

São Carlos, SP / Dezembro 2025

Tecnologias inovadoras para processos de fermentação de sementes de cupuaçu e cacau baseadas em instrumentação e automação

Victor Bertucci Neto¹, Joana Maria Leite de Souza², Jose Dalton Cruz Pessoa³, Rivadalte Coelho Gonçalves⁴ e Murilo Antonio Migliati⁵

¹Pesquisador, Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP

²Pesquisadora, Embrapa Acre, Rio Branco, AC

³Pesquisador, Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP

⁴Pesquisador, Embrapa Acre, Rio Branco, AC

⁵Estagiário, UNIP, Araraquara, SP

Introdução

Neste trabalho são exibidos resultados obtidos na busca por novas alternativas de obtenção de flavorizantes em fermentação de sementes de cupuaçu e de cacau. Um dos objetivos foi o de controlar o processo de fermentação diminuindo o risco das variações inerentes aos métodos tradicionalmente utilizados, muitas vezes feitos em caixas de madeira, para que ocorra a fermentação chamada de natural. Nesse processo tradicional não há medição, ou controle de parâmetros como umidade, ou temperatura, e também não se conhece a coleção de microrganismos agindo no meio. Dessa forma, por meio do desenvolvimento de um reator de fermentação dedicado a sementes de cupuaçu e cacau, instrumentado e automatizado, em escala de laboratório, podem ser estudados e desenvolvidos processos para produção de insumo alimentar seguro. Os principais resultados obtidos incluem além do próprio reator com instrumentação e automação, o software de gerência do sistema, descrição de alguns métodos para chegar-se a um processo e aroma.

Processos para obtenção de flavorizantes por meio de fermentação de frutos da Amazônia podem promover o desenvolvimento das cadeias produtivas envolvidas de forma a agregar valor com mais eficiência, a partir da homogeneização das condições envolvidas para obtenção dos produtos, aumento de produtividade e qualidade dos produtos, com menores perdas. Esse aumento de eficiência pode gerar aumento de renda, além da

diversificação de produtos com maior valor agregado. Como característica diferencial tem-se a padronização dos processos envolvidos com aumento de qualidade dos produtos, principalmente em relação à segurança de alimentos. Amêndoas (sementes inativas, neste caso devido à fermentação), quando submetidas à secagem, possuem potencial aplicação na indústria de alimentos, cosméticos e farmacêuticos, desde que processadas de forma adequada, podendo ser produzidas por pequenos e médios agricultores e agroindústrias. A utilização de amêndoas de cupuaçu e cacau para obtenção de flavorizantes em produtos que mimetizam sabor de outros produtos, como carne, por exemplo, mas que são constituídos de vegetais, podem valorizar ainda mais essas matérias primas além de abrir espaço no mercado para novos produtos. A quantidade de trabalhos científicos nessa área é preponderantemente direcionada ao cacau como, por exemplo, em trabalhos de Silva *et al.* e Rahardjo *et al.* (2022), mas a proximidade genética com o cupuaçu pode facilitar a aplicação de alguns métodos considerados tradicionais.

Materiais e Métodos

Reator de Fermentação

O funcionamento do reator de fermentação em escala de laboratório baseou-se em um modelo construído anteriormente na Embrapa Instrumentação, em São Carlos, SP, para a

