

AMBIÁLCOOL

Responsáveis pelo projeto
Eng. Gabriel Estevam Domingos

Empresa
Ambipar

RESUMO

Resíduos com teores significativos de açúcar têm elevado volume e são destinados, em sua maioria, a aterros sanitários — no caso dos sólidos — ou ao tratamento de efluentes — no caso dos resíduos líquidos. Essas destinações também geram elevados custos de transporte e taxas de disposição cobradas pelas empresas que administram os aterros, estando na contramão da sustentabilidade e da legislação da Política Nacional de Resíduos Sólidos brasileira — Lei nº 12.305, de agosto de 2010 —, que prevê a obrigatoriedade, por parte dos geradores de resíduos, de reciclagem, reutilização e, principalmente, criação de mecanismos que fomentem negócios, emprego e renda mediante valorização dos resíduos sólidos.

Estudos mostram que quimicamente qualquer material com quantidade considerável de carboidratos (açúcares) ou amido podem ser transformados em etanol. Além disso, com o atual aumento nos preços dos combustíveis devido à Guerra no Oriente Médio, a produção de um etanol feito com matéria-prima residual, nesse sentido, o projeto favorece uma lógica produtiva mais sustentável e resiliente, ao invés do consumo exclusivo de matérias-primas virgens, trazendo benefícios financeiros, ambientais e sociais, e um novo produto competitivo ao mercado, no qual possui eficácia e desempenho igual ou até mesmo melhor em alguns parâmetros, comparado ao etanol comum produzido pela cana-de-açúcar. Pode-se, assim, obter um produto seguro, versátil, com custos reduzidos e que pode oferecer ao público consumidor uma opção adicional no mercado de alto valor agregado com baixo custo, sustentável e apresentando a reintrodução de matéria-prima, promovendo, portanto, o conceito da economia circular. Ressalta-se que o desenvolvimento do projeto foi acompanhado por rigoroso controle de qualidade, rastreabilidade operacional e atenção contínua às exigências técnicas, regulatórias e fiscalizatórias aplicáveis ao processo, ao produto e sua utilização. Além disso, o projeto é resultado de um trabalho árduo e minucioso de pesquisa, desenvolvimento e inovação, construído ao longo de anos, com evolução progressiva desde testes laboratoriais até validações em contexto real de operação.

APLICABILIDADE

Este estudo é aplicado para valorização de resíduos sólidos ou líquidos gerados principalmente em indústrias alimentícias e que possuem alta quantidade de açúcar, no qual são fermentados para geração de álcool etílico que pode ser utilizado para diversos fins como no **Setor de Biocombustíveis**: produção de etanol sustentável para abastecimento de veículos; **Indústria de domissanitários**: produção de álcool multiuso, aromatizantes e utilização do álcool para desinfecção e limpeza; **Indústria alimentícia**: produção de essência aromática e extratos vegetais, produção de bebidas, compotas e licores, produção de vodcas, gins, steinheger, conhaques, etc.; **Indústria de perfumaria e cosméticos**: produção de essência aromática e extratos, produção de perfumes, água de colônia, desodorantes, etc., produção de cosméticos. **Farmacologia**: produção de princípios ativos e extratos fitoterápicos, farmácia de manipulação, assepsia.

Alguns exemplos de resíduos com potencial para transformação em álcool são: varrição portuária — limpeza de silos, vagões e armazéns —, sucos de frutas naturais, efluentes, balas e

doces vencidos, sobras de refrigerantes e alimentos vencidos de supermercados — pães, bolos, salgadinhos, arroz, macarrão e bolachas, entre outros.

OBJETIVO

O objetivo do projeto foi desenvolver um processo de valorização de resíduos das indústrias alimentícias com alto teor de amido e açúcar, para a produção de álcool combustível (etanol) e álcool de limpeza, gerando receita, inovação e sustentabilidade.

1. Desenvolvimento do tema

1.1. Revisão Bibliográfica

A poluição ambiental e a limitação da matéria-prima de fontes fósseis são preocupações para a política mundial. Sendo assim, surgiram fortes motivações para a utilização do etanol como combustível renovável, devido a uma de suas principais matérias-primas ser a cana-de-açúcar, recurso abundante no Brasil. Contudo, outras matérias-primas devem ser consideradas nessa produção, de modo a possibilitar a produção em regiões sem vocação agrícola e a inclusão de pequenos produtores (MACHADO & ABREU, 2006 [1]).

