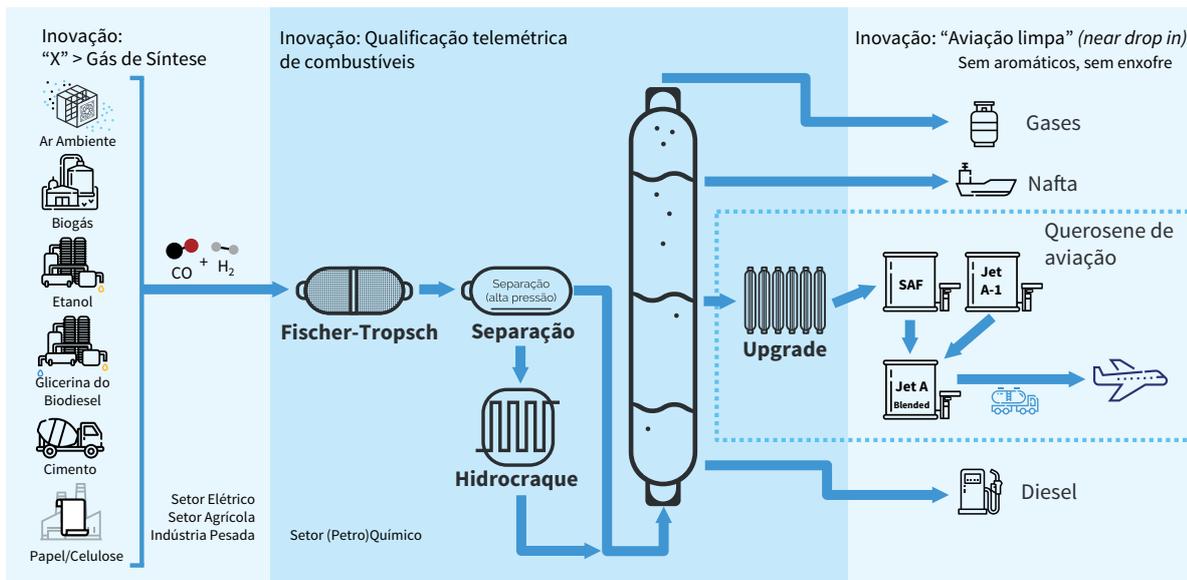
- obtenção do gás de síntese (*Syngas*) a partir de fontes ricas em carbono e água para a obtenção de monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H_2) a serem utilizados na reação de Fischer-Tropsch;
- transformação do *Syngas* em hidrocarbonetos de maior massa molar por meio de reações exotérmicas – reação de Fischer-Tropsch;
- separação dos produtos – etapa de *upgrading*, na qual são obtidos os produtos finais por meio de processos tradicionais de refino, como hidrotratamento e isomerização.

Figura 2. Etapas gerais de obtenção do Syngas. Fonte: elaboração própria



A inovação na produção do biocombustível ora em questão refere-se às fases de obtenção da matéria-prima, processo termelétrico intensivo, mediado por energia de fonte renovável no processo químico de conversão, e produto final, sem a presença de efluentes atmosféricos aromáticos e sulfatados (Figura 3).

Figura 3. Inovações no processo de produção dos eletrocombustíveis renováveis. Fonte: elaboração própria



5.1.1.1. Obtenção do Syngas

Nesta etapa, é definida a origem dos insumos para a obtenção do Syngas, quais sejam, CO₂ e H₂O (material de partida):

- captura direta de CO₂ e água;
- reutilização do CO₂ resultante de processos industriais (como metalurgia, cimenteiras, termoelétricas) e água; e
- fonte de carbono, como o aproveitamento de subprodutos da produção de biodiesel (glicerina), da decomposição de resíduos sólidos urbanos e de outras fontes que, embora ricas em carbono, normalmente não possuem valor agregado.

As etapas para obtenção do Syngas dependem do material de partida. Tal obtenção pode ser indireta (a partir de CO₂ e água) ou direta (a partir de biomassa).

5.1.1.1.1. Obtenção indireta

Nesta rota, o CO é obtido a partir do CO₂ capturado, e o H₂, a partir da água.

O CO₂ pode ser **captado diretamente do ar atmosférico** a partir do fluxo de ar ambiente em filtros constituídos de placas adsorventes (placas porosas contendo amina). Quando o filtro está saturado com CO₂, é aquecido a temperaturas de 80°C a 100°C para liberação desse gás.

O capturador de ar consome grande quantidade de energia elétrica, pois exige água a temperaturas de cerca de 100°C e também água de resfriamento a menos de 15°C. Para entender os aspectos relacionados aos impactos dos componentes de equipamento, cabe ponderar que os filtros têm vida útil longa, pois são reutilizados várias vezes e duram milhares de ciclos, removendo, inclusive, a umidade do ar circunjante, o que propicia a captação de sua pró-

Figura 4. Demonstração de planta com sistema de captador de dióxido de carbono. Fonte: MORRIS (2017).



pria demanda de água. A demanda de energia necessária é de 1.500 a 2.000 kWh por tonelada de CO₂ capturado do ar ambiente (CLIMEWORKS, 2019).

O CO₂ pode ser capturado também a partir dos gases de combustão emitidos de processos industriais (fontes fixas) em fábricas de cimento, metalúrgicas e usinas termoeletricas, por exemplo.

A unidade de produção do querosene sintético deverá ser instalada na ou próxima da planta industrial, de modo que não necessite de transporte do CO₂.

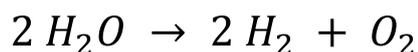
O gás de combustão de plantas industriais é primeiramente dessulfatado em lavador úmido, o que diminui a temperatura e retira dióxido de enxofre (SO₂). Nesse procedimento, a água de lavagem pode ser considerada como resíduo preocupante do ponto de vista ambiental. Esse aspecto deve ser prospectado como potencial processo impactante, uma vez que exige pós-tratamento e não se prevê reaproveitamento no sistema.

Depois disso, o gás é transportado por um ventilador de baixo para cima, com uso de energia elétrica, para absorção do CO₂ em solução à base de amina.

Em seguida, o solvente passa através de um regenerador, no qual o CO₂ absorvido é expulso (*stripped*), utilizando vapor em contracorrente a uma temperatura de 100°C a 120°C. O solvente é recirculado no processo, o que reduz as cargas de efluentes químicos. A amina mais utilizada, monoetanolamina (MEA), é muito corrosiva, principalmente em soluções acima de 30%, nas quais são formados subprodutos de degradação. Entretanto, a MEA pode ser recuperada por destilação a vácuo.

Por sua vez, o **hidrogênio é obtido a partir da água** por meio de eletrólise. A eletrólise é um processo que permite a dissociação da água em oxigênio (O₂) e hidrogênio (H₂) pelo uso de uma corrente elétrica que atravessa dois eletrodos.

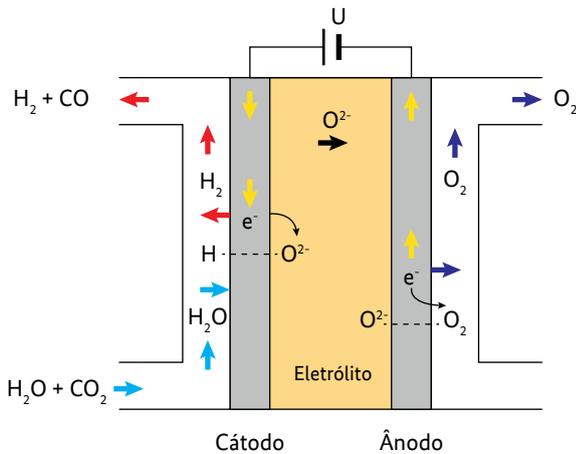
A reação química da eletrólise da água pode ser representada pela equação:



Atualmente, as três principais tecnologias para realizar a eletrólise da água são: eletrólise alcalina (AEL), eletrólise em meio ácido (*Proton Exchange Membrane*, PEM) e eletrólise por células de óxido sólido (*Solid Oxide Electrolysis Cells*, SOEC).

O *Syngas* (CO e H₂), necessário para a síntese de Fischer-Tropsch, é obtido por eletrólise pela tecnologia co-SOEC, em que o CO₂ capturado e a água alimentam um reator eletrolítico de célula de óxido sólido (co-SOEC).

Figura 5. Esquema representativo de uma eletrólise SOEC. Fonte: adaptado de SolidCell Inc.



A coeletrólise é um processo semelhante à eletrólise SOEC. No entanto, em vez de ocorrer apenas a dissociação da água em hidrogênio e oxigênio por uso de energia elétrica, é adicionada uma fonte de dióxido de carbono ao vapor de água. Ocorre, assim, a produção direta de gás de síntese.

O processo alcança temperaturas maiores que 800°C, produzindo calor que pode ser recuperado e reutilizado. Estima-se que possam ocorrer reações secundárias com formação de metano e o próprio CO₂, que são reutilizáveis no processo de coeletrólise a fim de aproveitar ao máximo os resíduos e as impurezas gerados.

5.1.1.1.2. Obtenção direta

Entre as fontes de carbono que têm se revelado interessantes do ponto de vista técnico-econômico e ambiental, citam-se produtos da decomposição de resíduos sólidos urbanos e a glicerina, subproduto do biodiesel. Essas fontes podem ser convertidas diretamente em Syngas via processos termodinâmicos, por gaseificação.

