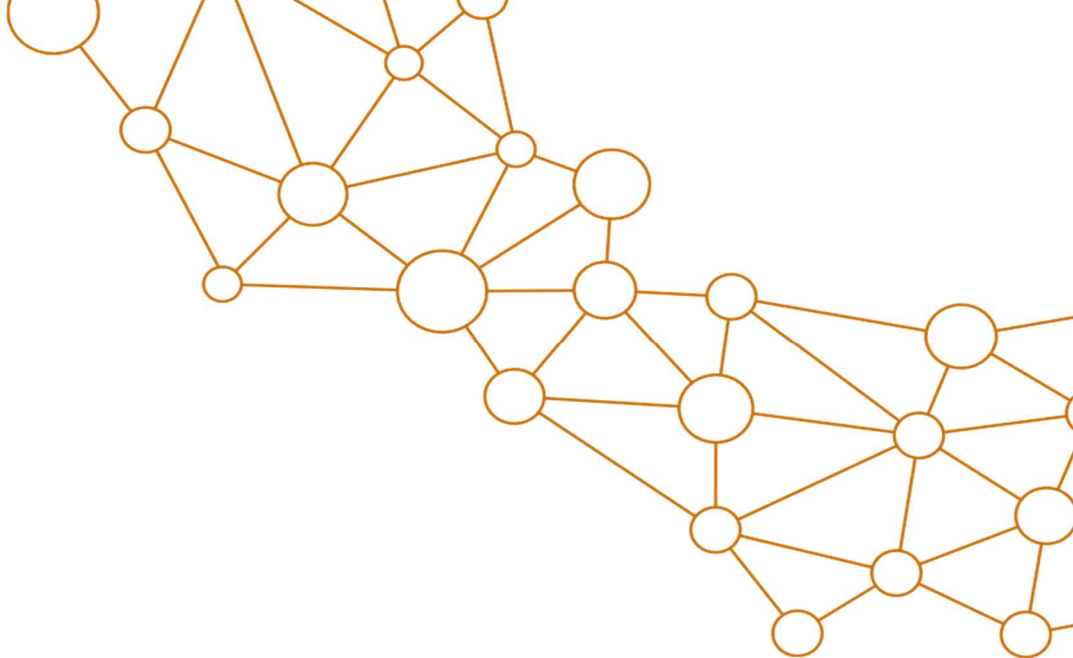




CLASSIFICAÇÃO – RESÍDUOS NO ÂMBITO DO RENOVABIO: Árvore de Decisão

AGOSTO 2025

CLASSIFICAÇÃO – RESÍDUOS NO ÂMBITO DA RENOVABIO: Árvore de Decisão

EQUIPE DE SUPERVISÃO EMBRAPA

Nilza Patrícia Ramos
Marília Ieda da Silveira Folegatti
Anna Leticia M T Pighinelli

EQUIPE i17

Alessandro Sanches Pereira
Vanice Nakano
Karina Guedes Cubas Amaral
Camila Ester Hollas
Leidiane Ferronato Mariani

EQUIPE ANP

Maria Auxiliadora de Arruda Nobre;
Joana Borges da Rosa;
Cristiane Mascarenhas da Silva Sampaio

Avisos e Orientações:

O Instituto 17, em parceria com a Embrapa Meio Ambiente, apresenta uma proposta para a definição de resíduos no contexto do RenovaBio. Este relatório constitui os resultados preliminares do estudo conduzido pelo Instituto 17, sob a supervisão técnica da Embrapa Meio Ambiente, e está sujeito a atualizações e revisões.

A decisão final sobre o conteúdo a ser publicado é uma responsabilidade conjunta da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e da Embrapa Meio Ambiente. Assim, torna-se imprescindível a realização de uma revisão rigorosa e criteriosa do material por ambas as instituições antes de sua publicação efetiva.

Todas as indicações, dados e resultados deste estudo foram compilados e cuidadosamente revisados pelos autores. Nem o Instituto 17 nem os autores podem ser responsabilizados por qualquer reivindicação, perda ou prejuízo direto ou indireto resultante do uso ou confiança depositada sobre as informações contidas neste estudo, ou diretamente resultante de eventuais erros, imprecisões ou omissões de informações nele presentes.

Este Documento deve ser lido de forma complementar à Nota Técnica – Resíduos no Âmbito do RenovaBio (agosto/2025), a qual estabelece os procedimentos de aplicação prática.

Agosto/2025.

Sumário

1. Glossário de Termos	4
2. INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO	9
3. TAXONOMIA PARA CLASSIFICAÇÃO DE MATÉRIA-PRIMA.....	10
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	16
5. REFERÊNCIAS	19

1. Glossário de Termos

Consulta específica

Procedimento de análise para materiais cuja contribuição econômica esteja na faixa intermediária (7–13%). Envolve a consulta a representantes do setor produtivo e a agências reguladoras, a fim de chegar a um consenso sobre a classificação adequada do material.