A produção de xarope de glicose é um processo conhecido mundialmente. Esse xarope tem diversas aplicações no mercado, sendo uma delas ser substrato para fermentação e conversão em bioetanol. Seu processamento ocorre juntamente com duas enzimas amilase que realizam a transformação em xarope e uma levedura que faz a fermentação em etanol (PAVEZZI, 2006 [2]).

O Programa Nacional do Álcool (Proálcool) surgiu em 1975, época em que os preços do petróleo mais que triplicaram em um período de um ano. Nesse período, a Comissão Nacional do Álcool (Cenal) elencou objetivos básicos como a economia na redução de importação de petróleo, redução da disparidade nacional de renda devido ao alargamento da produção agrícola em diferentes regiões do país, expansão da indústria de bens de capital, entre outros. Além disso, o Proálcool previa a produção de álcool derivado de outros produtos vegetais além da cana-de-açúcar, dando início ao que conhecemos como álcool de cereais (MACHADO & ABREU, 2006 [1]).

O aumento da concentração de CO₂ na atmosfera desde o início da queima de combustíveis fósseis durante a Revolução Industrial e devido ao desmatamento da cobertura vegetal do planeta gerou um pacto de responsabilidade social entre diversos países conhecido como Protocolo de Quioto. Em seu artigo 12, o protocolo relata que os países desenvolvidos e em desenvolvimento que produzem gases danosos ao planeta devem diminuir a emissão de poluentes através do desenvolvimento de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL). Essa redução da emissão de gases é uma responsabilidade social que as empresas vêm buscando e vista no mercado econômico como "redução de emissão de carbono", que se tornou commodities negociadas no mercado conhecidas como crédito de carbono (ALVES *et al.*, 2013 [3]).

Do ponto de vista de combustíveis, o etanol apresenta vantagens ambientais em relação a gasolina devido a ser um recurso renovável e menor poluente, sendo que o CO₂ liberado pela sua combustão foi recém-fixado pelas plantas que eram sua matéria-prima, não havendo contribuição líquida ao aquecimento global. Sendo assim, a produção de etanol tem crescido anualmente, juntamente com a redução dos custos de produção desde a introdução do Proálcool (MACHADO & ABREU, 2006 [1]).

A inovação apresentada de valorização desses resíduos que antes eram destinados a tratamentos dispendiosos, contribui para a diminuição de extração de matérias-primas virgens, prolongando assim, o ciclo de vida desses subprodutos e tornando elegível para a precificação

dessa contribuição da mitigação das mudanças climáticas, ou seja, cumprindo um pré-requisito para possibilidade de validação de obtenção de créditos de carbono comercializados no mercado.

O etanol pode ser obtido de duas formas, sendo uma por síntese química e outra por fermentação. A síntese química não é realizada por fontes renováveis, sendo que seu processo é realizado através de recursos de petróleo, como o eteno, etino e gases de petróleo e hulha. Enquanto isso, a produção por via fermentativa é a forma de obtenção de etanol mais utilizada no Brasil e na maior parte dos países. Esse processo constitui-se de três etapas: preparo do substrato, fermentação e destilação (MACHADO & ABREU, 2006 [1]). Ambas as formas de produção são de domínio público, contudo o presente processo visa a utilização de resíduos industriais (biscoitos, bolos, sucos, efluentes etc.) na produção do álcool, sendo este livre de odor ou cor presente em sua matéria-prima.

Para o preparo do substrato, trata-se a matéria-prima de modo a se obter açúcares fermentescíveis, sendo que o método mais moderno é por hidrólise enzimática. Nesta etapa, tem-se o pH ajustado entre 4,5 e 6, a solução é cozida a aproximadamente 110°C para redução da contaminação microbiana e, então, é adicionado enzimas amilase para transformação de amido em sacarídeos. As enzimas utilizadas podem ser a α -amilase para transformação do amido em dextrose ou a β -amilase para maltose, porém só 85% do amido é convertido por essas enzimas. Para uma conversão completa adiciona-se a glucoamilase a aproximadamente 60°C que é responsável por realizar a conversão total do amido (MACHADO & ABREU, 2006 [1]).

Na fermentação utiliza-se leveduras com tolerância a altas concentrações de álcool e CO₂, capacidade de fermentação e com crescimento rápido. As cepas mais importantes para essa produção são as *Saccharomyces cerevisiae* e *Saccharomyces carlsbergensis*. Procedimentalmente, é necessário iniciar a fermentação misturando o inóculo de leveduras e mantendo as condições adequadas para o seu crescimento para produção de álcool. O tempo de fermentação varia de acordo com a matéria-prima utilizada, o pH, o microrganismo utilizado, a temperatura e diversos outros fatores, podendo variar de 2 a 5 dias (MACHADO & ABREU, 2006 [1]).