A **gaseificação por plasma** utiliza tochas de plasma como fonte de calor, que queimam a temperaturas de aproximadamente 5.500°C. Durante a gaseificação, a glicerina decompõe-se em gases, formando também escória vitrificada. Esta última passa a ser considerada resíduo industrial, apesar de ser tida como inerte do ponto de vista químico. Ou seja, embora ela não reaja, deve ser pensada sua destinação final.

Figura 6. Processo de gaseificação. Fonte: adaptado de GTC (2014).

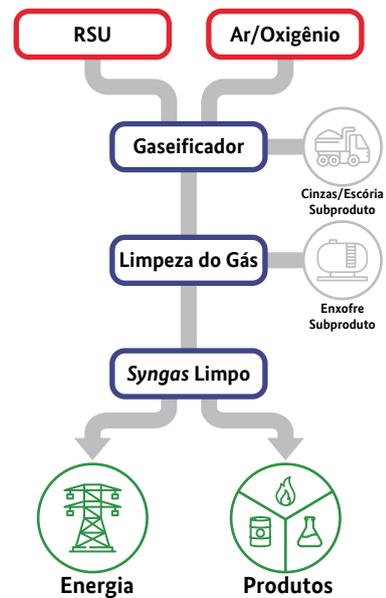


Figura 7. Plasma móvel. Fonte: PLAZARIUM (2018) apud EBNER (2018).



O gás formado contém, além de CO e H₂, CO₂, metano e outras impurezas, sendo necessário, portanto, que passe por uma etapa de limpeza.

Durante o processo, os trocadores de calor reciclam o calor de volta ao sistema, como vapor, permitindo a sua recuperação.

Figura 8. Contêiner móvel de unidade de pirólise. Fonte: BIOGREEN (2018) apud EBNER (2018).



A pirólise da glicerina produz combustíveis líquidos em temperaturas inferiores a 600°C e produtos gasosos a temperaturas maiores que 700°C por meio de reações com ar e/ou vapor, gerando energia para a pirólise.

A gaseificação difere da pirólise pelo fato de ser possível na presença de oxigênio (ar, oxigênio puro ou vapor), gerando energia.

Nesses processos, o gás formado contém também CO, H₂, CO₂, metano e outras impurezas, e passa por processo de limpeza.

Na produção de gás de síntese (H₂ e CO), as condições que favorecem o equilíbrio termodinâmico são altas temperaturas e baixas pressões, reciclagem de carbono e CO₂ (HIGMAN *et al.*, 2003 apud RAMOS, 2011).

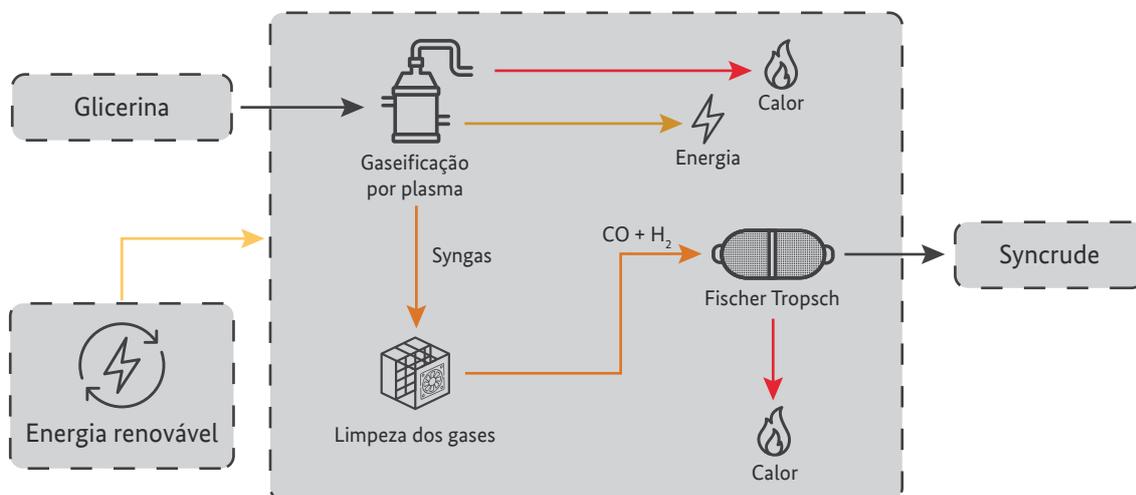
Diferentes gaseificadores podem ser empregados no processo de gaseificação de biomassa, incluindo os de leito fixo e fluidizado. Os de leito fixo são os mais simples e adequados para pequenas unidades industriais (contêineres).

Na pirólise, são produzidos 2,33 mols de H₂ por mol de glicerina e este processo de conversão consome cerca de 548 kJ (VALLIYAPPAN, 2004 apud EBNER, 2018). Portanto, a produção de 1g de Syngas demanda 1,5g de glicerina e consome 0,0875 kWh. A gaseificação demanda 1,18g de glicerina e consome 0,2278 kWh para a produção de 1g de Syngas.

Os gases formados pelos processos de gaseificação a partir da glicerina contêm, além do Syngas (CO e H₂), CO₂ em excesso, metano e outras impurezas, o que torna necessária a posterior purificação do gás obtido.

A limpeza do gás de síntese pode ser feita por absorção do CO₂ em solução à base de amina, conforme descrito anteriormente.

Figura 9. Ciclo geral da gaseificação por plasma. Fonte: elaboração própria



5.1.2. Síntese de Fischer-Tropsch

A síntese de Fischer-Tropsch (FT) é uma reação catalítica que converte o H_2 e o CO (*Syngas*) em um produto chamado de *Syncrude*, que é uma mistura de cadeias de hidrocarbonetos e compostos oxigenados (por exemplo, álcoois, aldeídos, ácidos carboxílicos e cetonas), além de água.

A composição do *Syncrude* depende do tipo de reator utilizado e das condições do processo, principalmente da temperatura e do catalisador utilizado. A síntese de FT em baixa temperatura (180°C a 250°C) produz em maior quantidade hidrocarbonetos de cadeias longas com baixo conteúdo de aromáticos e parafinas cíclicas.

Os reatores utilizados para operar nos processos a baixas temperaturas são o de leito fixo e o de lama, com catalisador à base de cobalto, que apresenta boa resistência à desativação. As reações são fortemente exotérmicas devido às altas temperaturas e à pressão do processo.

A síntese de FT em alta temperatura (300°C a 350°C) produz hidrocarbonetos de cadeias mais curtas e leves e com alto conteúdo de aromáticos. O reator mais utilizado é o de leito fluidizado, com catalisador à base de cobalto ou ferro. Além do catalisador, usa-se água para resfriamento e ocorre emissão de vapor, que pode ser reutilizado.

A corrente de gás que sai do reator é composta predominantemente por CO e H_2 (não convertidos), CO_2 e hidrocarbonetos leves. Tal mistura tem poder calorífico relativamente alto e pode ser usada diretamente como combustível em caldeiras a vapor para geração de energia térmica e/ou elétrica, sendo este seu principal uso (RAMOS *et al.*, 2011).

Nessa etapa, de reação FT, não está previsto o uso de fontes de CO e H_2 que não sejam de glicerina, captura direta de CO_2 ou de processos industriais (como emissões). Entretanto, é importante relatar que outras fontes, como biomassa, poderiam ser consideradas. Para tanto, seria necessária a reforma térmica, exigindo-se gás natural no processo, gerando-se mais CO e H_2 , que podem ser separados e reciclados para o reator de síntese. Nesse caso, os gases quentes do processo de reforma, com poder calorífico mais baixo, poderiam acionar turbinas a gás, gerando energia elétrica e, posteriormente, vapor de média pressão (SHAH, 2003 *et al. apud* RAMOS, 2011).

Em síntese, na etapa Fischer-Tropsch, tem-se que:

- o produto chamado de *Syncrude* é uma mistura de diferentes cadeias de hidrocarbonetos;
- o produto formado depende da razão $H_2:CO$;
- as reações são fortemente exotérmicas em razão das altas temperaturas e da pressão do processo;
- os reatores de FT são projetados para maximizar a remoção do calor;
- FT a baixa temperatura: 180°C a 250°C;
- FT a alta temperatura: 300°C a 350°C;
- os catalisadores mais comuns são cobalto e ferro.³

3. Os catalisadores mais utilizados na síntese de FT são os metais Co e Fe, principalmente por questões econômicas (custo baixo), embora níquel e rutênio também possam ser utilizados. Os suportes mais citados na literatura são alumina, sílica, zeólita ZSM-5, zeólita L, hidrocalcita e peneiras moleculares mesoporosas do tipo HMS, MCM-41 e Al-MCM-41.