produção de enzimas por fermentação sólida. Em vez de 24 colunas de pequeno volume, ou, tambor de agitação sem imersão em banho térmico (Fonseca, 2018 e Pirota, 2013) como no modelo existente, o novo reator comportou colunas maiores, na magnitude de 1 L, que foram imersas em banho térmico controlado. Cada coluna pode ser alimentada por ar com umidade e fluxo controlados. Na saída de cada coluna foi feita a medição de concentração de CO₂. Essa solução permitiu várias configurações de operação de experimentos de forma a auxiliar na obtenção do produto desejado. O desenho final comportou também os invólucros onde ficam os controladores de fluxo, secadores de ar, umidificadores de ar e as placas de aquisição de dados e controle eletrônico. A linha de aeração foi baseada em dois controladores de fluxo de massa, um conectado a um meio 100% úmido e outro conectado a um meio bastante seco. O fluxo resultante da soma das linhas de umidificação e secagem determina a umidade do ar. Sensores de umidade e temperatura foram instalados na entrada e saída do reator. O reator possui um sistema de agitação acionado por motor e eixo com pás, de forma a promover maior homogeneidade ao meio de fermentação quando houver necessidade. Se o processo não exigir agitação interna, então é possível conectar a entrada de ar em recipientes de vidraria e, no caso de mais de um recipiente (experimentos em duplicata, ou triplicata), também é possível dividir o fluxo de ar dosado para mais de um reator. Essas configurações foram pensadas de forma a aumentar a flexibilidade de uso do sistema. Na Figura 1 vê-se detalhe do desenho do reator do tipo tambor agitado, com extensão mecânica que liga o motor de agitação ao eixo central de agitação. O sistema é totalmente vedado para impedir entrada de água.



Figura 1. Desenho mecanico do reator de fermentação do tipo tambor agitado.

O programa digital necessário para o funcionamento do sistema foi pensado de forma a levar em consideração a leitura de dados analógicos de fluxo de ar dos controladores, dos sensores de umidade, de temperatura e de concentração de CO₂. Esses sensores podem ter saída digital, ou

analógica, ou seja, o programa digital tem flexibilidade de ler os dados em ambos os formatos. Foi feita uma malha de realimentação que mede o valor da umidade na saída do dosador de fluxos e calcula o erro em relação ao valor de umidade assinalado pelo operador do sistema. O valor do erro é enviado a um algoritmo de controlador PID (Proporcional + Integral + Derivativo) cujos ganhos são calculados para haver menor erro dinâmico possível no valor da umidade, inclusive com valores baixos de sobressinal. Com esses dados de medida e cálculos, as entradas dos controladores de fluxo de massa são acionadas analogicamente para alterar o fluxo de ar de cada linha para diminuir o erro existente. Outra malha existente é relacionada ao controle do banho térmico onde a temperatura é selecionada pelo operador e uma resistência elétrica é acionada para que o valor seja atingido. Nessa malha, os dados de leitura do sensor de temperatura são comparados com o valor assinalado pelo operador e o erro entre o que foi medido e o desejado é enviado a outro algoritmo de controlador PID. A primeira versão da programação digital foi feita em LabView R13, baseada em versão obsoleta do reator original. Apesar da rapidez com que se pode fazer algoritmos em LabView devido ao seu sistema gráfico de conexões, ainda é necessário usar uma interface com várias entradas e saídas analógicas e digitais que apresenta bom desempenho, mas a um custo bastante elevado. Essa versão foi usada nos experimentos iniciais, enquanto se desenvolvia outro sistema com característica baixo custo. A opção escolhida foi usar uma interface Arduino para medidas e acionamentos através de portas analógicas e digitais, conectado a uma placa Raspberry com linguagem Python. Esses componentes são ligados a uma interface gráfica de 10 polegadas, tornando assim o sistema bem mais compacto e com baixo custo comparativo. Todo o desenvolvimento foi feito em linguagem Python com interface gráfica via Tkinter e Pygubu Designer. O sistema implementa controle PID (utilizando a biblioteca simple-pid) e visualização de dados com Matplotlib. A arquitetura utiliza Python Coroutines para o agendamento assíncrono de tarefas, garantindo alto desempenho e atualização fluida da interface de usuário sem bloqueios. O programa com linguagem Python foi registrado no Catsoft com o nome PyFerm.

