



PRODUÇÃO DE BIOETANOL A PARTIR DA CASCA DE TANGERINA (*Citrus reticulata* Blanco): Uma alternativa sustentável para o aproveitamento de resíduos agroindustriais

José H. C. Monteiro¹; Marcos A. F. Souza²; Adriano P. Batista¹; Enzo G. Sousa¹.

¹Discente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá (IFAP), Campus Macapá, Macapá, AP, Brasil.

²Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá (IFAP), Campus Macapá, Macapá, AP, Brasil.

email: josecarvalho202013@gmail.com.

Palavras-Chave: Bioetanol; Agroindústria; Sustentabilidade.

Introdução

O crescimento da demanda energética mundial, aliado às preocupações relacionadas às mudanças climáticas e ao esgotamento progressivo das reservas de combustíveis fósseis, tem intensificado a busca por fontes renováveis de energia que conciliem segurança energética, viabilidade econômica e sustentabilidade ambiental. Nesse contexto, os biocombustíveis assumem papel estratégico na transição para uma matriz energética de baixo carbono, destacando-se por seu potencial de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e promover o aproveitamento sustentável da biomassa (NOGUEIRA *et al.*, 2008; FAPESP, 2010).

Entre os biocombustíveis, o bioetanol destaca-se por sua elevada relevância econômica e ambiental, sendo amplamente empregado como combustível automotivo e aditivo à gasolina. No Brasil, sua produção é predominantemente baseada na fermentação de açúcares provenientes da cana-de-açúcar, caracterizando o etanol de primeira geração. Entretanto, os avanços científicos e tecnológicos têm impulsionado o desenvolvimento do etanol de segunda geração, obtido a partir de resíduos lignocelulósicos e agroindustriais, permitindo a valorização de subprodutos, a redução da geração de resíduos e o fortalecimento dos princípios da economia circular (RODRIGUES; SEIBEL, 2021).

Dentre as biomassas residuais com potencial para essa aplicação, destacam-se os resíduos oriundos do processamento de frutas cítricas, especialmente da tangerina (*Citrus reticulata* Blanco). O aumento da produção e do consumo dessa fruta resulta na geração de expressivos volumes de cascas, sementes e bagaço, materiais que frequentemente são destinados a aterros sanitários ou descartados de forma inadequada, ocasionando impactos ambientais decorrentes da decomposição da matéria orgânica e da perda de biomassa com elevado potencial biotecnológico (RODRIGUES; SEIBEL, 2021).

A casca da tangerina apresenta composição química constituída por celulose, hemicelulose, pectina e carboidratos estruturais, os quais podem ser hidrolisados para



obtenção de açúcares fermentescíveis destinados à produção de bioetanol. Adicionalmente, esse resíduo contém elevada concentração de óleos essenciais, principalmente limoneno, composto terpênico responsável pelo aroma característico da fruta. Embora o limoneno possa exercer efeito inibitório sobre microrganismos fermentativos, sua recuperação ou permanência controlada no processo pode conferir propriedades sensoriais diferenciadas ao produto obtido, ampliando suas possibilidades de aplicação nos setores químico, cosmético e de saneantes.

Sob a perspectiva da bioeconomia, o aproveitamento de resíduos cítricos representa uma estratégia capaz de integrar inovação tecnológica, valorização de resíduos agroindustriais e sustentabilidade ambiental, promovendo o uso eficiente dos recursos naturais e reduzindo os impactos associados ao descarte inadequado desses materiais. Dessa forma, a conversão da casca de tangerina em bioetanol insere-se no contexto das biorrefinarias, nas quais a biomassa é utilizada como matéria-prima para a obtenção de produtos de maior valor agregado.

Diante desse cenário, este trabalho justifica-se pela necessidade de ampliar o conhecimento sobre o aproveitamento biotecnológico de resíduos agroindustriais como matérias-primas alternativas para a produção de bioetanol de segunda geração, contribuindo para a redução dos impactos ambientais, a diversificação das fontes renováveis de energia e o fortalecimento da bioeconomia. Assim, o objetivo desta pesquisa é produzir e caracterizar o bioetanol obtido a partir da casca da tangerina (*Citrus reticulata* Blanco), avaliando sua viabilidade como matéria-prima alternativa e o potencial de aproveitamento de seus compostos aromáticos naturais, visando ao desenvolvimento de um bioproduto sustentável com potencial de aplicação industrial.

Material e Métodos

Delineamento da pesquisa

A pesquisa caracteriza-se como experimental, de abordagem quantitativa, desenvolvida em laboratório, com o objetivo de produzir e caracterizar bioetanol a partir da casca de tangerina (*Citrus reticulata* Blanco).

Preparo da biomassa

As cascas de tangerina foram inicialmente selecionadas e lavadas em água corrente para remoção de impurezas superficiais. Em seguida, o material foi submetido à secagem em estufa de circulação de ar a **60 °C** durante **2 h**, com o objetivo de reduzir a umidade da biomassa e preservar seus constituintes químicos. Após a secagem, as cascas foram trituradas em liquidificador e posteriormente peneiradas para obtenção de uma granulometria mais uniforme, conforme apresentado na **Figura 1 (A-C)**.



Figura 1 – Etapas de preparo da biomassa da casca de tangerina: (A) secagem em estufa; (B) trituração do material seco; (C) biomassa triturada e peneirada em forma de pó.



Fonte: Autoria própria (2026).

Hidrólise da biomassa

A biomassa previamente preparada foi submetida à hidrólise ácida com o objetivo de favorecer a solubilização e a disponibilização de compostos potencialmente fermentescíveis. O emprego de tratamentos químicos constitui uma das estratégias utilizadas no processamento de biomassas para a produção de bioetanol, podendo favorecer a acessibilidade dos carboidratos para as etapas subsequentes de conversão (REZANIA *et al.*, 2020; ROBAK; BALCEREK, 2020).

Para a realização do tratamento, foram utilizados 200 g de casca de tangerina previamente preparada e 1 L de água, correspondendo a uma relação sólido/líquido de 1:5 (m/v). À mistura foram adicionados 6 mL de solução aquosa de ácido cítrico a 1% (m/v). Posteriormente, a amostra foi homogeneizada e submetida a aquecimento controlado a 50 °C durante 15 minutos, sob agitação, visando favorecer a hidrólise dos componentes suscetíveis à ação ácida e a disponibilização de compostos potencialmente fermentescíveis.

Após o período de tratamento, a amostra foi retirada do aquecimento e encaminhada diretamente à preparação do mosto fermentativo, sem realização de neutralização, mantendo-se a condição de acidez resultante da hidrólise.

A fração obtida após o tratamento hidrolítico foi utilizada na preparação do mosto fermentativo. Para ajuste do teor inicial de sólidos solúveis, foi adicionada sacarose ao sistema, atingindo aproximadamente 16 °Brix antes da fermentação. A utilização de açúcares suplementares pode interferir na interpretação do rendimento de processos fermentativos quando se busca avaliar especificamente a contribuição dos carboidratos provenientes da



biomassa. Dessa forma, o mosto fermentativo apresentou duas possíveis fontes de carbono fermentescível: os compostos solubilizados ou disponibilizados a partir da biomassa e a sacarose adicionada. Assim, não foi possível determinar, nas condições experimentais empregadas, a contribuição individual de cada fonte para a formação do etanol.

Ressalta-se que não foram realizadas análises específicas para determinar a concentração e a composição dos açúcares presentes após a hidrólise. Assim, embora a variação do teor de sólidos solúveis antes e após a fermentação possa ser utilizada como parâmetro de acompanhamento do processo, não é possível determinar, nas condições experimentais empregadas, a contribuição individual dos carboidratos provenientes da casca de tangerina para a formação do etanol.

Fermentação alcoólica

O mosto fermentativo foi preparado utilizando a fração líquida obtida após a hidrólise da biomassa, água e sacarose, sendo esta última adicionada para ajuste do teor inicial de sólidos solúveis. Posteriormente, realizou-se a inoculação de *Saccharomyces cerevisiae* na concentração de 5% (m/v), iniciando o processo de fermentação alcoólica. A fermentação foi conduzida durante 24 h, sob condições controladas de pH 3,5, com teor inicial de sólidos solúveis de aproximadamente 16 °Brix, determinado por meio de refratômetro digital. O acompanhamento visual do processo fermentativo está apresentado na **Figura 2**, evidenciando o mosto durante a etapa de conversão dos açúcares fermentescíveis em etanol.

Ao término da fermentação, foi realizada uma nova determinação do teor de sólidos solúveis (°Brix), obtendo-se valor aproximado de 10 °Brix. A diferença entre os valores inicial e final de °Brix foi utilizada como parâmetro de acompanhamento da variação dos sólidos solúveis ao longo do processo fermentativo, indicando uma redução de aproximadamente 6 °Brix.

Entretanto, considerando que houve adição de sacarose ao mosto para ajuste do teor inicial de sólidos solúveis e que não foram realizadas análises específicas para determinar a composição e a concentração individual dos açúcares presentes no meio, a redução observada no °Brix não permite determinar a quantidade de açúcares provenientes especificamente da casca de tangerina que foi consumida ou convertida em etanol. Dessa forma, a variação do teor de sólidos solúveis deve ser interpretada como um parâmetro de acompanhamento do processo fermentativo, e não como uma medida direta do rendimento ou da eficiência da conversão dos carboidratos da biomassa em etanol.



Figura 2 – Processo de fermentação alcoólica do mosto obtido a partir da casca de tangerina utilizando *Saccharomyces cerevisiae*.



Fonte: Autoria própria (2026).

Destilação

Após a fermentação, o mosto foi filtrado para remoção dos sólidos em suspensão e submetido ao processo de destilação fracionada, conforme apresentado na **Figura 3 (Sistema de destilação)**. A fração alcoólica foi coletada na faixa de temperatura entre 70 °C e 75 °C, correspondente à faixa de volatilização predominante do etanol, sendo posteriormente armazenada em recipientes adequados para a realização das análises de caracterização.

Figura 3 – Sistema de destilação fracionada utilizado na obtenção do bioetanol a partir da casca de tangerina (*Citrus reticulata* Blanco).



Fonte: Autoria própria (2026).

Caracterização do bioetanol

O bioetanol obtido foi caracterizado por meio da determinação do teor alcoólico utilizando álcoolmetro graduado. Também foram realizados ensaios comparativos de



combustão entre o bioetanol produzido e o álcool combustível comercial, utilizando volumes equivalentes das amostras e registrando-se o tempo de combustão com cronômetro digital.

Adicionalmente, foi realizado o teste qualitativo de coloração da chama em ambiente com baixa luminosidade, permitindo comparar o comportamento da combustão entre as amostras e identificar possíveis indícios de impurezas no destilado.

Análise dos dados

Os resultados obtidos foram organizados de forma descritiva, considerando os valores determinados experimentalmente para o teor alcoólico, teor de sólidos solúveis e tempo de combustão. Como se trata de um estudo preliminar, os resultados foram utilizados principalmente para caracterização inicial do processo e identificação de parâmetros a serem avaliados em experimentos posteriores com maior número de repetições.

Resultados e Discussão

O aproveitamento da casca de tangerina (*Citrus reticulata Blanco*) foi avaliado experimentalmente por meio das etapas de preparo da biomassa, hidrólise ácida, fermentação alcoólica e destilação. Ao final do processo, foi obtida uma fração alcoólica com características compatíveis com a presença de etanol. Entretanto, considerando que houve adição de sacarose ao mosto durante o preparo da fermentação, os resultados não permitem estabelecer a contribuição específica dos carboidratos provenientes da casca de tangerina para a formação do etanol obtido.

O teor alcoólico obtido deve ser interpretado considerando as condições empregadas na preparação do mosto. Como houve adição de sacarose para ajuste do teor de sólidos solúveis, a formação do etanol observada pode estar relacionada tanto aos açúcares disponibilizados a partir da biomassa quanto à sacarose adicionada. Dessa maneira, o resultado obtido não permite estabelecer, isoladamente, a contribuição dos carboidratos estruturais presentes na casca de tangerina para o teor alcoólico final.

A determinação do teor alcoólico do destilado obtido foi realizada utilizando álcoolmetro graduado, conforme apresentado na Figura 4. A amostra apresentou teor alcoólico de 59% (v/v), indicando a obtenção de uma fração alcoólica após as etapas de hidrólise, fermentação e destilação. Processos de produção de bioetanol a partir de biomassas residuais dependem da eficiência das etapas de disponibilização dos açúcares e de sua posterior conversão fermentativa, sendo a composição e as características da matéria-prima fatores importantes para o desempenho do processo (ROBAK; BALCEREK, 2020; REZANIA *et al.*, 2020).