Resumidamente, dependendo do tipo e da quantidade de produtos desejados, as seguintes regras gerais podem ser aplicadas na síntese FT, de acordo com Ramos *et al.* (2011):

- altas temperaturas (300 a 350 °C), com catalisadores à base de ferro, levam à produção de gasolina sintética e outros produtos químicos, tais como olefinas e oxigenados;
- baixas temperaturas (200 a 250 °C) (sic), com catalisadores à base de cobalto, conduzem à formação de ceras, que podem ser submetidas ao craqueamento para produzir naftas sintéticas, querosene ou diesel. Esta combinação tem sido uma tendência na síntese F-T, de modo a aumentar o rendimento de destilados médios, em especial o diesel;
- a minimização da formação de metano é controlada mantendo-se a temperatura no reator abaixo de 400 °C;
- se a meta principal do processo for a maximização da produção de gasolina, Spath & Dayton recomendam utilizar catalisador de ferro, sob temperatura alta, num reator de leito fixo e, se o maior interesse recair sobre a produção de diesel, usar preferencialmente catalisador de cobalto, num reator de lama;
- as pressões aplicadas nos reatores normalmente variam de 10 a 40 bar.

5.1.3. Informações Complementares para a Avaliação de Impactos

Outras informações a respeito dos catalisadores, do tipo de reator e de produtos indesejados auxiliam na avaliação de impactos.

Os **catalisadores** à base de **cobalto** são considerados a melhor escolha para a síntese FT. Possuem uma melhor relação custo-conversão do CO, favorecem a formação de C_{5+} e têm uma maior resistência à desativação. A desativação do catalisador de CO normalmente é resultante da oxidação do cobalto metálico, e da migração do metal para a rede do suporte, resultando na formação de compostos inativos (aluminato de cobalto, por exemplo), agregação e crescimento de cobalto metálico na superfície do catalisador e perda de cobalto devido ao atrito, especialmente em reator trifásico de lama. A presença de H_2O com alta pressão de vapor acelera a desativação do catalisador de cobalto suportado em Al_2O_3 , devido à formação de óxidos (TAVASOLI *et al.*, 2007 *apud* RAMOS, 2011).

Os catalisadores à base de **ferro** têm atividade significativa na reação *Water Gas Shift* (WGS). A temperatura de operação influencia no equilíbrio da reação e na pressão parcial de água; consequentemente, altera a taxa de conversão de CO. Em temperaturas menores, a reação WGS apresenta pequenas conversões e baixa pressão parcial de água. Em alta temperatura, a pressão parcial de água aumenta a taxa da reação de WGS até cerca de 50% de conversão de CO.

Nesse nível de conversão, a pressão parcial de H_2 é baixa o suficiente para que a taxa da síntese de FT se torne dependente da produção de H_2 pela reação de WGS. O uso de ferro como catalisador é indicado para uma baixa relação H_2/CO quando se adota carvão como fonte de

carbono (DAVIS, 2003) – o que não é o presente caso. Além dos catalisadores, o uso de promotores é um dos fatores que influenciam a seletividade e atividade do catalisador.

Existem três **tipos de reatores** comercialmente utilizados: de leito fluidizado, de leito de lama (*slurry reactor*) e multitubular de leito fixo. Os reatores de leito fixo e de lama são utilizados para operar nos processos a baixas temperaturas. Apresentam escoamento multifásico gás-líquido-sólido: a fase gasosa consiste de gás de síntese, a fase sólida é o catalisador e a fase líquida é o combustível.

Os **reatores de leito fixo** são de simples operação e podem ser usados independente do estado físico dos produtos. Não há necessidade de separação do catalisador dos produtos depois da reação. Esse tipo de reator é apropriado na produção de cera. Suas desvantagens são o custo elevado para a construção, a grande queda de pressão gerada pelo alto fluxo de gás e o fato de que o reciclo dos gases de saída exige uma etapa de compressão dos gases, elevando os custos (DRY, 1996 *apud* RAMOS, 2011).

Para os **reatores de lama**, as principais vantagens são alta transferência de calor, ótimo controle de temperatura, fácil adição ou remoção de catalisador e simplicidade na montagem do reator.

Os **reatores de leito fluidizado** são utilizados para processos a altas temperaturas e operam apenas com as fases sólido (catalisador) e gás (reagentes e produtos). Apresentam uma excelente transferência de calor, um bom controle da temperatura e pouco problema de queda de pressão (proporcional à massa do catalisador). O sólido no leito fluidizado flui com viscosidade baixa, apresentando facilidade na remoção e adição.

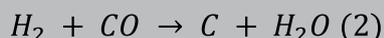
A principal desvantagem é que o produto deve ser gasoso nas condições da reação. Os hidrocarbonetos menos voláteis podem se acumular nas partículas do catalisador, aderindo a outras partículas e fazendo com que o leito fluidizado perca sua propriedade (DRY, 1996).

Normalmente, os **produtos indesejados** da conversão gás para líquido são aldeídos, cetonas, ácidos, ésteres e carbono (coque), que podem ser formados pelas reações representadas a seguir.

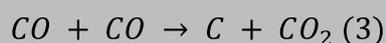
Reação de WGS



Deposição do coque



Reação de Boudouard



A reação 1, de WGS, é uma importante reação paralela, minimizando a produção de água e aumentando a produção de CO_2 . A água é o subproduto mais indesejado da síntese de FT, podendo afetar negativamente o desempenho industrial dos catalisadores em termos de conversão, seletividade e estabilidade (DALAI; DAVIS, 2008 *apud* RAMOS, 2011).

5.1.4. Etapa de Separação dos Produtos da Reação de FT

A corrente de fundo do reator de Fischer-Tropsch é conhecida como “óleo cru sintético” (*Syn-crude*), cuja separação e melhoramentos são bastante similares aos processos usados no processamento primário e nas refinarias de petróleo.

- o produto da síntese de FT passa por destilação fracionada com a separação da água (e compostos oxigenados nela dissolvidos) da mistura complexa de hidrocarbonetos, a qual pode conter partículas de catalisador como impurezas indesejáveis, de hidrocarbonetos leves e de frações pesadas;
- a água gerada nos processos deve ser tratada para fins de reuso na planta, destacando-se as operações de resfriamento e geração de vapor;
- a fração de hidrocarbonetos leves separados é submetida a um melhoramento pela técnica de oligomerização e alquilação, sendo que os provenientes da síntese de FT a baixas temperaturas devem também passar pela etapa de aromatização – todos esses processos ocorrem na presença de catalisadores e necessitam de energia;
- as frações pesadas separadas em seus principais compostos sofrem melhoramentos – cadeias de C_{9-15} passam por processo de hidroisomerização⁴ e cadeias de $>C_{15}$ por hidrocraqueamento.⁵

5.2. Ciclo de Vida do Querosene de Aviação

5.2.1. Fase *Upstream*

A indústria de petróleo *upstream* compreende a exploração e produção do petróleo, por meio de estudos sísmicos e geofísicos, instalação de plataformas, perfuração do solo e extração do produto (ALVAREZ, 2009):

- estudos geofísicos e sísmicos envolvem o uso de *airguns* (canhões de ar) que emitem pulsos sonoros com variação de frequência e amplitude (VILARDO, 2006). Estes comprometem, em sua propagação, a fisiologia dos organismos presentes no ambiente (POPPER *et al.*, 2004);
- a exploração e a perfuração são invasivas e fragmentam e/ou destroem ecossistemas, além de atingir negativamente a saúde e as atividades econômicas das comunidades locais (SANTOS, 2012);
- os processos de extração geram “água produzida”, o que implica maior fluxo de resíduos da indústria petrolífera (soluções com alta salinidade, partículas de óleo em suspensão, aditivos químicos, metais pesados e até mesmo certa radioatividade). Essa água é reinjetada em poços isolados, poluindo-os (GURGEL *et al.*, 2013; MONDAL; WICKRAMASINGHE, 2008);

4. A hidroisomerização é uma reação exotérmica, mas necessita de temperaturas relativamente altas para que se iniciem as primeiras etapas do mecanismo. É uma conversão catalítica realizada na presença de gás hidrogênio.

5. O hidrocraqueamento é um processo de conversão que consiste na quebra de moléculas existentes na carga por ação de catalisadores a altas temperaturas e pressão e na presença de grandes volumes de hidrogênio. Simultaneamente às quebras, ocorrem as reações de hidrogenação.

- há risco de derramamentos de petróleo em torno das plataformas de extração (SANTOS, 2012), por conta da grande presença de compostos aromáticos (óleos leves) e efeito de recobrimento (sufocamento) da vida animal e vegetal (óleos pesados, não tóxicos) (SZEWCZYK, 2006);
- derramamentos de petróleo também provocam a intoxicação direta, quando se atingem ambientes como praias e rios, e por bioacumulação em animais consumidos pelo ser humano (RIBEIRO, 2012).

5.2.2. Fase *Midstream*

A fase *midstream* compreende todos os processos físicos e químicos de transformação do petróleo bruto em seus produtos. O refino compreende uma série de tratamentos de aquecimento, compressão, vaporização, refrigeração e remistura, que geram dois grandes grupos de derivados quanto a sua destinação final: os combustíveis, cuja queima gera energia aproveitável, e os lubrificantes, que aumentam o movimento relativo entre duas superfícies, líquidas ou sólidas (ALVAREZ, 2009).

5.2.2.1. *Desidratação e Dessalinização*

Antes que possa ser separado e transformado em seus produtos finais, o petróleo bruto precisa passar por uma fase de remoção de água livre e em emulsão, chamada de desidratação, e por uma fase de lavagem de sais corrosivos, chamada de dessalinização. A remoção de água livre se dá por separação simples de duas fases, uma vez que a água é imiscível com petróleo. O restante da água presente no petróleo é removido por aquecimento, adição de emulsificantes e aplicação de corrente elétrica (ABDEL-AAL *et al.*, 2003).