Processos de Fermentação

Os testes experimentais foram feitos inicialmente em recipientes menores (Becker e Kitassato) comparando-se condições mais próximas daquelas feitas em campo, chamada de fermentação natural. Foram feitos vários experimentos com cupuaçu e posteriormente cacau de forma a verificar a repetitividade das condições de pH inicial e final, perda de água, secagem e torra. A variável usada foi a temperatura do meio mantida constante, tanto em banho térmico como em estufas de temperatura controlada. Neste caso, os experimentos foram feitos em batelada. A secagem

em cada experimento foi feita em estufa térmica com ventilação e a torra em forno elétrico. O tempo de fermentação foi variado entre 5 e 7 dias. Também foram feitos experimentos de fermentação após a maturação entre 2 e 7 dias das sementes despolpadas. Foram variadas as condições de fermentação anaeróbia com frascos vedados durante todo o tempo de fermentação, vedados nos dois primeiros dias e agitados, ou não depois. Também foram feitos experimentos com frascos carregados de sementes e esterilizados em autoclave e posterior injeção de fermento. Em cada experimento foram feitas medições de pH inicial e final nas sementes. Além disso, foram feitas medidas para determinar a perda d'água e de massa nas sementes. Na fase seguinte do trabalho, os experimentos foram feitos de forma a serem monitorados em temperatura, fluxo e umidade do ar de alimentação, com medição da concentração de CO₂ na saída. Foram introduzidas leveduras do tipo *Saccharomyces cerevisiae* em concentrações de 1%, 2,5% e 5%. Inicialmente foram usados frascos Kitassatos e frascos lavadores de gases para injetar fluxo de ar controlado no meio de fermentação. O material final de fermentação recebeu o mesmo tratamento de secagem e torra. Ao final, foram comparados os aromas resultantes em cada processo desenvolvido. Foi usado um método (SOUZA et al., 2020) em que as sementes de cupuaçu e cacau são processadas em fermentador, têm a pele retirada, são Trituradas e homogeneizadas em moinhos de rolo para diminuição da granulometria e depois serão tratadas termicamente para desenvolver o sabor onde os produtos da reação de Maillard são originados a partir das interações de proteínas, peptídeos e aminoácidos com açúcares redutores. Os processos resultantes em aromas diferenciados foram replicados e repetidos em escala superior por meio do reator de fermentação do tipo tambor agitado.

As amêndoas foram analisadas quanto as características físico químicas de pH em potenciômetro de bancada; acidez por acidez titulável, em "meq NaOH.100 g⁻¹, por titulometria, utilizando-se NaOH 0,1N (Aoac, 2012); teor de umidade em balança e cor instrumental. A análise de cor instrumental foi realizada em colorímetro Konica Minolta, modelo CR5. O equipamento foi operado no modo reflectância e a escala de cor utilizada foi CIE Lab (L*, a*, b*), em que L* equivale à luminosidade ou brilho, partindo de (0), preto e chegando a (100), branco; a coordenada de cor a*, (-a*): verde; (+a*): vermelho; e a coordenada de cor b*, (-b*): azul; (+b*): amarelo.

Segurança de Alimentos

Para que seja seguida a recomendação técnica para aumento da segurança de alimentos sementes fermentadas de cacau, cupuaçu e seus

produtos derivados foram utilizados métodos para detecção de fungos em sementes e amêndoas, utilizando placas de Petri com meio BDA e AFPA, com foco nos fungos dos gêneros *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium* devido ao papel como produtores de micotoxinas, e aos fungos *Lasiodiplodia* spp., *Moniliophthora perniciosa* e *Moniliophthora roreri* apodrecedores de sementes e de risco biológico a cultura do cupuaçu e do cacau. Quanto ao estudo para análise sensorial dos produtos obtidos, tem-se que as características sensoriais dos alimentos e bebidas têm papel relevante na aceitação dos produtos pelo consumidor. Para tal, estudos serão realizados e, por meio da metodologia denominada questões CATA (Check-All-That-Apply) (Jaeger et al., 2015) as características sensoriais serão avaliadas por potenciais consumidores dos produtos. Estudos preliminares serão realizados por equipe de 8-12 indivíduos voluntários que tenham familiaridade com a matéria prima e os produtos visando identificar os atributos sensoriais e depois será expandido o espaço amostral.