Ao fim da fermentação, obtém-se um mosto fermentado cuja composição é 7% a 10% em volume de álcool, além de outros componentes. O mosto é destinado a destilação de modo a se recuperar o álcool presente em solução. Para isso, utiliza-se um processo de destilação em série, passando por várias colunas até se obter o álcool “puro” com teor próximo a 96% de álcool. Não é possível se obter um teor maior que esse pela destilação, pois a partir desse ponto forma-se um azeótropo entre a água e o álcool, impedindo sua separação por este método (MACHADO & ABREU, 2006 [1]).

Qualquer produto que contenha uma quantidade considerável de carboidratos (açúcares) pode ser processado e transformado em álcool. Contudo, para que seja viável é necessário analisar o volume de produção, rendimento industrial e o custo de fabricação (MACHADO & ABREU, 2006 [1]). O processo a ser descrito consiste na transformação de resíduos industriais com teores significativos de açúcares (balas, bolachas, sucos, refrigerantes etc.) em bioetanol.

O atual contexto de intensificação do conflito geopolítico entre Estados Unidos e Irã reacendeu vulnerabilidades estruturais do sistema energético global, especialmente em razão do fechamento e da interrupção parcial do tráfego no Estreito de Ormuz — corredor estratégico por onde transita aproximadamente 25–30% do petróleo e do gás comercializados mundialmente (NAÇÕES UNIDAS, 2026 [7]; FMI, 2026 [4]). Essa restrição logística elevou significativamente o prêmio de risco associado ao petróleo, resultando em aumentos expressivos nos preços dos combustíveis de origem fóssil e ampliando a volatilidade dos mercados energéticos internacionais (FMI, 2026 [4]; IEEFA, 2026 [5]). Nesse cenário, a literatura científica destaca o etanol combustível como um vetor estratégico de segurança energética, uma vez que sua produção doméstica e seu uso como substituto parcial da gasolina reduzem a dependência de cadeias internacionais de suprimento altamente expostas a choques geopolíticos (URÍA-MARTÍNEZ et al., 2018 [8]; MARKS-BIELSKA et al., 2025 [6]). Estudos de modelagem econômica demonstram que, durante crises de oferta de petróleo, o etanol deixa de atuar apenas como componente de mistura e passa a assumir papel substitutivo relevante, amortecendo o repasse dos aumentos de preços ao consumidor final e mitigando impactos macroeconômicos adversos (URÍA-MARTÍNEZ et al., 2018 [8]). Ademais, análises recentes indicam

que economias com mercados consolidados de biocombustíveis apresentam maior resiliência frente a interrupções no fornecimento fóssil, reforçando o etanol como instrumento não apenas ambiental, mas também geopolítico e econômico diante do atual conflito no Oriente Médio (IEEFA, 2026 [5]).

1.2. Procedimento Experimental

As matérias-primas que podem ser utilizadas são as que possuem grande quantidade de açúcares, como citado anteriormente, exemplificados nas Figuras 1 a 4 a seguir:



Figura 1 – Refugo de balas.



Figura 2 – Sobras de biscoitos e bolachas.



Figura 3 – Sobras de macarrão ou outros alimentos ricos em amido.



Figura 4 – Sobras de chocolates.

Com o desenvolvimento do projeto, outros resíduos industriais sólidos e líquidos foram utilizados, como chocolates, sucos, refrigerantes, arroz, trigo, etc. Esses resíduos possuem alto teor de açúcar ou amido em sua composição, sendo assim possível de utilizá-los para produção do álcool.

O processo de obtenção do álcool etílico compreende as seguintes etapas, sendo que a quantidade necessária de cada matéria-prima varia de acordo com a especificidade (°Brix) de cada matéria-prima e volume utilizado:

1 – Diluição (Figura 5)

- O resíduo com potencial de açúcar ou amido é diluído em água, caso sólido, até se obter um °Brix de no mínimo 15.



Figura 5 - Tanque de diluição.

2 – Ajuste de pH

- O pH da solução é ajustado entre 4 e 6,5 de modo a não prejudicar as enzimas as serem inseridas em seguida;

3 – Cozimento (Figura 6)

- A solução é aquecida de 100 a 110°C sob agitação de 45 a 55 rpm para redução da contaminação microbiana;



Figura 6 - Tanque de cozimento da solução.