A dessalinização é feita pela lavagem do petróleo bruto com água, que dissolve e arrasta sais indesejados (SPEIGHT, 2006). A lavagem do óleo cru gera uma grande quantidade de água produzida, contaminada com sais, óleos, amônia, fenóis, cloreto e metais. Essa água será, em conjunto com a água removida na desidratação, adicionada a outras correntes de água residual, direcionadas às estações de tratamento de efluentes do petróleo (MARIANO, 2001). O tratamento elétrico também pode ser utilizado, como na desidratação, para a remoção de água do petróleo bruto. A água utilizada na lavagem geralmente é água residual não tratada ou parcialmente tratada de outros processos.

5.2.2.2. *Destilação à Pressão Atmosférica*

Na destilação à pressão atmosférica, o petróleo dessalinizado é aquecido a cerca de 400°C, temperatura em que grande parte de seus componentes se encontra vaporizada. Pela diferença entre os pontos de ebulição de cada componente, o petróleo é fracionado em diversas bandejas, que capturam o produto (GARY *et al.*, 2007). A fração mais leve, correspondente ao gás liquefeito de petróleo (GLP) e à nafta leve, é condensada fora do fracionador, por não se condensar em nenhum prato, enquanto as frações mais pesadas, que não são vaporizadas, são recuperadas na forma de asfalto ou cru reduzido (MARIANO, 2001).

O processo de destilação, no entanto, gera resíduos cujo impacto ambiental deve ser considerado. As frações menos valiosas do petróleo destilado são utilizadas como combustível para as caldeiras e os aquecedores das refinarias, liberando gases tóxicos e de efeito estufa, como óxidos de enxofre, nitrogênio e carbono, mercaptanas, sulfetos, cloretos e fenóis. Durante a destilação, também ocorrem emissões de gases tóxicos componentes do petróleo, como o benzeno, o tolueno e o xileno. Por serem bastante voláteis, sua principal fonte de liberação se torna a emissão fugitiva, ou seja, involuntária, desses gases no processo de destilação (MARIANO, 2001). Vapores contaminados com ácido sulfúrico e amônia também são gerados nessa etapa do processo.

A partir da destilação à pressão atmosférica, o QAV já pode ser obtido de forma comercializável, em função da quantidade de químicos tóxicos, principalmente compostos sulfurados, em sua composição. Os processos seguintes são, algumas vezes, opcionais para o tratamento do QAV; no entanto, são bastante utilizados para a melhora da qualidade do produto final.

5.2.2.3. Destilação a Vácuo

A destilação a vácuo tem como objetivo a separação da fração mais pesada recuperada na destilação à pressão atmosférica, uma vez que o vácuo diminui os pontos de ebulição dos produtos, permitindo um fracionamento mais refinado do cru reduzido. Os processos de destilação são altamente eletrointensivos, sendo responsáveis por cerca de 40% dos gastos energéticos do processo de refino (ALVAREZ, 2009). Assim como a destilação à pressão atmosférica, a destilação a vácuo ocorre em altas temperaturas (250°C a 350°C), também se fazendo necessária a queima de combustíveis, com a geração dos gases poluentes comentados na destilação à pressão atmosférica (MARIANO, 2001).

O resíduo petroquímico dessa etapa do refino é constituído de hidrocarbonetos de alto peso molecular com bastantes impurezas e vendido como asfalto ou óleo combustível. Hidrocarbonetos leves, gás sulfídrico e vapores de água residual também são gerados na destilação a vácuo e direcionados para o sistema de tratamento da refinaria (MARIANO, 2001).

5.2.2.4. Hidrotratamento

O hidrotratamento é um processo que visa remover impurezas, como enxofre, nitrogênio, haletos, metais e oxigênio dos produtos formados na destilação do petróleo. Esse processo, feito com o uso de catalisadores a alta pressão e na presença de hidrogênio em quantidades substanciais (GARY *et al.*, 2007), gera uma corrente de gases leves, como amônia e ácido sulfídrico, que são levados à estação de tratamento de gases da refinaria (MARIANO, 2001).

O **tratamento Bender** também visa à diminuição dos compostos tóxicos do produto, principalmente compostos sulfurados, porém sem diminuir a quantidade total de enxofre contida, ou seja, os compostos agressivos são apenas transformados em outros menos prejudiciais (MARIANO, 2001). Nesse processo, o produto é aquecido e misturado com soda cáustica e segue para um precipitador eletrostático, em que, na presença de uma corrente elétrica de alta voltagem, separam-se as fases cáustica e orgânica.

Na lavagem cáustica, são removidos compostos tóxicos, como fenóis, ácidos naftênicos e ácido sulfídrico. Então, na presença de um catalisador à base de óxido de chumbo, ocorrem as reações de “adoçamento”, em que os compostos tóxicos de enxofre são convertidos em compostos não prejudiciais. A soda cáustica é lavada com água, carregando com ela as impurezas removidas, o que gera um efluente de soda cáustica exausta com altos teores de compostos de enxofre, compostos fenólicos e, possivelmente, aminas e catalisadores (MARIANO, 2001).

O **hidrocraqueamento** é um processo de conversão que faz uso de hidrogênio a altas temperaturas (300°C a 475°C) e altas pressões para a catálise de hidrocarbonetos pesados em frações mais leves, como o QAV. Os catalisadores utilizados nesse processo podem ser regenerados e, por isso, não geram grandes impactos ambientais, mas a queima de combustíveis para aquecimento dos reatores gera emissões de GEEs (MARIANO, 2001).

6. Análise Comparativa do Ciclo de Vida dos Combustíveis de Aviação

Neste capítulo, são sintetizados os principais aspectos do ciclo de vida dos combustíveis de aviação – o ECR (SPK hidroprocessado por Fischer-Tropsch) e o querosene extraído do petróleo (QAV) – para entender as vantagens e desvantagens da produção do primeiro em comparação do segundo. São descritas as rotas de produção do combustível e a existência de subprodutos, resíduos ou efluentes (líquidos ou atmosféricos) que representam potencial impacto ao meio ambiente.

6.1. Vantagens Ambientais da Adoção do Eletrocombustível Renovável

De maneira geral, as vantagens ambientais quanto à adoção do ECR podem assim ser sintetizadas:

- pode ser misturado ao QAV usado em aeronaves em uma proporção de 50%, conforme as resoluções nº 778 e 779/2019 da ANP;
- reduz muito a emissão de GEEs e, em especial, não emite gases contendo enxofre;
- o processo vai ao encontro das metas propostas pela OACI em termos de redução dos GEEs até 2050;
- as plantas de produção podem ser instaladas bem próximas aos campos de aviação e de forma modular, com a utilização de contêineres, e ampliadas de acordo com a demanda de regiões distantes das refinarias de QAV;
- as fontes renováveis e ecologicamente sustentáveis de suprimento de processo de produção permitidas são a eólica ou solar – têm baixo impacto ao meio ambiente, não só quanto à emissão de GEEs;
- as matérias-primas são o dióxido de carbono e a água;
- a reação de Fischer-Tropsch, processo químico bem conhecido, é o ponto central de todo o processo de produção e converte o *Syngas* em eletrocombustível;
- a utilização de água no processo ora discutido é significativamente menor e bem atrativa do ponto de vista ambiental (Figura 10);
- do ponto de vista do impacto significativo da mudança do uso e da ocupação do solo, em termos de áreas e outros usos, nas refinarias de QAV de origem fóssil, a proposta de produção do ECR em unidades modulares (contêineres) representa uma vantagem competitiva – a necessidade de desafetação de terras para a implantação de unidades remotas é significativamente menor e reduz os impactos ambientais locais.

Figura 10. Demanda de água por litro de combustível de aviação (representação de volume de água para ECR-PtL ~1,4 e para *Jatropha* 19.914,914 $L_{H_2O}/L_{Combustível}$). Fonte: SCHMIDT et al. (2016).



Na Figura 10, está apresentada uma comparação do consumo de água para a produção de ECR a partir do uso de energia elétrica proveniente de usinas eólica ou solar e unidades fotovoltaicas – 1,4 litro de água por litro de ECR (PtL) – e da queima de *Jatropha* (biomassa de espécie vegetal), que alcança até 19.914,9 litros de água por litro de ECR.

De acordo com os estudos técnicos até o momento realizados, e demonstrados no documento, as fontes de CO₂ (conforme mencionado na Figura 11) representam uma redução significativa de consumo de água em comparação com a produção de QAV, originário de petróleo. Nas fases posteriores do presente estudo, deverão ser detalhados os balanços de energia e de massa a fim de determinar as necessidades de água e cotejá-los com os processos normativos de disponibilidade hídrica e outorga para uso local.

Em regiões onde a implantação de plantas modulares de ECR é bastante atrativa, como no Norte e, em especial, no estado do Amazonas, cerca de 20 milhões de toneladas de CO₂ são consumidas apenas para o transporte aéreo, com uma tendência crescente nos aeródromos remotos, pois o modal rodoviário para a distribuição do QAV é bastante complexo e prejudica a dinamização do setor de aviação perante as metas ora estabelecidas pela OACI.