Entretanto, como houve adição de sacarose ao mosto para ajuste do teor inicial de sólidos solúveis, não é possível atribuir exclusivamente aos carboidratos provenientes da casca de tangerina a formação do etanol observado. Dessa forma, os resultados demonstraram a obtenção de um destilado alcoólico a partir de um mosto contendo hidrolisado da casca de tangerina e sacarose. Estudos com controles experimentais adequados, incluindo a utilização de mosto contendo apenas sacarose e mosto contendo apenas o hidrolisado da biomassa, são necessários para determinar a contribuição específica dos carboidratos provenientes da casca de tangerina para a produção de etanol.

Figura 4 – Determinação do teor alcoólico do bioetanol produzido a partir da casca de tangerina utilizando álcoolmetro.



Fonte: Autoria própria (2026).

A casca de tangerina apresenta diferentes componentes estruturais que podem contribuir para sua utilização como matéria-prima em processos de valorização de resíduos agroindustriais. Em biomassas vegetais, a estrutura e a composição dos carboidratos podem dificultar o acesso aos componentes potencialmente fermentescíveis, tornando as etapas de pré-tratamento e hidrólise relevantes para sua posterior conversão (REZANIA *et al.*, 2020).

Entretanto, no presente estudo, não foram realizadas análises quantitativas dos açúcares presentes antes e após a hidrólise, impossibilitando determinar a quantidade de carboidratos efetivamente disponibilizada para a fermentação. Além disso, a presença de sacarose adicionada ao mosto constitui uma variável adicional que impede a atribuição direta do teor alcoólico obtido exclusivamente à biomassa. Dessa forma, os resultados devem ser interpretados como uma avaliação preliminar do uso do hidrolisado de casca de tangerina em um sistema fermentativo contendo sacarose.

O comportamento da combustão do bioetanol obtido foi avaliado por meio de ensaio experimental comparativo, conforme apresentado na **Figura 5**. Durante a queima, observou-se a formação de uma chama predominantemente azulada, característica associada à combustão do etanol e relacionada à menor formação de partículas de carbono durante o



processo. Esse resultado sugere que o produto obtido apresenta características semelhantes às observadas em amostras comerciais de álcool etílico.

Figura 5 – Ensaio de combustão do bioetanol obtido a partir da casca de tangerina.



Fonte: Autoria própria (2026).

Além da avaliação visual da chama, foi realizado o monitoramento do tempo de combustão, utilizando volumes equivalentes das amostras, com o objetivo de comparar qualitativamente o comportamento das diferentes amostras durante a queima. O bioetanol apresentou tempo de combustão de 136 s, enquanto o álcool comercial de 70% (v/v) apresentou tempo de combustão de 146 s, conforme apresentado na **Tabela 1**. Os valores obtidos indicam comportamento de combustão semelhante entre as amostras nas condições experimentais empregadas. Entretanto, o tempo de combustão, isoladamente, não permite determinar o desempenho energético ou o poder calorífico dos combustíveis. Para essa finalidade, seriam necessárias análises específicas, como a determinação calorimétrica do poder calorífico. Portanto, o ensaio realizado deve ser interpretado exclusivamente como uma comparação qualitativa do comportamento de combustão das amostras.

Tabela 1 – Comparação das características físico-químicas e de combustão entre o bioetanol produzido e o álcool comercial.

Teor Alcoólico (%)	Coloração da chama	Tempo de combustão (s)
Álcool etílico 46%	Azul	106 s
Álcool etílico 70%	Amarelo com fundo azul	146 s
Alcool etílico 92,8%	Amarelo com fundo azul	206 s
Álcool de tangerina 59%	Azul com labaredas amarelas	136 s

Fonte: Autoria própria (2026).



Os resultados obtidos evidenciam que a casca de tangerina apresenta potencial como matéria-prima alternativa para produção de bioetanol, contribuindo para a valorização de resíduos agroindustriais e para a redução dos impactos ambientais associados ao descarte inadequado de biomassa orgânica. Além da produção de um biocombustível renovável, o aproveitamento desse resíduo permite explorar compostos naturais presentes na casca, como óleos essenciais, incluindo o limoneno, associados ao aroma cítrico característico da fruta.