4 – Hidrólise enzimática

- A enzima α -amilase é inserida sob agitação de 45 a 55 rpm para que haja quebra das moléculas de amido na solução em sacarose;
- A solução é resfriada até 55 a 65°C para inserção da próxima enzima;
- Insere-se a enzima glucoamilase sob agitação de 45 a 55 rpm, cuja função é quebrar o restante das moléculas de amido que não foram quebradas pela α -amilase.

5 – Fermentação (Figura 7)

- A solução é resfriada até 30 a 40°C para transferência para uma solução fermentativa.
- A solução é inserida em uma solução fermentada com leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*), ureia e antibióticos (Lactrol), a qual permanece por até 72 horas no qual, durante esse processo, o açúcar em solução é transformado em etanol.
- Após a fermentação, a solução é colocada para descansar e resfriar até a morte do fermento.



Figura 7 - Tanque de fermentação.

6 – Destilação (Figura 8)

- A solução é então aquecida em uma coluna de destilação de 100 a 110°C a qual tem-se todos os álcoois saindo pela parte superior da coluna e na parte de baixo temos como subproduto a vinhaça.

- A vinhaça é encaminhada para alimentação bovina, com alto valor nutritivo.

- O produto de topo da coluna é destinado a outras três colunas que fazem a separação do etanol e remoção de demais álcoois produzidos em reações secundárias do processo.



Figura 8 - Torre de destilação.

Na etapa atual do projeto, a planta passou a contar com nova torre de destilação, fortalecendo a estabilidade operacional do sistema e ampliando a robustez do processo de recuperação do etanol.

7—Transporte e Envase

- O álcool 96° GL obtido ao final do processo é destinado a tanques de armazenamento, caminhões de transporte de produtos inflamáveis ou linhas de envase de galões e garrafas plásticas.

A Figura 9 a seguir representa as etapas do processo:

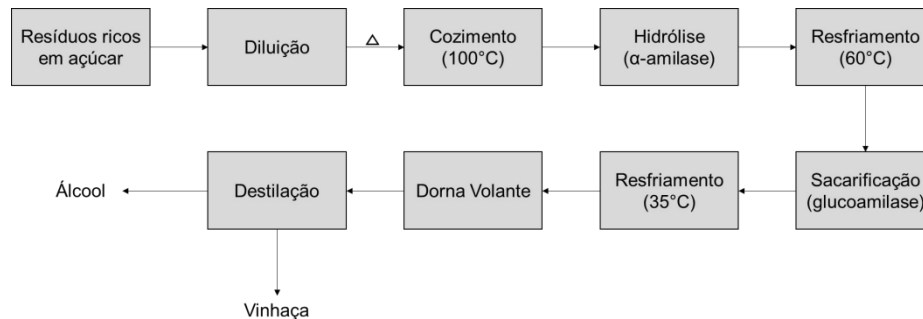


Figura 9 - Processo de fermentação de resíduos para produção de álcool etílico.

1.3. Resultados e Discussão

Produtividade do processo

Os resultados da fermentação a partir de resíduos com elevada quantidade de açúcares foram positivos e confirmam que a eficiência de produção de álcool etílico depende diretamente da concentração de sólidos solúveis — expressa em °Brix — da matéria-prima utilizada. Em correntes residuais com elevado valor de Brix, o processo pode alcançar rendimentos entre 350 a 400 litros de álcool para cada 1 tonelada de matéria-prima processada, o que reforça a viabilidade técnica da rota proposta.

Em termos de produtividade comparativa (Figura 10), considerando resíduos com no mínimo 25° Brix, observou-se produção média aproximada de 350 a 400 litros de etanol por tonelada de matéria-prima, enquanto para matérias-primas comuns no Brasil como o milho, a produtividade média considerada foi de 300 litros por tonelada e, para a cana-de-açúcar, cerca de 80 litros por tonelada. Esses resultados indicam que resíduos açucarados fora de especificação comercial podem apresentar desempenho compatível — e, em alguns cenários, superior — ao de matérias-primas tradicionalmente empregadas na cadeia alcooleira.