Azevedo *et al.* (2018) apresentam a metodologia do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa:

um conjunto de dados de 46 anos de emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil (1970-2015), fornecendo mais de 2 milhões de registros de dados para os setores de Agricultura, Energia, Indústria, Resíduos e Mudanças no Uso da Terra em âmbito nacional e níveis subnacionais. O conjunto de dados SEEG foi desenvolvido pelo Observatório do Clima, uma iniciativa da sociedade civil brasileira, com base nas diretrizes do IPCC e Inventários Nacionais Brasileiros incorporados a fatores e processos de emissão específicos do país, dados brutos de várias fontes oficiais e não oficiais e organizados em conjunto com os indicadores econômicos.

O Quadro 2 compara as emissões de CO₂ por tipo de uso de combustíveis fósseis.

Quadro 2. Comparação das emissões de CO₂ pelo uso de combustíveis fósseis no Brasil, na Região Norte e no estado do Amazonas destinados a diversos fins e ao transporte aéreo. Fonte: Azevedo et al. (2018 – SEEG modificado até 2015)

[boe]	Brasil		Norte		Amazonas	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Soma	768.981.112	808.699.959	65.472.576	68.253.958	15.832.146	15.277.849
Etanol	43.105.449	47.649.420	534.625	528.660	172.390	184.959
Gasolina	216.617.791	231.980.647	13.855.547	15.157.539	3.089.028	3.280.434
Gasolina de aviação	425.909	422.086	66.800	67.171	9.672	9.181
GPL	59.571.584	60.323.059	3.590.650	3.754.402	871.755	884.432
Óleo combustível	34.639.382	43.000.040	7.945.567	7.871.301	2.135.673	1.668.669
Diesel	371.583.909	380.840.582	37.130.819	38.513.057	8.541.975	8.215.073
Querosene de aviação	42.980.487	44.440.369	2.346.165	2.361.797	1.009.251	1.035.071
Querosene (iluminação)	56.601	43.755	2.403	31	2.403	31
Soma do tráfego aéreo [t CO ₂ eq]	18.664.750	19.290.856	1.037.575	1.044.456	438.137	449.028
Soma total [t CO ₂ eq]	330.661.878	347.740.982	28.153.208	29.349.202	6.807.823	6.569.475

Assim, o melhor desempenho ambiental do ECR em comparação aos combustíveis de base fóssil (QAV) é, em primeiro lugar, a redução expressiva de emissões. As definições de combustíveis avançados, como as da *Environmental Protection Agency* (EPA), do governo dos Estados Unidos, costumam situar essa redução em níveis superiores a 50% em relação aos fósseis substituídos.

No presente caso, o ECR pode ser destacado como um combustível renovável de excelência, pois será produzido de forma sustentável a partir de matérias-primas não alimentícias. Além disso, as matérias-primas não devem competir diretamente com alimentação humana e animal pelo uso da terra ou causar impactos adversos à sustentabilidade; ao contrário, contribuirão para reduzir a liberação de GEEs.

As exigências de sustentabilidade tendem, portanto, a se tornar mais restritivas e a ir além da redução de emissões como métrica, incluindo outras variáveis ambientais, além de variáveis de sustentabilidade social e, naturalmente, econômicas.

Essa condição é crítica para mercados importantes para atendimento dos cenários de redução de emissões, com vistas ao atendimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (IEA, 2017). Nesse cenário, os biocombustíveis avançados, em particular os de aviação e marítimos, são demandados em quantidades expressivas no horizonte 2060. Como destaca o IEA (2017),

os biocombustíveis desempenham um papel fundamental na descarbonização dos modos de transporte de longa distância, complementando as medidas Markard e Andersen que restringem as necessidades de energia do setor e o aprimoramento do uso de energia elétrica e, podendo também avançar para outras medidas aplicáveis ao transporte urbano e outros. Os biocombustíveis poderão fornecer cerca de 40% do combustível para transporte aéreo, em 2060, e 30% do combustível para transporte marítimo.

Importa destacar que, à medida que as exigências a serem preenchidas pelos biocombustíveis se definem e se tornam mais restritivas (definições e orientações no nível da paisagem sociotécnica), as quatro dimensões-chave –matéria-prima, tecnologia, produto e modelo de negócio – se modificam e buscam novas combinações que permitam compatibilizá-las e desenvolver os novos combustíveis (PINTO JÚNIOR *et al.*, 2019).

6.2. Comparação entre QAV e ECR

Uma abordagem comparativa dos principais processos e etapas de produção até o consumo para o transporte aéreo é apresentada nos quadros a seguir.

Pretende-se com essa abordagem sintetizar, sem exaurir, alguns dos processos relevantes que deverão ser objeto de investigação e detalhamento nas fases posteriores da Avaliação Preliminar de Impactos Ambientais (positivos e negativos). Isso porque o estágio atual de investigação da viabilidade técnica, econômica e ambiental está em desenvolvimento no Brasil no âmbito do ProQR, que sintetiza suas etapas de implantação (Quadros 3 e 4).

Quadro 3. Processo de produção do QAV e consagrados processos impactantes. Fonte: elaboração própria

Etapas/Fases	Processos Relevantes para o Meio Ambiente do Querosene de Aviação
1.1 Ciclo de Vida do Querosene de Aviação	
1.1.1 Fase <i>Upstream</i>	
1.1.1.1 Estudos Sísmicos e Geofísicos	Emite pulsos sonoros com variação de frequência e amplitude que comprometem, em sua propagação, a fisiologia dos organismos presentes no ambiente.
1.1.1.2 Perfuração e Extração	Envolve processos invasivos que fragmentam e/ou destroem ecossistemas, além de atingir negativamente a saúde e as atividades econômicas das comunidades locais.
	A água produzida contém alta salinidade, partículas de óleo em suspensão, aditivos químicos, metais pesados e até mesmo certa radioatividade. Quando reinjetada em poços, isolada ou descarregada no ambiente, leva à contaminação de solos, águas superficiais e profundas.
	Causa distúrbios no funcionamento fisiológico da fauna e da flora em contato com os químicos de alta toxicidade da água produzida.
	Há risco de derramamentos de petróleo em torno das plataformas de extração, liberando no ambiente óleos com grande quantidade de compostos aromáticos (óleos leves) e efeito de recobrimento (sufocamento) da vida animal e vegetal (óleos pesados).
	Qualquer derramamento de petróleo também provoca a intoxicação direta, quando atinge ambientes como praias e rios, e por biomagnificação, se em animais consumidos pelo ser humano.
1.1.2 Fase <i>Midstream</i>	
1.1.2.1 Desidratação e Dessalinização	Gera água produzida, contendo sais, óleos, amônia, fenóis, cloreto e metais (que devem ser encaminhadas para Estação de Tratamento de Efluentes)
1.1.2.2 Destilação à Pressão Atmosférica (fracionada)	Necessita de temperaturas a cerca de 400°C.
	As frações menos valiosas do petróleo destilado à pressão atmosférica são utilizadas como combustível para as caldeiras e aquecedores das refinarias, liberando gases tóxicos e de efeito estufa, como óxidos de enxofre, nitrogênio e carbono, mercaptanas, sulfetos, cloretos e fenóis.
	Ocorrem emissões de gases tóxicos, como o benzeno, o tolueno e o xileno, por emissão fugitiva.
	Gera vapores contaminados com ácido sulfúrico e amônia.
1.1.2.3 Destilação a Vácuo	É altamente eletrointensivo, pois: <ul style="list-style-type: none"> ● precisa de temperaturas entre 250°C e 350°C. ● precisa de temperaturas entre 250°C e 350°C.
1.1.2.4 Hidrotratamento	Faz uso de catalisador a alta pressão.
	Gera uma corrente de gases leves, como amônia e ácido sulfídrico, que são levados à estação de tratamento de gases da refinaria.
1.1.2.5 Tratamento <i>Bender</i>	É altamente eletrointensivo.
	Faz uso de catalisador à base de chumbo.

Etapas/Fases	Processos Relevantes para o Meio Ambiente do Querosene de Aviação
1.1.2.6 Hidrocrackeamento	Gera efluente de soda cáustica exausta com altos teores de compostos de enxofre e compostos fenólicos, podendo conter aminas e catalisadores.
	Requer temperatura de 300°C a 475°C.
	Precisa de alta pressão.
	Os catalisadores podem ser regenerados.
	Emite GEEs.