Resultados e Discussão

Foram interligados diferentes tipos e modelos de sensores que monitoram o sistema, de forma a buscar custos mais baixos, sem afetar a eficiência. Testes de umidade relativa do ar e medida de concentração de CO₂ foram montados em frasco do tipo Kitassato, como mostrado na Figura 2. Nessa figura, o frasco à direita recebe fluxo de ar na saída de um frasco de fermentação onde foram medidas a umidade relativa do ar e concentração de CO₂ por meio de sensores. À esquerda vê-se um frasco vedado com cacau e folhas de bananeira (para simular a chamada fermentação natural que é feita em campo), seguido por um Kitassato também com folhas de bananeira, porém com levedura e aeração, além de um frasco lavador de gases com sementes de cacau, o qual foi esterilizado e posteriormente inoculado com leveduras. Esses frascos foram imersos em banho térmico controlado a 37 graus centígrados.

Baseado em um programa em LabView obsoleto, foi redesenhado um novo programa para se adequar inclusive com novos sensores e acionadores. Nesta fase do trabalho ainda não havia o reator com agitação e assim foi usado um banho térmico com temperatura constante para receber os frascos de fermentação. Na Figura 3.a, vê-se a montagem em bancada com computador e tela mostrando o instrumento virtual do LabView em ação com o sistema e na Figura 3.b vê-se uma impressão da tela com o instrumento virtual do LabView.



Figura 2. Acima, frascos de fermentação: à esquerda (tampa azul) vedado com cacau e folhas de bananeira (para simular fermentação natural em campo); Kitassato também com folhas de bananeira, porém com levedura e aeração; frasco lavador de gases com sementes de cacau; à direita, frasco Kitassato com sensores para medidas a umidade relativa do ar e concentração de CO₂. Abaixo, detalhe do frasco lavador de gases com aeração no meio com sementes de cacau já fermentadas.

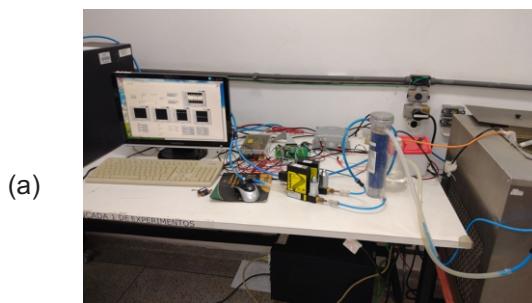


Figura 3. Sistema com LabView:(a) montagem em bancada com computador e tela mostrando o instrumento virtual do LabView; (b) impressão da tela com o instrumento virtual do LabView.

Como o sistema em LabView é muito custoso, tanto em hardware, como em software, procurou-se uma solução, que apesar de ser mais trabalhosa na programação, apresenta custos muito inferiores. Usou-se um sistema com placa Arduino para interface com sensores e acionadores, programado em C++, e uma placa Raspberry com programação em Python para fazer o papel do computador. Isso foi interligado a uma tela de 10 polegadas, sensível a toque. Dessa forma o sistema desenvolvido, além de custo inferior, apresentou uma diminuição de espaço no equipamento. Na Figura 4 é mostrada uma impressão da tela do sistema em uso.

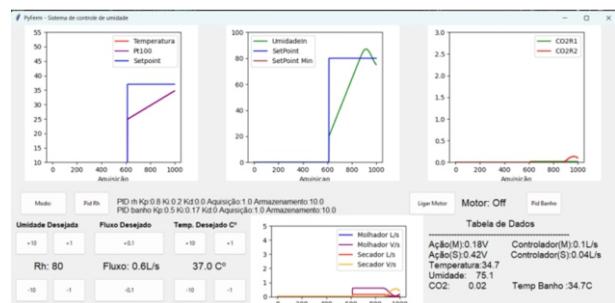


Figura 4. Imagem da tela com sistema com Python (PyFerm) em funcionamento.

Em todas as programações, a dosagem de fluxo de ar úmido e seco para se atingir a umidade relativa do ar selecionada, foi usado um algoritmo de controlador PID e os ganhos de cada elemento foram inicialmente escolhidos de forma manual. Dessa forma, podem-se obter valores muito próximos ao selecionado, como é mostrado na Figura 5, onde foram selecionados os valores de 70% e 80% de umidade a partir de 60% (linha preta tracejada) e o valor medido da umidade varia até atingir o escolhido (linha azul). Neste caso, o fluxo de ar escolhido foi de 0,7 L min⁻¹.

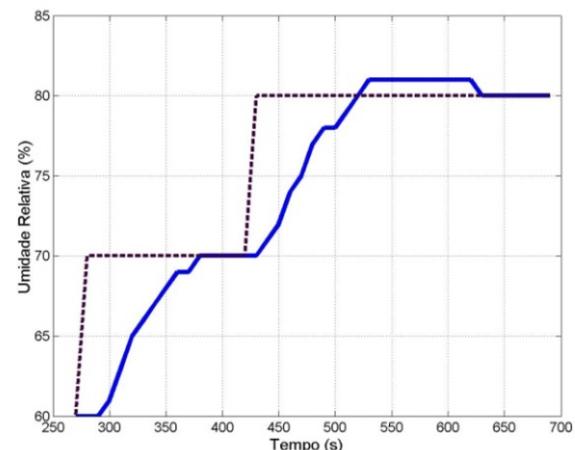


Figura 5. Comportamento do controle de umidade relativa do ar (azul), conforme o valor requerido (tracejada) para fluxo de ar igual a 0,7 L min⁻¹.

Na sequência dos experimentos em bancada, foi montada uma cuba de acrílico para ser preenchida com água em agitação e aquecimento elétrico controlado, onde foram instalados recipientes reatores de vidraria com aeração e medida de concentração de CO₂. Foram realizados vários experimentos com diferentes concentrações de inoculante, temperatura do banho e fluxo de ar de alimentação. Na Figura 6 vê-se parte dessa montagem em (a), recipientes antes de serem mergulhados na cuba e em (b) a montagem na cuba com tubulações de ar.

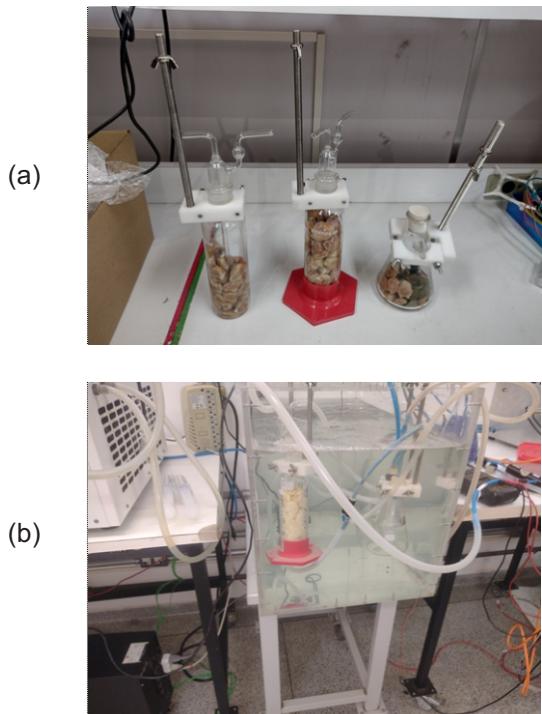


Figura 6. Recipientes de vidro para fermentação. (a) Detalhe da montagem de cada um. (b) Detalhe da montagem na cuba.

E por final, foi instalado o reator mecânico com agitação. Esse reator pode ser usado na mesma cuba de acrílico e dessa forma é possível realizar experimentos de fermentação em diferentes massas e volumes ao mesmo tempo. Na Figura 7 é mostrada a montagem desse reator com motor de agitação interligado com a caixa de circuitos eletrônicos e pneumáticos.