Contribuição econômica relativa

Indicador que expressa a participação percentual do valor econômico de um material avaliado em relação ao valor econômico total dos produtos principais do sistema produtivo, considerando uma unidade funcional (ex.: por tonelada de matéria-prima processada). O cálculo da CER permite avaliar a importância econômica relativa de um material dentro do sistema produtivo, ponderando sua quantidade (produção) e seu valor de mercado (preço) em relação aos produtos principais. Intervalos de referência adotados:

- **>13%:** Coproduto
- **7–13%:** Zona de avaliação técnica e regulatória (pode ser subproduto ou coproduto)
- **<7%:** Subproduto

É expressa pela equação:

$$CER = \left(\frac{P_m \cdot V_m}{\sum (P_i \cdot V_i)} \right) \times 100$$

Onde:

- CER = Contribuição econômica relativa do material avaliado (%);
- P_m = Produção do material avaliado por unidade funcional (ex: kg/t de matéria-prima);
- V_m = Valor unitário do material avaliado (ex: R\$/kg);
- $P_i \cdot V_i$ = Valor econômico ponderado de cada produto principal i ;
- $\sum (P_i \cdot V_i)$ = Soma dos valores econômicos de todos os produtos principais, também ponderados por sua produção.

Coproduto

Material gerado juntamente com o(s) produto(s) principal(is), de forma intencional ou inevitável, com valor econômico relevante. Caracteriza-se por representar mais de 13% da contribuição econômica relativa. Sua oferta pode ser elástica ou inelástica, e geralmente possui mercado estabelecido, podendo influenciar decisões de projeto e de operação do processo produtivo.

Custo líquido de descarte

Despesa associada à gestão, transporte, armazenamento temporário e disposição final ambientalmente adequada de um material que não possui valor econômico para o produtor. Este custo é considerado na árvore de decisão como indicativo de que o material é um resíduo, uma vez que não gera receita e impõe encargos financeiros ao gerador.

Elasticidade

Capacidade de ajuste da produção de um material em resposta às variações de preço ou demanda. Materiais com oferta elástica têm sua produção diretamente ajustada pela demanda de mercado (ex.: commodities agrícolas). Materiais com oferta inelástica são gerados independentemente da demanda, tipicamente subprodutos ou resíduos.

Fim de vida útil

Estado em que um material já não possui função técnica, econômica ou prática no uso para o qual foi originalmente destinado, sendo tecnicamente inviável, inadequado ou antieconômico seu reaproveitamento na função original. No contexto da árvore de decisão, caracteriza materiais cuja única destinação possível é a valorização energética ou disposição final.

Função intencional vs. função inevitável

Diferenciação entre produtos gerados como parte planejada do processo (intencional) e aqueles resultantes de limitações tecnológicas ou físico-químicas (inevitável). Relevante para decisões de design e classificação de materiais.

Hierarquia de valorização de resíduos

Princípio que orienta a gestão de resíduos priorizando prevenção, reutilização, reciclagem, recuperação energética e, por fim, disposição final. Ajuda a posicionar estrategicamente os materiais no sistema de produção.

Limite de materialidade econômica

Refere-se aos valores percentuais adotados para diferenciar materiais no sistema produtivo, sendo $\geq 13\%$ o limite para classificação como coproduto e $< 7\%$ como subproduto. A faixa intermediária (7–13%) exige consulta técnica e regulatória.

Material secundário

Qualquer material gerado além do(s) produto(s) primário(s). Inclui subprodutos e resíduos. A classificação depende de sua contribuição econômica e do valor monetizável.

Mercado estabelecido

Condição na qual o material é regularmente comercializado, possui preço de mercado identificável e transações economicamente rastreáveis. A existência de mercado é critério determinante na árvore de decisão para diferenciar resíduos de subprodutos e coprodutos.

Parcela significativa

Expressão utilizada para indicar que um material representa uma fração relevante do valor econômico ou do volume total do sistema de produção. No contexto do RenovaBio, considera-se parcela significativa quando um material representa mais de 13% da contribuição econômica relativa em relação ao valor dos produtos principais no sistema de produção.

Produto primário

O termo produto primário refere-se ao conjunto de fluxos economicamente relevantes gerados intencionalmente pelo processo, incluindo o(s) produto(s) principal(is) (foco da otimização do sistema e que, somados em ordem decrescente de valor, representam mais de 80% do valor econômico total do sistema de produto) quanto os coprodutos cuja representatividade econômica ultrapassa o limite definido (ex.: 13% do valor total). Ambos participam da alocação de carga ambiental e da contabilização da receita do sistema.

Produto secundário

Material secundário é aquele que não compõe o grupo de produtos primários do sistema de produção, ou seja, não representa fluxos economicamente relevantes (abaixo do limite de significância definido, como 13%) ou não é gerado com intencionalidade produtiva significativa. Inclui os subprodutos (materiais com valor econômico limitado e oferta inelástica) e os resíduos, que possuem pouco ou nenhum valor econômico e cuja destinação final é o descarte.

Produto principal

O(s) produto(s) principal(is) são aqueles deliberadamente gerados com finalidade econômica, que possuem valor de mercado significativo, oferta elástica (isto é, sua produção varia conforme o preço) e são o foco da otimização do processo produtivo. Correspondem aos fluxos de maior relevância

6

econômica, cuja soma, em ordem decrescente de valor, representa mais de 80% do valor total gerado pelo sistema de produto.