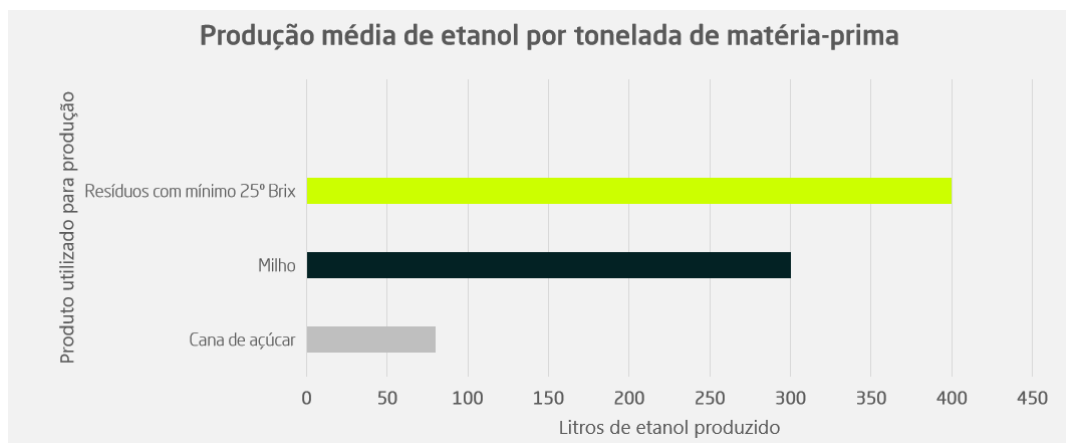


Figura 10 - Produção média de etanol por tonelada de matéria-prima

Ampliação da base de resíduos — Mondelez

Adicionalmente, o projeto ampliou sua base de resíduos gerenciados com a formalização de atendimento à Mondelez – empresa americana do ramo de alimentos - incorporando ao processo exclusivamente produtos fora de especificação ou fora do prazo de validade, com alto teor de açúcar e potencial fermentescível. Essa ampliação reforça a robustez operacional do Ambiálcool e evidencia a capacidade do processo em valorizar diferentes correntes residuais do setor alimentício sem perder o foco em critérios técnicos de desempenho e padronização do substrato.

Considerando os dados consolidados até setembro de 2025, o atendimento à Mondelez totalizou 4.256,36 toneladas de resíduos processados e resultou na produção acumulada de 1.702.544 litros de álcool. Esses números evidenciam capacidade de escala, regularidade operacional e relevância ambiental da solução proposta.

Posto Ambiálcool

Operação do posto e economia gerada

Com a aprovação do Projeto de Lei de Conversão (PLV 27/2021) da Medida Provisória (MP) 1.063/2021, que autoriza a comercialização da unidade produtora (usina) diretamente ao posto de combustível, permitiu que o Centro de Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação da Ambipar pudesse desenvolver um inovador projeto de armazenagem e distribuição do Etanol para a frota interna de carros corporativos por meio do Posto “Ambiálcool”, logomarca ilustrado pela Figura 11. O Posto tem uma capacidade instalada de distribuir 4.000 litros de etanol por semana, seguindo todas as normas de qualidade e segurança. No vídeo a seguir é possível observar detalhadamente o projeto: <https://www.youtube.com/watch?v=xefxq3jbBdl&t>.



Figura 11 – Logomarca “Ambiálcool”.

O Posto Ambiálcool foi concluído e entrou em operação efetiva no segundo semestre de 2025, como podem ser vistos nas Figuras 12 a 16, consolidando-se como estrutura interna de armazenagem, distribuição e abastecimento de etanol para a frota corporativa da Ambipar em Nova Odessa/SP.

Os registros de maio e junho de 2025 foram tratados como fase de comissionamento, contemplando testes, aferições e ações preventivas para estabilização das bombas. Por esse motivo, a consolidação de desempenho apresentada a seguir considera apenas os abastecimentos efetivos realizados a partir de julho de 2025.



Figura 12 – Posto Ambiálcool durante o dia.

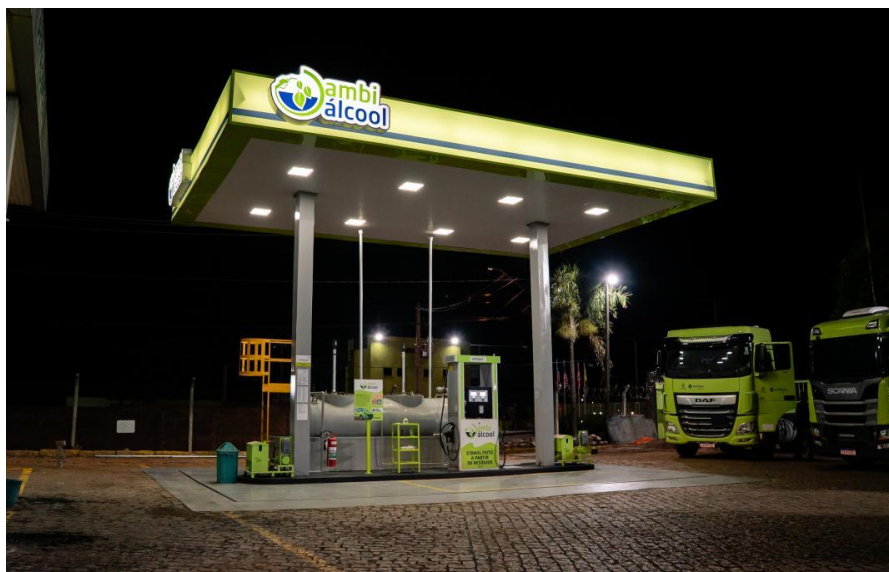


Figura 13 – Posto Ambiálcool durante a noite.