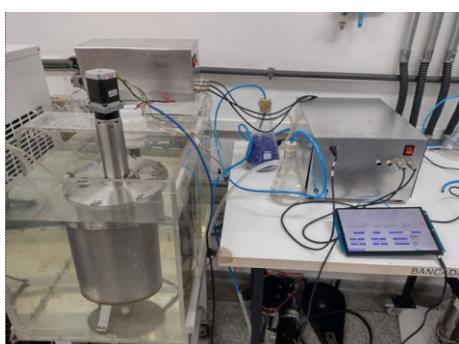


Figura 7. Reator mecânico com motor de agitação.

É importante ressaltar que os sistemas de controle usados no desenvolvimento do reator garantiram erro menor que +/- 1% do valor requerido em regime constante pelo usuário, em relação à variação máxima da umidade relativa do ar em fluxo controlado na faixa entre 50 e 100%, tanto fisicamente com o uso de sensores adequados, quanto na verificação via software. Essas tecnologias foram fundamentais para avaliar várias etapas dos processos envolvidos, principalmente quando se mantém algumas variáveis físicas constantes de forma a buscar mais repetitividade.

O processo de busca de novos flavorizantes é iniciado com a escolha dos frutos que podem se apresentar de verdes a muito maduros e os relatos devem levar em consideração esta condição. Na Figura 8 vê-se como se apresenta um fruto de cupuaçu após a quebra da casca (a), e em (b) as sementes despolpadas. As sementes devem ser despolpadas, mas foram feitas várias fermentações com sementes envoltas em pouca, ou muita polpa.



Figura 8. (a) Fruto de cupuaçu após abertura. (b) sementes despolpadas

As variações organolépticas são consideráveis quando se varia a concentração de leveduras, fluxo de ar na fase aeróbia e temperatura. Variações em tempo de secagem e torra também são determinantes para a qualidade final das amêndoas. Na Figura 9 vê-se a variação em coloração de amêndoas em (a) de cupuaçu do mesmo fruto com fermentação natural, 2,5% de concentração de levedura, e 5% (da direita para a esquerda), todos na mesma batelada de secagem e torra e m (b), duas amostras de amêndoas de cacau do mesmo fruto com variação de concentração de

leveduras de 2,5% e 5% (esquerda e direita respectivamente), mostrando a parte interna após a retirada da casca.

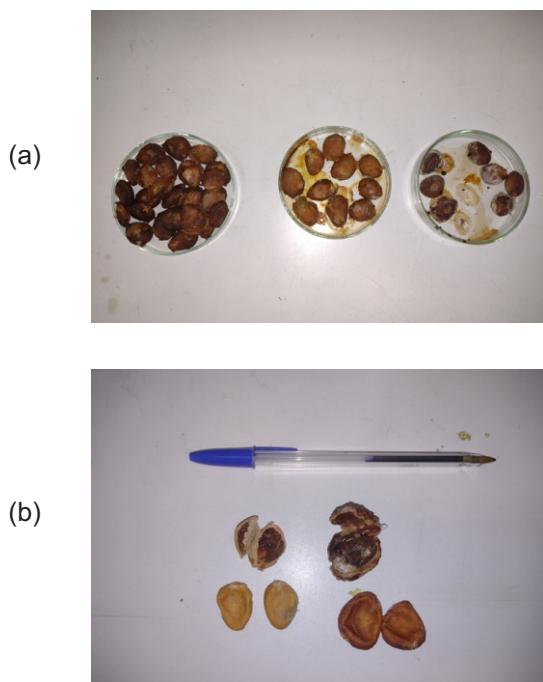


Figura 9. Variação em coloração de amêndoas com condições distintas de fermentação. (a) mesmo lote de cupuaçu e (b) mesmo lote de cacau.