Quadro 4. Processo de produção do ECR e potenciais e principais processos impactantes. Fonte: elaboração própria

Etapas/Fases	Processos Relevantes para o Meio Ambiente do Eletrocombustível Renovável
1. Obtenção do Syngas	
<ul style="list-style-type: none"> ● Captura direta de CO₂ do Ar Atmosférico 	Trata-se de uso eletrointensivo, pois necessita de água para reações com temperaturas de cerca de 100°C e também para água de resfriamento a <15°C
<ul style="list-style-type: none"> ● Aproveitamento de Emissões de CO₂ de Indústrias 	<p>Trata-se de processo eletrointensivo, pois:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● a água para lavagem do gás de combustão para retirada de SO₂ precisa ser tratada. ● para limpeza do gás, usa solução à base de amina que é recirculada no processo, devendo ser recuperada.
2. Co-SOEC	
<ul style="list-style-type: none"> ● Trata-se de processo eletrointensivo, pois: 	<ul style="list-style-type: none"> ● as temperaturas alcançam valores maiores que 800°C e o calor produzido pode (e deve) ser recuperado e reutilizado no sistema como energia. ● podem ocorrer reações secundárias, com formação de metano e CO₂, os quais devem ser reutilizados no processo.
3. Obtenção direta do Syngas a partir da glicerina	
<ul style="list-style-type: none"> ● Gaseificação 	O gaseificador de plasma utiliza tochas de plasma que queimam a cerca 5.500°C. Alguns podem alcançar até 1500°C.
	O processo forma gás contendo, além de CO e H ₂ , CO ₂ , metano e outras impurezas.
	Para limpeza do gás, usa solução à base de amina que é recirculada no processo e pode (e deve) ser recuperada.
	Os trocadores reciclam o calor de volta ao sistema, como vapor, permitindo a sua recuperação.
	Há formação de escória vitrificada, que, embora seja considerada inerte do ponto de vista químico, deve ter sua destinação ao final do processo avaliada.
4. Síntese de Fischer-Tropsch	
<ul style="list-style-type: none"> ● Ocorre em duas faixas de temperatura: baixa (180°C a 250°C) e alta (300°C a 350°). 	Utiliza-se também de catalisadores.
	Utiliza-se de água para resfriamento, mas o vapor gerado pode ser reutilizado no processo.
	Pode formar produtos indesejados, como aldeídos, cetonas, ácidos, ésteres e carbono.
5. Separação dos produtos da reação de FT	
<ul style="list-style-type: none"> ● Destilação Fracionada 	Durante a separação da água (e compostos oxigenados nela dissolvidos), esta pode conter partículas de catalisador, como impurezas indesejáveis, de hidrocarbonetos leves e de frações pesadas.
<ul style="list-style-type: none"> ● Oligomerização e alquilação 	Exige o uso de catalisadores e consome muita energia no processo.
<ul style="list-style-type: none"> ● Hidromerização e Hidrocrackeamento 	Ocorre em alta temperatura.
	Faz uso de catalisadores, gerando resíduos não inertes do ponto de vista ambiental.



7. Diretrizes e Recomendações

No Capítulo 4, foram sintetizadas as informações colhidas até o momento sobre o Projeto Combustíveis Alternativos sem Impactos Climáticos (ProQR) no que tange ao *status* atual tanto do processo químico de produção quanto das implicações positivas e negativas da implantação de plantas de produção de ECRs em aeroportos públicos e privados situados em locais de difícil acesso, que não permitem dispensar a queima de combustíveis fósseis para seu transporte (caminhões-tanque) e uso (QAV derivado de petróleo).

Os procedimentos para estabelecer as bases técnicas, econômicas e ambientais para o desenvolvimento de tecnologias para a produção descentralizada de combustíveis renováveis de aviação vêm sendo a realização de estudos, projetos e experimentos técnicos e científicos para investigação da viabilidade de produção de ECR no Brasil.

Em termos de avaliação dos impactos ambientais da instalação de tais unidades em locais remotos (em especial), não se dispõe, no arcabouço legal e normativo, de instrumentos práticos que possam subsidiar a União e as unidades da Federação na implantação de uma política que integre essa fonte de combustível renovável no setor de aviação.

O licenciamento ambiental de qualquer projeto que venha a ser desenvolvido no Brasil com potenciais impactos sobre a saúde humana e o meio ambiente, conforme mandado constitucional, deve passar por esforços prévios de enfrentamento e resposta proativa aos licenciadores e tomadores de decisão correlatos.

A apresentação deste trabalho torna-se mister diante da problemática da estrutura burocrática e institucional afeta ao licenciamento, que vem sendo discutida desde o princípio dos anos 2000 em nível político, legal, jurídico, técnico e administrativo, como fruto da participação dos diferentes setores da sociedade civil.

São propostas, para o efeito acima, diretrizes e recomendações para agregar dados e informações que previnam a configuração de zonas cinzentas capazes de interferir no andamento e na segurança jurídica até a efetivação dos empreendimentos em respeito aos obrigatórios e tácitos procedimentos de licenciamento ambiental.

7.1. Sugestão de Diretrizes para ECRs no Brasil

De maneira a sistematizar as diretrizes que emanam da análise crítica dos capítulos anteriores, é oferecida uma síntese na Figura 11.

Figura 11. Diretrizes para a continuidade dos projetos e estudos para o licenciamento ambiental de ECRs. Fonte: elaboração própria



Diretriz 1. Estabelecer um estudo prospectivo e propositivo de mecanismos que promovam a integração institucional, política e burocrática.

Os entraves decorrentes da inexistência de procedimentos burocráticos para o licenciamento de um empreendimento como este ora em apreço poderão ser solucionados por meio de estudos que observem soluções de continuidade.

No âmbito do ProQR, sugere-se estabelecer ações de mapeamento e incentivos aos necessários arranjos institucionais, traçando uma matriz de responsabilidades dos entes governamentais (ANP, Ibama, órgãos estaduais de meio ambiente, Iphan, Funai, Fundação Palmares, entre outros) e não governamentais de defesa dos direitos civis e difusos relacionados à temática ambiental.

Além disso, recomenda-se propor instrumentos que complementem o arcabouço normativo (especialmente no que tange aos procedimentos sob a égide regulamentar dos membros do Sisnama) a fim de garantir maior segurança jurídica, dada a pertinência meritória de empreendimentos que visem à redução dos GEEs no Brasil e no mundo, como é o caso em questão.

Deve-se incluir nessas ações reuniões com os diferentes entes da matriz de responsabilidade, em especial envolvendo-os num processo de planejamento participativo e democrático de maneira a alinhar os entes da Federação com relação às suas realidades ambientais.

Diretriz 2. Estabelecer um mapeamento ambiental e das fontes de insumos e comparação entre QAV e ECRs como fontes de GEEs.

A fim de conferir aderência à propositura de regulamentação e maior segurança jurídica ao licenciamento, deverá ser montado um Sistema de Informações Geográficas a partir de es-

tudos geomáticos, que prestigiem a consolidação de uma base de dados (dados secundários) georreferenciados com planos de informação discretizada, contendo:

- distribuição dos aeroportos remotos, cujos suprimentos de combustível para aviação têm custos econômicos e ambientais;
- estado atual dos ecossistemas (espaços legalmente protegidos, como UCs, APPs e Reserva Legal), uso e ocupação (presença de intervenientes sociais e políticos atuantes ou residentes – extrativismo, populações tradicionais e indígenas, referências históricas, arqueológicas ou culturais, modos de vida) e rede hidrográfica (disponibilidade, diversidade, conformação), entre outros;
- espacializar os usuários que se utilizam de QAV inscritos numa matriz de modais de distribuição desse combustível até os centros de consumo, quais sejam, os aeroportos e aeródromos, integrando-os à escassa rede de distribuidoras autorizadas pela ANP e às refinarias existentes no território nacional.

Diretriz 3. Avançar no detalhamento da instalação, operação e manutenção das unidades de produção de ECR.

Incrementar os estudos técnico-científicos que forneçam mais elementos para a fase de caracterização do empreendimento no que se refere à internalização de GEEs como fontes de matéria-prima, seja a glicerina, seja outro insumo, nas unidades descentralizadas de produção de gás de aviação sintético com base na autoprodução de energia elétrica e focado nas etapas de obtenção de CO₂ por captura direta, reutilização ou aproveitamento de subprodutos de biocombustíveis.

Apor aos estudos da diretriz 2 os aspectos logísticos (matérias-primas e equipamentos), considerando as alternativas para disponibilizar o ECR aos potenciais usuários ali identificados.

Com processos químicos de produção e acesso de ECR aos usuários definidos, será possível avançar no cálculo do balanço energético que contemple os benefícios da sua utilização com o convencional QAV.

Diretriz 4. Propor ações efetivas e exequíveis para a garantia dos ritos burocráticos de um licenciamento ambiental seguro do ponto de vista jurídico, social e ambiental para os tomadores de decisão.

Talvez, dada a natureza jurídica do meio ambiente como “bem difuso”, ou seja, que não se confunde com os bens públicos e ainda menos com os privados, sugere-se explicar a imprescindibilidade do cumprimento dos ritos burocráticos e legais dos agentes de decisão no âmbito do licenciamento ambiental.

A elaboração participativa de *Guidelines* para o processo de licenciamento em suas diferentes dimensões decisórias e regulamentares, contando com a presença dos atores mencionados na primeira diretriz, consolidará as contribuições para que os tomadores de decisão tenham maior segurança jurídica.

Com o coerente conjunto de informações conhecidas apostas nos capítulos anteriores e geradas pelo desenvolver das diretrizes anteriores, espera-se garantir a previsibilidade temporal e

a sustentabilidade jurídica de acordo com o que rege o licenciamento ambiental. Decursos de prazos legais estarão renegados a custos eventuais de orçamento e de instabilidades do poder discricionário dos agentes públicos afetos.