Figura 14 – Posto Ambiálcool e veículo abastecido com etanol de resíduos.



Figura 15 – Abastecimento de veículo no Posto Ambiálcool.



Figura 16 – Bomba de abastecimento e placa explicativa.

A estrutura em operação mantém a lógica de um posto convencional, com bombas eletrônicas, tancagem, sistema de controle e ponto dedicado ao abastecimento da frota. Isso permite internalizar parte relevante da produção de etanol renovável e transformar a inovação em resultado operacional mensurável.

O combustível produzido vem sendo destinado ao abastecimento de pelo menos 45 veículos identificáveis nas planilhas de controle, gerando uma economia aproximada de 20% em comparação ao uso de combustíveis fósseis. Além do benefício econômico associado à substituição de compras externas de combustível, o posto reforça a lógica da economia circular ao converter resíduos industriais em insumo energético aplicado diretamente à operação da própria companhia.

Conformidade regulatória, licenças e certificações

Outro aspecto relevante para a consolidação do projeto é o avanço obtido em sua estrutura de conformidade regulatória, documental e institucional. O Ambiálcool conta com conjunto de documentos técnicos, registros, licenças e certificações que reforçam a maturidade do processo e sua aderência às exigências aplicáveis para produção, comercialização, segurança e identidade do produto.

Entre os principais avanços, destacam-se o registro de patentes junto ao INPI, sendo uma da Marca “Ambiálcool” e outra de Modelo de Utilidade da Invenção, fortalecendo a identidade do projeto e sua proteção institucional; a atualização da FISPQ (Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos) para a FDS (Ficha com Dados de Segurança), fundamental para orientação de manuseio, armazenamento, transporte e resposta a emergências.

Também compõem esse conjunto tratativas, registros e licenças vinculados a CETESB, ANVISA, Vigilância Sanitária, ANP, IPT e INPI, demonstrando que a iniciativa vem sendo estruturada não apenas sob a perspectiva de inovação e sustentabilidade, mas também com foco em conformidade técnica, sanitária, ambiental e regulatória. Esse conjunto de evidências amplia a credibilidade do projeto e reforça seu potencial de replicação e expansão.

Redução estimada de emissões de carbono

Utilizando a Ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol, versão 2025.0.1, e considerando que o projeto processou até agora 4.256,36 toneladas de resíduos, e comparou-se a produção de etanol como alternativa à destinação convencional em aterro sanitário e coprocessamento, e utilização do etanol produzido em substituição à gasolina nos veículos abastecidos no Posto Ambiálcool, observa-se uma estimativa inicial de redução total de aproximadamente 5.771,19 tCO₂e. Esse resultado incorpora a etapa de uso veicular, benefícios climáticos associados ao desvio de resíduos de rotas convencionais de destinação e à aplicação do combustível renovável na frota.

Validação prática em uso automotivo

Como etapa complementar de validação prática do combustível produzido, foi realizado, em Agosto de 2025, um teste comparativo pela equipe do Auto Esporte, avaliando o Ambiálcool em comparação ao etanol comum de posto em veículo Citroën Basalt 1.0 MT (Figura 17). A análise contemplou parâmetros de consumo e desempenho, permitindo verificar o comportamento do combustível em condições reais de uso (<https://autoesporte.globo.com/setor-automotivo/inovacao-e-tecnologia-em-automoveis/review/2025/08/etanol-automotivo-reciclado-testamos.ghtml>).



Figura 17 – Citroën Basalt 1.0 MT.A abastecido com Ambiálcool.

Nos ensaios de consumo, o Ambiálcool apresentou 9,3 km/L em ciclo urbano e 11,9 km/L em ciclo rodoviário, enquanto o etanol comum de posto registrou 10,1 km/L e 12,5 km/L, respectivamente. Ainda que o etanol comum tenha apresentado pequena vantagem numérica, os resultados obtidos com o Ambiálcool permaneceram acima dos parâmetros mínimos de referência do Inmetro — PBEV para o veículo avaliado, evidenciando desempenho compatível com o combustível convencional.

