

**III CONGRESSO PARAIBANO DE PROCESSAMENTO E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

INOVAÇÃO E QUALIFICAÇÃO: O NORDESTE NO CENÁRIO AGROALIMENTAR

**VIRGÍNIA MIRTES DE ALCÂNTARA SILVA
ALINE DOS SANTOS GARCIA GOMES
ADRIANO GOMES DA CRUZ
TATIANA COLOMBO PIMENTEL**



2026

INOVAÇÃO E QUALIFICAÇÃO: O NORDESTE NO CENÁRIO AGROALIMENTAR

ORGANIZAÇÃO

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva

Aline dos Santos Garcia Gomes

Adriano Gomes da Cruz

Tatiana Colombo Pimentel

Local de publicação: Jardim do Seridó - RN

2026



DADOS EDITORIAIS

Editora: Agronfy

Endereço eletrônico: agronfy.com.br

ISBN da edição digital: 978-65-85062-33-6

DOI: [10.53934/agronfy-9786585062336](https://doi.org/10.53934/agronfy-9786585062336)

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

S586i Silva, Virgínia Mirtes de Alcântara (Org.)
Inovação e qualificação [recurso eletrônico] : o nordeste no cenário agroalimentar / Organizadores: Virgínia Mirtes de Alcântara Silva, Aline dos Santos Garcia Gomes, Adriano Gomes da Cruz, Tatiana Colombo Pimentel. – 1. ed. – [S. l.] : Agronfy, 2026.
Formato: PDF
ISBN: 978-65-85062-33-6
1. Tecnologia de alimentos. 2. Agroindústria. 3. Desenvolvimento. 4. Microbiologia. I. Silva, Virgínia Mirtes de Alcântara. II. Gomes, Aline dos Santos Garcia. III. Cruz, Adriano Gomes da. IV. Pimentel, Tatiana Colombo. V. Título.

CDD: 664
CDU: 664

Índices para catálogo sistemático:

1. Tecnologia de alimentos	664
2. Alimentos : Microbiologia	664.001579

DEDICATÓRIA

Dedicamos esta obra à ***Prof.^a Aline Manke Nachtigall***, diretora-geral do **IFSULDEMINAS – Campus Machado** e primeira mulher a assumir a Direção-Geral da instituição. Sua trajetória representa liderança, competência e compromisso com a educação pública, a ciência, a pesquisa e a extensão.

Esta homenagem reconhece sua relevante contribuição para o fortalecimento institucional e para a formação de profissionais comprometidos com a inovação e o desenvolvimento do setor agroalimentar. Sua atuação inspira mulheres, educadores, pesquisadores e estudantes a ocuparem espaços de liderança e a contribuírem para uma sociedade mais justa, sustentável e inclusiva.

APRESENTAÇÃO

É com grande honra que apresento esse livro intitulado: ***Inovação e Qualificação: o Nordeste no Cenário Agroalimentar***, uma obra que reúne pesquisas e experiências científicas voltadas aos avanços do processamento, da inovação e da tecnologia de alimentos. Trata-se de uma área estratégica para o Brasil, diretamente relacionada ao desenvolvimento de novos produtos, ao aproveitamento de matérias-primas, à redução de perdas, à segurança dos alimentos e ao fortalecimento das cadeias produtivas.

Esta obra é também resultado de um grande movimento científico construído pelo CPPTA – Congresso Paraibano de Processamento e Tecnologia de Alimentos. Em apenas três anos, o congresso conseguiu reunir pesquisadores de todos os estados do Brasil, aproximando diferentes instituições, grupos de pesquisa e áreas do conhecimento e formando uma grande rede de colaboração científica. Essa característica ímpar merece ser destacada, pois revela a capacidade do CPPTA de ultrapassar fronteiras regionais, integrar pesquisadores e consolidar uma equipe comprometida com o avanço da ciência e da tecnologia de alimentos.

Neste contexto, o Nordeste brasileiro ocupa um lugar de grande relevância. Sua diversidade de matérias-primas, seus recursos naturais, sua cultura alimentar e a força da agricultura familiar oferecem inúmeras possibilidades para a pesquisa e para a inovação tecnológica. Valorizar essas matérias-primas por meio da ciência significa também gerar conhecimento, agregar valor aos produtos regionais e ampliar oportunidades para produtores, comunidades e para o setor de alimentos.

Em cada capítulo desta obra, observa-se a riqueza e a diversidade das pesquisas desenvolvidas. São abordados o leite e seus derivados, a farinha de copioba, a jabuticaba, a abóbora, o cajá, o mirtilo, o bacuri, a amora e diferentes frutas amazônicas, entre outras matérias-primas. Os estudos apresentam possibilidades de processamento, desenvolvimento de novos produtos e avaliação de características físico-químicas, nutricionais, funcionais e sensoriais.

A obra também evidencia a aplicação de tecnologias e abordagens emergentes, incluindo o uso de microrganismos potencialmente probióticos, prebióticos, leveduras autóctones, processos fermentativos, novas estratégias de classificação nutricional e o aquecimento ôhmico. Esses estudos demonstram como a pesquisa em alimentos avança por meio da integração entre microbiologia, engenharia, química, nutrição e inovação tecnológica.

Cada capítulo representa o trabalho e a dedicação de pesquisadores comprometidos com a construção do conhecimento científico e com a busca por soluções para desafios reais do setor de alimentos. Mais do que reunir resultados, este livro materializa a força de uma comunidade científica que se encontra, compartilha experiências e constrói coletivamente novos caminhos para o desenvolvimento da ciência e da tecnologia de alimentos.

É uma honra apresentar esta obra, que valoriza a pesquisa, as matérias-primas brasileiras e o trabalho dos pesquisadores. Ao mesmo tempo, ela registra a trajetória de um congresso que, em apenas três anos, tornou-se um importante espaço de integração científica, reunindo

pesquisadores de todo o país em torno de um propósito comum: fortalecer o processamento e a tecnologia de alimentos no Nordeste e em todo o Brasil.

Marcelo Bregagnoli

Secretário de Educação Profissional e Tecnológica

PREFÁCIO

O Nordeste brasileiro reúne uma riqueza que se expressa na diversidade de suas paisagens, na força de sua agricultura e nos saberes de quem produz e transforma alimentos. Entre o litoral, o agreste, o sertão e as áreas de transição, encontram-se matérias-primas, práticas e experiências que oferecem caminhos para o desenvolvimento regional. Reconhecer esse potencial significa compreender que a inovação agroalimentar nasce tanto da investigação científica quanto do diálogo com os conhecimentos construídos pelas comunidades ao longo de gerações.

É nessa perspectiva que se apresenta a obra ***Inovação e qualificação: o Nordeste no cenário agroalimentar***. Ao reunir estudos sobre diferentes matérias-primas e possibilidades de aproveitamento tecnológico, o livro convida o leitor a refletir sobre a relação entre ciência, qualidade dos alimentos e valorização dos recursos regionais. Sua temática evidencia a importância de aproximar pesquisa, formação profissional e necessidades produtivas, criando condições para transformar conhecimento em benefícios para a sociedade.

O bacuri (*Platonia insignis* Mart.), fruto nativo da Amazônia e com ocorrência marcante em áreas de transição do Maranhão e do Piauí, representa uma das expressões dessa diversidade. Símbolo de fartura no extrativismo do Meio-Norte, sua valorização abre perspectivas para o processamento de frutos e o fortalecimento de atividades vinculadas à sociobiodiversidade. A jabuticaba (*Plinia cauliflora* (Mart.) Kausel), espécie nativa do Brasil — cujos frutos negros no tronco alimentam o imaginário popular como "estrelas coladas à madeira" —, oferece possibilidades de elaboração de alimentos e bebidas, além de estimular pesquisas sobre o aproveitamento de suas diferentes frações.

Essas matérias-primas convidam a pensar a inovação a partir do uso responsável dos recursos e da ampliação de seu valor alimentar, cultural e econômico. A abóbora — carinhosamente chamada de Jerimum no Nordeste —, que compreende espécies do gênero *Cucurbita* L., nativas do continente americano, com destaque regional para a *Cucurbita moschata* Duchesne, ocupa um lugar significativo na alimentação e na tradição sertaneja. Presente na mesa diária como símbolo de hospitalidade, sua relevância na agricultura familiar e sua versatilidade culinária oferecem uma base para o desenvolvimento de produtos e a diversificação das formas de consumo.

Investigar suas características e aplicações tecnológicas significa também reconhecer o valor de um alimento cotidiano e aproximar a pesquisa da realidade das famílias produtoras. Nesse encontro entre alimento e território, destaca-se a farinha de Copioba, produzida a partir da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) — raiz de origem sul-americana cuja gênese remete à célebre lenda indígena da menina Mani — e associada aos saberes tradicionais do Recôncavo Baiano. Seu valor ultrapassa as características do produto: envolve modos de fazer, relações comunitárias e identidade cultural. Qualificar essa produção requer aliar o aprimoramento dos processos e a segurança dos alimentos ao reconhecimento dos conhecimentos de seus produtores.

O leite de cabra, proveniente da espécie exótica *Capra hircus* Linnaeus — introduzida na região a partir da colonização e convertida em ícone da resistência e da sobrevivência no semiárido —, integra outra importante possibilidade de desenvolvimento agroalimentar. A

expressiva presença da caprinocultura no Nordeste reforça a relevância de pesquisas voltadas à qualidade da matéria-prima, ao rendimento industrial e à elaboração de derivados.

Nesse contexto, a qualificação dos produtores e o acesso a tecnologias de processamento podem contribuir para ampliar oportunidades de geração de renda e fortalecer as cadeias produtivas locais. O mirtilo (*Vaccinium* L. spp.), cultura originária do Hemisfério Norte (América do Norte e Europa) e cercada por antigas tradições celtas que a associavam à proteção e aos ciclos da colheita, amplia essa discussão ao trazer para a obra uma matéria-prima exótica relacionada à diversificação de produtos e à investigação de características de qualidade.

Sua abordagem permite considerar possibilidades de pesquisa e processamento no Nordeste, enquanto eventuais iniciativas de cultivo exigem a avaliação dos grupos genéticos, das cultivares e das exigências térmicas de cada localidade. A diversidade dessas matérias-primas revela que o potencial agroalimentar nordestino deve ser desenvolvido por caminhos complementares: valorização dos alimentos tradicionais, aproveitamento responsável da biodiversidade, investigação de novas possibilidades produtivas e formação de pessoas. Para isso, universidades, institutos de pesquisa, cooperativas, empreendimentos e comunidades têm um papel decisivo na construção de soluções acessíveis e adequadas às particularidades de cada território.

Que esta obra estimule novas perguntas, fortaleça parcerias e inspire práticas capazes de associar qualidade, sustentabilidade e inclusão produtiva. Ao aproximar conhecimento científico e experiências locais, Inovação e qualificação: o Nordeste no cenário agroalimentar convida a reconhecer a região como espaço de produção de alimentos, de criação de tecnologias e de construção de caminhos próprios para o desenvolvimento.

Renato Ferraz de Arruda Veiga

Fundação de Apoio à Pesquisa Agrícola - FUNDAG

SUMÁRIO

1. FATORES FÍSICO-QUÍMICOS E OPERACIONAIS ASSOCIADOS AO RENDIMENTO INDUSTRIAL DE QUEIJO MUSSARELA	9
2. CARACTERIZAÇÃO FENOTÍPICA DE LEVEDURAS AUTÓCTONES ISOLADAS DE PRODUÇÕES DE CACHAÇA	16
3. APROVEITAMENTO TECNOLÓGICO DA JABUTICABA (<i>Plinia cauliflora</i>) NA PRODUÇÃO DE AGUARDENTE: UMA ALTERNATIVA PARA VALORIZAÇÃO REGIONAL	22
4. CARACTERIZAÇÃO DO FRUTO E SUCO INTEGRAL DE MIRTILO (<i>Vaccinium</i> spp.) CULTIVADO NO NORDESTE DO BRASIL: Composição e potencial tecnológico	30
5. RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE LEVEDURAS AUTÓCTONES SOB ESTRESSE E ASSIMILAÇÃO DE SUBSTRATOS	39
6. COMPOSIÇÃO QUÍMICA E BIOATIVA DA POLPA DE BACURI (<i>PLATONIA INSIGNIS</i> MART.) EM DIFERENTES ANOS DE PRODUÇÃO	48
7. DESENVOLVIMENTO DE MACARRÃO TIPO TALHARIM ENRIQUECIDO COM FARINHA DE ABÓBORA (<i>CURCUBITA MAXIMA</i>)	57
8. DESENVOLVIMENTO DE IOGURTE DIET SEM LACTOSE À BASE DE POLPA DE CAJÁ	64
9. INFLUÊNCIA DAS RAÇAS E ESTAÇÕES DO ANO NA COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE LEITE DE CABRA	71
10. DESEMPENHO FERMENTATIVO E PERFIL FÍSICO-QUÍMICO GERADOS POR LEVEDURAS AUTÓCTONES	80

01

FATORES FÍSICO-QUÍMICOS E OPERACIONAIS ASSOCIADOS AO RENDIMENTO INDUSTRIAL DE QUEIJO MUSSARELA

AUTORES

Bianca Maria Azevedo Silva; Vitória Ferreira Nogueira; Letícia Gomes de Amaral; Délcio da Silva

doi [10.53934/agronfy-9786585062336-01](https://doi.org/10.53934/agronfy-9786585062336-01)



FATORES FÍSICO-QUÍMICOS E OPERACIONAIS ASSOCIADOS AO RENDIMENTO INDUSTRIAL DE QUEIJO MUSSARELA

SILVA, Bianca Maria Azevedo¹; NOGUEIRA, Vitória Ferreira¹; AMARAL, Letícia Gomes de²; DA SILVA, Délcio²

¹Discente do Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos, IFSULDEMINAS;

²Docente do Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos, IFSULDEMINAS;

Autor correspondente: leticia.amaral@ifsuldeminas.edu.br

RESUMO

O queijo mussarela é um dos derivados lácteos mais produzidos e consumidos no Brasil, sendo amplamente utilizado pela indústria alimentícia. A eficiência de sua produção está associada às características físico-químicas do leite e às condições operacionais de processamento. O presente estudo teve como objetivo avaliar a associação entre a acidez titulável, o teor de proteína total e o volume de leite processado e o consumo específico de leite na produção de queijo mussarela. Foram analisadas 48 bateladas de produção, realizadas no período de fevereiro a agosto de 2025. Determinaram-se a acidez titulável e o teor de proteína total do leite, além do volume utilizado em cada processamento. O consumo específico de leite foi determinado pela relação entre o volume de leite processado e a massa de queijo obtida, sendo expresso em litros de leite por quilograma de queijo produzido (L/kg), de modo que menores valores representam maior eficiência de conversão. A associação entre as variáveis foi avaliada pelo coeficiente de correlação de Pearson. A acidez titulável apresentou correlação positiva de baixa magnitude com o consumo específico de leite ($r=0,30$), enquanto o teor de proteína total apresentou correlação negativa fraca ($r = -0,16$). O volume de leite processado apresentou a maior magnitude de correlação entre as variáveis avaliadas ($r = 0,59$), caracterizando associação positiva moderada com o consumo específico de leite. Os resultados evidenciam diferentes magnitudes de associação entre características físico-químicas do leite, escala de processamento e o indicador produtivo avaliado. Entretanto, por se tratar de uma análise correlacional, os resultados não permitem estabelecer relações de causa e efeito entre essas variáveis. Os achados fornecem informações preliminares para o acompanhamento do processo industrial e indicam a necessidade de estudos adicionais que incorporem outros fatores composicionais e operacionais relacionados ao rendimento do queijo mussarela. Palavras-chave: acidez titulável; proteína do leite; rendimento industrial; qualidade do leite; queijo mussarela.