O licenciamento ambiental deve adotar procedimentos administrativos mais simplificados por ser uma iniciativa inédita e positiva para o Brasil, que contribuirá para o alcance das diretivas globais de redução dos GEEs, especialmente em face das intenções divulgadas com relação ao setor de aviação no Acordo de Paris, cujos compromissos firmados estão subscritos pelo Brasil.

As *Guidelines* deverão conter uma caracterização dos processos de produção de ECRs, da energia como insumo e da rede de distribuição até o consumidor final – aeroportos e aeródromos remotos – de maneira a permitir uma avaliação preliminar quali-quantitativa dos impactos ambientais positivos e negativos.

7.2. Recomendações

As recomendações aqui dispostas fundamentam-se nas exigências descritas no Capítulo 3, que tratou do arcabouço legal e normativo vigente no Brasil para o licenciamento ambiental com respeito à fase prévia ao protocolo de licenciamento prévio e consequente elaboração do Termo de Referência para a avaliação de impactos.

Nessa fase pré-licenciamento, é imprescindível ter informações suficientes, pelo menos em nível de projeto básico, para bem esclarecer as alternativas locais e tecnológicas estudadas para o empreendimento. Esse estudo deve ser concluído pela seleção da alternativa mais interessante do ponto de vista tecnológico e locacional, permitindo a caracterização o mais detalhada possível do empreendimento e suas obras associadas (fonte de energia, conexão com o consumidor final e fonte de matéria-prima).

Conforme descrito anteriormente, o licenciamento ambiental no Brasil pressupõe, desde a promulgação da Resolução Conama nº 1/1986, a elaboração prévia, por parte dos interessados, de estudo de alternativas tecnológicas e locais, o que pode agilizar o processo de análise do tomador de decisão.

Para a seleção das alternativas tecnológicas, recomenda-se definir como pressuposto, mesmo antes do licenciamento, que a produção do ECR nas proximidades dos aeródromos e aeroportos remotos seja a mais viável do ponto de vista ambiental, dadas as condições mencionadas no item anterior de serem uma estratégia de redução de GEEs. Portanto, não devem ser permitidas, pelo órgão ambiental, comparações relacionadas com o uso de outro combustível, senão o ECR, na proporção determinada pela ANP, como descrito nos capítulos anteriores.

Necessária se faz tal recomendação pelos usos e costumes no Brasil de a maioria de EIAs/Rima apresentarem alternativas tecnológicas não comparáveis, por exemplo, comparar a implantação de uma fonte de energia elétrica hídrica ambientalmente superior a termelétricas a combustível fóssil (carvão ou diesel).

As alternativas tecnológicas a serem investigadas e ponderadas devem ser estritamente relacionadas à decisão de produção de ECRs, pois:

- garantem pelo menos 50% de redução de emissão de GEEs (*blend* de 50% com o QAV);
- minimizam significativamente a circulação de QAV em caminhões movidos a diesel das refinarias até os aeroportos remotos;
- utilizam, como premissa de projeto, fontes de energia elétrica provenientes da geração solar ou eólica.

Recomenda-se que esses estudos sejam objeto de discussão com os órgãos licenciadores. Para tanto, à medida que os estudos prévios de viabilidade técnica, econômica e ambiental – projetos básicos – forem desenvolvidos pelos interessados, essas informações podem ser geradas concomitantemente.

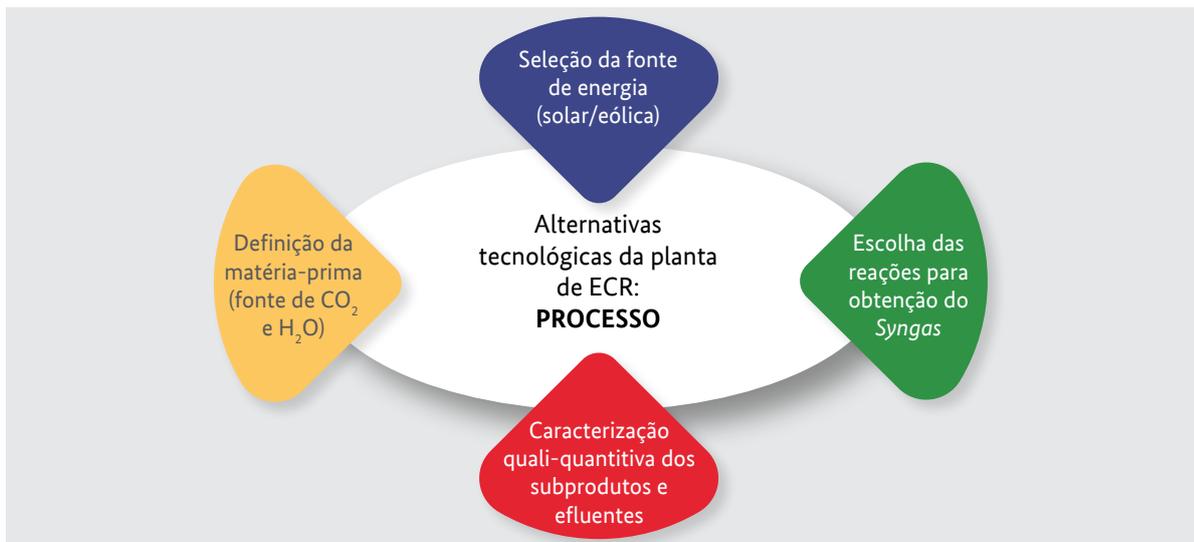
Assim, as alternativas tecnológicas dizem respeito especialmente à apresentação de estudos de viabilidade que ponderem do ponto de vista ambiental:

- insumos de matérias-primas – que dizem respeito à necessidade de entrada de CO₂, seja por meio da captura do ar (capturadores), seja de matérias-primas como a glicerina – e H₂O – com avaliação da disponibilidade hídrica e respectivo mapeamento e detalhamento para o abastecimento da planta;
- em face de a produção envolver consumos eletrointensivos, as fontes de energia mais convenientes devem ser investigadas comparativamente aos indicadores de menor impacto ambiental de instalação de centrais de autoprodução de energia eólica ou termosolar, como as de Energia Solar Concentrada (CSPs) ou as fotovoltaicas.

A princípio, as alternativas tecnológicas referentes à produção de ECR a ser detalhadas devem incluir (e demonstrar), no mínimo:

- rotas de produção do QAV sintético para obtenção do *Syngas* – captura de CO₂ do ar atmosférico ou do aproveitamento de emissões de CO₂ (CoSOEC, gaseificação por plasma, gaseificação e pirólise);
- discretização das etapas de separação dos produtos da reação de Fischer-Tropsch que possam representar maior perigo ao meio ambiente ou à saúde humana, como:
 - partículas de catalisador, como impurezas indesejáveis, na mistura complexa de hidrocarbonetos separadas da água quando da destilação fracionada dos produtos resultantes da síntese de FT;
 - e as alternativas de reúso da água tratada proveniente de resfriamento e geração de vapor.

Figura 12. Processos básicos a serem detalhados para elaboração do estudo de alternativas tecnológicas em fase prévia à definição do Termo de Referência. Fonte: elaboração própria



Para a seleção da alternativa locacional, o principal fator é as distâncias entre o aeroporto e a fonte de energia, o parque de combustíveis (áreas de armazenamento) e a via de distribuição do ECR (querodutos – preferencial – e caminhões-tanque) e a fonte ou matéria-prima (H₂O e CO₂, seja proveniente de glicerina ou de outros), conforme a Figura 13. Uma vez que a localização do aeroporto é fixa, os principais fatores de decisão, mesmo antes da lavratura do Termo de Referência, para a elaboração da análise que subsidiará o licenciamento prévio consiste na disponibilização de um estudo detalhado que pressuponha pelo menos três alternativas ponderadas desses critérios.

Figura 13. Fatores determinantes para a avaliação integrada de suporte para o estudo de alternativas locacionais. Fonte: elaboração própria





8. Considerações Finais

O presente estudo reafirma a relevância da produção do ECR em território brasileiro do ponto de vista ambiental, especialmente focado nas metas para a redução dos GEEs para o transporte aéreo, cuja contribuição chega a 2,5% do total das emissões no mundo.

De acordo com o nível atual de conhecimento dos processos químicos propostos para a produção do ECR, pode-se afirmar que o empreendimento poderá ser licenciado no Brasil, pois representa, do ponto de vista ambiental, evidentes vantagens competitivas sobre seu análogo funcional, o QAV, derivado de petróleo.

Do ponto de vista da regulação para uso do ECR como combustível para a aviação, a ANP já emitiu, em concordância com a ASTM, resoluções para regular a mistura (em 50%) com o QAV derivado de petróleo. Para o licenciamento ambiental, o Brasil dispõe de elementos normativos e legais suficientes para proceder o licenciamento do QAV derivado de petróleo. Entretanto, espera-se que a normatização seja cunhada como política afirmativa para implantação simplificada e ágil, tendo em vista os inegáveis impactos ambientais positivos do ECR – uso de energia solar e eólica, insumo primário para produção CO_2 e H_2O , uso de contêineres para implantação com menor uso de solo, proximidade a centros de aviação consumidores, menor consumo de água em comparação a outros biocombustíveis, entre outros.