Nos testes de aceleração, observou-se diferença discreta no 0 a 100 km/h, com 15,7 s para o Ambiálcool e 15,2 s para o etanol comum. Entretanto, nas medições de retomada, os resultados foram bastante próximos, com destaque para comportamento equivalente ou ligeiramente favorável ao Ambiálcool em algumas faixas. De forma geral, a avaliação apontou que não houve diferenças relevantes quanto à reatividade, entrega de torque, consumo e comportamento dinâmico, configurando, na prática, um empate técnico entre os combustíveis.

Os resultados foram recebidos com otimismo pelo próprio **diretor de combustíveis do AEA, Rogério Gonçalves**, que citou: “Os números comprovam que o etanol reciclado funciona tão bem quanto o de posto num carro comum. Há um empate técnico entre os combustíveis no consumo e no desempenho. Mais do que igualar o combustível [de posto], o etanol reciclado mostra que é possível aproveitar o lixo de uma forma inteligente e sustentável. É um projeto muito legal para ficar de olho e que merece ser estudado”.

Aplicações adicionais

O álcool etílico, ou Ecoálcool, gerado também pode ser utilizado para diversos outros fins como na **Indústria alimentícia**: produção de essência aromática e extratos vegetais, produção de bebidas, compotas e licores, produção de vodcas, gins, steinheger, conhaques, etc.; **Indústria de perfumaria e cosméticos**: produção de essência aromática e extratos, produção de perfumes, água de colônia, desodorantes, etc., produção de cosméticos. **Farmacologia**: produção de princípios ativos e extratos fitoterápicos, farmácia de manipulação, assepsia; **Indústria de domissanitários**: produção de álcool multiuso, aromatizantes e utilização do álcool para desinfecção e limpeza (Figura 18). A Figura 19 mostra o Ecoálcool já diluído em 54 °GL, ideal para desinfecção e limpeza de superfícies e a Figura 20 mostra o Ecoálcool com exemplos de resíduos que são matéria-prima para sua produção.



Figura 18 - Linha de envase do Ecoálcool.



Figura 19 - Ecoálcool.



Figura 20 – Ecoálcool e exemplos de resíduos para sua produção.

Além disso, a embalagem do Ecoálcool é produzida a partir de resinas oriundas de plásticos reciclados, de modo que o produto incorpora atributos de sustentabilidade tanto em seu conteúdo quanto em sua apresentação. O Selo Circular Pack mostrado da Figura 21, é uma certificação de logística reversa que garante a rastreabilidade e a reciclagem de embalagens pós-consumo, assegurando conformidade com a PNRS (Lei nº 12.305/10). Ele certifica que o material foi compensado, apoiando cooperativas de reciclagem e promovendo a economia circular.



Figura 21 – Selo Circular Pack em embalagem.

CONCLUSÃO

Conclui-se que é tecnicamente viável realizar a fermentação de resíduos com elevada carga de açúcar ou amido para a obtenção de álcool etílico com alto grau de pureza, mantendo padrão de qualidade compatível com o etanol convencional e desempenho equivalente em uso automotivo, com resultados até superiores em alguns parâmetros avaliados. A aplicação prática dessa solução já permite o abastecimento da frota interna de veículos da Ambipar, gerando benefícios econômicos, ambientais e sociais, ao mesmo tempo em que contribui para a redução da pegada de carbono do projeto, tanto pela substituição parcial de combustíveis de origem fóssil quanto pela destinação ambientalmente mais adequada de resíduos que, de outra forma, seriam encaminhados a aterros sanitários ou outras rotas convencionais de tratamento. Além disso, o etanol é considerado uma matriz renovável, diferentemente do combustível derivado de petróleo.

Além da aplicação como combustível, o etanol gerado apresenta múltiplas possibilidades de uso, incluindo aplicações em limpeza e desinfecção, ampliando o potencial de aproveitamento comercial da solução. Nesse sentido, o projeto se consolida como alternativa concreta para enfrentar a problemática da geração de resíduos alimentares, como açúcar, balas, sucos, refrigerantes, pães e

bolos, reforçando seu caráter prático, escalável e estrategicamente aderente aos pilares ESG, com a possibilidade de geração de créditos de carbono.