1. INTRODUÇÃO

O queijo mussarela ocupa posição de destaque entre os derivados lácteos produzidos no Brasil, tanto pelo elevado volume de fabricação quanto por sua ampla aceitação pelo consumidor. Sua versatilidade tecnológica permite aplicação em diferentes segmentos da indústria alimentícia, como pizzarias, panificação, refeições prontas e food service, o que impulsiona continuamente a demanda por esse produto (10,19). Nesse contexto, a eficiência produtiva torna-se um fator estratégico para a competitividade das indústrias de laticínios.

O rendimento industrial do queijo, expresso pela relação entre o volume de leite utilizado e a quantidade de produto final obtida, constitui um dos principais indicadores de desempenho econômico da indústria queijeira (11,12). Pequenas variações nesse indicador podem representar impactos financeiros significativos, uma vez que o leite é o principal insumo da produção e responde pela maior parcela dos custos operacionais (13). Dessa forma, a maximização do rendimento industrial está diretamente associada à sustentabilidade econômica do processo produtivo.

A composição físico-química do leite exerce influência direta sobre o rendimento e a qualidade do queijo. Parâmetros como acidez titulável, teor de proteína, teor de gordura e estabilidade das micelas

de caseína determinam o comportamento do leite durante as etapas de coagulação, corte da massa, sinérese e filagem, influenciando a retenção de sólidos e a formação da matriz proteica do queijo (6,7,12). Entre esses parâmetros, a acidez titulável destaca-se por refletir o equilíbrio do sistema leite, interferindo na atividade do coalho e na eficiência da coagulação enzimática (14).

O teor de proteína total do leite é frequentemente utilizado como indicador do potencial de rendimento, uma vez que a fração proteica, especialmente a caseína, constitui a base estrutural do queijo (12). Entretanto, estudos demonstram que a elevação da proteína total nem sempre se traduz em maior rendimento industrial, pois alterações na qualidade da caseína, associadas a fatores como mastite e aumento da contagem de células somáticas, podem comprometer a formação do coágulo e aumentar as perdas no soro (1,16,18).

Além da qualidade do leite, fatores operacionais relacionados ao processamento, como o volume de leite processado por batelada, influenciam diretamente a estabilidade do processo e o rendimento final. Processos realizados em maior escala tendem a apresentar melhor padronização das etapas tecnológicas, menor variabilidade operacional e redução proporcional de perdas, contribuindo para maior eficiência industrial (5,11).

Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar a associação entre a acidez titulável e o teor de proteína total do leite, bem como o volume de leite processado, e o rendimento industrial de queijo mussarela em bateladas conduzidas em escala industrial.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizado um estudo observacional com dados provenientes de 48 bateladas industriais de produção de queijo mussarela, conduzidas entre fevereiro e agosto de 2025 em uma indústria de laticínios localizada no Sul de Minas Gerais. O leite utilizado era cru refrigerado, proveniente de produtores regularmente cadastrados e submetidos ao controle de qualidade da indústria.

As amostras de leite foram coletadas diretamente dos tanques de recepção antes do início do processamento. A acidez titulável do leite foi determinada pelo método Dornic, utilizando-se 10 mL da amostra, solução de hidróxido de sódio 0,1 N ou solução Dornic (0,11 N; N/9) e fenolftaleína como indicador. A titulação foi conduzida até o aparecimento de coloração rósea persistente, sendo os resultados expressos em graus Dornic (°D), conforme a Instrução Normativa nº 68/2006 do Ministério da Agricultura (13). Enquanto o teor de proteína total foi obtido por métodos físico-químicos padronizados, conforme descrito por Fonseca da Silva et al. (8). O volume de leite processado em cada batelada foi registrado a partir dos controles operacionais da indústria, garantindo a rastreabilidade das informações.

O processamento do queijo mussarela seguiu o fluxo tecnológico tradicional adotado pela indústria, em conformidade com os Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade vigentes (3,4). As etapas incluíram pasteurização do leite, adição de fermento lácteo e coalho, coagulação, corte da massa, sinérese, filagem, moldagem, salga e estabilização do produto final (14,19).

O rendimento industrial foi calculado pela relação entre o volume de leite utilizado e a massa de queijo obtida ao final do processamento, sendo expresso em litros de leite por quilograma de queijo produzido (L/kg). Para a avaliação da relação entre as variáveis estudadas, utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson, considerando-se a natureza contínua dos dados e o objetivo de identificar associações lineares entre os parâmetros analisados.

Análise estatística

A associação entre a acidez titulável, o teor de proteína total e o volume de leite processado e o consumo específico de leite na produção de queijo mussarela foi avaliada por meio do coeficiente de correlação de Pearson ((r)), considerando-se a natureza contínua das variáveis e o objetivo de identificar associações lineares entre os parâmetros analisados.

A significância estatística dos coeficientes de correlação foi avaliada por meio da estatística (t), calculada conforme a Equação 2:

em que (t) corresponde ao valor da estatística do teste, (r) ao coeficiente de correlação de Pearson e (n) ao número de observações. Os graus de liberdade foram determinados pela expressão ($gl=n-2$). Considerando as 48 bateladas avaliadas, foram utilizados 46 graus de liberdade. Os valores de (p) foram obtidos por teste bilateral, adotando-se nível de significância de 5% ($p<0,05$).

Para interpretação da magnitude das associações, os coeficientes de correlação foram analisados considerando-se seu sinal e magnitude, enquanto a significância estatística foi estabelecida exclusivamente com base nos respectivos valores de (p).

A análise de correlação de Pearson evidenciou diferentes magnitudes de associação entre as variáveis avaliadas e o consumo específico de leite. A acidez titulável apresentou correlação positiva de baixa magnitude ($r=0,30$; $p=0,038$), sendo estatisticamente significativa ao nível de 5%. O teor de proteína total apresentou correlação negativa fraca ($r = -0,16$; $p = 0,277$), sem significância estatística. O volume de leite processado apresentou a maior magnitude de associação entre as variáveis analisadas, com correlação positiva moderada e estatisticamente significativa ($r=0,59$; $p<0,001$).

Considerando que o indicador produtivo foi expresso em litros de leite por quilograma de queijo produzido (L/kg), valores mais elevados correspondem a maior consumo específico de leite e, conseqüentemente, menor eficiência de conversão. Assim, o sinal positivo das correlações deve ser interpretado considerando a direção desse indicador, não devendo ser entendido automaticamente como aumento do rendimento industrial.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de correlação de Pearson foi realizada para avaliar a associação entre a acidez titulável, o teor de proteína total e o volume de leite processado e o consumo específico de leite na produção de queijo mussarela. Considerando as 48 bateladas avaliadas, foram obtidos os coeficientes de correlação (r), os respectivos valores da estatística t e os valores de p, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis avaliadas e o consumo específico de leite na produção de queijo mussarela.

Variável	r	t	p	resultado
Acidez titulável	0,30	2,133	0,038	significativa
Proteína total	- 0,16	-1,099	0,277	não-significativa
Volume de leite processado	0,59	4,956	<0,001	significativa

Onde:

r: coeficiente de correlação de Pearson;

t: estatística do teste;

p: nível descritivo de significância.

n=48 bateladas; gl=46.

Foram consideradas estatisticamente significativas as associações com $p<0,05$.

Conforme apresentado na Tabela 1, a acidez titulável apresentou correlação positiva de baixa magnitude com o consumo específico de leite ($r=0,30$; $p=0,038$), sendo essa associação estatisticamente significativa. O teor de proteína total apresentou correlação negativa de baixa magnitude ($r = - 0,16$; $p =$

0,277), sem significância estatística. O volume de leite processado apresentou a maior magnitude de associação entre as variáveis avaliadas, com correlação positiva moderada e estatisticamente significativa ($r = 0,59$; $p < 0,001$).

Os resultados demonstraram correlação positiva entre a acidez titulável do leite e o rendimento industrial do queijo mussarela ($r = 0,30$). Esse comportamento indica que níveis adequados de acidez favorecem a coagulação enzimática, promovendo maior retenção de sólidos na massa do queijo. A acidez influencia diretamente a estabilidade das micelas de caseína, facilitando a ação do coalho e a formação de um coágulo mais firme e homogêneo (12,14).

A formação de um coágulo adequado reduz as perdas de proteína e gordura no soro durante as etapas de corte da massa e sinérese, resultando em melhor aproveitamento da matéria-prima. Esses resultados corroboram observações da literatura, que destacam a acidez como um parâmetro crítico para a eficiência tecnológica na fabricação de queijos de massa filada (14).

Em relação ao teor de proteína total, observou-se correlação negativa fraca com o rendimento industrial ($r = -0,16$). Esse resultado evidencia que a proteína total, quando avaliada isoladamente, não é um indicador direto do rendimento do queijo. A qualidade da fração caseínica e a integridade das micelas de caseína são determinantes para a retenção de sólidos na massa do queijo (1,16).

Alterações na qualidade do leite, frequentemente associadas à mastite e ao aumento da contagem de células somáticas, comprometem a estrutura da caseína e aumentam a atividade proteolítica, resultando em maior perda de proteína no soro (18). Dessa forma, mesmo em leites com teor elevado de proteína total, a eficiência de retenção pode ser reduzida, impactando negativamente o rendimento industrial.

O volume de leite processado apresentou a correlação mais expressiva com o rendimento industrial ($r = 0,59$), indicando que a escala produtiva exerce influência significativa sobre a eficiência do processo. Bateladas maiores tendem a apresentar maior estabilidade operacional, melhor controle das variáveis tecnológicas e menor variabilidade relativa de perdas, contribuindo para maior aproveitamento da matéria-prima (5,11).

Esses resultados reforçam a importância da padronização operacional e do controle integrado da qualidade do leite e do processo produtivo. O rendimento industrial da mussarela não depende de um único fator isolado, mas da interação entre composição do leite, condições de processamento e escala produtiva.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que o rendimento industrial do queijo mussarela é fortemente influenciado pela interação entre a qualidade físico-química do leite e as condições operacionais do processamento. Dentre os parâmetros avaliados, a acidez titulável apresentou associação positiva com o rendimento, evidenciando seu papel fundamental na eficiência da coagulação enzimática, na formação adequada do coágulo e na retenção de sólidos na massa do queijo. Esse achado reforça a importância do controle rigoroso da acidez do leite como ferramenta tecnológica para a redução de perdas e otimização do processo produtivo.

O volume de leite processado destacou-se como o fator com maior correlação com o rendimento industrial, indicando que a escala produtiva contribui significativamente para a estabilidade operacional e para a padronização das etapas tecnológicas. Processamentos em maior volume tendem a apresentar menor variabilidade relativa de perdas, melhor controle dos tempos e temperaturas e maior eficiência no aproveitamento da matéria-prima, refletindo diretamente na viabilidade econômica da produção de mussarela.

Por outro lado, o teor de proteína total apresentou correlação fraca com o rendimento, demonstrando que sua avaliação isolada não é suficiente para prever a eficiência industrial. Esse resultado evidencia que a contribuição da proteína para o rendimento depende, sobretudo, da qualidade

da fração caseínica e da integridade das micelas de caseína, as quais podem ser comprometidas por fatores relacionados à saúde do rebanho e à qualidade higiênico-sanitária do leite.

Dessa forma, conclui-se que estratégias voltadas para o monitoramento contínuo da acidez do leite, a padronização da escala produtiva e o controle da qualidade proteica são essenciais para a maximização do rendimento industrial e da eficiência tecnológica na fabricação de queijo mussarela. Os resultados obtidos fornecem subsídios técnicos relevantes para a tomada de decisão na indústria de laticínios, contribuindo para o aprimoramento dos processos produtivos e para a sustentabilidade econômica do setor.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS) pelo apoio institucional e pela infraestrutura disponibilizada para a realização deste estudo. Agradecem, igualmente, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos pelo suporte acadêmico e pela contribuição para a formação científica dos discentes envolvidos. Os autores registram também seu agradecimento à indústria de laticínios parceira, pela disponibilização dos dados produtivos e pela colaboração durante o período de coleta das informações, contribuições fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa. Por fim, agradecem aos docentes, técnicos e colegas do programa pelo apoio técnico, científico e acadêmico prestado ao longo da execução do estudo.

REFERÊNCIAS

1. Ballou LU, Pasquini M, Bremel RD, Everson T, Sommer D. Factors affecting herd milk composition and milk plasmin at four levels of somatic cell counts. *Journal of Dairy Science*. 1995;78(10):2186–2195.
2. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 364, de 4 de setembro de 1997. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Queijo Mussarela. Diário Oficial da União; 1997.
3. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 76, de 26 de novembro de 2018. Diário Oficial da União; 2018.
4. Ferreira LE, Pinto RC (org.). Produção de queijos artesanais e tradicionais no Brasil. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite; 2019.
5. Fonseca CH. Padrões de identidade e qualidade para leites fluidos. Juiz de Fora: EPAMIG; 2020.
6. Forti APA. A ascensão do queijo mussarela e do requeijão no Brasil. *Revista Mais Leite*. 2023;6(72):18–23.
7. Fox PF, Guinee TP, Cogan TM, McSweeney PLH. Fundamentals of Cheese Science. 2nd ed. New York: Springer; 2017.
8. Furtado MM. Mussarela: fabricação e funcionalidade. São Paulo: Fonte Comunicações; 2016.
9. Rodrigues ACOLD, Cassoli LD, Machado PF. Valuation of an on-farm test to estimate somatic cell count. *Journal of Dairy Science*. 2009;92(2):785–792.
10. Santos CA, Freitas MA, Carvalho RB. Efeitos da qualidade do leite na fabricação de queijos artesanais. *Journal of Dairy Science*. 2021;104(Suppl 1):120.
11. Silva VN, Rangel AHN, Araújo VM, Bezerra KC, Oliveira JP. Correlação entre contagem de células somáticas e composição química do leite cru. *Revista Brasileira de Ciência Veterinária*. 2014;21(1):18–23.

12. Valente GLC, Silva LDC. Influência da mastite sobre a produção e qualidade do leite cru. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*. 2023;78(1):15–22.
13. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 68, de 12 de dezembro de 2006. Oficializa os Métodos Analíticos Oficiais Físico-Químicos para Controle de Leite e Produtos Lácteos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 dez. 2006, Seção 1, p. 8.

02

CARACTERIZAÇÃO FENOTÍPICA DE LEVEDURAS AUTÓCTONES ISOLADAS DE PRODUÇÕES DE CACHAÇA

AUTORES

Júlia Bizerra-Santos, Maria Clara De-Barros, Normando Ribeiro-Filho*

doi [10.53934/agronfy-9786585062336-02](https://doi.org/10.53934/agronfy-9786585062336-02)



CARACTERIZAÇÃO FENOTÍPICA DE LEVEDURAS AUTÓCTONES ISOLADAS DE PRODUÇÕES DE CACHAÇA

Júlia Bizerra-Santos¹, Maria Clara De-Barros¹, Normando Ribeiro-Filho^{1*}

¹Laboratório de Tecnologia de Produtos Agropecuários, DSER, CCA, Universidade Federal da Paraíba-UFPB, Areia, Paraíba, Brasil

*E-mail para correspondência: normandofilho@cca.ufpb.br

Resumo

A valorização de leveduras autóctones em produções de cachaça constitui uma estratégia promissora para inovação e aprimoramento do controle fermentativo. Este estudo teve como objetivo isolar, purificar e caracterizar fenotipicamente leveduras oriundas de treze engenhos da Paraíba, visando subsidiar sua seleção para aplicações industriais. As amostras de “pé-de-cuba” foram coletadas em triplicata, criopreservadas e submetidas a isolamento em meio YPD, seguido de purificação por estrias sucessivas. A caracterização incluiu análises morfológicas macro e microscópicas, ensaios fisiológicos de assimilação de carbono e nitrogênio, produção de H₂S e avaliação do desempenho fermentativo em mosto sintético a 15 °Brix. Os resultados revelaram diversidade fenotípica significativa entre as treze cepas, com diferenças em coloração, textura, brilho e margens, além de variações fisiológicas relevantes. A caracterização fenotípica representa etapa inicial essencial para triagem tecnológica, estabelecendo bases sólidas para o aproveitamento biotecnológico dessas linhagens.