Receita econômica

É o ingresso monetário obtido por uma pessoa, empresa ou instituição pública como resultado da venda de bens, da prestação de serviços ou de outras atividades geradoras de valor, dentro de um período determinado. A receita corresponde ao valor monetário que o fluxo gera (preço × quantidade) por unidade funcional do sistema.

Recuperação de valor

Processo de reintrodução de materiais no ciclo produtivo, por meio de reaproveitamento, reciclagem ou outras formas de valorização econômica e/ou energética.

Resíduo

Material sem valor econômico ou com valor tão baixo que não justifica sua recuperação. Pode representar um custo adicional para descarte ou tratamento. É gerado sem intenção e muitas vezes está no fim de sua vida útil. Mesmo que tecnicamente reciclável ou reaproveitável, pode ser considerado resíduo se não houver viabilidade econômica ou regulatória para sua valorização.

Rejeito

Material sem valor econômico e cuja oferta é inelástica. Destina-se, predominantemente, à disposição final ambientalmente adequada, não tendo aproveitamento econômico ou energético viável no contexto da produção de biocombustíveis. Alinha-se ao conceito de “waste” na CORSIA e à definição da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010).

Subproduto

Produto secundário resultante de um processo de produção, sem que tenha sido o objetivo principal do sistema. Tem algum valor monetizável, mas geralmente representa uma fração menor (menos de 13% da contribuição econômica em relação ao produto principal) em valor. Pode ser considerado subproduto caso:

- Contribua com menos de 7% da contribuição econômica relativa em relação ao valor dos produtos principais, com base na unidade funcional do sistema de produto, e apresente valor econômico mensurável;

- Ou esteja na faixa entre 7% e 13%, mas, após consulta ao setor e às agências reguladoras, houver consenso para essa classificação.

Importante: o fato de um material ter valor monetizável não implica, necessariamente, que exista um mercado estabelecido para sua comercialização. Em muitos casos, o valor pode depender de condições locais, escala de produção ou incentivos regulatórios.

Substrato

O que resta após uma transformação, que pode servir de matéria-prima orgânica (fonte de carbono e energia) para conversão em biocombustível.

Sistema de produção

Conjunto de operações e processos destinados à transformação de matérias-primas em produtos, podendo gerar produtos principais, coprodutos, subprodutos ou resíduos.

Unidade funcional

Quantidade de referência utilizada para padronizar os cálculos de produção, impactos ambientais e valor econômico em sistemas de produção. No contexto deste documento, refere-se geralmente a uma tonelada de matéria-prima processada, sendo a base para os cálculos da Contribuição Econômica Relativa (CER) e outras análises.

Valor monetizável

Capacidade de um material ser comercializado ou gerar receita. Um material com valor monetizável pode ser enquadrado como subproduto ou coproduto, conforme sua contribuição econômica relativa.

Volume total do sistema

Quantidade física total gerada em um sistema de produção, abrangendo o(s) produto(s) principal(is), coprodutos, subprodutos e resíduos. Representa a soma de todas as saídas materiais expressas em unidades de massa ou volume por unidade funcional do sistema.

2. INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO

A crescente adoção de biocombustíveis tem desempenhado um papel crucial na transição para fontes de energia mais sustentáveis, alinhadas com as metas globais de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e descarbonização dos setores energéticos (IEA, 2024). No Brasil, a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), instituída pela Lei 13.576/2017 (BRASIL, 2017), estabelece uma abordagem focada na melhoria da eficiência energética e na redução das emissões de GEE, por meio da adoção de biocombustíveis com baixas intensidades de carbono. O sucesso dessa política está diretamente relacionado à classificação correta das matérias-primas utilizadas na produção desses biocombustíveis, uma vez que as características dessas matérias influenciam diretamente os cálculos de intensidade de carbono (IC) e, conseqüentemente, a elegibilidade para incentivos regulatórios.

No contexto da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), a classificação das matérias-primas como produtos primários, coprodutos, subprodutos ou resíduos é essencial para a atribuição adequada das emissões de carbono aos biocombustíveis. No entanto, a falta de um consenso claro e de metodologias padronizadas para a classificação dessas matérias-primas tem gerado inconsistências na aplicação das políticas de descarbonização e dificultado a comparação de impactos ambientais em todo o mundo (RO; ZHANG; KENDALL, 2023). Embora normativas internacionais, como as diretrizes RED II (UE 2018/2001, 2023) e RED III (UE 2023/2413, 2023), da União Europeia, e regulamentações como o Padrão de Combustível de Baixo Carbono da Califórnia (LCFS) (*Low Carbon Fuel Standard Regulation* - LCFS, 2020), o regulamento Clean Fuel Regulations - SOR/2022-140 do Canadá (GOVERNMENT OF CANADA, 2024), utilizem critérios econômicos e funcionais para distinguir entre categorias de matérias-primas para biocombustíveis, essas abordagens ainda carecem de uma classificação clara e uma taxonomia bem definida.