Embora tenha sido observado aroma cítrico na fração alcoólica obtida, não foram realizadas análises específicas para identificação e quantificação de compostos voláteis. Dessa forma, a presença de limoneno ou de outros componentes aromáticos no destilado não pode ser confirmada com os métodos empregados neste estudo. A observação do aroma é, portanto, considerada uma característica sensorial preliminar, cuja composição química deverá ser investigada em estudos posteriores por técnicas específicas de caracterização.

Dessa forma, a pesquisa demonstra a aplicabilidade de estratégias baseadas na economia circular e na química verde, transformando um resíduo agroindustrial em um produto de interesse tecnológico. Embora sejam necessárias otimizações futuras para elevar o rendimento alcoólico, os resultados obtidos indicam viabilidade inicial do processo e reforçam o potencial da casca de tangerina para aplicações em sistemas sustentáveis de produção de bioetanol.

Conclusões

Os resultados obtidos demonstraram a obtenção de um destilado alcoólico a partir de um mosto contendo hidrolisado da casca de tangerina e sacarose, após as etapas de preparo da biomassa, hidrólise ácida, fermentação alcoólica e destilação. O destilado apresentou teor alcoólico de 59% (v/v), indicando a obtenção de uma fração alcoólica nas condições experimentais empregadas.

Entretanto, devido à adição de sacarose ao mosto fermentativo, não foi possível determinar a contribuição específica dos carboidratos provenientes da casca de tangerina para a formação do etanol. Dessa forma, os resultados não permitem afirmar que o etanol obtido tenha sido produzido exclusivamente a partir dos carboidratos da biomassa. Estudos com controles experimentais adequados, incluindo ensaios contendo apenas sacarose e apenas o hidrolisado da casca de tangerina, são necessários para determinar a contribuição específica da biomassa para a produção de etanol.

Considerando a complexidade da composição química da casca de tangerina e os diferentes fatores que podem influenciar o processo fermentativo e as características do destilado, estudos posteriores deverão ampliar a caracterização físico-química e química do produto obtido. Recomenda-se a avaliação mais detalhada da composição do destilado, da



eficiência fermentativa, do rendimento alcoólico e da presença de compostos voláteis, visando compreender de forma mais precisa o comportamento da biomassa durante as diferentes etapas do processo.

Além disso, a presença de sacarose no mosto constitui uma variável que impede, nas condições deste estudo, a atribuição direta do etanol obtido exclusivamente aos carboidratos provenientes da casca de tangerina. Dessa forma, estudos futuros deverão incluir controles experimentais adequados, como ensaios utilizando somente sacarose e somente o hidrolisado da biomassa, além da quantificação dos açúcares presentes no hidrolisado, permitindo determinar a contribuição específica da biomassa para a produção de etanol.

Dessa forma, os resultados obtidos constituem uma avaliação preliminar do aproveitamento do hidrolisado de casca de tangerina em um sistema fermentativo contendo sacarose e estabelecem uma base experimental para estudos posteriores voltados à otimização das condições de hidrólise e fermentação, à caracterização do produto obtido e à avaliação do potencial de valorização da casca de tangerina como resíduo agroindustrial.

Referências

- BALAT, M.; BALAT, H.; ÖZ, C. Progress in bioethanol processing. *Progress in Energy and Combustion Science*, v. 34, n. 5, p. 551-573, 2008.
- FAPESP. *Bioenergia no estado de São Paulo: situação atual, perspectivas, barreiras e propostas*. São Paulo: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2010.
- MAMMAN, A. S. et al. Bioethanol production: status, prospects and challenges. *Bioresource Technology*, v. 101, p. 459-467, 2010.
- MUSSATTO, S. I. et al. Technological trends, global market, and challenges of bio-ethanol production. *Biotechnology Advances*, v. 28, n. 6, p. 817-830, 2010.
- NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S.; TROSSERO, M. A.; FRISK, T. *Dendroenergia: fundamentos e aplicações*. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.
- REZANIA, S. et al. Different pretreatment technologies of lignocellulosic biomass for bioethanol production: An overview. *Energy*, v. 199, 2020.
- RODRIGUES, R. A. F.; SEIBEL, N. F. Aproveitamento de resíduos agroindustriais: uma alternativa sustentável para a indústria de alimentos. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, 2021.
- ROBAK, K.; BALCEREK, M. Current state-of-the-art in ethanol production from lignocellulosic feedstocks. *Microbiological Research*, v. 240, 2020.