Palavras-chave: Leveduras autóctones; Caracterização fenotípica; Cachaça; Fermentação; Biotecnologia.

1. Introdução

As leveduras desempenham papel central nos processos fermentativos, sendo responsáveis pela conversão de açúcares em etanol, dióxido de carbono e uma diversidade de metabólitos secundários de interesse tecnológico. Esses micro-organismos apresentam importância estratégica para a indústria de bebidas, pois influenciam diretamente o rendimento fermentativo e a qualidade sensorial do produto final (Da Silva et al., 2023). No contexto da produção de cachaça, as leveduras autóctones constituem um patrimônio microbiológico singular, adaptado às condições específicas dos engenhos e ao ambiente da cana-de-açúcar. Assim, compreender sua diversidade e características biológicas é essencial para explorar seu potencial industrial e valorizar a identidade regional da bebida.

A fermentação espontânea, tradicionalmente empregada na produção artesanal de cachaça, depende da microbiota natural presente no caldo de cana e nos equipamentos de produção. Esse processo favorece a predominância gradual de leveduras adaptadas às condições locais, mesmo quando há uso inicial de culturas comerciais, que tendem a ser substituídas ao longo do tempo pelas populações autóctones (Rosa et al., 2009). Entretanto, a complexidade microbiológica envolvida exige estratégias robustas para isolar e purificar essas leveduras, assegurando culturas representativas e estáveis para estudos posteriores. A caracterização fenotípica torna-se, portanto, uma etapa indispensável para compreender a variabilidade morfológica, metabólica e tecnológica desses isolados.

Diante desse cenário, investigar leveduras autóctones provenientes de produções de cachaça representa uma oportunidade de fortalecer a inovação e o controle do processo fermentativo. A identificação de linhagens com características desejáveis pode ampliar a produtividade, padronizar a fermentação e contribuir para o desenvolvimento de cachaças especiais com identidade sensorial diferenciada. Nesse contexto, este trabalho objetivou realizar o isolamento, a purificação e a caracterização fenotípica de leveduras autóctones oriundas de engenhos produtores de cachaça, estabelecendo bases científicas para sua seleção e aplicação em processos fermentativos de maior eficiência e qualidade.

2. Metodologia

2.1. Locais de coleta e armazenamento do “pé de cuba” Dos engenhos do estado da paraíba

Foram coletados, em 2021, amostras de 25 mL de “pé-de-cuba” (leveduras autóctones), em triplicata, de treze unidades produtoras de cachaça das cidades: Areia (8), Alagoa Grande (1), Alagoa nova (1), Guarabira (1), Belém (1) e Alhandra (1), todas localizadas no estado da Paraíba. O termo “pé-de-cuba” refere-se a uma etapa preparatória da fermentação alcoólica, onde uma pequena fração do caldo de cana é utilizada para multiplicar as leveduras, permitindo sua adaptação ao meio antes da fermentação principal. Essa prática contribui para o aumento da eficiência do processo e contribui para a manutenção de uma microbiota adaptada ao ambiente fermentativo.

As amostras foram armazenadas em Tubos Falcon de 50 mL estéreis com a adição de 25 mL de Glicerol e criopreservadas em um Freezer -80 °C, preservando a integridade da amostra. Todos os procedimentos foram realizados em condições assépticas. A execução do estudo foi realizada no Laboratório de Tecnologia de Produtos Agropecuários (LTPA), Departamento de Solos e Engenharia Rural, Centro de Ciências Agrárias (CCA), Universidade Federal da Paraíba/UFPB.

2.2. Meios de cultura, reagentes e soluções

Para dar início ao processo de inoculação das leveduras, foi utilizado o meio de cultura Yeast Extract Peptone Dextrose (YPD), utilizando 1% de Extrato de Leveduras, 2% de Peptona e 2% de D-glicose. Para o crescimento em placas de Petri, o meio de cultura usado foi o YPD Ágar, adicionando 2% de Ágar Bacteriológico. Com a finalidade de avaliar o crescimento das leveduras em diferentes Fontes de Carbono, o meio de cultura usado foi o YP+FCE (fonte de carbono específica), preparado com a concentração de 2%, sendo elas: Glicose, Frutose, Galactose, Xilose, Manose, Ramnose, Sacarose, Maltose, Lactose e Melibiose. Para o teste que determina a Produção de Sulfeto de Hidrogênio (H₂S), usou-se o Meio LA, dissolvendo 0,5g de extrato de levedura, 0,3g de peptona, 4g de D-glicose, 0,02g de Sulfato de Amônio, 0,1g de Acetato de Chumbo neutro e 2g de Ágar Bacteriológico ajustado para 100mL de água destilada. Para avaliar a capacidade de assimilação em diferentes fontes de nitrogênio, foram utilizadas três fontes específicas de nitrogênio (Lisina, Nitrato de Potássio ou Nitrito de Sódio), adaptando o meio de cultura base YPD Ágar, retirando o Extrato de Levedura e a Peptona; preparando duas soluções que confere todos os minerais necessários para o crescimento metabólico das leveduras. Para 1 litro de Meio de cultura: 20g de D-glicose; 2g da fonte de nitrogênio específica (Lisina, Nitrato de Potássio ou Nitrito de Sódio).

Para avaliar o desempenho fermentativo das leveduras isoladas de forma padronizada, foi utilizado um mosto sintético formulado para simular um caldo de cana-de-açúcar à 15°Brix. A composição do mosto consistiu em: 90 g de sacarose, 18 g de glicose, 12 g de frutose, 10 g de extrato de levedura e 20 g de peptona (Maia *et al.*, 2025). Os componentes foram dissolvidos em água destilada e o volume final ajustado para 1L em um balão volumétrico. A solução foi utilizada exclusivamente para os ensaios de fermentação com as 13 leveduras avaliadas individualmente. Todos os meios utilizados foram devidamente preparados e Autoclavados a 121°C a 15psi durante 15 min imediatamente após a preparação.

2.3. Banco de Leveduras e Manutenção

As colônias de leveduras puras de cada Engenho foram armazenadas em Tubos Inclinados contendo 30 mL de YPD Ágar, semeadas sobre o meio, em triplicata, por 96 horas. Conservadas em geladeira à 4 °C, sendo renovadas a cada 4 meses. Além disso, uma alíquota de 1 mL do meio inoculado juntamente com 1 mL de Glicerol foi criopreservado em Tubos Eppendorf, em triplicata, em um Freezer à -80 °C.

2.4. Isolamento, purificação e caracterização fenotípica das leveduras

Para o isolamento das leveduras presentes no “pé-de-cuba”, uma alíquota de 200 µL de cada amostra foram inoculados em tubos Falcon de 15 mL contendo 5 mL de meio YPD líquido. As culturas foram mantidas em incubação em temperatura ambiente durante 24h, com o objetivo de promover a ativação e crescimento inicial das leveduras presentes no “pé-de-cuba”. Após esse período de pré-cultivo, com o auxílio de uma alça microbiológica estéril, foram semeadas em placas de Petri contendo YPD Ágar, por meio da técnica de estrias por esgotamento. As placas foram incubadas à temperatura ambiente, pelo período de 96h. Esse processo foi repetido três vezes, selecionando uma colônia isolada de cada Engenho e inoculando em meio YPD e “estriando” em novas placas de Petri com YPD Ágar. Essa técnica permitiu o isolamento de colônias individuais, para no final, obter uma colônia de levedura mais pura possível.

2.4.1. Técnica de “Spot-plating”

Se trata de um método usado na Microbiologia para melhor aplicação e dispersão de uma e/ou mais pontos de uma mesma amostra em um meio de cultura sólido, permitindo o crescimento das colônias de leveduras. O processo consiste na aplicação de pequenas alíquotas de 10 µL do inóculo, dispersa em pontos sobre o meio de cultura YPD Ágar, uma triplicada por levedura. Comparada as técnicas padronizadas e utilizadas no âmbito microbiológico, a técnica de “spot plate” oferece um método igualmente preciso, mais rápido e econômico. A técnica foi posteriormente utilizada para determinação do crescimento em diferentes temperaturas, carbonos específicos, produção de sulfeto de hidrogênio (H₂S) e nitrogênio.

2.4.2. Avaliação morfológica das leveduras

A caracterização morfológica das cepas selecionadas, oriundas das treze unidades produtoras de cachaça, foi realizada a partir do inóculo submetido a uma diluição seriada para a obtenção de colônias isoladas (Kurtzman et al., 2011). A placa foi estriada em uma placa de petri contendo YPD. As placas foram incubadas em uma BOD à temperatura de 28°C por 48h.

Após o crescimento das colônias, as leveduras foram analisadas macroscopicamente quanto ao seu diâmetro: Grande (5mm), Média (2 a 5mm) e Pequena (2mm); forma (circular, irregular, rizóide, filamentosa ou puntiforme), elevação (côncava, elevada, ondulada, protuberante, achatada ou convexa), margem (lisas, laceradas, lobadas, filamentosas ou onduladas), estrutura (lisa, granulosa, filamentosa ou rugosa), brilho (transparente, translúcida ou opaca) e cor (incolor, branca ou pigmentada) (Kurtzman *et al.*, 2011). As imagens das colônias isoladas das treze cepas foram obtidas a partir do Estereomicroscópio Discovery V20 Zeiss.

As leveduras também foram observadas e analisadas microscopicamente quanto à sua morfologia celular, levando em consideração características como formato (esférico, ovalado, elipsoidal, alongado ou irregular), presença de brotamento (unipolar, bipolar ou multipolar) e presença de estruturas específicas, como pseudohifas ou micélios (Kurtzman et al., 2011). As análises foram realizadas a partir de lâminas preparadas com suspensões celulares frescas e examinadas sob Microscópio Óptico, utilizando a objetiva de 100x, juntamente com óleo de imersão. As imagens representativas das células das treze leveduras foram registradas digitalmente, com o auxílio de uma câmera digital e ajustadas no aplicativo ImageView.

2.5. Análise estatística

Os resultados obtidos foram avaliados através de análise de variância (ANOVA), teste tukey, utilizando o software STATISTICA 5.0®. Toda a análise estatística foi baseada em um nível de significância de 5% (p<0,05).

3. Resultado e Discussão

Em 2021, amostras de “pé-de-cuba” de treze engenhos da Paraíba foram coletadas em triplicata, criopreservadas em glicerol e armazenadas a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. As leveduras foram isoladas em meio YPD, purificadas por estrias sucessivas e mantidas em banco microbiológico sob refrigeração e criopreservação. A caracterização incluiu morfologia macro e microscópica, utilizando spot-plating e observação óptica. Ensaios fisiológicos avaliaram assimilação de diferentes fontes de carbono e nitrogênio, além da produção de H_2S . O desempenho fermentativo foi testado em mosto sintético a $15\text{ }^{\circ}\text{Brix}$ (Maia et al., 2025). Os dados foram submetidos à ANOVA e teste de Tukey ($p<0,05$).

3.1. Isolamento, purificação e seleção das leveduras

Ao purificar as leveduras provenientes das treze unidades produtoras de cachaça, foi possível observar a presença de colônias de microrganismos unidas e isoladas. A seleção e isolamento das cepas de leveduras garante a eficiência dos métodos avaliativos, como a assimilação de carbono, nitrogênio e o desempenho fermentativo; avaliando a influência de cada cepa, separadamente, visando o melhoramento e eficiência do processo e, consequentemente, a qualidade do produto final.

3.2. Caracterização morfológica

A caracterização morfológica de colônias é uma etapa fundamental para a identificação inicial das leveduras. Todas as cepas avaliadas possuem o formato circular; maioria das amostras apresentam a textura lisa, exceto a Cepa FYFE-01 que possui a textura rugosa (Tabela 1). Quanto ao tamanho, todas tem o tamanho pequeno, variando de 0,39 mm a 1,49 mm. A Cepa FYFE-10 apresenta maior tamanho, em contraste a Cepa FYFE-07 apresentou menor tamanho (Tabela 1). Quanto a coloração e brilho, sete cepas (de FYFE-01 a FYFE-07) são incolores/translúcidas e seis (FYFE-08 a FYFE-13) tem coloração branca/opaca (Tabela 1). Já quanto a margem, maioria das amostras isoladas possuem as margens lisas, exceto a Cepa FYFE-01 com a margem lacerada (Tabela 1). Todas as leveduras apresentaram colônias com elevação convexa (Tabela 1).

Tabela 1: Características macro morfológicas das colônias de leveduras isoladas de treze unidades produtoras de cachaça.

Cepas	Tamanho (mm)	Formato	Textura	Cor	Margem	Elevação	Brilho
FYFE-01	Pequena (0,42 mm)	Circular	Granulosa	Incolor	Laceradas	Convexa	Translúcida
FYFE-02	Pequena (0,60 mm)	Circular	Lisa	Incolor	Lisas	Convexa	Translúcida
FYFE-03	Pequena (0,48 mm)	Circular	Lisa	Incolor	Lisas	Convexa	Translúcida
FYFE-04	Pequena (0,41 mm)	Circular	Lisa	Incolor	Lisas	Convexa	Translúcida
FYFE-05	Pequena (0,48 mm)	Circular	Lisa	Incolor	Lisas	Convexa	Translúcida
FYFE-06	Pequena (0,64 mm)	Circular	Lisa	Incolor	Lisas	Convexa	Translúcida
FYFE-07	Pequena (0,39 mm)	Circular	Lisa	Incolor	Lisas	Convexa	Translúcida
FYFE-08	Pequena (0,71 mm)	Circular	Lisa	Branca	Lisas	Convexa	Opaca
FYFE-09	Pequena (0,62 mm)	Circular	Lisa	Branca	Lisas	Convexa	Opaca
FYFE-10	Pequena (1,49 mm)	Circular	Lisa	Branca	Lisas	Convexa	Opaca
FYFE-11	Pequena (1,17 mm)	Circular	Lisa	Branca	Lisas	Convexa	Opaca
FYFE-12	Pequena (0,63 mm)	Circular	Lisa	Branca	Lisas	Convexa	Opaca

FYFE-13	Pequena (0,97 mm)	Circular	Lisa	Branca	Lisas	Convexa	Opaca
---------	-------------------	----------	------	--------	-------	---------	-------

Legenda: Tamanho: Grande (5mm), Média (2 a 5mm) e Pequena (2mm); formato (circular, irregular, rizóide, filamentosa ou puntiforme), elevação (côncava, elevada, ondulada, protuberante, achatada ou convexa), margem (lisas, laceradas, lobadas, filamentosas ou onduladas), textura (lisa, granulosa, filamentosa ou rugosa), brilho (transparente, translúcida ou opaca) e cor (incolor, branca ou pigmentada).

Os resultados evidenciaram uma diversidade fenotípica relevante entre as treze cepas autóctones isoladas de produções de cachaça da Paraíba, mesmo sob um padrão geral de colônias pequenas, circulares e convexas. A distinção entre grupos incolores/translúcidos e brancos/opacos, bem como a singularidade da cepa FYFE-01 quanto à textura e margem, indicam variabilidade adaptativa que pode refletir diferenças metabólicas e tecnológicas. Essas descobertas reforçam o potencial das leveduras autóctones como recurso estratégico para seleção de culturas iniciadoras regionais, contribuindo para padronização e valorização sensorial da cachaça. Entretanto, a caracterização baseada apenas em critérios morfológicos apresenta limitações taxonômicas, não permitindo identificação em nível de espécie. Estudos futuros devem incorporar ferramentas moleculares, análises fisiológicas e ensaios fermentativos integrados para correlacionar características fenotípicas com desempenho industrial, ampliando a aplicabilidade biotecnológica dessas linhagens em bebidas e outros bioprocessos.