A Resolução ANP nº 758/2018 (BRASIL, 2018) estabelece critérios importantes para a certificação de biocombustíveis no Brasil, incluindo uma lista de substratos reconhecidos como resíduos passíveis de utilização na produção de biocombustíveis. Essa regulamentação abrange uma variedade de materiais, como resíduos de culturas agrícolas, dejetos animais e resíduos industriais, e tem como objetivo garantir que os biocombustíveis produzidos no Brasil atendam aos padrões de eficiência energética e descarbonização estabelecidos pela política do RenovaBio. Contudo, a regulamentação atual não apresenta uma classificação clara nem uma taxonomia definida para orientar a inclusão de novas matérias-primas, especialmente aquelas utilizadas em rotas emergentes de biocombustíveis, com potencial para reduzir significativamente a intensidade de carbono. A revisão e ampliação desses critérios são necessárias para acompanhar os avanços tecnológicos e as novas práticas industriais, promovendo uma classificação mais abrangente e eficiente das matérias-primas.

Este documento visa propor uma metodologia de classificação de matérias-primas para a produção de biocombustíveis, com o objetivo de oferecer uma abordagem mais precisa e consistente para a alocação de fluxos ambientais, alinhando-se às diretrizes do RenovaBio e

às melhores práticas internacionais. Ao fornecer uma taxonomia clara e uma árvore de decisão para a classificação de matérias-primas, busca-se contribuir para o desenvolvimento de um sistema mais inclusivo e eficiente, promovendo uma transição mais eficaz para uma matriz energética de baixo carbono no Brasil.

3. TAXONOMIA PARA CLASSIFICAÇÃO DE MATÉRIA-PRIMA

A taxonomia para a classificação de matérias-primas desempenha um papel fundamental na organização e sistematização de insumos destinados à produção de biocombustíveis. Segundo o ICAO (2023) as matérias primas podem ser classificadas em diferentes categorias com base em suas características econômicas e de oferta. **Produtos principais e coprodutos** são os principais produtos de um processo produtivo, com finalidade econômica e valor de mercado relevante. Os produtos principais são o foco da otimização do sistema e costumam ter oferta elástica, ou seja, sua produção varia conforme o preço e demanda. Coprodutos também possuem valor econômico relevante, mas sua oferta pode ser inelástica. **Resíduos** são materiais secundários, com oferta inelástica e sem valor econômico e cuja geração não resulta de uma intenção produtiva. **Subprodutos**, diferentemente, são materiais secundários, inelásticos, que possuem algum valor econômico e uso comercial, embora sua produção não seja o objetivo principal do processo. Neste documento, o termo “*rejeito*” está alinhado à definição de “*waste*” segundo CORSIA (ICAO, 2024) e à Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/210), representando materiais sem valor econômico para o produtor e cuja destinação é a disposição final ambientalmente adequada. O uso do termo “*lixo*” foi evitado por não possuir respaldo técnico em padrões internacionais aplicáveis. A Tabela 1 sintetiza os critérios que diferenciam produtos principais, coprodutos, subprodutos e resíduos no contexto deste documento.

Essa categorização é essencial para orientar o uso eficiente de recursos, a priorização de materiais sustentáveis e o desenvolvimento de novos insumos para biocombustíveis. Nesse contexto, a implementação de uma árvore de decisão potencializa esse processo ao fornecer uma ferramenta lógica para classificar e integrar novas matérias-primas, promovendo padronização e consistência nas práticas industriais. Com uma estrutura clara, a árvore facilita o compartilhamento de informações entre partes interessadas, desde produtores até consumidores, e fortalece a transparência nas cadeias produtivas. Isso é fundamental em um cenário de constante evolução do mercado de biocombustíveis, onde o diálogo sobre impactos ambientais e melhores práticas depende de uma classificação unificada e flexível. Para garantir eficácia, a árvore de decisão deve ser clara, simples, flexível e atualizada periodicamente, de modo a incorporar inovações tanto nos processos industriais quanto na origem da matéria-prima.

Tabela 1: Critérios para classificação de matérias-primas no contexto do RenovaBio

Categoria	Critério Principal	Valor Econômico	Elasticidade da Oferta	Destinação Predominante
Produto Principal	Resultado deliberado do processo. Representa mais de 80% do valor total do sistema produtivo.	Alto	Elástica	Mercado principal (alimento, energia, materiais, etc.)
Coproduto	Contribui com valor $\geq$ 13% do produto principal. Possui mercado estabelecido.	Médio	Pode ser elástica ou inelástica	Comercial secundário, insumos industriais, etc.
Subproduto	Valor < 13%, mas possui mercado ou uso econômico. Produção não é intencional.	Baixo	Inelástica	Reciclagem, compostagem, alimentação animal, etc.
Resíduo	Sem valor econômico. Oferta inelástica.	Nulo	Inelástica	Descarte, compostagem, queima, biogás,
Rejeito	Sem valor econômico. Oferta inelástica. Destinação natural é a disposição ambientalmente adequada	Nulo	Inelástica	Disposição final

Fonte: Adaptado de ICAO (2024), Ro et al. (2023), Resolução ANP nº 758/2018, RED II/III e RSB (2020).

As definições adotadas para produtos principais, coprodutos, subprodutos, resíduos e rejeitos estão presentes no Anexo 2 da Nota Técnica – Resíduos no Âmbito do RenovaBio (agosto/2025).