Destaca-se, ainda, que a solução possui potencial de replicação em outras regiões do Brasil, desde que observada a viabilidade logística de operação em um raio aproximado de até 350 km da unidade produtora de álcool. A mesma estrutura instalada pode ser ampliada conforme a demanda, podendo atingir capacidade regulamentada de armazenamento de até 15.000 litros por unidade implantada. Essa característica favorece a instalação de unidades descentralizadas e estrategicamente posicionadas, com potencial para reduzir custos logísticos de produção e distribuição, sem prejuízo aos requisitos de qualidade, rastreabilidade e segurança exigidos pelos órgãos de controle e fiscalização. Ademais, o Brasil é um dos maiores produtores de alimentos do mundo e, conseqüentemente, também um dos maiores geradores de resíduos da indústria alimentícia, contribuindo para uma alta disponibilidade dos mesmos.

Sob o ponto de vista operacional, o processo não requer rupturas tecnológicas expressivas, podendo aproveitar estruturas já existentes em usinas e sistemas convencionais de destilação, o que amplia sua viabilidade de implementação. Além disso, o processo é altamente produtivo, uma vez que pode produzir até 400 litros de álcool concentrado (96%) para cada tonelada de resíduo com alto teor de açúcar ou amido (mínimo 25°Brix). Do ponto de vista econômico, o custo de produção, incluindo encargos, tributos e margem, mostra-se compatível com o da produção convencional de etanol a partir da cana-de-açúcar ou milho, com possibilidade de ganhos adicionais quando associado a sinergias com outras unidades de negócio. Soma-se a isso o fato de o produto final não se diferenciar do álcool obtido a partir de matérias-primas virgens em termos de qualidade e conformidade, possuindo os mesmos padrões de qualidade exigidos pelos órgãos de controle e fiscalização, tanto para limpeza, quanto combustível, o que fortalece seu potencial de inserção e expansão de mercado. O álcool produzido não apresenta resíduos dos materiais utilizados em sua produção, incluindo a remoção de odor e cor e a vinhaça obtida como subproduto é utilizada para alimentação nutritiva de gado.

Por fim, trata-se de uma solução alinhada à Política Nacional de Resíduos Sólidos — Lei nº 12.305/2010 —, baseada na valorização de resíduos, na economia circular e na substituição parcial de insumos fósseis por uma matriz renovável. Dessa forma, o projeto reúne atributos ambientais, sociais, operacionais e econômicos que reforçam sua relevância estratégica, sua capacidade de expansão e sua contribuição efetiva para a redução de emissões de carbono em até 90% comparando-se o uso de etanol com a gasolina, e para o desenvolvimento de modelos produtivos mais sustentáveis no país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] MACHADO, C.M.M.; ABREU, F. R. Produção de álcool combustível a partir de carboidratos. **Revista Política Agrícola**, ano XV, n. 3, jul./ago./set. 2006.
- [2] PAVEZZI, F.C. **Produção e caracterização de glucoamilases termoestáveis de *Aspergillus awamori* obtidas por PCR mutagênico e expressas em *Saccharomyces cerevisiae***. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". São José do Rio Preto, 2006.
- [3] ALVES, R.S.; OLIVEIRA, L.A.; LOPES, P.L. **Crédito de Carbono: O mercado de crédito de carbono no Brasil**. X Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, Gestão e Tecnologia para a Competitividade, 2013.
- [4] **FMI – FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL**. How the war in the Middle East is affecting energy, trade, and finance. Washington, DC: IMF, 2026. Disponível em: <<https://www.imf.org/en/blogs/articles/2026/03/30/how-the-war-in-the-middle-east-is-affecting-energy-trade-and-finance>>. Acesso em: 9 abr. 2026.

- [5] **IEEFA – INSTITUTE FOR ENERGY ECONOMICS AND FINANCIAL ANALYSIS**. Impact of Middle East crisis on global energy markets. Cleveland: IEEFA, 2026. Disponível em: <<https://ieefa.org/impact-middle-east-crisis-global-energy-markets>>. Acesso em: 9 abr. 2026.
- [6] **MARKS-BIELSKA, R.; BIELSKI, S.; KUROWSKA, K.; ZIELIŃSKA-CHMIELEWSKA, A.** First-generation biofuels vs. energy security: an overview of biodiesel and bioethanol. *Energies*, Basel, v. 18, n. 22, p. 6055, 2025. DOI: 10.3390/en18226055.
- [7] **NAÇÕES UNIDAS**. Middle East crisis exposes global energy fault line as UN urges shift to renewables. UN News, Nova York, 2026. Disponível em: <<https://news.un.org/en/story/2026/04/1167243>>. Acesso em: 9 abr. 2026.
- [8] **URÍA-MARTÍNEZ, R.; LEIBY, P. N.; BROWN, M. L.** Energy security role of biofuels in evolving liquid fuel markets. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, Hoboken, v. 12, n. 5, p. 802–814, 2018. DOI: 10.1002/bbb.1891