4. Conclusão

As leveduras autóctones isoladas de unidades produtoras de cachaça apresentaram diversidade morfológica consistente, evidenciando a riqueza microbiológica associada aos processos fermentativos regionais. Apesar da predominância de características comuns, diferenças em textura, coloração, brilho e margens revelaram perfis fenotípicos distintos entre as cepas. Esses resultados demonstram que a caracterização morfológica constitui uma ferramenta inicial valiosa para seleção e triagem de leveduras com potencial tecnológico. Sua aplicação deve ser complementada por abordagens moleculares e funcionais para validação taxonômica e industrial. Assim, o estudo estabelece bases sólidas para o aproveitamento de leveduras autóctones na inovação e qualificação da produção de cachaça.

Referências

- Da Silva VP, De Souza JB, De Queiroz AL, Ribeiro-Filho N, Bezerra TK (2023) Cachaça production: from sugar cane to spirit. J Inst Brew. <https://doi.org/10.58430/jib.v129i4.40>
- Rosa, C.A., A.M. Soares, and J.B. Faria. 2009. Chapter 34: Cachaça production. In: Ingledew, W.M., Kelsall, D.R., Austin, G.D., Kluhspies, C. The alcohol Textbook. Fifth edition. Nottingham University press. Chapter 34, 481-490.
- Maia, L., Felizardo, L., De-Barros, M.C. Bizerra-Santos, J., Silva, F.L.H., Ribeiro-Filho, N. (2025). Unveiling the influence of autochthonous yeasts selected from spontaneous fermentation of cachaça on ethanol, ester and fermentation kinetics. Antonie van Leeuwenhoek 118, 104 . <https://doi.org/10.1007/s10482-025-02123-7>
- Kurtzman CP, Fell JW, Boekhout T, Robert V. (2011). Methods for isolation, phenotypic characterization and maintenance of yeasts. In: Kurtzman CP, Fell JW, Boekhout T. (eds.) The Yeasts: A Taxonomic Study. Elsevier: Amsterdam; 2011. p.87-110.

03

APROVEITAMENTO TECNOLÓGICO DA JABUTICABA (*Plinia cauliflora*) NA PRODUÇÃO DE AGUARDENTE: UMA ALTERNATIVA PARA VALORIZAÇÃO REGIONAL

AUTORES

Gabriela do Vale Souza; Lorene Braz Nunes Silva; Elainy Virginia dos Santos Pereira; Isanna Menezes Florêncio

[doi 10.53934/agronfy-9786585062336-03](https://doi.org/10.53934/agronfy-9786585062336-03)



APROVEITAMENTO TECNOLÓGICO DA JABUTICABA (*Plinia cauliflora*) NA PRODUÇÃO DE AGUARDENTE: UMA ALTERNATIVA PARA VALORIZAÇÃO REGIONAL

Gabriela do Vale Souza¹; Lorene Braz Nunes Silva²; Elaine Virginia dos Santos Pereira³; Isanna Menezes Florêncio^{4*}

¹Aluna de graduação, Departamento de farmácia/UEPB - <https://orcid.org/0009-0002-9044-8513>

² Aluna de graduação, Departamento de farmácia/UEPB - <https://orcid.org/0009-0002-8143-8620>

³Técnica de laboratório, NUPEA/UEPB - <https://orcid.org/0000-0002-4159-2482>

⁴Técnica de laboratório, NUPEA/UEPB - <https://orcid.org/0009-0009-5352-5410>

*Autor correspondente (Corresponding author) – Email: isanna@servidor.uepb.edu.br

Resumo

A jabuticaba (*Plinia cauliflora*), fruto nativo do Brasil, destaca-se por suas características sensoriais marcantes, como casca de coloração negra e polpa branca de sabor adocicado levemente ácido. Sua ampla versatilidade tecnológica permite a elaboração de diversos produtos, entre eles sucos, fermentados, licores e aguardentes, o que desperta interesse para agregação de valor, aproveitamento da safra e fortalecimento da agricultura familiar. Nesse contexto, o presente estudo avaliou a viabilidade fermentativa da jabuticaba visando à posterior obtenção de aguardente, como alternativa de aproveitamento tecnológico e valorização regional. As frutas foram coletadas no Brejo Paraibano, higienizadas e processadas de modo a preservar sua composição. Foram determinadas características físico-químicas, incluindo teores de sais minerais, proteínas, carboidratos, lipídios e umidade. Para a fermentação, utilizou-se planejamento experimental 2² com 3 pontos centrais, totalizando sete ensaios experimentais. Para cada experimento foi preparado seu mosto de forma individual, com 300 mL de suco de jabuticaba acrescido de cascas e sementes em Erlenmeyer de 1000 mL, suplementado com sacarose como fonte adicional de nutrientes, e inoculado com a levedura *Saccharomyces cerevisiae* (fermento comercial fresco), de acordo com o planejamento. Foram avaliados níveis de 5 a 15% de inóculo e de 25 a 35 °Brix de sólidos solúveis totais. Nos experimentos correspondentes aos pontos centrais, conduzidos inicialmente a 30 °Brix, os valores finais de sólidos solúveis totais foram de 12,7, 12,1 e 12,1 °Brix após 24 horas de fermentação, correspondendo a uma média de 12,3 °Brix e a uma redução média de aproximadamente 59,0% em relação ao valor inicial. O teor alcoólico obtido nos três pontos centrais foi de 14,7 °GL. A análise estatística, considerando os sólidos solúveis totais finais como variável de resposta, indicou efeito significativo apenas da concentração inicial de sólidos solúveis totais. A concentração de inóculo e a interação entre os fatores não apresentaram efeito significativo no nível de 95% de confiança. Os resultados evidenciam atividade fermentativa da jabuticaba nas condições avaliadas e fornecem subsídios para etapas posteriores de otimização do processo e avaliação da destilação visando à obtenção de aguardente de fruta.

Palavras-chave: agricultura familiar; *Saccharomyces cerevisiae*; planejamento experimental; viabilidade fermentativa

Introdução

A jabuticaba é um fruto originário, principalmente, da região da Caatinga no Nordeste e no Centro Sul do Brasil e, dentre as espécies atualmente conhecidas, destacam-se a *Myrciaria cauliflora* (DC) Berg e a *Myrciaria jabuticaba* (Vell). A jabuticabeira é uma árvore de até 15m de altura e com 40cm, com tronco geralmente reto, cilíndrico, com casca lisa, castanho acinzentado, e com deiscência em pequenas placas (1, 2). Os frutos maduros da jabuticaba exibem uma casca negra e uma polpa branca com leve sabor ácido adocicado e por esse motivo desperta um interesse significativo aos produtores rurais de várias regiões do Brasil, graças à sua notável produtividade, resistência e versatilidade na utilização dos

frutos de diversas maneiras. É possível preparar uma variedade de produtos, incluindo sucos, fermentados, geleias, licores, vinagres e até aguardente. (3, 4).

A aguardente é considerada a segunda bebida destilada mais consumida no Brasil e a terceira em escala mundial. A produção anual brasileira contabilizada em cerca de 1,6 bilhões de litros por ano. Nesse sentido, é notória a grande participação do destilado para o setor de bebidas e principalmente para a economia do Brasil (5, 6).

Além da aguardente de cana-de-açúcar, também podem ser obtidas bebidas alcoólicas a partir de suco de frutas com o intuito de reduzir o desperdício quando não se tem um consumo imediato, agregando, assim, valor às bebidas regionais. (7). A partir dos fermentados de frutas, por meio da destilação se obtêm as aguardentes de frutas sendo necessária a adaptação do processo de produção de acordo com a matéria-prima. O Decreto nº 2314 define aguardente de frutas ou brandy de frutas como a bebida de graduação alcoólica de 36 a 54 °GL, a 20 °C, obtida de destilado alcoólico simples de fruta, ou pela destilação de mosto fermentado de fruta (8).

Diante desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade fermentativa da jabuticaba (*Plinia cauliflora*) sob diferentes concentrações de inóculo e teores iniciais de sólidos solúveis, visando à sua posterior aplicação na produção de aguardente de fruta como alternativa de aproveitamento tecnológico e valorização regional.

Material e Métodos

As atividades experimentais foram desenvolvidas no Laboratório do Núcleo de Pesquisa e Extensão em Alimentos (NUPEA), pertencente à Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), situado no Campus I, em Campina Grande – PB.

Os frutos de jabuticaba utilizados foram colhidos na zona rural do Brejo paraibano, provenientes de produtores locais que já atuam na comercialização da fruta *in natura* ou na forma de polpas. Após a coleta, os frutos foram transportados até o laboratório do NUPEA/CCT/UEPB, onde passaram por um processo de higienização com solução de hipoclorito de sódio a 200 ppm, durante 30 minutos, visando à realização das análises e ao processamento do material.

Uma amostra dos frutos *in natura* foi destinada à realização das análises de caracterização físico-química, contemplando os parâmetros de pH, cinzas, umidade, proteínas e lipídios conforme metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (9). O teor de carboidratos totais foi determinado por diferença, conforme a Equação 1:

$$\text{Carboidratos (\%)} = 100 - [\text{Umidade (\%)} + \text{Proteínas (\%)} + \text{Lípidios (\%)} + \text{Cinzas (\%)}]$$

enquanto o teor de sólidos solúveis totais (SST), expresso em °Brix, foi determinado por refratometria.

Para os processos fermentativos, os frutos foram previamente selecionados e macerados manualmente sob condições higiênico-sanitárias adequadas, utilizando-se luvas descartáveis. O teor de sólidos solúveis totais foi determinado por meio de um refratômetro, conforme metodologia descrita pelo IAL (9), sendo posteriormente corrigido de acordo com o planejamento experimental apresentado na Tabela 1.

Além disso, foi adicionado a cada experimento o respectivo percentual de inóculo, proporcionalmente ao volume de mosto preparado. O acompanhamento da fermentação foi feito por meio de leituras de pH, realizadas com um pHmetro (9) e o ajuste do teor de sólidos solúveis totais (°Brix) foi realizado por meio da adição gradual de sacarose até atingir o valor estabelecido no planejamento experimental.

Após esse ajuste, adicionou-se a levedura comercial fresca (*Saccharomyces cerevisiae*), previamente pesada, na proporção estabelecida pelo planejamento experimental. Em seguida, o mosto foi

transferido para um Erlenmeyer de 500mL, devidamente vedado e protegido da incidência direta de luz solar, dando início ao processo fermentativo, que teve duração de 24 horas.

Posteriormente, foi coletada uma amostra de 10 mL do mosto para a realização das análises analíticas, referentes à concentração celular. A graduação alcoólica foi determinada por leitura direta, utilizando um ebuliômetro.

A Tabela 1 mostra a matriz com todos os experimentos.

Tabela 1 – Matriz do planejamento fatorial 2² com três repetições no ponto central.

Experimento	Inóculo	ss solúveis totais (°Brix)
1	5%	25
2	5%	35
3	15%	25
4	15%	35
5	10%	30
6	10%	30
7	10%	30

Após a finalização do processo fermentativo, o mosto foi submetido à centrifugação em centrífuga de bancada (Parsec Bioengineering CT-0603®), a fim de separar os sólidos do líquido. Em seguida, foi medido o volume do fermentado destinado à destilação e determinada sua concentração inicial de etanol. Com base nesses dados, foi realizado o cálculo teórico da concentração alcoólica, visando estimar o volume total de destilado esperado conforme a graduação alcoólica desejada.

Resultados e Discussão

Os frutos de jabuticaba apresentaram teor de sólidos solúveis totais de 13,2 °Brix e pH de 3,33. O teor de proteínas foi de 0,42%, valor inferior aos 0,6% apresentados na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO (10). Os teores de cinzas, umidade, lipídios e carboidratos foram de 0,6%, 86,77%, 0,3% e 11,91%, respectivamente. Em comparação aos valores de referência apresentados pela TACO — 0,4% de cinzas, 83,6% de umidade, 0,1% de lipídios e 15,3% de carboidratos — foram observadas diferenças na composição centesimal da amostra analisada. Essas variações podem estar associadas às características da matéria-prima, ao estágio de maturação, às condições de cultivo e aos procedimentos analíticos.

A realização dos experimentos foi feita conforme apresentado na Tabela a seguir.

Tabela 2 – Resultados dos parâmetros fermentativos obtidos nos diferentes ensaios experimentais.

Experimento	Sólidos Solúveis Totais (°BRIX)	pH	Teor alcoólico (°GL)
1	10,1	3,42	12,6
2	22,5	3,36	10,6
3	9,1	3,73	12,6
4	18,0	4,07	14,7
5	12,7	4,15	14,7
6	12,1	3,47	14,7
7	12,1	3,47	14,7

Fonte: Elaborado pelo autor

O pH é um importante parâmetro de acompanhamento do processo fermentativo, uma vez que alterações na acidez do meio podem influenciar o desenvolvimento microbiano e a estabilidade do produto. Considerando a faixa de 3,0 a 3,6 mencionada na referência utilizada pelos autores, quatro dos sete experimentos — 1, 2, 6 e 7 — apresentaram valores dentro dessa faixa, enquanto os experimentos 3, 4 e 5 apresentaram valores superiores a 3,6.

Nos pontos centrais, correspondentes aos experimentos 5, 6 e 7, o processo fermentativo foi iniciado com 30 °Brix. Após 24 horas, os valores de sólidos solúveis totais foram de 12,7 °Brix para o experimento 5 e 12,1 °Brix para os experimentos 6 e 7. A média final foi, portanto, de aproximadamente 12,3 °Brix.

Considerando o valor inicial de 30 °Brix e a média final de 12,3 °Brix, observou-se redução média de aproximadamente 59,0% no teor de sólidos solúveis totais. Esse resultado indica consumo dos sólidos solúveis durante o período fermentativo, embora a determinação de açúcares específicos seja necessária para caracterizar com maior precisão o consumo do substrato.

Os três experimentos correspondentes ao ponto central apresentaram teor alcoólico de 14,7 °GL. O experimento 4 também atingiu 14,7 °GL; contudo, apresentou teor final de sólidos solúveis totais de 18,0 °Brix, superior aos valores observados nos pontos centrais. Esse comportamento indica menor redução dos sólidos solúveis totais no experimento 4 em comparação aos ensaios 5, 6 e 7.

A análise fatorial, considerando o teor final de sólidos solúveis totais como variável-resposta, evidenciou efeito estatisticamente significativo apenas do teor inicial de sólidos solúveis totais. A concentração de inóculo e a interação entre os fatores não apresentaram efeitos significativos no nível de 95% de confiança.

Para determinar a concentração celular, foi utilizado o método de massa seca, conforme descrito por (12). A massa seca foi obtida a partir da diferença entre o peso final e o peso inicial, sendo os resultados expressos em g/L como apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores encontrados para biomassa.

Experimento	Tempo 0 (g/L)	Tempo 24 horas (g/L)
1	0,008	0,037
2	0,032	0,032
3	0,029	0,056
4	0,012	0,048
5	0,011	0,039
6	0,012	0,053
7	0,012	0,050

Fonte: Elaborado pelo autor

A concentração de biomassa foi determinada nos tempos inicial e final do processo fermentativo. Após 24 horas, observou-se aumento da biomassa nos experimentos 1, 3, 4, 5, 6 e 7. No experimento 2, a concentração permaneceu em 0,032 g/L nos dois tempos avaliados.

O maior incremento absoluto de biomassa foi observado no experimento 6, no qual a concentração aumentou de 0,012 para 0,053 g/L, correspondendo a um acréscimo de 0,041 g/L.