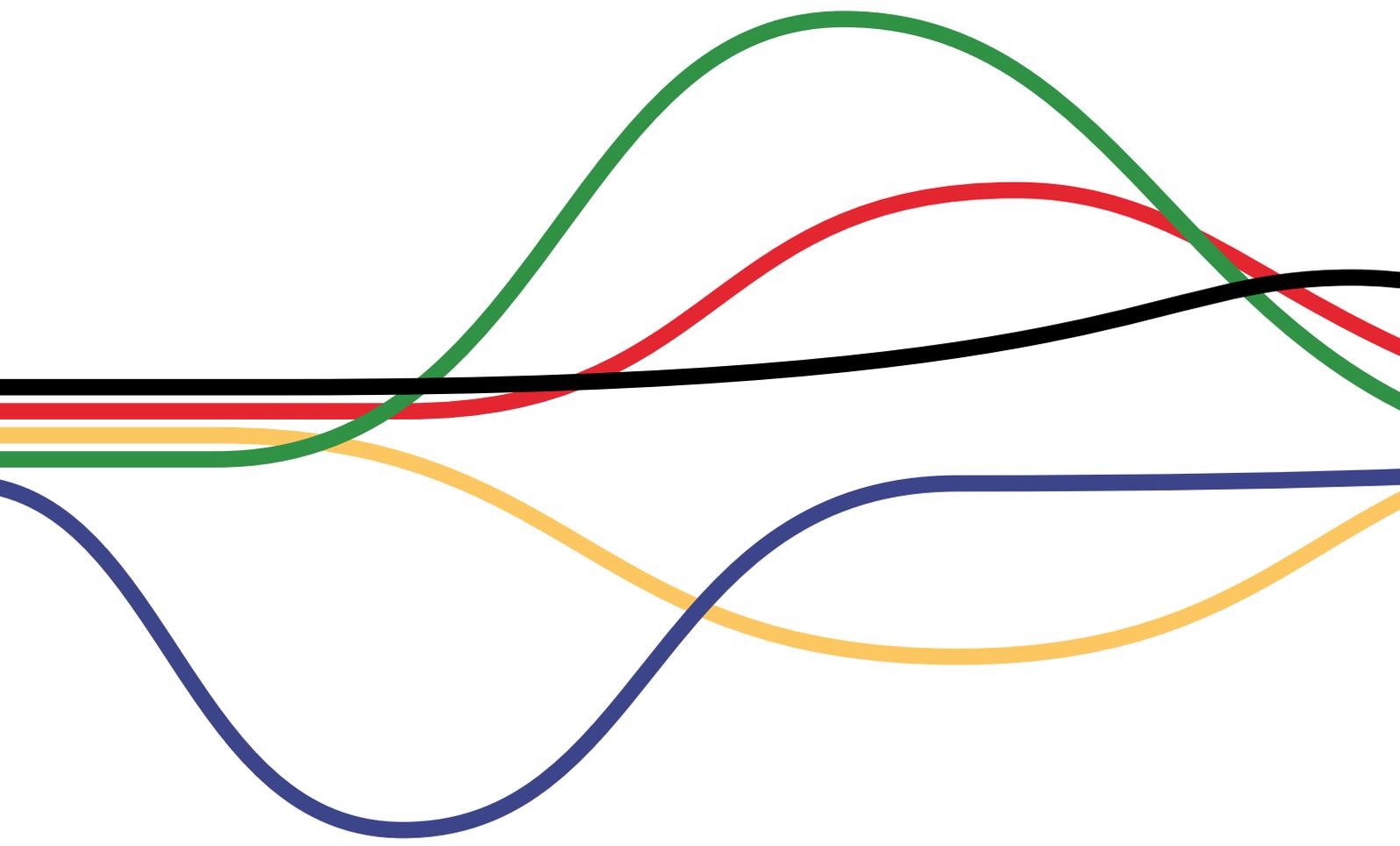
Três argumentos majoritários resumem a viabilidade e agilização da licenciabilidade ambiental do ECR: o uso da matéria-prima CO_2 , um processo eletrointensivo exclusivamente suprido por fontes solares e/ou eólicas e a não emissão de compostos de enxofre durante sua produção ou consumo.

O presente estudo conclui por propor a adoção das recomendações e diretrizes aqui dispostas de maneira a dar continuidade à condução de procedimentos para o licenciamento ambiental em estreita cooperação com as instituições governamentais e não governamentais afetas à regulação ambiental.

9. Referências Bibliográficas

- ABDEL-AAL, H. K.; AGGOUR, M. A.; FAHIM, M. A. Petroleum and gas field processing. Nova York: Marcel Dekker, 2003.
- ALVAREZ, N. M. C. M. Caracterização da indústria petrolífera e do georrecurso petróleo. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 2009.
- ANAC – AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Distribuição dos campos de aviação no Brasil. In: ROTH, F. Cost analysis of aviation fuels in Brazil. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Maio de 2018.
- ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Biocombustíveis de aviação. 20 out. 2016. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biocombustiveis-de-aviacao>
- _____. Publicadas novas resoluções da ANP sobre combustíveis de aviação. 8 abr. 2019. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/noticias/anp-e-p/5123-publicadas-novas-resolucoes-da-anp-sobre-combustiveis-de-aviacao#:~:text=A%20ANP%20publicou%20nesta%20segunda,ambas%20sobre%20querosene%20de%20avia%C3%A7%C3%A3o.&text=J%C3%A1%20a%20segunda%20atualiza%20as,%2F2006%20e%2018%2F2006>.
- AZEVEDO, T. et al. SEEG initiative estimates of Brazilian greenhouse gas emissions from 1970 to 2015. Sci Data 5, 180045 (2018). <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.45>
- BRANDÃO, R. D. Hidroisomerização de n-parafinas de cadeia longa catalisada por metais platinicos depositados em silicoaluminofosfatos para produção de biocombustíveis. Dissertação (Mestrado) – UnB, Brasília, 2015.
- BRASIL. Presidência da República. Constituição da República Federativa do Brasil: promulgada em 5 de outubro de 1988.1988.
- CARBON MARKET WATCH. Nature code annual report – 2013. Brussels, 2013.
- CLIMEWORKS. Our technology – capturing CO2 from air. Disponível em: Climeworks.com. Acesso em: 11 novembro de 2019. 2019.
- EBNER, J. A. Options for the production of sustainable synthetic aviation fuel. Brasília: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ Brazil) GmbH; Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (Brasil), 2018.
- GARY, J. H.; HANDWERK, G. E.; KAISER, M. J. Petroleum refining: technology and economics. 5. ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2007.
- GURGEL, C. A. V. et al. Impactos de extração do petróleo (óleo e gás) no Rio Grande do Norte, na região do Alto do Rodrigues/RN. Holos, v. 3, p.130–147, 2013.

- MARIANO, J. B. Impactos ambientais do refino de petróleo. UFRJ, 2001.
- McGRATH, M. Por que a concentração de CO₂ foi recorde em 2016, apesar da redução nas emissões? BBC News, 30 de outubro de 2017. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-41801515>.
- MONDAL, S.; WICKRAMASINGHE, S. Ranil. Produced water treatment by nanofiltration and reverse osmosis membranes. *Journal of Membrane Science*, v. 322, p.162-170, 2008.
- PINTO JÚNIOR, H.Q. J. V. et al. Desenvolvimento dos eletrocombustíveis de aviação: dinâmica tecnológica e desafios regulatórios. Relatório Final – Projeto GIZ. Grupo de Economia de Energia (IE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2019.
- POPPER, A. N.; SMITH, M. E.; MCCAULEY, R. D. Anthropogenic sound: effects on the behavior and physiology of fishes. *Marine Technology Society Journal*, v. 37, n. 4, p. 35–40, 2004.
- RAMOS, A. L. D. et al. Atual estágio de desenvolvimento da tecnologia GTL e perspectivas para o Brasil. *Química Nova*, v. 34, n. 10, p. 1704–1716, 2011.
- MACHADO, A. P. Combustível de aviação do Brasil é um dos mais caros do mundo – querosene é, em média, 40% mais caro no país. *Revista Veja*, 28 ago. 2018. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/economia/combustivel-de-aviacao-do-brasil-e-um-dos-mais-caros-do-mundo/><https://veja.abril.com.br/economia/combustivel-de-aviacao-do-brasil-e-um-dos-mais-caros-do-mundo/>.
- RIBEIRO, H. Impactos da exploração do petróleo na saúde humana. *Revista USP*, v. 95, p. 61–71, 2012.
- SANTOS, P. V. Impactos ambientais causados pela perfuração de petróleo. *Cadernos de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas*, v. 1, n. 15, p. 153–163, 2012.
- SCHMIDT, P. et al. Power-to-liquids: potentials and perspectives for the future supply of renewable aviation fuel. Munich: German Environment Agency, 2016.
- SPEIGHT, J. G. *The chemistry and technology of petroleum*. 4. ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2006.
- SZEWCZYK, S. B. O. Processos envolvidos em um derramamento de óleo no mar. FURG, 2006.
- VILARDO, C. Os impactos ambientais da pesquisa sísmica marítima. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.



Por ordem do



Ministério Federal
do Meio Ambiente, Proteção da Natureza
e Segurança Nuclear

Por meio da:



Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



SECRETARIA DE
EMPREENDEDORISMO
E INOVAÇÃO

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL