

ANEXO I

Programa de Capacitação Institucional – PCI

**PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM LUZ SÍNCROTRON, BIOCIÊNCIAS,
NANOTECNOLOGIA E BIOETANOL**

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS - CNPEM

1. Projeto 1 - Estudo de mutações no gene da agressividade *MAOA* em pacientes com Deficiência Intelectual.

1.2 Introdução

A deficiência intelectual (DI) pode ser definida como um comprometimento significativo da função cognitiva, com coeficiente intelectual abaixo da média, associado a prejuízo no comportamento adaptativo explícito em suas habilidades conceituais, sociais e práticas (capacidades funcionais nas atividades diárias), evidenciada antes dos 18 anos de idade.

Entre as causas identificáveis de DI, a causa genética está presente em 17 a 40% dos casos, sendo que as principais mutações genéticas da DI considerada moderada-profunda, são as anomalias cromossômicas e as mutações em genes únicos. Estima-se que as causas ambientais, malformações do SNC e condições multifatoriais (componente ambiental e genético) são responsáveis por 15 a 30% dos casos. Além disso, pacientes com DI têm risco aumentado para uma série de comorbidades, como a epilepsia, encefalopatia crônica não progressiva, transtornos psiquiátricos, ansiedade, distúrbio opositor e autismo.

O reconhecimento da importância dos genes do cromossomo X como causa de DI é antigo e deve-se à constatação de um excesso de 30% de homens afetados por DI em relação às mulheres e à ocorrência de numerosas famílias em que a DI segrega de forma compatível com o padrão de herança ligado ao cromossomo X. A DI ligada ao cromossomo X é classicamente dividida em dois grupos: (a) DI síndrômica, quando associada a outras características físicas ou neurológicas e (b) DI não síndrômica ou inespecífica, quando a DI é a única característica clínica consistente.

Dentre os genes mutados já descritos no cromossomo X que estão envolvidos com o desenvolvimento de DI, podemos citar o gene monoamina oxidase A (*MAOA*). Os genes da *MAOA* e seu homólogo *MAOB* estão localizados na porção p11.3 do cromossomo X e codificam enzimas cruciais para a degradação metabólica de aminas biogênicas e, em particular, dos neurotransmissores como norepinefrina, dopamina e serotonina. Mutações nos genes da *MAOA* e *MAOB* foram descritas em pacientes que apresentam, além dos sintomas da doença de Norrie, deficiência intelectual grave, comportamento autista e epilepsia. Em 1993, Brunner e colaboradores descreveram uma grande família holandesa com anormalidades comportamentais proeminentes que apresentavam uma mutação ligada ao cromossomo X. Após uma extensa pesquisa nos indivíduos, os pesquisadores sugeriram e confirmaram que mutações no gene *MAOA* eram responsáveis pela característica síndrômica dos pacientes. Todos os pacientes afetados eram do sexo masculino, portavam mutação no gene *MAOA* e apresentavam DI, além de comportamento anormal característico, em particular, comportamento agressivo e violento induzido pelo estresse. Desde a publicação de Brunner e colaboradores, *MAOA* é considerado um gene associado a DI, está incluído nos painéis de diagnóstico de genes testados para mutações de DI ligadas ao cromossomo X e também já está fortemente relacionado com comportamento de agressividade.

Os detalhes do mecanismo de ação da enzima MAO-A ainda não são completamente conhecidos e pouco se sabe a respeito do impacto de mutações identificadas em pacientes com DI na sua estrutura e função. Atualmente a informação sobre a implicação das mutações no gene *MAOA* no Sistema Nervoso Central (SNC) é escassa e oriunda, em sua grande parte, de estudos em modelos animais e da descrição de casos clínicos. Além disso, normalmente os estudos representam apenas o estágio final da doença, eliminando a possibilidade de explorar os eventos iniciais responsáveis pela cascata de alterações celulares que levam ao resultado final, sejam elas alterações estruturais, moleculares ou celulares. Neste trabalho, financiado pelo **Programa Nacional de Apoio à Atenção da Saúde da Pessoa com Deficiência do Ministério da Saúde** (PRONAS-MAOA), pretende-se investigar especificamente ao nível celular o efeito da deficiência de atividade de MAO-A no contexto neuronal.

1.3 Objetivo geral

Avançar no conhecimento acerca dos impactos de mutações no gene *MAOA* no desenvolvimento cerebral, bem como, estudar em nível molecular e celular a função da proteína mutada e sua implicação no desenvolvimento de DI.

1.4 Objetivos específicos

- 1.4.1 Estabelecer um modelo de *knock-in* de duas mutações no gene *MAOA* em uma linhagem neuronal humana utilizando o sistema CRISPR-Cas9;
- 1.4.2 Caracterizar funcionalmente as linhagens neuronais portadoras das mutações de *MAOA* com experimentos de função mitocondrial (produção de espécies reativas de oxigênio, produção de ATP, respiração mitocondrial, expressão de proteínas dos complexos respiratórios e morfologia mitocondrial), diferenciação neuronal e caracterização, viabilidade celular (MTS), morte celular (apoptose e necrose), autofagia e estresse oxidativo.

1.5 Metodologia

- 1.5.1 **Geração de linhagens de células neuronais portadoras das mutações**
Cultivo de células, transfecção, PCR, isolamento de clones, sequenciamento de DNA.
- 1.5.2 **Análise de expressão e atividade de MAOA**
Western Blot e leitor de placas.
- 1.5.3 **Diferenciação neuronal e caracterização das linhagens selvagem e mutantes de MAOA**
Cultivo de células, tratamento com ácido retinóico, imunofluorescência e microscopia confocal na unidade de high content screening Operetta.
- 1.5.4 **Análises de função mitocondrial**
 - 1.5.4.1 **Análise de produção de espécies reativas de oxigênio (EROS)**
Microscopia confocal Operetta e leitor de placas ClarioStar.

1.5.4.2 Quantificação em tempo real de produção de ATP nas vias glicolítica e mitocondrial

Células diferenciadas e Seahorse XFe24.

1.5.4.3 Avaliação em tempo real da respiração mitocondrial (fosforilação oxidativa)

Células diferenciadas e Seahorse XFe24.

1.5.4.4 Análise da expressão de proteínas dos complexos respiratórios

Mitocôndrias isoladas e Western Blot.

1.5.4.5 Avaliação da morfologia mitocondrial

Células transfectadas com mito-tag-DsRed2 e microscopia Operetta.

1.6 Detecção de níveis de oxidação de proteínas

Western blot e imunodetecção de grupos carbonila das proteínas oxidadas.

1.7 Viabilidade celular (MTS), apoptose e necrose celular

Ensaio MTS, Western Blot e atividade de caspase-3.

1.8 Efeito da perda de atividade de MAOA na indução de autofagia contra estresse oxidativo

Cultivo e tratamento de células e Western Blot.

2 – Projeto 2 - Desvendando a estrutura hierárquica de membranas porosas: reconstrução de volume e análise através de nano-tomografia de raio-X.

2.1 Introdução

Membranas poliméricas são amplamente aplicadas em vários processos de separação desafiadores - elas são cruciais para o abastecimento de água em vários países, pois são amplamente aplicadas na dessalinização ou tratamento de água [1] via osmose reversa, assim como em refinarias de petróleo para separações de solventes orgânicos [2], de gases e vapores [3]. A caracterização da rede porosa deste material altamente hierárquico é essencial para a validação e desenvolvimento destas membranas. Devido à complexidade das estruturas, a caracterização direta de poros requer um imageamento de volume de membrana que seja representativo e de alta-resolução, permitindo a compreensão dos fenômenos de transporte e para guiar desenvolvimentos futuros. Tal pode ser obtido utilizando técnicas de imageamento tridimensional por difração de raios X coerentes síncrotron (CXDI) que possui a grande vantagem de ser uma ferramenta de caracterização não destrutiva e que pode ser aplicada no ar, água ou outros ambientes, atingindo resoluções de algumas dezenas de nanômetros. A linha de luz Cateretê [4,5], no Sirius, é dedicada a imagens 3D de alta resolução, empregando métodos CXDI. Recentemente, aplicamos a tomografia computadorizada de raios X pticográfica para a visualização de

matéria mole com resolução de 26 nm em grandes campos de visão [6]. Visualizamos a estrutura porosa complexa 3D de *hollow fibers* de polieterimida e obtivemos informações quantitativas sobre a distribuição do tamanho dos poros e a interconectividade da rede de poros em toda a parede da membrana. Em colaboração com a Universidade King Abdullah de Ciência e Tecnologia (KAUST), pretendemos estender os limites dos métodos CXDI de imagens 3D para a caracterização de materiais de membrana polimérica em um ambiente que reflita condições operacionais típicas (como ambientes aquosos em diferentes pHs, e diferentes composições de soluto/solvente). Os resultados e procedimentos de imagem adquiridos guiarão futuros avanços relevantes para sistemas de separação industrial de membranas poliméricas.

2.1 Objetivos

Membranas poliméricas foram imageadas pelo método de CXDI de pticografia, *in situ*, na linha de luz Cateretê. Tal imagem, adquirida em diferentes ambientes, próximas às condições de operação dos materiais, é única. Utilizando algoritmos matemáticos e computadores de alta performance (HPCs), os dados devem ser reconstruídos e analisados de maneira a garantirem a extração de parâmetros do meio poroso, de maneira acurada.

2.1.1 Processamento de dados pticográficos. Imagens tridimensionais serão reconstruídas utilizando algoritmos iterativos de recuperação de fase e tomografia, desenvolvidos internamente pelo Grupo de Computação Científica (GCC) do LNLS. Espera-se forte interação com a equipe do GCC, consistindo em testes de diferentes métodos tomográficos compatíveis com meios altamente porosos.

2.1.2 Segmentação e análise de nanotomografia. O desenvolvimento de estratégias utilizando métodos convencionais de separação de meios (*thresholding*, *watershed*) e, também, *deep learning* permitirá estabelecer um fluxo de trabalho de segmentação robusto, extraíndo assim informações quantitativas precisas (morfologia do material, sua porosidade e interconectividade dos poros). Esta tarefa envolverá interação com a equipe da KAUST para validar informações relativas à caracterização do material.

2.2 Resultados esperados

A partir do amplo uso dos recursos de HPC, da instalação TEPUI (LNLS) aliado à proximidade com as habilidades matemáticas e de programação do GCC, espera-se alcançar um fluxo de trabalho preciso, compreendendo reconstrução e análise de imagens de alta resolução. A compreensão do comportamento dos materiais ar vs água trará conhecimentos fundamentais sobre os fenômenos de transporte e a respeito do desempenho do material em um ambiente próximo da aplicação industrial real. Prevemos que este valioso conhecimento pode ser uma referência para meios porosos macios, mas também para materiais de natureza diferente (mais dura) em condições *in situ*.

2.3 Referências

Culp, T. E.; Khara, B.; Brickey, K. P.; Geitner, M.; Zimudzi, T. J.; Willbur, J. D.; Jons, S. D.; Roy, A.; Mou, P.; Ganapathysubramanian, B.; Zydney, A. L.; Kumar, M.; Gomez, E. D., Nanoscale control of internal inhomogeneity enhances water transport in desalination membranes, *Science*, 2021, 371, 72-75.

Chisca, S.; Musteata, V. E.; Zhang, W.; Vasylevskyi, S.; Falca, G.; Abou-Hamad, E.; Emwas, A. H.; Altunkaya, M.; Nunes, S.; Polytriazole membranes with ultrathin tunable selective layer for crude oil fractionation. *Science* 376, doi:10.1126/science.abm7686 (2022).

Ulbricht, M., 1.5 State-of-the-Art and Perspectives of Organic Materials for Membrane Preparation. *Comprehensive Membrane Science and Engineering* 2017, 85-119.

Meneau, F. et al. Cateretê : The Coherent X-ray Scattering Beamline at the 4th generation synchrotron facility SIRIUS. in *Acta Crystallographica Section A: Foundations and Advances* vol. A77 C283 (2021).

Meneau, F.; Kalile T. A.; Meyer, B. C.; Luiz, S.A.L.; Chushkin, Y.; Górecki, R.; Nunes, S.P.; Polo, C.C., Three-Dimensional Coherent Diffractive Imaging Using Ultra-Low Emittance Synchrotron Radiation. in review.

Gorecki, R.; Polo, C.C.; Kalile T. A.; Miqueles, E.X.S.; Tonin, Y.R.; Upadhyaya, L.; Meneau, F.; Nunes, S.P., Ptychographic X-ray computed tomography of porous membranes with nanoscale resolution. *Commun Mater* **4**, 1 (2023).

3 – Projeto 3 - Combinando espectroscopia de absorção de raio X com pressão uniaxial, baixas temperaturas e altos campos magnéticos para estudar o ordenamento de carga em supercondutores não convencionais.

3.1 Introdução

Supercondutividade e o estado de onda de densidade de carga (CDW) são dois estados eletrônicos cooperativos diferentes, com origem no acoplamento entre elétrons e fônons e instabilidades na superfície de Fermi. Embora seja bastante comum a observação de supercondutividade em materiais que apresentam CDW, ainda não é possível estabelecer qual a correlação entre a ordem CDW e a supercondutividade [1-4]. Elas competem? Coexistem? Cooperam? Seguem caminhos separados?

Do ponto de vista experimental, compreender a formação da ordem CDW e sua competição com a supercondutividade em materiais quânticos requer técnicas capazes de sondar o sistema em diferentes escalas de energia e distinguir entre contribuições de carga, orbital, spin e rede. Este projeto técnico-científico tem como objetivo superar esse desafio ao estudar materiais monocristalinos que apresentam tanto CDW quanto supercondutividade por meio de técnicas de Síncrotron combinadas com condições de pressão uniaxial, baixa temperatura e altas temperaturas.

Em particular propomos estudar a família dos materiais que apresentam estrutura do tipo Kagomé. Recentemente, uma nova família de metais de Kagomé, classificados como quase- bidimensionais AV_3Sb_5 ($A = K, Rb, Cs$) atraiu enorme atenção. Esses materiais cristalizam no grupo espacial $P6/mmm$, formando camadas de redes de Kagome ideais de íons V coordenados por Sb . Além de apresentar tanto CDW quanto supercondutividade, os materiais AV_3Sb_5 ($A = K, Rb, Cs$) exibem também propriedades topológicas. A coexistência de uma estrutura de bandas com topologia não trivial, associada a presença de CDW e supercondutividade faz com que uma série de fenômenos exóticos tenha sido reportada recentemente em materiais desta família. Por exemplo, a ordem de carga topológica foi relatada em KV_3Sb_5 , supercondutividade do tipo spin-triplet em dispositivos $Nb-K_{1-x}V_3Sb_5$, e um efeito Hall anômalo gigante não convencional foi observado em nos supercondutores $K_{1-x}V_3Sb_5$ e CsV_3Sb_5 supercondutores. No entanto, a temperatura de transição supercondutora (T_c) nesse sistema é relativamente baixa, e sua correlação com os estados CDW e topológicos não triviais ainda não é conhecida [1-4]. Essa competição exótica entre CDW e supercondutividade, juntamente com a topologia não trivial, faz dos metais de Kagome quasi bidimensionais AV_3Sb_5 ($A = K, Rb, Cs$) uma plataforma rara para investigar a interação de múltiplas ordens eletrônicas.

Para sondar a interação de múltiplas ordens eletrônicas nos supercondutores Kagome, planejamos combinar técnicas de raios-X com pressão uniaxial, uma vez que desta forma podemos alterar a simetria destes materiais de maneira controlada. Com isso, esperamos ser capazes de sondar in situ a tanto a CDW quanto a supercondutividades

evoluem com a pressão e com aplicação de campo magnético. Além disso, esperamos verificar se o gradiente de pressão (deformação) desempenha algum papel no diagrama de fases dos materiais de Kagome.

Aqui, buscamos empregar experimentos de difração de raios-X (XRD) e de absorção de raios-X (XAS) como função da pressão uniaxial, temperatura e campo magnético para sondar o papel desempenhado pela rede ao longo do diagrama de fases dos compostos, e como estrutura magnética e eletrônica são modificadas ao longo do diagrama de fases. O objetivo principal é obter uma compreensão mais profunda da interação entre esses dois fenômenos e explorar as condições sob as quais podem coexistir ou interferir entre si. Os resultados deste estudo terão implicações significativas para o desenvolvimento de novos materiais com propriedades eletrônicas aprimoradas e poderão potencialmente revelar novos fenômenos e aplicações no campo da física da matéria condensada.

3.2 Objetivo

Propomos aqui estudar o comportamento microscópico dos elétrons e caracterizar as propriedades estáticas e dinâmicas dos metais Kagome quase bidimensionais AV_3Sb_5 ($A = K, Rb, Cs$) pela combinação de técnicas de radiação síncrotron de última geração e em função de pressão externa, temperatura e campo magnético. Nossos resultados ajudarão a elucidar a competição entre supercondutividade, CDW e propriedades topológicas em supercondutores não convencionais da família Kagome. É importante mencionar que para atingir os objetivos científicos, teremos que desenvolver uma nova instrumentação que permitirá a realização de experimentos de XAS e XRD como função da pressão uniaxial em baixas temperaturas ($<1K$) e altos campos magnéticos ($11T$).

3.3 Objetivos específicos

- 3.3.1 Estabelecer as condições para instalar a célula de pressão uniaxial no magneto supercondutor de $11T$ da linha de luz EMA.
- 3.3.2 Fazer o cabeamento elétrico para permitir que medidas de transporte elétrico sejam realizados concomitantemente com as medidas de Síncrotron (XRD and XAS).
- 3.3.3 Efetuar medidas de XAS e XRD como função da pressão uniaxial, temperatura e campo magnético.
- 3.3.4 Propor um modelo que explique a correlação dos diferentes tipos de ordem presentes nos materiais AV_3Sb_5 ($A = K, Rb, Cs$)

3.4 Referências

B. R. Ortiz et al, Physical Review Materials **3**, 094407 (2019).
Y.-X. Jiang et al, Nature Materials (2021).

- B. R. Ortiz et al*, Physical Review Letters **125**, 247002 (2020).
B. R. Ortiz, et al Physical Review Materials **5**, 034801 (2021).
P. Beauchene, J. Dumas, A. Janossy, J. Marcus, C. Schlenker, Physica B **143**, 126 (1986).
T. Tamegai et al., Solid State Commun. **51**, 585 (1984).

4 – Projeto 4 - Dispositivos Eletrônicos baseados em Materiais 2D para Sensores e Biossensores.

4.1 Introdução

Materiais bidimensionais (M2Ds), caracterizados pela sua estrutura atômica fina, apresentam um notável conjunto de propriedades que os distinguem dos materiais bulk tradicionais. Por conseguinte, M2Ds prometem revolucionar as mais variadas aplicações tecnológicas. Em especial no que tange a utilização de M2Ds no desenvolvimento de sensores e biossensores, sua natureza ultrafina confere sensibilidade incomparável às mudanças ao seu entorno e interfaces, enquanto sua grande relação superfície-volume facilita uma interação aprimorada com analitos-alvo. Como resultado, os sensores e biossensores fabricados a partir de materiais 2D oferecem oportunidades incomparáveis para o desenvolvimento de novas tecnologias para a área da saúde, monitoramento ambiental e segurança alimentar, entre outras.