Os dados demonstram aumento líquido da biomassa em seis dos sete ensaios durante as 24 horas de fermentação. Entretanto, como foram realizadas determinações apenas nos tempos 0 e 24 horas, não é possível identificar experimentalmente as fases lag, exponencial e estacionária da curva de crescimento microbiano. Para essa finalidade, seriam necessárias determinações em diferentes intervalos ao longo do processo fermentativo. Os valores da análise de variância para o modelo no nível de 95% de confiança estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - ANOVA

	SQ	GL	MQ	Teste F
Regressão	124,05	3	41,35	10,29
Resíduo	12,05	3	4,02	—

Falta de Ajuste	11,80	1	11,80	94,40
Erro Puro	0,25	2	0,125 $\approx$ 0,13	
Total	136,10	6	—	
R ²	91,14			
F _{Calculado} /F _{Tabelado}				9,28 (13)

SQ - Soma quadrática; GL - Grau de liberdade; MQ - Média Quadrática

A análise de variância indicou F calculado de 10,29 para a regressão, superior ao F tabelado de 9,28 no nível de 95% de confiança. A razão entre F calculado e F tabelado foi de aproximadamente 1,11, indicando significância estatística da regressão nas condições avaliadas.

Entretanto, a análise da falta de ajuste resultou em F calculado de 94,40. Considerando os graus de liberdade da falta de ajuste e do erro puro, esse resultado indica falta de ajuste significativa. Dessa forma, embora o coeficiente de determinação tenha sido de 91,14% e a regressão seja significativa, o modelo apresenta limitações para fins preditivos e deve ser interpretado com cautela.

A obtenção de um modelo com maior capacidade preditiva requer a ampliação do número de ensaios experimentais e/ou a avaliação de um modelo matemático mais adequado ao comportamento da resposta.

A equação ajustada para os sólidos solúveis totais finais é apresentada na Equação 1:

$$\text{SST final (}^{\circ}\text{Brix)} = (-25,90 \pm 13,61) + (0,77 \pm 1,22)I + (1,41 \pm 0,45)\text{SST} - (0,03 \pm 0,04)(I \times \text{SST})$$

Eq.1

em que I representa a concentração de inóculo (%) e SST corresponde ao teor inicial de sólidos solúveis totais (°Brix).

A Figura 1 apresenta o gráfico de Pareto dos efeitos estimados no nível de 95% de confiança. Observa-se que apenas o teor inicial de sólidos solúveis totais apresentou efeito estatisticamente significativo sobre a variável resposta. A concentração de inóculo e a interação entre sólidos solúveis totais e inóculo não apresentaram efeitos significativos nas condições experimentais avaliadas.

Figura 1 - Gráfico de Pareto para Sólidos Solúveis Totais (°Brix).

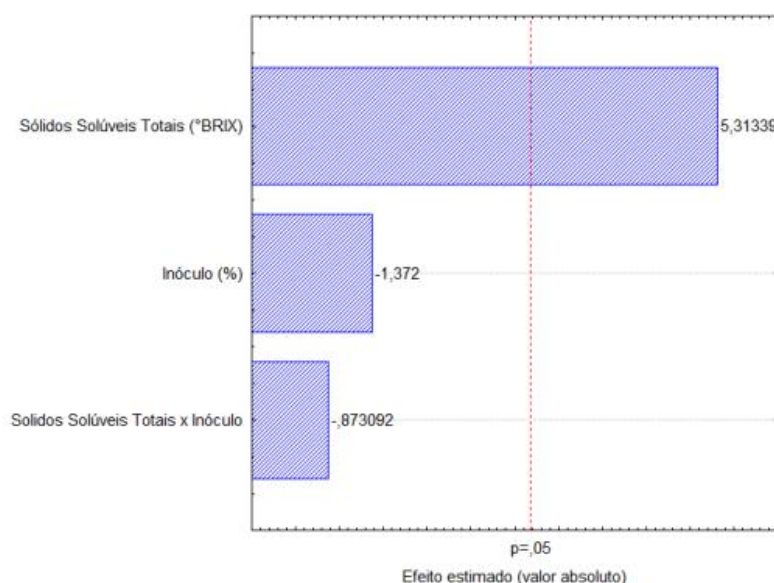
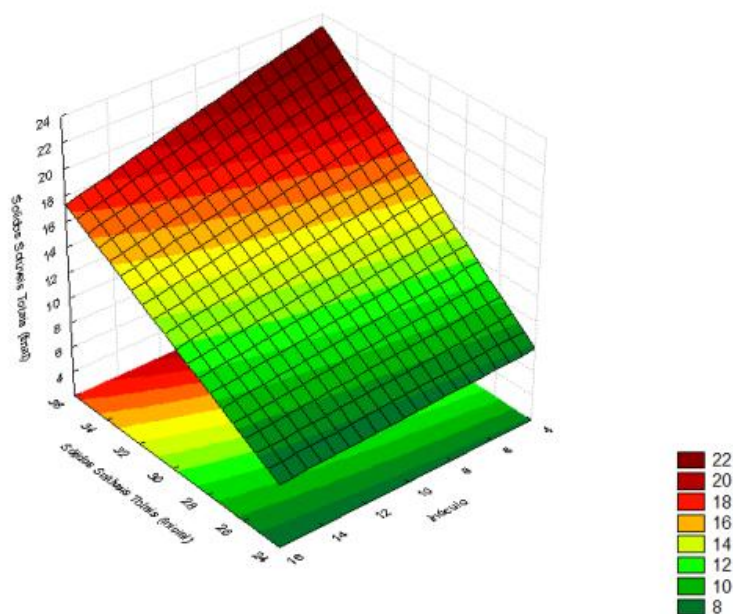


Figura 2 – Superfície de resposta do teor final de sólidos solúveis totais (°Brix) em função da concentração de inóculo e do teor inicial de sólidos solúveis totais.



Observa-se maior variação da resposta em função do teor inicial de sólidos solúveis totais. Embora a superfície indique variações associadas às diferentes concentrações de inóculo, esse fator não apresentou efeito estatisticamente significativo no gráfico de Pareto, no nível de 95% de confiança. Dessa forma, os resultados não permitem afirmar que o aumento da concentração de inóculo promove necessariamente maior consumo de sólidos solúveis totais. Assim, a superfície de resposta reforça que, nas condições experimentais avaliadas, o teor inicial de sólidos solúveis totais foi o fator de maior influência sobre a resposta, devendo o efeito da concentração de inóculo ser interpretado com cautela diante das limitações estatísticas do modelo.

Conclusão

Os resultados obtidos demonstraram atividade fermentativa de *Saccharomyces cerevisiae* no mosto de jabuticaba nas condições experimentais avaliadas. Nos experimentos correspondentes aos pontos centrais, conduzidos inicialmente a 30 °Brix, foi obtido teor alcoólico de 14,7 °GL e valor médio final de sólidos solúveis totais de aproximadamente 12,3 °Brix após 24 horas de fermentação, correspondendo a uma redução média de aproximadamente 59,0% desse parâmetro.

A análise estatística, considerando os sólidos solúveis totais finais como variável de resposta, demonstrou efeito significativo apenas do teor inicial de sólidos solúveis totais. A concentração de inóculo e a interação entre os fatores não apresentaram efeitos estatisticamente significativos no nível de 95% de confiança.

Embora a regressão tenha apresentado significância estatística e coeficiente de determinação de 91,14%, foi observada falta de ajuste significativa, indicando limitações na capacidade preditiva do modelo proposto. Dessa forma, estudos adicionais e maior número de ensaios experimentais são necessários para o aprimoramento e a validação do modelo.

Os resultados indicam potencial para o aproveitamento fermentativo da jabuticaba e fornecem subsídios para a continuidade dos estudos visando à obtenção de aguardente de fruta. Entretanto, os dados apresentados não são suficientes para confirmar a viabilidade tecnológica ou econômica da produção de aguardente, uma vez que os resultados da etapa de destilação e a caracterização do produto destilado não foram apresentados. Estudos posteriores devem contemplar o rendimento da destilação, a graduação

alcoólica do destilado e sua caracterização físico-química e sensorial, permitindo avaliar a qualidade e a aplicabilidade tecnológica do produto obtido.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), em parceria com a Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Os autores agradecem ao Núcleo de Pesquisa e Extensão em Alimentos (NUPEA/UEPB) e ao Centro de Bioeconomia, Biotecnologia Médica e Inovação da Caatinga (CEBBI), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), pelo apoio técnico e pela infraestrutura disponibilizada para a realização das atividades experimentais.

Referências

- 1 - Donadio LC, Môro FV, Servidone AA. *Frutas brasileiras*. Jaboticabal: Novos Talentos; 2002. 288 p.
- 2 - Marchiori JNC, Sobral M. *Dendrologia das angiospermas: Myrtales*. Santa Maria: UFSM; 1997. 304 p.
- 3 - Andersen O. *As frutas silvestres brasileiras*. São Paulo: Globo; 1989.
- 4 - Brunini MA, et al. Influência de embalagens e temperatura no armazenamento de jaboticabas (*Myrciaria jaboticaba* (Vell.) Berg) cv. Sabará. **Cienc Tecnol Aliment**. 2004;24(3):378–383.
- 5 - Soratto AN, Varvakis G, Horii J. A certificação agregando valor à cachaça do Brasil. **Food Sci Technol**. 2007;27(4):681–686.
- 6 - IBRAC – Instituto Brasileiro de Cachaça. *Mercado da cachaça 2019*. Brasília; 2019.
- 7 - Andrade JS, Pantoja L, Maeda RN. Melhoria do rendimento e do processo de obtenção da bebida alcoólica de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth). **Cienc Tecnol Aliment**. 2003;23:34–38.
- 8 - Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº 2314, de 04 de setembro de 1997. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Brasília (DF); 1997.
- 9 - Instituto Adolfo Lutz (SP). *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. Zenebon O, Pascuet NS, Tiglea P, editores. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz; 2008. 1020 p.
- 10 - TACO. *Tabela Brasileira de Composição de Alimentos*. 4ª ed. Campinas: Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação, UNICAMP; 2011.
- 11 - Moraes V, Locatelli C. Vinho: uma revisão sobre a composição química e benefícios à saúde. **Evidência**. 2010;10(1–2):57–68.
- 12 - Triboli EPDR. *Métodos analíticos para o acompanhamento da fermentação alcoólica*. 1989. 52 f. Apostila – Laboratório de Engenharia Bioquímica e de Alimentos, Escola de Engenharia de Mauá, Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul.
- 13 - Rodrigues MI, Iemma AF. *Planejamento de experimentos e otimização de processos: uma estratégia sequencial de planejamentos*. Campinas: Casa do Pão; 2005. 326 p.
- 14 - Barros Neto B, Scarmínio IS, Bruns RE. *Planejamento e otimização de experimentos*. 2ª ed. Campinas: UNICAMP; 2005. 299 p.

04

CARACTERIZAÇÃO DO FRUTO E SUCO INTEGRAL DE MIRTILO (*Vaccinium* spp.) CULTIVADO NO NORDESTE DO BRASIL: Composição e potencial tecnológico

AUTORES

Larissa Iris da Silva Monteiro; Tainara Araujo Amorim; Marcos dos Santos Lima; Ana Júlia de Brito Araújo Carvalho

doi 10.53934/agronfy-9786585062336-04



CARACTERIZAÇÃO DO FRUTO E SUCO INTEGRAL DE MIRTILO (*Vaccinium* spp.) CULTIVADO NO NORDESTE DO BRASIL: Composição e potencial tecnológico

¹Larissa Iris da Silva Monteiro ; ¹Tainara Araujo Amorim ;
²Marcos dos Santos Lima ; ²Ana Júlia de Brito Araújo Carvalho 

¹ Discente, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal da Paraíba, Campus João Pessoa, Paraíba, Brasil.

² Professor, Departamento de Tecnologia em Alimentos, Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina, Pernambuco, Brasil.

*Autor correspondente (Corresponding author) – Email: ana.julia@ifsertao-pe.edu.br

Resumo:

O mirtilo (*Vaccinium* spp.) é uma fruta nativa da América do Norte, cuja produção tem se expandido para outras regiões do mundo, a sua composição é fortemente influenciada pela região de cultivo. O presente estudo teve como objetivo caracterizar o fruto e o suco integral de mirtilo cultivado na região Nordeste do Brasil. O suco integral foi obtido por termo-maceração (60 °C/1 hora) utilizando o preparado enzimático comercial ENDOZYM® Pectofruit PR, prensado e submetido ao tratamento térmico hot filling (87°C/1 minuto). Os frutos e o suco obtido foram analisados quanto aos parâmetros de sólidos solúveis totais (SST), pH, acidez total titulável (ATT), cor, perfil de ácidos orgânicos e açúcares foram determinados por HPLC e capacidade antioxidante pelos métodos de Folin, DPPH, ABTS e FRAP. Os resultados obtidos para o fruto e o suco integral, respectivamente, foram de pH 2,84 e 3,04, SST de 13,15 e 13,25 °Brix e ATT de 11,69 e 9,98 g de ácido cítrico/L. O suco apresentou maior relação SST/ATT em comparação ao fruto. Para a análise de cor, os valores encontrados foram de L* 26,90 e 1,28, a* 26,65 e 7,91 e b* 30,33 e 1,82 para o fruto e o suco integral, respectivamente, evidenciando menor luminosidade do suco. Os teores totais de açúcares foram de 130,1 e 150,7 g/L, enquanto os ácidos orgânicos totais corresponderam a 11,71 e 19,87 g/L no fruto e no suco, respectivamente. Os principais compostos quantificados foram frutose (66,81–77,82 g/L), glicose (63,22–72,79 g/L), ácido cítrico (9,57–11,67 g/L) e ácido succínico (1,76–7,42 g/L). O suco apresentou maiores valores nos ensaios de capacidade antioxidante avaliados. O presente estudo permitiu caracterizar a composição química e de compostos bioativos do fruto e do suco integral de mirtilos cultivados no Nordeste do Brasil, evidenciando o potencial tecnológico e funcional da fruta.

Palavras-chave: Ácidos orgânicos, capacidade antioxidante, fruto exótico, termo-maceração.

1 Introdução

Os mirtilos são bagas pertencentes ao gênero *Vaccinium*, nativas de regiões de clima temperado da América do Norte, principal área produtora dessa fruta (1). Entretanto, observa-se o crescimento na produção e no consumo de mirtilos, com expansão para outras regiões do mundo, como a Ásia (2) e a América do Sul, que atualmente se consolida como produtora global (1).

Essa fruta se popularizou devido às suas características sensoriais e à sua composição química e bioativa, rica em compostos fenólicos, como antocianinas, flavonóis e ácidos fenólicos (3). Esses compostos são reconhecidos por seus efeitos benéficos à saúde humana, apresentando propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, probióticas, cardioprotetoras e neuroprotetoras (4).

A composição química do mirtilo é fortemente influenciada por fatores relacionados à região de cultivo, estando principalmente associada às condições climáticas (2). O Nordeste do Brasil possui a Caatinga como bioma predominante, caracterizada por altas temperaturas, elevada incidência solar e

baixo índice pluviométrico, condições que resultam na produção de frutas com composição diferenciada (5).

O mirtilo é consumido majoritariamente na forma in natura; contudo, em razão da sazonalidade e da elevada perecibilidade dessa fruta, o processamento torna-se necessário para a extensão da vida útil e a ampliação do acesso a esse alimento (6). Os principais produtos derivados dessa fruta comercializados incluem geléias, sorvetes e sucos. Dentre essas, a obtenção do suco integral destaca-se como uma estratégia simples e eficiente para explorar o potencial tecnológico (7). Quando realizado de forma adequada, pode favorecer a preservação ou concentração de compostos bioativos, atendendo a demanda comercial por produtos funcionais e de rótulo limpo (6). Contudo, são escassos os trabalhos sobre a caracterização de sucos de mirtilo obtidos a partir de frutos produzidos em regiões de clima tropical.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar a composição físico-química e de compostos bioativos do fruto e do suco integral de mirtilos cultivados na região Nordeste do Brasil. Contribuindo o fortalecimento socioeconômico regional, e alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), como Fome Zero e Agricultura Sustentável (ODS 2), Indústria, Inovação e Infraestrutura (ODS 9), Trabalho Decente e Crescimento Econômico (ODS 8) e Saúde e Bem-estar (ODS 3).