No mapeamento de critérios internacionais de classificação de matérias-primas para biocombustíveis, merece destaque o parâmetro da *Roundtable on Sustainable Biomaterials* (RSB), que utiliza a Razão de Valor Econômico (EVR) para diferenciar resíduos de outros materiais. Pela abordagem da RSB, fluxos cujo EVR seja igual ou inferior a 5% são classificados como resíduos, estabelecendo assim um limiar econômico rígido para caracterização.

Considerando, contudo, as especificidades do RenovaBio e a necessidade de um critério mais sensível às variações de mercado, optou-se por adotar a Contribuição Econômica Relativa (CER) como referência principal. O CER amplia a lógica do EVR ao ponderar não apenas o valor unitário, mas também a quantidade produzida de cada material por unidade funcional, oferecendo uma métrica mais representativa do peso econômico do fluxo dentro do sistema produtivo. Dessa forma, materiais com CER superior a 13% do valor dos produtos principais são classificados como coprodutos, enquanto aqueles com CER inferior a 7% avançam diretamente para a avaliação como subprodutos ou resíduos, a depender dos demais critérios da árvore de decisão (como intencionalidade produtiva, elasticidade da oferta e existência de mercado estabelecido).

Quando a CER se encontra na faixa de 7% a 13%, caracteriza-se uma zona de incerteza econômica, na qual a definição da classificação do material depende de uma avaliação técnica adicional, realizada por meio de consulta às autoridades regulatórias (como a ANP) e aos agentes do setor produtivo. Essa abordagem permite uma análise mais robusta e criteriosa de materiais sujeitos a oscilações de mercado, evitando classificações imprecisas e promovendo maior segurança jurídica e regulatória.

A significância econômica de um fluxo deve ser ponderada pelo sistema produtivo, considerando a quantidade gerada de cada material por unidade funcional (ex.: por tonelada de matéria-prima). Para expressar esse peso relativo, utiliza-se a CER, calculada pela seguinte equação:

$$CER = \left(\frac{P_m \cdot V_m}{\sum (P_i \cdot V_i)} \right) \times 100$$

Onde:

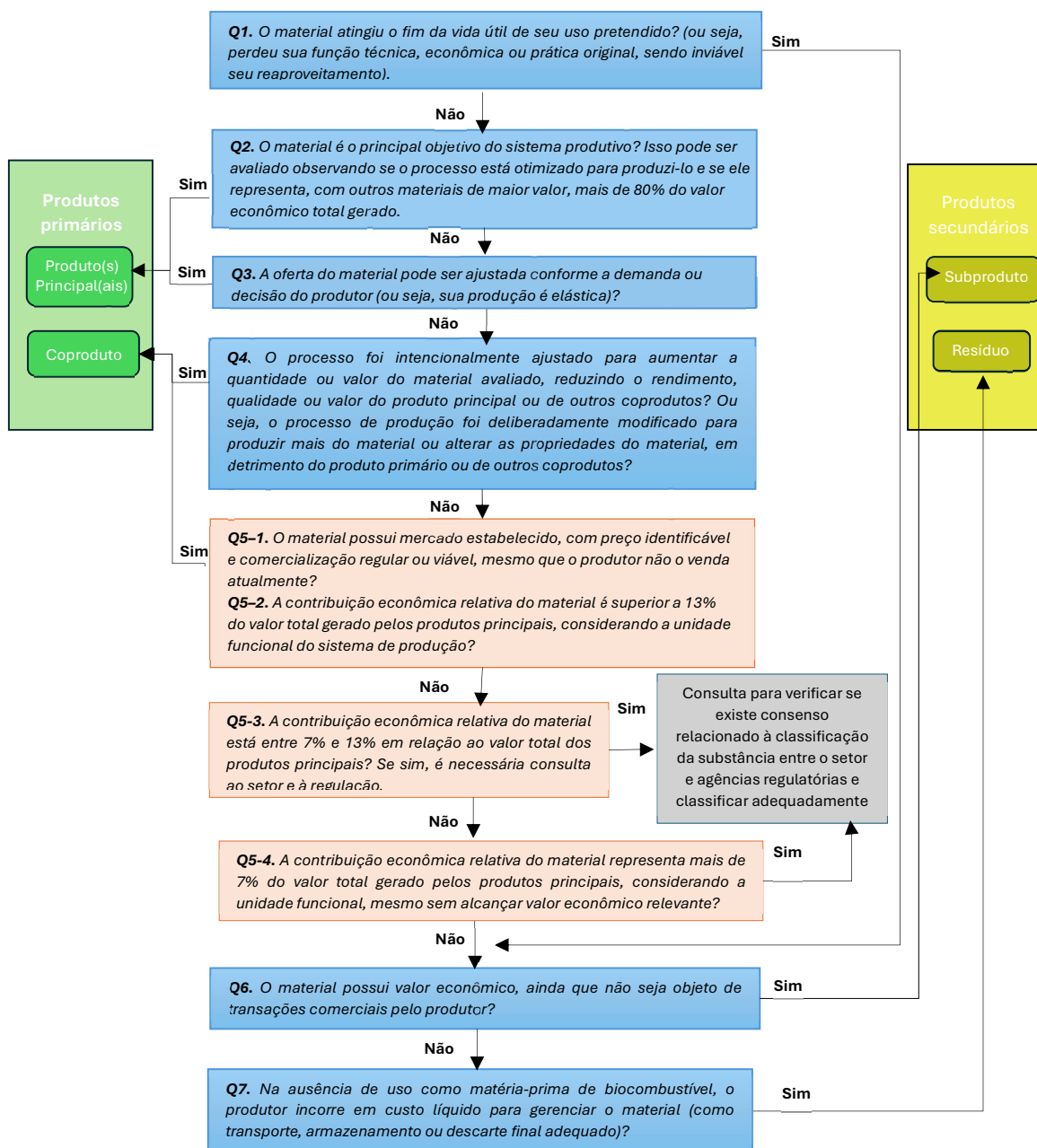
- CER = Contribuição Econômica Relativa é a razão de valor econômico do material avaliado (%);
- P_m = Produção do material avaliado por unidade funcional (ex: kg/t de matéria-prima);
- V_m = Valor unitário do material avaliado (ex: R\$/kg);
- $P_i \cdot V_i$ = Valor econômico ponderado de cada produto principal i ;
- $\sum (P_i \cdot V_i)$ = Soma dos valores econômicos de todos os produtos principais, também ponderados por sua produção.