A integração de M2Ds em sensores e biossensores envolve um desafio crítico em termos de robustez, miniaturização, e reprodutibilidade dos dispositivos. Nesse sentido, M2Ds processados em solução ou esfoliados em meio líquido (LPE, em inglês) representam uma rota tecnológica promissora. Isso porque o processamento de M2Ds em solução permite a produção de “tintas” que podem ser depositadas por diferentes métodos compatíveis com a indústria de tecnologias impressa (ex. impressão jato de tinta, spraying etc.). Os atuais desafios para o desenvolvimento dessas novas tecnologias consistem primordialmente i) na formação de filmes de M2Ds por diferentes técnicas e o entendimento das suas relações de processamento-propriedade, e ii) na compreensão de como defeitos estruturais em M2Ds (gerados no processo de exfoliação em solução destes materiais) impactam particularmente o transporte eletrônico em filmes finos e o desempenho de dispositivos.

4.2 Objetivo Geral

Integrar M2Ds esfoliados em solução (LPE 2DMs) em plataformas de dispositivos eletrônicos do tipo transistores visando o desenvolvimento de sensores e biossensores robustos e miniaturizados para aplicações na área de diagnóstico.

4.3 Objetivo Específico

- 4.3.1** Produzir filmes finos de M2Ds obtidos por LPE (viz. óxido de grafeno reduzido – rGO e dissulfeto de molibdênio – MoS₂) e avaliar as propriedades estruturais e morfológica destes.
- 4.3.2** Fabricar transistores baseados em LPE M2Ds e avaliar suas características elétricas em diferentes condições de operação.

- 4.3.3 Caracterizar as propriedades elétricas e de transporte eletrônico de M2Ds em função da quantidade e tipo de defeitos estruturais nesses materiais.
- 4.3.4 Desenvolver sensores e biossensores baseados em dispositivos eletrônicos empregando M2Ds e avaliar sua resposta analítica em função do analito-alvo (a definir) combinando respostas elétricas e método por aprendizado de máquina.

4.4 Referências

Witomska, S., *et al.*, *Adv. Funct. Mater.* **29**, 1901126 (2019).

Kelly, A. G. *et al.*, *Science* **356**, 69–73 (2017).

Ippolito, S. *et al.*, *Nat. Nanotechnol.* (2021) doi:10.1038/s41565-021-00857-9.

Lelis, G. C. *et al.*, *ACS Appl. Mater. Interfaces* (2023) doi: 10.1021/acsami.3c16699.

Sensi, M. *et al.* *Adv. Funct. Mater.* (2024) doi: 10.1002/adfm.202313871

5 – Projeto 5 – Avaliação de ciclo de vida de novos produtos renováveis.

5.1 Introdução

A metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é amplamente utilizada para avaliar os impactos ambientais associados a todas as etapas do ciclo de vida de um produto, processo ou serviço através da identificação e quantificação de energia e materiais usados e resíduos produzidos em cada etapa, conforme estabelecido nas normas ABNT/ISO 14040 e 14044. Neste projeto serão priorizadas as categorias de impactos Mudanças Climáticas e Uso de Água, contabilizada utilizando as métricas de intensidade de carbono (IC) do GWP100, conforme o AR6 do IPCC (2021) e os índices de escassez hídrica conforme as métricas propostas em *Available Water REmaining* (AWARE). A avaliação seguirá a série de normas ABNT/ISO 14040 (ISO 2006a; 2006b), com a definição das fronteiras dos sistemas, critérios de alocação, inventários e métodos de avaliação de impacto pertinentes para cada caso estudado.