2 Material e Métodos

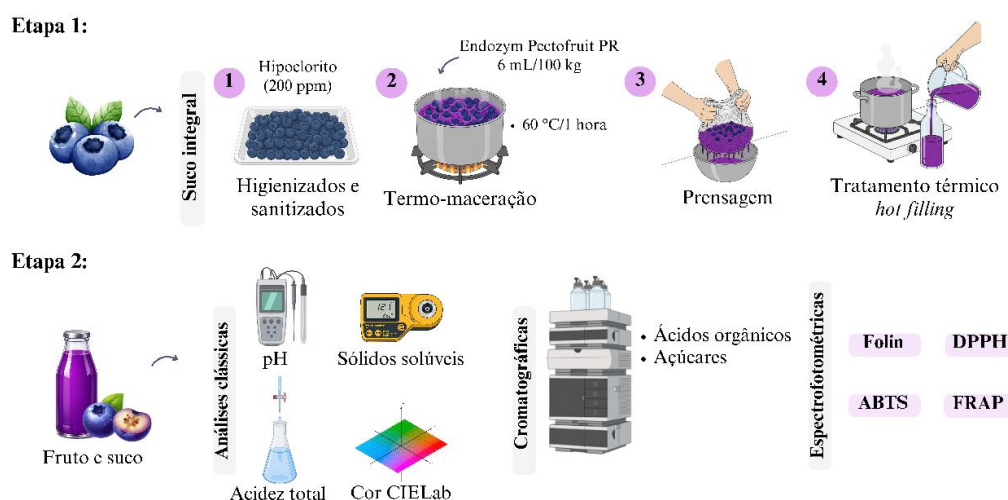
2.1 Materiais e local de execução do estudo

Os mirtilos (*Vaccinium* spp.) utilizados neste estudo foram adquiridos da empresa Kuará Frutas, localizada na cidade de Petrolina-PE. Os frutos, em estágio de maturação comercial, foram transportados para o Laboratório Experimental de Alimentos (LEA) e para o Laboratório de Bebidas e Cromatografia Líquida (LBCL) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano (IFSertãoPE), campus Petrolina.

2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental do presente estudo (Figura 1) foi estruturado em duas etapas: obtenção dos frutos e do suco integral de mirtilos cultivados na região Nordeste do Brasil e caracterização físico-química, capacidade antioxidante e perfil de ácidos orgânicos e açúcares individuais.

Figura 1 – Delineamento experimental do estudo



Fonte: Próprio Autor (2026).

2.3 Elaboração do suco integral de mirtilo cultivado no Nordeste brasileiro

Os mirtilos foram higienizados e sanitizados em solução clorada a 200 ppm por 15 minutos e posteriormente realizado o enxague para retirada do excesso de sanitizante. Em seguida, os frutos foram submetidos à extração por termo-maceração a 60°C por 60 min, utilizando o preparado enzimático comercial ENDOZYM® Pectofruit PR na concentração de 6 mL/100 kg de fruto. O mosto obtido foi prensado manualmente e submetido ao tratamento térmico e envase pelo processo *hot filling* a 87 °C por 1 minuto, seguido de resfriamento, conforme protocolo descrito por Cândido da Silva *et al.* (8).

2.4 Análises físico-químicas

A determinação da Acidez Total Titulável (ATT) do fruto e do suco de mirtilo foi realizada pelo método titulométrico. A ATT foi expressa em g de ácido cítrico/L e calculada a partir do volume de solução titulante consumido, da concentração da solução titulante, do volume da amostra analisada e do fator de diluição, conforme a Equação 1:

$$ATT \text{ (g de ácido cítrico L)} = \frac{V_{NaOH} \times N_{NaOH} \times 64,04 \times FD}{V_{amostra}}$$

Em que:

V_{NaOH} corresponde ao volume de solução de NaOH gasto na titulação, em (mL); N_{NaOH} , à normalidade da solução titulante (eq/L);

64,04, à massa equivalente do ácido cítrico (g/eq);

FD, ao fator de diluição;

Va, ao volume da amostra utilizado na titulação (mL).

A análise do teor de sólidos solúveis totais (SST) foi realizada em refratômetro digital modelo HI 96801 (Hanna, Estados Unidos), e os resultados foram expressos em °Brix. Para o cálculo da relação entre sólidos solúveis totais e acidez total titulável (SST/ATT), a ATT, originalmente expressa em g de ácido cítrico/L, foi convertida para g de ácido cítrico/100 mL. O ratio foi calculado individualmente para cada réplica analítica, conforme a Equação 2:

Em que:

SSTi corresponde ao teor de sólidos solúveis totais da réplica i, expresso em °Brix, e ATTi corresponde à acidez total titulável da mesma réplica, expressa em g de ácido cítrico/L. Posteriormente, foram calculados a média e o desvio-padrão dos valores individuais de ratio.

O pH das amostras foi determinado utilizando potenciômetro digital modelo PHS-3B (Tecnal, Brasil), previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0. A cor foi medida utilizando o sistema CIELab por meio de espectrofotômetro portátil MiniScan modelo 4500L (HunterLab XE Plus).

2.5 Perfil de ácidos orgânicos e açúcares

As análises de ácidos orgânicos e açúcares (9) foram realizadas por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC), utilizando um cromatógrafo Agilent 1260 Infinity (Agilent Technologies, Santa Clara, EUA), equipado com bomba quaternária (modelo G1311C), injetor automático de amostras (modelo G1329B), forno de coluna termostatizado (modelo G1316A), detector de arranjo de diodos – DAD (modelo G1315D) e detector de índice de refração – RID (modelo G1362A).

As amostras de fruto e suco de mirtilo foram submetidas a *clean-up* com etanol (1:3) para remoção de interferentes (pectina), seguidas de diluição e filtração em membranas de 0,45 µm antes da injeção, conforme representado na Figura 2. A análise utilizou uma coluna de troca iônica Agilent Hi-Plex H (300 × 7,7 mm, partículas de 8 µm), mantida a 70 °C. A fase móvel, composta por solução de ácido sulfúrico a 4 mmol/L, foi aplicada a uma vazão de 0,7 mL/min. Os açúcares foram detectados pelo

RID com célula de fluxo mantida a 50 °C, enquanto os ácidos orgânicos foram analisados pelo DAD a 210 nm.

Figura 2 – Preparação das amostras para análise cromatográfica



Fonte: Próprio autor (2026).

2.6 Análises de conteúdo bioativo total e capacidade antioxidante in vitro

Foram avaliados o conteúdo de substâncias reativas ao Folin-Ciocalteu (10), com os resultados expressos em mg de equivalentes de ácido gálico por litro (mg GAE/L). Para a determinação da capacidade antioxidante in vitro, realizaram-se os ensaios de atividade sequestrante de radicais livres pelos métodos de DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazila) e ABTS (ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico)) (11), com os resultados expressos em mmol/L equivalente ao trolox (mM TE/L) para ambos os protocolos. A capacidade de redução do ferro (FRAP) foi determinado segundo a metodologia proposta por Rufino *et al.* (12), e os resultados foram expressos em mM Fe²⁺/L. As leituras de absorbâncias foram realizadas em espectrofotômetro UV-Vis (modelo UV 2000A, Instrutherm®, Brasil).

2.7 Análise estatística

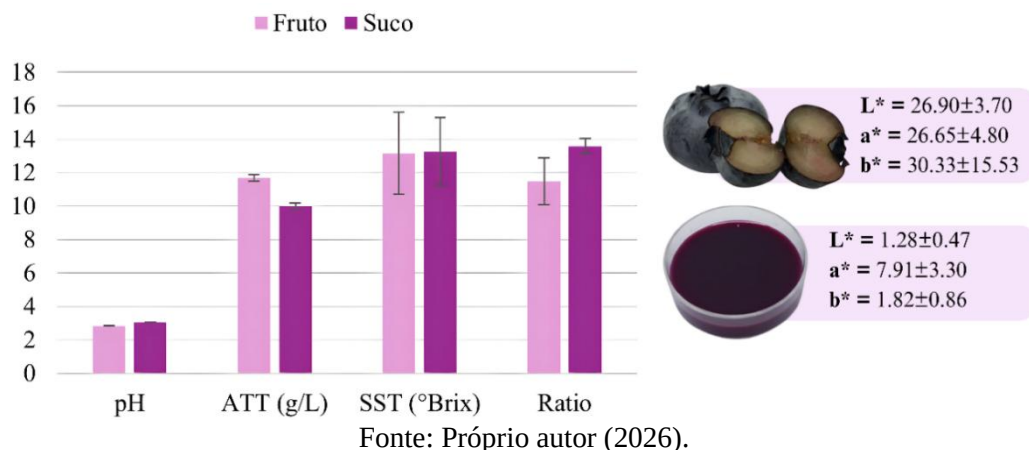
Todo o experimento foi realizado em triplicatas (n = 3). Os resultados obtidos foram submetidos à análise estatística descritiva utilizando o *software* SPSS versão 20.0 (Chicago, Estados Unidos) e expressos como média ± desvio padrão.

3 Resultados e Discussão

3.1 Análises físico-químicas

Os resultados das análises físico-químicas do fruto e do suco integral de mirtilos produzidos na região Nordeste do Brasil estão apresentados. Parâmetros, os quais influenciam atributos de qualidade como sabor, aparência e estabilidade e, conseqüentemente, impactam a qualidade dos produtos processados a partir dessa matéria-prima (13). O pH do fruto foi ligeiramente inferior ao do suco, apresentando valores de 2,84 e 3,04, respectivamente. Zhang *et al.* (14) ao avaliarem cultivares de mirtilos produzidos em diferentes regiões da China, observaram valores de pH variando entre 2,99 e 3,55, evidenciando a influência do local de cultivo e do genótipo sobre os parâmetros químicos da matéria-prima. Os valores de pH do suco obtido no presente estudo corroboram com os resultados reportados por Siddiq *et al.* (15), que encontraram uma faixa de pH entre 3,00 e 3,08 (Figura 3).

Figura 3 – Análises clássicas do fruto e suco integral de mirtilo



A acidez total titulável do suco integral foi significativamente inferior à do fruto in natura, apresentando valores de 9,98 g de ácido cítrico/L e 11,69 g de ácido cítrico/L, respectivamente, o que pode ser atribuído à volatilização durante as etapas de processamento. Não foi observado diferença significativa para o teor de sólidos solúveis totais para o fruto (13,15 °Brix) e o suco (13,25 °Brix). A relação SST/ATT apresentou-se superior no suco (ratio=13,58) em comparação ao fruto (ratio=11,48), indicando maior percepção de dulçor na bebida.

A coloração do suco ($L^*=1,28$, $a^*=7,91$ e $b^*=1,82$) apresentou valores inferiores para todos os parâmetros colorimétricos em comparação ao fruto ($L^*=26,90$, $a^*=26,65$ e $b^*=30,33$), indicando menor luminosidade e maior intensidade de cor, com tendência aos tons de vermelho e azul para o suco. O fruto apresentou coloração mais clara, com menor intensidade cromática e forte tendência aos tons de vermelho e amarelo.

A coloração dos mirtilos é resultado de sua composição química rica em antocianinas, pigmentos fenólicos responsáveis pelas tonalidades características da fruta (6). Durante o processamento, a ação combinada do calor e do tratamento enzimático promove o aumento da solubilidade e da extração dessas antocianinas presentes na película do fruto, resultando em um suco com coloração mais intensa (6,15).

3.2 Perfil de ácidos e açúcares do fruto e suco de mirtilos cultivados no Nordeste do Brasil

Os resultados da análise de perfil de ácidos orgânicos e açúcares por HPLC-DAD/RID do fruto e do suco integral de mirtilos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Perfil de ácidos orgânicos e açúcares do fruto e suco integral de mirtilo

Compostos (g/L)	Fruto	Suco
<i>Ácidos orgânicos</i>		
Ácido cítrico	9,57±0,86	11,67±1,19
Ácido málico	0,38 ±0,05	0,45±0,08
Ácido succínico	1,76 ±0,15	7,42±0,80
Ácido fórmico	ND	0,33±0,03
Σ Ácidos orgânicos	11,71	19,87
<i>Açúcares</i>		
Maltose	0,07±0,00	0,08±0,02
Glicose	63,22±14,20	72,79±15,05
Frutose	66,81±11,81	77,82±14,46
Σ Açúcares	130,1	150,7

Fonte: Próprio autor (2026).

O teor médio total de ácidos orgânicos quantificados foi maior no suco em comparação ao fruto in natura, com valores de 19,87 g/L e 11,71 g/L, respectivamente. O ácido cítrico foi o principal ácido quantificado em ambas as amostras, apresentando concentrações de 11,67 g/L para o suco, e 9,57 g/L para o fruto. Ademais, também foram determinados teores de ácido succínico (1,76-7,42 g/L) e ácido málico (0,38-0,45 g/L); o ácido fórmico foi detectado exclusivamente no suco, com concentração de 0,33 g/L.

Em relação aos açúcares, foi quantificado um teor total de 130,1 g/L no fruto e 150,7 g/L no suco integral. Dentre esses compostos, a frutose (66,81–77,82 g/L) e a glicose (63,22–72,79 g/L) foram os açúcares predominantes em ambas as amostras. Esses resultados corroboram com estudos prévios da literatura, que descrevem a frutose e a glicose como os principais açúcares presentes em frutas e sucos de frutas (2, 8, 15).

De modo geral, o processamento favoreceu a concentração desses compostos, em função de transformações químicas, evaporação de água durante a aplicação do tratamento térmico, bem como da ruptura das paredes celulares do fruto, que facilitou a liberação e a solubilização desses constituintes no suco com o tratamento enzimático (16).

3.3 Capacidade antioxidante *in vitro* do fruto e suco de mirtilos produzidos no Nordeste brasileiro

O conteúdo de bioativo total e a capacidade antioxidante *in vitro* do fruto in natura e do suco integral de mirtilo estão apresentados na Tabela 2. O suco apresentou valores significativamente superiores em comparação ao fruto para todos os ensaios realizados, com 43.762,74 mg GAE/L (Folin), 19,07 mM TE/L (DPPH), 29,70 mM TE/L (ABTS) e 59,46 mM Fe²⁺/L (FRAP). Os valores determinados para o fruto foram de 368,09 mg GAE/L (Folin), 1,59 mM TE/L (DPPH), 2,94 mM TE/L (ABTS) e 3,36 mM Fe²⁺/L (FRAP).

Tabela 2 – Conteúdo bioativo total e a capacidade antioxidante do fruto e suco integral de mirtilo

Análises	Fruto	Suco
Folin (mg GAE/L)	368,09±2,57	43.762,74±2,45
DPPH (mM TE/L)	1,59±0,38	19,07±1,48
ABTS (mM TE/L)	2,94±0,74	29,70±4,72
FRAP (mM Fe ²⁺ /L)	3,36±0,95	59,46±5,84

Fonte: Próprio autor (2026).

Os mirtilos são frutas ricas em compostos antioxidantes, especialmente antocianinas, substâncias amplamente reconhecidas por sua capacidade de neutralizar radicais livres e outras espécies reativas (7). Estudos *in vitro* e *in vivo* demonstram que outras bioatividades associadas ao consumo de mirtilos, como efeitos neuroprotetores, cardioprotetores e anti-inflamatórios, apresentam forte correlação com a capacidade antioxidante desse alimento (3).

Esses resultados corroboram os encontrados por Dinkova *et al.* (16) e Siddiq *et al.* (15), os quais sugerem que o tratamento enzimático contribui para esse incremento da concentração de substâncias antioxidantes, devido à quebra da estrutura da casca da fruta, fração que concentra os maiores teores desses bioativos, e consequente solubilização no mosto. Sendo assim, o suco é uma alternativa viável para o aproveitamento do potencial tecnológico e bioativo do mirtilo.