A aplicação do CER permite avaliar a importância econômica relativa de cada material no sistema produtivo, ponderando tanto sua quantidade (P_m) quanto seu preço de mercado (V_m), em relação ao conjunto dos produtos principais. Esse critério segue alinhado às abordagens internacionais (RO et al., 2023; ICAO, 2024), bem como às práticas adotadas pela União Europeia na RED III e pelos programas LCFS e CORSIA. A estrutura proposta incorpora refinamentos da metodologia do CORSIA, especialmente quanto à definição de produto principal com base na representatividade econômica dentro do sistema produtivo, incluindo uma faixa de tolerância de $\pm 3\%$ em torno do valor de 10%. Assim, materiais que se enquadram entre 7% e 13% permanecem em zona crítica, exigindo avaliação complementar e posicionamento das partes interessadas.

Para viabilizar a aplicação prática da árvore de decisão, os produtores devem apresentar informações específicas sobre seus processos produtivos, incluindo: fluxogramas de massa que identifiquem entradas e saídas, séries históricas de preços de mercado, usos predominantes e possíveis aplicações alternativas dos materiais. Esses requisitos estão descritos no Anexo 3 da Nota Técnica – Resíduos no Âmbito do RenovaBio (agosto/2025) e devem ser considerados como parte integrante do processo de classificação.

Diante desses critérios, no contexto do RenovaBio optou-se por adotar uma árvore de decisão fundamentada na proposta de RO et al. (2023), complementada por aspectos da metodologia do *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation* (CORSIA) (**Figura 1**). A árvore apresentada por RO et al. (2023) é estruturada em sete etapas, incluindo duas perguntas distintas na quinta etapa, que introduzem um limite econômico para distinguir materiais como produtos primários, coprodutos, subprodutos ou resíduos. No caso da árvore proposta para o Renovabio, sugeriu-se o uso da faixa de porcentagem de 7-13% para a avaliação da contribuição econômica do material. Quando esta contribuição for maior que 13%, os materiais são caracterizados como coproduto e materiais com contribuição abaixo de 7% seguem para as próximas perguntas, podendo ser caracterizados como subproduto (reciclável) ou resíduo. Os materiais enquadrados na faixa entre 7 e 13% são submetidos à consulta para verificar se existe consenso relacionado à classificação da substância entre o setor e agências regulatórias.

Figura 1: Taxonomia para classificação das matérias primas para biocombustíveis adaptado de RO et al. (2023) e CORSIA.



O design da árvore de decisão tem início com a verificação de se o material atingiu o fim de sua vida útil e já não possui outra aplicação viável além da conversão energética, o que o caracterizaria como um produto secundário (Q1). Caso ainda apresente valor funcional, verifica-se se ele é o objetivo principal do sistema de produção (Q2). Essa análise considera se o processo está otimizado para sua geração e se o material está entre os fluxos com maior valor econômico que, somados em ordem decrescente, correspondem a mais de 80% do valor total do sistema — critério pelo qual pode ser classificado como produto(s) principal(is). Se não atender a esses critérios, avalia-se se o fornecimento é elástico (Q3), ou seja, se sua oferta responde à demanda de mercado. Em caso negativo, investiga-se se o processo produtivo foi deliberadamente modificado para favorecer sua geração ou alterar suas propriedades (Q4). Caso não haja intencionalidade, avançam-se etapas adicionais que avaliam se o material possui mercado estabelecido ou preço identificável (Q5-1), se representa uma parcela significativa do valor total (>13%) em relação ao produto(s) principal(is) (Q5-2), ou se sua representatividade está entre 7% e 13% (Q5-3) — intervalo que exige consulta ao setor e às autoridades reguladoras para uma classificação adequada. Caso o valor seja inferior a 7% (Q5-4), a avaliação segue para verificar se o material tem valor monetizável para o produtor (Q6) ou se, na ausência de uso como matéria-prima para biocombustíveis, acarreta custos líquidos de descarte ou manejo (Q7). Com base nas respostas a essas etapas, o material pode ser classificado como produto principal, coproduto, subproduto ou resíduo, conforme os critérios de intencionalidade, valor de mercado e função dentro do sistema de produção.