Novos produtos renováveis têm sido objeto de estudos de ACV para verificar sua vantagem ambiental em relação a produtos de origem fóssil. Além disso, a metodologia de ACV tem sido empregada em certificações que atestam a IC de um determinado produto. No Brasil, esse tipo de certificação já é realidade no contexto da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio, Lei nº 13.576/2017), que emprega ACV para determinar a IC de cada biocombustível e, a partir da IC, determinar a quantidade de Créditos de Descarbonização (CBIO) a que cada produtor tem direito. A comercialização de CBIOs já é uma realidade no Brasil desde 2020, gerando receita adicional para os produtores de biocombustíveis. Sobre a escassez hídrica e os índices de Uso de água, alguns *Frameworks* internacionais, como o *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation* (CORSIA), acabaram de aprovar a aplicação do AWARE como critério para a avaliação de sustentabilidade e elegibilidade para a produção de biocombustíveis para o setor de aviação civil.

Os avanços para a produção em escala de produtos de baixo carbono são uma realidade no Brasil e no mundo. Dentre esses produtos, destaca-se o hidrogênio verde, que pode ser obtido por eletrólise da água, que converte eletricidade, gerada por fontes renováveis como solar e eólica, em hidrogênio. Outro produto que merece destaque são

os Combustíveis Sustentáveis para Aviação (SAF). Estes por sua vez, podem ser derivados de biomassa (biocombustíveis) ou produzidos por síntese química a partir de eletricidade e CO₂ (eletrocombustíveis). Em ambos os processos, o hidrogênio produzido por eletrólise desempenha um papel fundamental. Além disso, a posição de liderança do Brasil na produção de etanol abre portas para novas oportunidades. Estas incluem a transformação e a valorização da lignina residual, um subproduto da produção de etanol celulósico, e a captura do CO₂ resultante da fermentação alcoólica. Tendo por base esses cenários e oportunidades, o projeto propõe os seguintes objetivos.

5.2 Objetivo geral

O objetivo geral do projeto é a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) de novos produtos renováveis que estão ganhando escala de produção no Brasil e no mundo. As análises devem buscar a harmonização da metodologia para diferentes produtos de modo permitir uma comparação justa entre seus atributos ambientais.

5.3 Objetivo Específico

5.3.1 Hidrogênio de baixo carbono

Avaliar a produção de hidrogênio eletrolítico obtido a partir de cenários de suprimento de eletricidade utilizando o Sistema Interligado Nacional para compensar as variações temporais na geração eólica e solar fotovoltaica. Quantificar impactos na rede elétrica advindos da variabilidade temporal da geração elétrica.

5.3.2 Combustíveis Sustentáveis para aviação (SAF)

Harmonizar cenários tecnológicos e a metodologia de avaliação de ciclo de vida para biocombustíveis de aviação obtidos pelas rotas HEFA (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids) e ATJ (Alcohol-to-Jet) e eletrocombustíveis obtidos a partir de hidrogênio eletrolítico.

5.3.3 Lignina associada à bioconversão de carboidratos

Avaliar rotas de conversão de lignina associada à bioconversão de carboidratos, considerando produção de biocarvão, bio-óleo e biogás. Avaliar substitutos da lignina como fonte de energia da biorrefinaria.

5.3.4 Etanol com captura, uso e armazenamento de CO₂

Avaliar captura do CO₂ proveniente de dornas de fermentação em destilarias de etanol, com transporte do CO₂ por dutos e sequestro geológico, ou uso do CO₂ como insumo de novos processos. Estimar intensidade de carbono do etanol produzido com armazenagem de CO₂. Propor metodologias para avaliação de produtos que usam CO₂ de fermentação como insumo.

5.3.5 Índices de Uso de água e escassez hídrica

Obter e avaliar os índices de Uso de água e escassez hídrica utilizando as métricas propostas em AWARE. Estimar os impactos em *midpoint* em áreas promissoras para a produção de SAF.