Foram feitas várias análises dos frutos e amêndoas, incluindo acidez, pH inicial e final, colorimetria Lab, volume e massa em diferentes estágios (sementes e amêndoas de cacau e de cupuaçu frescas, fermentadas, secas, torradas). Na figura 10(a) vê-se o resultado de uma fermentação com levedura de sementes de cacau após a secagem, tendo variação de acidez de 0,808 a 0,774, pH inicial 4,46 e final 8,40, por exemplo, e na figura 10(b) vê-se os mesmos testes feitos com sementes de cupuaçu com excesso de polpa, fermentadas e trituradas, apresentando acidez muito superior ao cacau, mas com outros valores parecidos entre si. Entretanto, na maioria das análises, o valor da acidez caiu bastante após a torra. A colorimetria pode apresentar grande variação, principalmente no eixo L (24,66 e 45,09 para amêndoas de cacau e cupuaçu, respectivamente, com 12,29 e 11,84 para o eixo a e 12,53 e 20,45 para o eixo b).

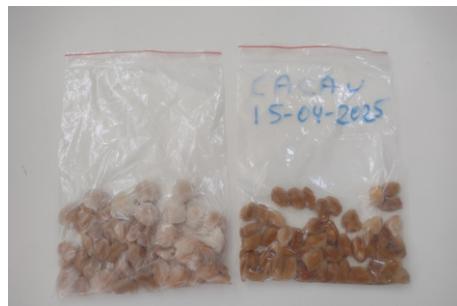


Figura 10. Amostras para análise química. (a) fermentação com levedura de sementes de cacau após a secagem. (b) sementes de cupuaçu com excesso de polpa, fermentadas e trituradas.

Um problema persistente e com condição difícil de reproduzir é o de mofo durante o processo. Foram feitos vários testes para verificar a possibilidade de crescimento de mofos, incluindo oxigênio excessivo na superfície das sementes, umidade alta, polpa em excesso, fermentações mais longas, demora na secagem, ou na torra. Foi observado que os processos com inclusão de leveduras são muito mais imunes à proliferação de mofos do que os processos levados em condições chamadas de naturais. Foram identificados principalmente fungos filamentosos tipo mofos como *Penicillium* (mofo azul-esverdeado), *Aspergillus* (tipo mofo preto, ou tipo mofo verde), *Rhizopus* (mofo cinza, com hifas longas e pequenas pontuações pretas) e mofo branco.

As análises não foram suficientes para indicar se o problema de contaminação foi no preparo dos experimentos, ou nas amostras de frutos e sementes. Decidiu-se esterilizar as amostras para evitar contaminações externas e aprofundar os estudos nessa área. Na Figura 11 veem-se alguns exemplos do crescimento de mofos em superfícies de sementes: (a) sementes frescas de cacau reduzidas a pó devido a ataques de *Rhizopus* durante meses; (b) sementes frescas de cacau do mesmo fruto onde o da esquerda apresentou mofo branco e o da direita não.





(b)



Figura 11. Exemplos de mofo na superfície de sementes. (a) sementes frescas de cacau reduzidas a pó; (b) sementes frescas de cacau do mesmo fruto onde o da esquerda apresentou mofo branco e o da direita não.

Também foram feitos outros testes de fermentação em estufas com temperatura controlada. Sensores de umidade relativa e de concentração de CO₂ foram inseridos nos recipientes de vidro e vedados, como se vê na Figura 12.(a). Observou-se um crescimento considerável da pressão parcial de CO₂ em diversos experimentos, ultrapassando primeiramente o sensor de 0 a 20%, e depois o de 0 a 40% de medida. Isto ocorre em um período pouco superior a 24 horas, decrescendo velozmente em seguida. Quando o recipiente é vedado, entre 24horas e 48 horas de fermentação anaeróbia, ocorre pressão negativa, ou seja, a atmosfera é sugada pelo meio de fermentação. Isto pode ser observado na Figura 12.(b), onde o plástico de vedação é sugado para dentro do recipiente de vidro. Isto sugere que o gás carbônico da atmosfera é transferido para as amêndoas talvez em forma de carbono, o que pode ser uma boa notícia para pesquisar certos tipos de aroma. Devido à grande variabilidade física, química e biológica observada nos vários experimentos, chegou-se a diferentes aromas, principalmente, que podem ser repetidos experimentalmente, mas ainda necessitam de mais instrumentos para serem classificados, o que poderá ser feito futuramente.