Com a possibilidade de distinção entre resíduos e subprodutos por meio da aplicação da árvore de decisão, torna-se viável aplicar os conceitos utilizados na base de dados ecoinvent para a distribuição da carga ambiental ao longo do ciclo de vida. Segundo essa abordagem, quando um material é classificado como subproduto (ou reciclável), ele é considerado isento da carga ambiental associada aos processos que antecedem sua geração, sendo os impactos atribuídos apenas a partir do momento em que ocorre sua coleta e transporte. Em contrapartida, nos casos em que o material é classificado como resíduo, a carga ambiental do transporte e tratamento é integralmente alocada ao processo que o gerou. Assim, quaisquer fluxos resultantes do tratamento de resíduos — mesmo que tenham valor econômico — são considerados livres de impactos anteriores, passando a contabilizar emissões somente a partir da etapa de conversão para biocombustíveis.

Um aspecto central dessa árvore de decisão é a diferenciação de materiais com base em critérios econômicos claros e objetivos. Na quinta etapa, duas perguntas fundamentais são feitas:

1. **"O material possui um mercado estabelecido ou preços de mercado identificáveis? Ou seja, o produtor pode ou comercializa o material?"**
2. **"O material representa uma parcela significativa do valor total (superior a 13%) de todos os produtos gerados?"**

A primeira pergunta avalia a existência de mercado e a viabilidade de comercialização, enquanto a segunda estabelece um limite econômico para diferenciar materiais de baixo valor

comercial, que, embora tenham mercado, não geram receita significativa, daqueles que contribuem substancialmente para a renda do produtor. Essa distinção é essencial para uma classificação precisa, alinhada às práticas de mercado e aos padrões globais.

A metodologia proposta diferencia materiais com base em critérios como: a existência de mercado ou preços identificáveis, a contribuição econômica significativa (acima de 13% do valor total do sistema), a elasticidade da oferta, o valor para o produtor considerando benefícios não monetários e o impacto da ausência do material em termos de custos adicionais. Essa abordagem, amplamente adotada internacionalmente, aumenta a transparência no processo de classificação de materiais e facilita o alinhamento entre partes interessadas, promovendo boas práticas e fortalecendo a sustentabilidade das cadeias produtivas de biocombustíveis. Cada pergunta foi projetada para capturar aspectos críticos da categorização de materiais. A eficácia da árvore de decisão, no entanto, depende da disponibilidade de dados confiáveis e da objetividade dos critérios, superando limitações como a dependência de informações econômicas detalhadas e possíveis subjetividades. Ainda assim, a ferramenta permanece consolidada e eficaz no cenário global.

Para classificar novas matérias-primas utilizando a árvore de decisão, é essencial apresentar informações específicas, como um estudo detalhado de balanço de massa que inclua todos os produtos e subprodutos gerados no sistema de produção. Além disso, é necessário realizar uma análise econômica abrangente que considere os valores de mercado dos materiais envolvidos, usos predominantes e possíveis aplicações alternativas além da produção de biocombustíveis. Esses dados são fundamentais para decisões precisas e alinhadas às metas de sustentabilidade do RenovaBio.

Importante destacar que a recomendação não altera a classificação dos materiais já incluídos na lista da Resolução ANP nº 758/2018. Esses materiais continuam sendo tratados como resíduos sob os critérios da árvore de decisão. A integração dessa metodologia visa apenas fortalecer a robustez do processo de classificação, sem modificar critérios previamente estabelecidos. A adoção dessa abordagem promove maior uniformidade e credibilidade na classificação de materiais no contexto do RenovaBio, alinhando-se aos padrões internacionais. Para garantir sua relevância em um cenário de mudanças tecnológicas e de mercado, revisões periódicas da metodologia são fundamentais.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A classificação de matérias-primas no contexto dos biocombustíveis evidencia a relevância de instrumentos estruturados, como a árvore de decisão, para assegurar uma categorização precisa e funcional. Essa ferramenta contribui significativamente para diferenciar produtos primários, coprodutos, subprodutos e resíduos, permitindo uma alocação mais adequada das emissões de carbono nos cálculos de ciclo de vida e promovendo maior transparência no atendimento às exigências regulatórias e aos padrões internacionais.

No entanto, a aplicação isolada de uma taxonomia estruturada apresenta limitações, especialmente em sistemas produtivos sujeitos a variações de mercado e características regionais. Produtos primários e coprodutos, têm valor econômico elevado e oferta geralmente elástica, diferem de subprodutos e resíduos, que possuem menor valor econômico e elasticidade de oferta reduzida. Essa classificação exige uma abordagem que considere fatores econômicos, como mercado estabelecido, elasticidade da oferta e valor relativo, além de aspectos ambientais e regulatórios.