4 Conclusões

O presente estudo permitiu caracterizar a composição físico-química e capacidade antioxidante do fruto in natura e do suco integral de mirtilos cultivados na região Nordeste do Brasil, evidenciando o

potencial tecnológico e funcional dessa matéria-prima para produção de suco de integral, como alternativa para melhoria da economia regional.

Referências

1. FAOSTAT [Internet]. www.fao.org. Available from: <https://www.fao.org/faostat/>
2. ZHANG J, NIE J, LI J, ZHANG H, LI Y, FAROOQ S, et al. Evaluation of sugar and organic acid composition and their levels in highbush blueberries from two regions of China. *Journal of Integrative Agriculture*. 2020 Sep;19(9):2352–61.
3. Duan Y, Tarafdar A, Chaurasia D, Singh A, Bhargava PC, Yang J, et al. Blueberry fruit valorization and valuable constituents: A review. *International Journal of Food Microbiology*. 2022 Nov;381:109890.
4. Ashique, Mukherjee T. Sumel, Mohanty S, Garg A, Mishra N, Kaushik M, et al. Blueberries in focus: Exploring the phytochemical potentials and therapeutic applications. *Journal of agriculture and food research*. 2024 Dec 1;18:101300–0.
5. da Silva Monteiro LI, Araújo Carvalho AJ de B, Magnani M, dos Santos Lima M. Salting-out liquid-liquid extraction (SALLE) of phenolic compounds of fruits and ultra-fast RP-HPLC/DAD analysis: Validation of the method and characterization of fruits from the Brazilian Caatinga biome. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2025 Aug 19;148:108214.
6. Xie X, Wang Y, Tian J, Cheng Z, Gui H, Nie Y, et al. Application of widely targeted metabolomics strategy to reveal the evolution of phenolic color-contributing metabolites during the high pressure processing and thermal processing of blueberry juice. *Food Chemistry: X*. 2025 May 20;28:102566.
7. Mustafa AM, Angeloni S, Abouelenein D, Acquaticci L, Xiao J, Sagratini G, et al. A new HPLC-MS/MS method for the simultaneous determination of 36 polyphenols in blueberry, strawberry and their commercial products and determination of antioxidant activity. *Food Chemistry*. 2022 Jan;367:130743.
8. Cândido da Silva MC, Cardoso Viana A, Araújo Carvalho AJ de B, Colombo Pimentel T, Magnani M, dos Santos Lima M. Impact of sulfite use and acidification on chemical quality components in thermally processed watermelon juices. *Food Research International*. 2024 Feb 2;180:114088.
9. Coelho EM, da Silva Padilha CV, Miskinis GA, de Sá AGB, Pereira GE, de Azevêdo LC, et al. Simultaneous analysis of sugars and organic acids in wine and grape juices by HPLC: Method validation and characterization of products from northeast Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2018 Mar;66:160–7.
10. Singleton VL, Rossi JA. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*. 1965 Jan 1;16(3):144–58.
11. Lima M dos S, Silani I de SV, Toaldo IM, Corrêa LC, Biasoto ACT, Pereira GE, et al. Phenolic compounds, organic acids and antioxidant activity of grape juices produced from new Brazilian varieties planted in the Northeast Region of Brazil. *Food Chemistry*. 2014 Oct;161:94–103.
12. Rufino S, Alves R, Sousa De Brito E, Filho J, Vlória A, et al. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/664093/1/cot126.pdf>
13. Gasdick M, Dick D, Mayhew E, Lobos G, Moggia C, VanderWeide J. First they're sour, then they're sweet: Exploring the berry-to-berry uniformity of blueberry quality at harvest and implications for consumer liking. *Postharvest Biology and Technology*. 2025 Jul 16;230:113765–5.
14. Zhang Q, Zang H, Guo X, Li S, Xin X, Li Y. A systematic study on composition and antioxidant of 6 varieties of highbush blueberries by 3 soil matrixes in China. *Food Chemistry*. 2025 Apr;472:142974.

15. Siddiq M, Dolan KD, Perkins-Veazie P, Collins JK. Effect of pectinolytic and cellulytic enzymes on the physical, chemical, and antioxidant properties of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) juice. *LWT*. 2018 Jun;92:127–32.
16. Dinkova R, Heffels P, Shikov V, Weber F, Schieber A, Mihalev K. Effect of enzyme-assisted extraction on the chilled storage stability of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) anthocyanins in skin extracts and freshly pressed juices. *Food Research International*. 2014 Nov;65:35–41.

05

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE LEVEDURAS AUTÓCTONES SOB ESTRESSE E ASSIMILAÇÃO DE SUBSTRATOS

AUTORES

Júlia Bizerra-Santos, Maria Clara De-Barros, Normando Ribeiro-Filho*

doi [10.53934/agronfy-9786585062336-05](https://doi.org/10.53934/agronfy-9786585062336-05)



RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE LEVEDURAS AUTÓCTONES SOB ESTRESSE E ASSIMILAÇÃO DE SUBSTRATOS

Júlia Bizerra-Santos¹, Maria Clara De-Barros¹, Normando Ribeiro-Filho^{1*}

¹Laboratório de Tecnologia de Produtos Agropecuários, DSER, CCA, Universidade Federal da Paraíba-UFPB, Areia, Paraíba, Brasil

*E-mail para correspondência: normandofilho@cca.ufpb.br

Resumo

A prospecção de leveduras autóctones representa uma estratégia relevante para o desenvolvimento de processos fermentativos mais eficientes e adaptados às condições regionais. Este avaliou o comportamento fisiológico de treze cepas isoladas de “pé-de-cuba” de engenhos da Paraíba, investigando sua tolerância a estresses ambientais e capacidade de assimilação de diferentes substratos. As amostras foram coletadas, criopreservadas e submetidas a testes fenotípicos em meio YPD, utilizando spot-plating, ensaios em diferentes temperaturas, fontes de carbono e nitrogênio, além da produção de H₂S. Os resultados evidenciaram ampla variabilidade fisiológica, com destaque para cepas tolerantes entre 15 °C e 40 °C, metabolicamente versáteis e com baixa produção de compostos indesejáveis. A diversidade metabólica dessas leveduras reforça sua relevância como recurso estratégico para inovação no setor sucroalcooleiro e em bebidas fermentadas.

Palavras-chave: Leveduras autóctones; Caracterização fisiológica; Fermentação; Biotecnologia; Cachaça.

1. Introdução

A adaptação fisiológica das leveduras às condições adversas do meio fermentativo é determinante para o sucesso da produção alcoólica. Durante a fermentação, esses micro-organismos são expostos a diferentes fatores de estresse, como variações de pH, temperatura elevada, limitação nutricional e acúmulo de etanol, os quais afetam diretamente seu metabolismo e sua sobrevivência (Ribeiro-Filho et al., 2022; Ribeiro-Filho et al., 2021). A capacidade de responder a essas pressões ambientais define o desempenho celular e a eficiência fermentativa. Assim, compreender as respostas fisiológicas de leveduras autóctones torna-se fundamental para identificar linhagens resilientes e tecnologicamente promissoras.

Além da resistência ao estresse, a habilidade de assimilar diferentes substratos representa um atributo-chave para o aproveitamento eficiente do mosto fermentativo. A composição do caldo de cana-de-açúcar oferece diferentes nutrientes e açúcares, exigindo das leveduras flexibilidade metabólica para converter esses recursos em energia e metabólitos de interesse industrial. Esse processo influencia não apenas a produção de etanol, mas também a formação de compostos secundários, como ésteres e álcoois superiores, diretamente relacionados ao perfil sensorial da bebida (Matos et al., 2021). Dessa forma, a avaliação da assimilação de substratos amplia a compreensão sobre o potencial biotecnológico de cada linhagem.

Nesse contexto, investigar o comportamento fisiológico de leveduras autóctones sob condições de estresse e diferentes fontes de carbono é estratégico para selecionar microrganismos adaptados às exigências industriais. A identificação de linhagens tolerantes e metabolicamente versáteis pode contribuir para processos fermentativos mais estáveis, produtivos e inovadores. Portanto, este trabalho avaliou as respostas fisiológicas de leveduras autóctones frente a fatores de estresse e sua capacidade de assimilação de substratos, fornecendo subsídios para sua aplicação em sistemas fermentativos de alto desempenho.

2. Metodologia

2.1. Banco de Leveduras e Manutenção

Em 2021, foram obtidas amostras de 25 mL de “pé-de-cuba”, em triplicata, provenientes de treze unidades produtoras de cachaça localizadas em diferentes municípios do estado da Paraíba: Areia (8), Alagoa Grande (1), Alagoa Nova (1), Guarabira (1), Belém (1) e Alhandra (1). O “pé-de-cuba” corresponde à etapa inicial de multiplicação das leveduras em pequena fração do caldo de cana, favorecendo sua adaptação ao ambiente fermentativo e contribuindo para a manutenção de uma microbiota autóctone estável. As amostras foram acondicionadas assepticamente em tubos crogênicos estéreis contendo igual volume de glicerol e criopreservadas a -80°C . Estas cepas de leveduras compõem o banco de leveduras do grupo de pesquisas “Food, Fermentation, Yeast and Flavours”. Todas as etapas experimentais foram conduzidas no Laboratório de Tecnologia de Produtos Agropecuários da Universidade Federal da Paraíba.

2.2. Isolamento, purificação e caracterização fenotípica das leveduras

Para o isolamento das leveduras presentes no “pé-de-cuba”, uma alíquota de 200 μL de cada amostra foram inoculados em tubos Falcon de 15 mL contendo 5 mL de meio YPD líquido. As culturas foram mantidas em incubação em temperatura ambiente durante 24h, com o objetivo de promover a ativação e crescimento inicial das leveduras presentes no “pé-de-cuba”. Após esse período de pré-cultivo, com o auxílio de uma alça microbiológica estéril, foram semeadas em placas de Petri contendo YPD Ágar, por meio da técnica de estrias por esgotamento. As placas foram incubadas à temperatura ambiente, pelo período de 96h. Esse processo foi repetido três vezes, selecionando uma colônia isolada de cada Engenho e inoculando em meio YPD e “estriando” em novas placas de Petri com YPD Ágar. Essa técnica permitiu o isolamento de colônias individuais, para no final, obter uma colônia de levedura mais pura possível.

2.3. Testes de exclusão por estresse

2.3.1. Teste em diferentes Temperaturas

As treze cepas de leveduras foram submetidas ao crescimento em placas de petri, com meio de cultura YPD Ágar, para diferentes temperaturas, sendo elas: 4°C , 15°C , 20°C , 30°C , 37°C e 40°C por 96 horas (De-Barros et al., 2023). A técnica de dispersão utilizada foi “Spot plate”, inserindo 10 μL para cada spot. Passado o período de crescimento, as placas foram fotografadas dentro de um fluxo laminar.

2.3.2. Teste de Assimilação de Fontes de Carbono específicas

O crescimento das treze leveduras selecionadas das unidades produtoras de Cachaça foi avaliado em placas de petri, com meio de cultura YP+FCE (fonte de carbono específica), preparado com a concentração de 2% (Glicose, Frutose, Galactose, Xilose, Manose, Ramnose, Sacarose, Maltose, Lactose e Melibiose) (De-Barros et al., 2023). O modo de dispersão das cepas de leveduras foi realizado através da técnica “Spot plate”, inserindo 10 μL para cada spot, sendo incubadas à temperatura ambiente (30°C) por 96 horas. A avaliação foi determinada a partir do seu desenvolvimento nas placas com as fontes de carbono específicas, sendo fotografadas dentro de um fluxo laminar.

2.3.3. Produção de Sulfeto de Hidrogênio (H_2S)

A determinação de Produção de Sulfeto de Hidrogênio (H_2S) é um parâmetro importante a ser observado, tendo em vista que as leveduras utilizadas para produção de bebidas não podem produzir esse composto. As cepas de leveduras foram analisadas em placas de Petri contendo meio Ágar LA, em uma estufa a 30°C durante 10 dias, conforme descrito por Ono et al. (1991). Incubadas utilizando a técnica de “Spot plate”, obtendo uma triplicata por amostra de levedura, com o intuito de obter mais resultados em menos placas. Após o prazo, o desenvolvimento de colônias amareladas/amarronzadas foi o indicativo de que as cepas produziram H_2S .

2.3.4. Assimilação de Fontes de Nitrogênio

Para avaliar a capacidade de assimilação em diferentes fontes de nitrogênio pelas treze cepas de levedura selecionadas, foram utilizadas três fontes específicas de nitrogênio: Nitrito de Sódio (NaNO_2), Nitrato de Potássio (KNO_3) e Lisina ($\text{C}_6\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_2$), a partir da adaptação de Sidrim e Moreira (1999). Avaliadas em placas de petri, a partir da técnica de *spot plates* à temperatura ambiente (30°C) durante 96h.

2.3.5. Teste de Flocculação

Ao final das fermentações, os mini reatores foram agitados usando agitador magnético a 30 °C por 1 min a 120 RPM. Ao fim da agitação, a flocculação foi avaliada através da observação da formação de flocos suspensos no meio fermentado, conforme a metodologia adaptada de Guimarães (2005). Sendo considerado qualitativamente positivo para flocculação quando observada a formação de flocos visíveis.

2.4. Análise estatística

Os resultados obtidos foram avaliados através de análise de variância (ANOVA), teste tukey, utilizando o software STATISTICA 5.0®. Toda a análise estatística foi baseada em um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

3. Resultado e Discussão

Em 2021, amostras de “pé-de-cuba” de treze engenhos da Paraíba foram coletadas em triplicata, criopreservadas em glicerol e incorporadas ao banco de leveduras do grupo de pesquisa. As cepas foram isoladas em meio YPD, purificadas por estrias sucessivas e avaliadas por spot-plating. Testes fisiológicos investigaram crescimento em diferentes temperaturas (4–40 °C), assimilação de fontes específicas de carbono e nitrogênio, além da produção de sulfeto de hidrogênio em meio LA. As análises foram conduzidas em condições controladas, com incubação padronizada e registro fotográfico. Os dados experimentais foram submetidos à ANOVA e teste de Tukey, considerando significância de 5%.

3.1. Testes de exclusão por estresse

3.1.1. Teste em Diferentes Temperaturas

A temperatura exerce influência decisiva sobre o metabolismo e o crescimento das leveduras, modulando diretamente sua atividade fermentativa. Em condições de 4 °C, todas as cepas apresentaram apenas manchas esbranquiçadas discretas, possivelmente relacionadas à presença residual de células viáveis, enquanto FYFE-10 não demonstrou crescimento visível (Figura 1). Esse comportamento confirma a redução expressiva da atividade metabólica em baixas temperaturas, o que impacta processos de fermentação e respiração celular (Walker, 1998). Apesar dessa limitação, a tolerância parcial ao frio sugere potencial para aplicações em fermentações controladas, nas quais temperaturas reduzidas favorecem perfis aromáticos diferenciados e menor intensidade de cor em bebidas fermentadas.

Com o aumento da temperatura, observou-se intensificação progressiva do crescimento das cepas avaliadas. Todas apresentaram desenvolvimento a 15 °C, 30 °C e 37 °C (Figura 1), evidenciando ampla tolerância térmica. A adaptação a 15 °C é relevante para fermentações de baixa temperatura, como as conduzidas por *Saccharomyces pastorianus* em cervejas Lager (Kopecká et al., 2016). Já o crescimento robusto em 30 °C e 37 °C indica aptidão para processos industriais que demandam maior velocidade fermentativa e resistência ao estresse térmico. Temperaturas elevadas favorecem a cinética fermentativa e influenciam a formação e degradação de metabólitos secundários (De-Barros et al., 2023), reforçando o potencial tecnológico dessas linhagens.

3.1.2. Teste de Assimilação de Fontes de Carbono específicas

Os resultados da assimilação de diferentes fontes de carbono pelas leveduras isoladas das treze unidades produtoras de cachaça mostram capacidades variadas de crescimento, indicando adaptações distintas à cada meio fermentativo, influenciando diretamente na eficiência em processos industriais. Todas as cepas testadas demonstraram crescimento em glicose e manose, indicando alta eficiência na

metabolização desses monossacarídeos (hexoses), que estão, comumente, presentes em diversos vegetais e frutas (Figura 1).