(a)

Figura 12. Experimentos de fermentação em estufas com temperatura controlada. (a) sensores adaptados em recipientes vedados. (b) pressão negativa após cerca de 24-48 horas de fermentação.

Considerações Finais

O uso e desenvolvimento de tecnologias específicas para a área de fermentação de sementes de cupuaçu e cacau pode ampliar o raio de ação desses produtos no mercado além de possibilitar maior eficiência na produção de insumos, menores perdas, maior padronização nos processos e produtos, além de possibilitar maior segurança de alimentos e criação de novos produtos. O trabalho apresentado aqui não se encerra, mas aponta para mais áreas que podem ser incluídas nos processos descritos. Mostrou-se a possibilidade de se chegar a um flavorizante novo, mas também as inúmeras etapas e testes que devem ser feitos antes. Com a tecnologia de instrumentação e automação, mais os testes químicos necessários, é possível caracterizar um novo processo e torná-lo repetitivo e mais seguro de forma alimentar.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Embrapa e ao GFI Brasil – Biomas -Inova Amazônia pelo suporte para o desenvolvimento do trabalho.

Referências

Jaeger, S. R.; Beresford, M. K., Paisley, A. G., Auntúnez, L., Vidal, L., Cadena, R. S., Giménez, A., Ares, G. Check-all-that-apply (CATA) questions for sensory product characterization by consumers: Investigations into the number of terms used in CATA questions. Food Quality and Preference. Volume 42, June, p.p. 154-164, 2015

Fonseca, Rafael, F.; Melo, C. C. B. ; Sanches, B. B. C. P.; Bertucci-Neto, V. ; Farinas, C. S. ; KWONG, W. H. . Modelling of Solid-State Fermentation over Wide Operational Range for Application in Process Optimization. CANADIAN JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING, v. 96, p. 1723-1734, 2018

Pirota, R. D. P. B.; Tonelotto, M.; Delabona, P. S; Fonseca, R. F.; Paixão, D. A. A.; Baleiro, F. C. F.; Bertucci Neto, V.; Farinas, C. S.. . Enhancing xylanases production by a new Amazon Forest strain of *Aspergillus oryzae* using solid-state fermentation under controlled operation conditions. *Industrial Crops and Products*, v. 45, p. 465-471, 2013.

Rahardjo, Y. P., Rahardja, S., Samsudin, Saidah, Dalapati,A., Amalia, A. F., Purwaningsih, H., Syamsu, K. A literature review on cocoa fermentation techniques to shorten fermentation time. The 2nd International Conference on Sustainable Plantation, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, p.p. 974, 2022

Silva, A. B. C., Marques, E. L. S., Rezende, R. P. A Fermentação do cacau e o uso de inóculos leveduriformes / Cocoa fermentation and the use of yeast inoculum Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.8, n.4, p.26456-26471, apr., 2022.

Este trabalho foi financiado pela Embrapa e pelo Programa Biomas/Fundo JBS pela Amazônia/GFI

Embrapa Instrumentação
Embrapa Instrumentação
Rua XV de Novembro, 1452
Caixa Postal 741
CEP 13560-970 São Carlos, SP
Fone: (16) 2107 2800
Fax: (16) 2107 2902
www.embrapa.br/instrumentacao
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente: Daniel Souza Corrêa

Membros: Elaine Cristina Paris, Maria Alice Martins, Cristiane Sanchez Farinas, Cínthia Cabral da Costa, Carlos Renato Marmo, Paulo Renato Orlandi Lasso, Maria do Socorro Gonçalves Souza Monzane

Comunicado Técnico 127
ISSN 1517-4786
Dezembro, 2025

Projeto gráfico: Leandro Sousa Fazio

Diagramação: Valentim Monzane

Publicação digital: PDF



**Ministério da
Agricultura e Pecuária**

Todos os direitos reservados à Embrapa.