Adicionalmente, a natureza dinâmica dos mercados e a variabilidade geográfica e temporal dos materiais reforçam a necessidade de análises contextuais mais abrangentes. Enquanto a árvore de decisão fornece uma base padronizada e robusta para a tomada de decisões, sua eficácia depende da integração com avaliações econômicas e ambientais específicas, bem como da disponibilidade de dados confiáveis.

Assim, recomenda-se que a árvore de decisão seja utilizada como um ponto de partida, complementada por estudos detalhados que incorporem variáveis econômicas, tecnológicas e ambientais. A adoção de uma abordagem integrada, aliada a revisões periódicas da metodologia, permitirá ajustes necessários para refletir avanços tecnológicos e mudanças de mercado. Essa prática garantirá maior consistência na classificação, eficiência no uso de biocombustíveis e alinhamento com as metas de uma matriz energética sustentável e de baixo carbono.

A aplicação prática da árvore de decisão já demonstra implicações relevantes. Fluxos como vinhaça, resíduos sólidos urbanos (RSU), biogás de aterro, dejetos animais, torta de filtro e bagaço — tradicionalmente classificados como subprodutos — passam a ser enquadrados como resíduos. Essa reclassificação ajusta a alocação das emissões de carbono no ciclo de vida, retirando dos biocombustíveis a carga indevida do tratamento e transporte desses materiais. Ao transferir essa responsabilidade para o gerador original do resíduo, a metodologia reforça o princípio do poluidor-pagador e contribui diretamente para a redução da IC dos biocombustíveis produzidos no Brasil, fortalecendo a integridade ambiental dos CBIOS.

Para ilustrar os resultados da aplicação da árvore de decisão no contexto da RenovaCalc, apresenta-se a Tabela 2, adaptada do estudo “Mapeamento das rotas de substratos na RenovaCalc: situação atual e após aplicação de árvores de decisão”. A tabela sintetiza a reclassificação observada por sistema de produto, permitindo visualizar de forma comparativa os efeitos da metodologia sobre a categorização dos materiais.

Tabela 2: Resumo dos resultados de classificação dos materiais com base na árvore de decisão

Produtos principais	Coprodutos	Subprodutos	Resíduos
Óleo de soja Concentrado proteico de soja	Farelo de soja Lecitina da soja Tocoferol	Casca de soja Melaço de soja Ácidos graxos livres	
Óleo de palma Torta de palmiste	Óleo de palmiste		
Etanol Açúcar	Melaço de cana de açúcar Energia elétrica comercializada Aguardente de cana Açúcar mascavo Rapadura	Bagaço de cana Palha de cana comercializada	Torta de filtro Vinhaça
Óleo de milho Glúten de milho (CGM) Amido de milho Etanol	Glúten feed (CGF) Torta de gérmen de milho Fibra de milho isolada (fora do CGF)		
Etanol WDG/DDG/ DDGs	Óleo técnico de milho		
Pluma de algodão Óleo de algodão Farelo de algodão	Caroço do algodão		
Outros óleos vegetais		Outros óleos residuais Óleo de fritura usado	
Bioquerosene Diesel verde	Gasolina alternativa Nafta Gás combustível alternativo		
Biodiesel	Glicerina purificada	Glicerina Bruta Ácido graxo remanescente da produção de biodiesel Oleína remanescente da produção de biodiesel	
Biogás comercializado Biometano comercializado	Energia elétrica comercializada		
Cavaco de madeira Lenha		Restos florestais processados	Restos florestais
		Gordura animal bruta (não renderizada) Sebo animal (renderizado)	
			Dejetos animais Resíduos sólidos urbanos Biogás de aterro

5. REFERÊNCIAS

- Brasil, 2017. Lei nº 13576, de 26 de dezembro de 2017. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Diário Of. da União 20, 63–71.
- BRASIL, 2018. Resolução ANP Nº 758, de 23 de novembro de 2018. Diário Of. da União 1–22.
- Diretiva (UE) 2018/2001, 2023. Diretiva (UE), DIRETIVA (UE) 2018/2001 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 11 de dezembro de 2018 Renováveis, relativa à promoção da utilização de energia de fontes renováveis.
- Diretiva (UE) 2023/2413, 2023. Diretiva (UE)2023/2413 do Parlamento Europeu e do Conselho de de 18 de outubro de 2023 que altera a Diretiva (UE) 2018/2001, o Regulamento (UE) 2018/1999 e a Diretiva 98/70/CE no que respeita à promoção de energia de fontes renováveis e que revoga a Diret, Jornal Oficial da União Europeia, 20.9.2023.
- Government of Canada, 2024. Clean fuel regulations. Canada Gaz. 154.
- ICAO, 2023. SAF feedstocks. https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/SAF_Feedstocks.aspx.
- IEA, 2024. Carbon Accounting for Sustainable Biofuels.
- Low Carbon Fuel Standard Regulation, 2020. , California Code of Regulations (CCR).
- Ro, J.W., Zhang, Y., Kendall, A., 2023. Developing guidelines for waste designation of biofuel feedstocks in carbon footprints and life cycle assessment. Sustain. Prod. Consum. 37, 320–330. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.03.009>