A cana-de-açúcar é conhecida por seu alto teor de glicose, frutose e sacarose como açúcares primários (Rosa et al. 2009). As cepas de *Saccharomyces* possuem um sistema avançado de transporte de hexose que regula o transporte de carboidratos e possui alta afinidade pela glicose. A *Saccharomyces cerevisiae* fermenta glicose, manose e frutose por meio da glicólise (Briggs et al., 2004; Van Maris et al., 2006). A glicose e a frutose são chamadas de “açúcares de fermentação rápida” ou “açúcares reduzidos” (De-Barros et al. 2023). A frutose é um carboidrato semelhante à glicose, encontrado em frutas, mel e outros alimentos. Maioria das cepas assimilam esse carbono, indicando crescimento, e a cepa FYFE-13, não apresentou crescimento (Figura 1).

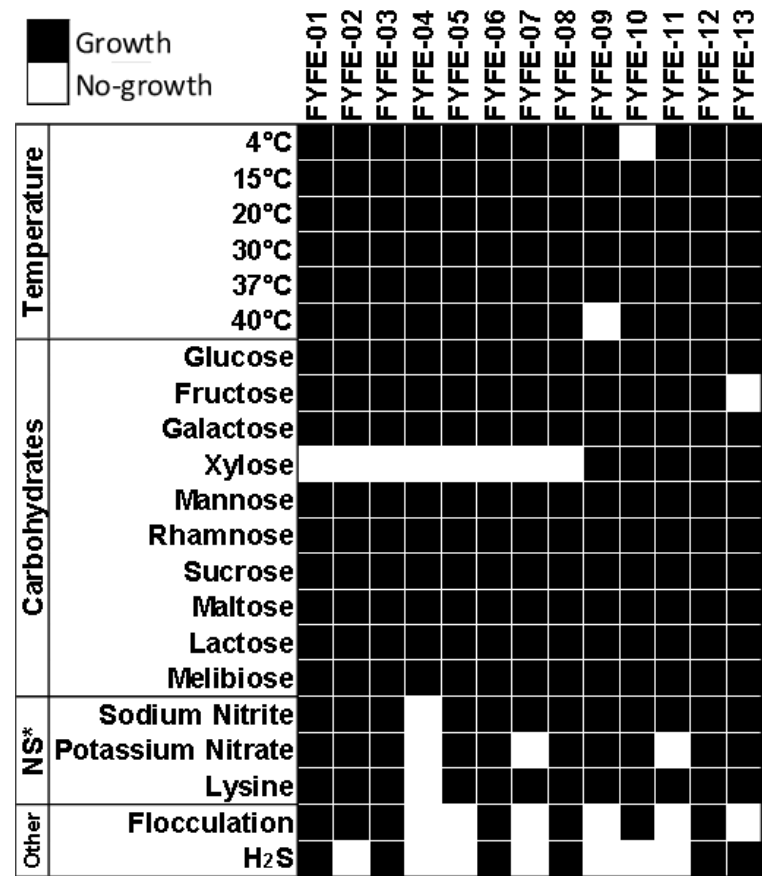


Fig. 1: Mapa de calor (heatmap) para os testes de exclusão por estresse incluindo temperatura, diferentes fontes de carbono, Assimilação de Fontes de Nitrogênio, Flocculação e Produção de Sulfeto de Hidrogênio (H₂S). Preto indica crescimento e branco indica não crescimento.

A capacidade de assimilação de galactose demonstrou elevada versatilidade metabólica entre as cepas estudadas. Todas apresentaram crescimento nesse monossacarídeo (Figura 1), indicando a presença funcional dos genes GAL1, GAL7 e GAL10, responsáveis pela conversão da galactose em glicose-6-fosfato e sua entrada nas vias fermentativas convencionais (Kim et al., 2014). Esse resultado amplia o potencial tecnológico dessas leveduras, especialmente em matrizes derivadas do leite, onde a lactose é hidrolisada em glicose e galactose (Klein et al., 1998). Embora a glicose possa induzir repressão catabólica sobre o consumo da galactose, todas as linhagens mantiveram crescimento eficiente, sugerindo robustez metabólica e possível aplicação em diferentes sistemas fermentativos (Rubio-Teixeira, 2005).

A assimilação de pentoses e açúcares menos convencionais revelou perfis fisiológicos distintos entre os isolados. Apenas as cepas FYFE-09 a FYFE-13 cresceram em xilose (Figura 1), indicando a presença de rotas metabólicas associadas ao gene XYL3, responsável pela conversão desse açúcar em xilulose-5-fosfato (De-Barros et al., 2023; Cunha, 2019). Tal característica é particularmente relevante para aplicações em biomassa lignocelulósica. Em relação à ramnose, todas as cepas apresentaram

crescimento (Figura 1), demonstrando capacidade enzimática para seu metabolismo. Esse resultado diferencia os isolados de *Saccharomyces cerevisiae*, espécie incapaz de utilizar ramnose como única fonte de carbono devido à ausência de genes específicos (Boulton & Quain, 2001; Van Maris et al., 2006).

A utilização de dissacarídeos reforçou o potencial industrial das linhagens avaliadas. Todas as cepas cresceram em sacarose, maltose e melibiose (Figura 1), evidenciando ampla competência para metabolizar carboidratos relevantes em processos fermentativos. O crescimento em sacarose sugere atividade de invertases codificadas pelos genes SUC (De-Barros et al., 2023; Ribeiro-Filho, 2020), característica essencial para fermentações à base de cana-de-açúcar. Já a assimilação de maltose e melibiose indica a presença dos genes MAL e MEL1, associados à hidrólise desses dissacarídeos (Walker & Stewart, 2016; Briggs et al., 2004). Em conjunto, esses resultados demonstram que as leveduras possuem repertório metabólico diversificado, ampliando suas possibilidades de uso em bebidas, biocombustíveis e outros bioprocessos.

3.1.3. Produção de Sulfeto de Hidrogênio (H₂S)

O sulfeto de hidrogênio (H₂S) tem um odor muito forte de ovo podre, sendo um componente indesejável em bebidas (Wang et al., 2018). Leveduras do tipo *Saccharomyces cerevisiae* podem gerar H₂S pela degradação de aminoácidos, principalmente, metionina ou cisteína (Linderholm et al., 2008). As cepas FYFE-01, FYFE-03, FYFE-08, FYFE-12 e FYFE-13 apresentaram colônias pouco pigmentadas, sugerindo que produzem menores quantidades de H₂S (Tabela 5). A cepa FYFE-06 apresentou a colônia mais pigmentada, indicando que esta cepa produza uma maior quantidade de H₂S (Tabela 5). Todas as demais cepas incluindo FYFE-02, FYFE-04, FYFE-5, FYFE-07, FYFE-09, FYFE-10 e FYFE-11, não produzem sulfeto (Figura 1).

3.1.4. Assimilação de Fontes de Nitrogênio Específica

A assimilação de diferentes fontes de nitrogênio constitui um indicador relevante da versatilidade metabólica e do potencial biotecnológico das leveduras. Compostos inorgânicos, como nitrito e nitrato, são amplamente empregados em estudos fisiológicos por refletirem características bioquímicas essenciais (Barnett et al., 1990). O nitrito de sódio, reduzido a amônio pela ação da nitrito redutase (Siegel & Wilkerson, 1989), sustentou o crescimento de todas as cepas, exceto FYFE-04 (Figura 1). Já o nitrato de potássio foi assimilado pela maioria dos isolados, com exceção de FYFE-04, FYFE-07 e FYFE-11 (Figura 1). Esses resultados evidenciam elevada plasticidade metabólica, importante para adaptação a mostos com diferentes disponibilidades nitrogenadas (Ribeiro-Filho et al., 2021).

As fontes orgânicas de nitrogênio, especialmente aminoácidos, também desempenham papel central na fisiologia das leveduras. A lisina é considerada um marcador diferencial, pois leveduras do gênero *Saccharomyces* geralmente não a utilizam, ao contrário de muitas espécies não-*Saccharomyces* (Thomas & Ingledew, 1994). No presente estudo, todas as cepas cresceram em meio contendo lisina, com exceção de FYFE-04 (Figura 1). Esse perfil sugere que FYFE-04 apresenta características compatíveis com *Saccharomyces*, enquanto as demais pertencem possivelmente a grupos não-*Saccharomyces*. A capacidade de metabolizar lisina está associada a genes específicos, como Aat1, Lys1, Lys2, Lys3 e Lys4 (Beckerich et al., 1994), reforçando a diversidade fisiológica observada.

3.1.5. Teste de floculação

Os principais fatores que contribuem para a floculação de leveduras incluem fatores genéticos (FLO1, FLO2, FLO3, FLO4, FLO5, FLO6 e FLO7, FLO8 e FLO11), ambientais (temperatura, pH, e concentração do mosto - etanol, carboidratos, aminoácidos, minerais e vitaminas) e fisiológico das células (Panteloglou et al., 2012). Estes interagem de maneira complexa, influenciando a eficiência e o momento da floculação durante o processo de fermentação. Nossos resultados indicam que as cepas FYFE-01, FYFE-02, FYFE-03, FYFE-06, FYFE-08, FYFE-10 e FYFE-12 apresentam características de leveduras floculante devido a formação de grumos ao final da fermentação, característicos da floculação (Figura 1).

Por outro lado, as cepas FYFE-04, FYFE-05, FYFE-07, FYFE-09, FYFE-11 e FYFE-13 não apresentaram formação de grumos ao final da fermentação, indicando que não são leveduras floculantes (Figura 1). A presença genes como CYB5 e SFL1 contribuem para a biossíntese de lipídeos e esteróis, e para a floculação; portanto, a floculação é controlada por um conjunto de inter-relações, além dos fatores genéticos, sua formação também é condicionada a diferentes condições ambientais (Yoshikawa et al., 2009).

Os resultados demonstraram ampla diversidade fisiológica entre as treze cepas de leveduras isoladas de “pé-de-cuba”, evidenciando elevado potencial biotecnológico para fermentações artesanais e industriais. A maioria das cepas apresentou tolerância térmica entre 15 °C e 40 °C, capacidade de assimilação de múltiplas fontes de carbono e nitrogênio, além de perfis distintos de floculação e produção de H₂S. Essas características reforçam sua aplicabilidade em processos de produção de cachaça, etanol, bebidas fermentadas e bioprodutos. Entre os achados, destacam-se cepas com baixa produção de H₂S e elevada tolerância ao estresse, desejáveis para fermentações de alta qualidade. O estudo baseou-se em caracterização fenotípica, sem identificação molecular ou avaliação em escala piloto. Trabalhos futuros devem incluir análises genômicas, ensaios fermentativos em condições industriais e investigação do perfil sensorial dos produtos gerados por cada cepa selecionada.

Conclusão

Conclui-se que as leveduras autóctones provenientes de unidades produtoras de cachaça da Paraíba apresentam elevada variabilidade metabólica e fisiológica, refletindo adaptações específicas ao ambiente fermentativo regional. A combinação de tolerância térmica, assimilação diversificada de substratos, floculação e baixa produção de compostos indesejáveis evidencia seu potencial para aplicações industriais estratégicas. Esses resultados contribuem para a valorização da microbiota local como recurso biotecnológico e reforçam a importância da prospecção de cepas nativas para otimização de processos fermentativos. A continuidade dos estudos, com abordagens moleculares e validação em escala industrial, será essencial para consolidar essas leveduras como alternativas promissoras para inovação no setor sucroalcooleiro e de bebidas fermentadas.

Referencias

- Barnett, J.A., Payne, R.W., Yarrow, D. (1990). Yeasts: Characteristics and Identification. Editora Cambridge University Press, Edição 2, 1012 p.
- Beckerich J.M., Lambert M., Gaillardin C. (1994). LYC1 is the structural gene for lysine N-6-acetyl transferase in yeast. Curr Genet. ;25(1):24-9. doi: 10.1007/BF00712962.
- Boulton, C., & Quain, D. (2001). Brewing Yeast and Fermentation. Oxford, UK: Blackwell Science.
- Briggs DE, Boulton CA, Brookes PA, Stevens R (2004) Brewing: science and practice. Woodhead Publishing, Cambridge, UK
- Cunha, J. T.; Soares, P. O.; Romani, A., Thevelein, J.M., Domingues, L. (2019). Xylose fermentation efficiency of industrial *Saccharomyces cerevisiae* yeast with separate or combined xylose reductase/xyloitol dehydrogenase and xylose isomerase pathways. Biotechnology for Biofuels, v. 12, p. 20. <https://doi.org/10.1186/s13068-019-1360-8>.
- De-Barros MC, Bizerra-Santos J, Maia L, Ribeiro-Filho N. (2023). Industrial Yeast Characterisation for Single Cell Protein Application. Food Science and Engineering;4(1):116-29. <https://doi.org/10.37256/fse.4120232260>
- Guimarães, T. M. (2005). Isolamento, identificação e seleção de cepas de levedura *Saccharomyces cerevisiae* para elaboração de vinho. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 117 p. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/handle/1884/1919?show=full>>. Acesso em: 29 Dez. 2025.

- Kim JH, Ryu J, Huh IY, Hong SK, Kang HA, Chang YK. Ethanol production from galactose by a newly isolated *Saccharomyces cerevisiae* KL17. *Bioprocess Biosyst Eng*. 2014 Sep;37(9):1871-8. <https://doi.org/10.1007/s00449-014-1161-1>
- Klein, C.J.L.; Olsson, L.; Nielsen, J. (1998). Glucose control in *Saccharomyces cerevisiae*: the role of Mig1 in metabolic functions. *Microbiology (Reading)*, 144, 13-24. <https://doi.org/10.1099/00221287-144-1-13>
- Kopecká, J.; Němec, M.; Matoulová, D. Comparison of DNA-based techniques for differentiation of production strains of ale and lager brewing yeast. *Journal of Applied Microbiology*, v. 120, n. 6, p. 1561–1573, 2016. <https://doi.org/10.1111/jam.13116>
- Linderholm, A.L.; Findleton, C.L.; Kumar, G.; Hong, Y.; Bisson, L.F. (2008). Identification of genes affecting hydrogen sulfide formation in *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied and Environmental Microbiology*. 74, 1787-1794. <https://doi.org/10.1128/AEM.01758-07>.
- Matos, Thelma Tirone Silvério (2021). Novas linhagens de *Saccharomyces cerevisiae* e híbridos entre *S. cerevisiae* e *Saccharomyces kudriavzevii* para a produção de cerveja, cachaça e vinho. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/items/e1b217de-25e0-4bfd-a466-0c32a939de91>>. Acesso em: 29 Dez. 2025.
- Ono, B., Naito, K., Shirahige, Y., Yamamoto, M. (1991) Regulation of cystathionine γ -lyase in *Saccharomyces cerevisiae*. *Yeast*. 7:843–848. <https://doi.org/10.1002/yea.320070809>
- Panteloglou, A. G.; Smart, K. A.; Cook, D. J. (2012). Malt-induced premature yeast flocculation: current perspectives. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*. 39(6):813-822. <https://doi.org/10.1007/s10295-012-1086-0>
- Ribeiro Filho, M. N. Capítulo 13: Processamento de Cana-de-Açúcar para Produção de Cachaça e de Etanol. In: Mielezski, F.; Lopes, G. N., orgs. *Cultivo de Cana-de-açúcar na Paraíba*. João Pessoa, PB: Editora UFPB, 2020. p. 168-180.
- Ribeiro-Filho, N., Linforth, R., Powell, C.D., Fisk, I.D., 2021a. Influence of essential inorganic elements on flavour formation during yeast fermentation. *Food Chem*. 361, 130025. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130025>
- Ribeiro-Filho N, Linforth R, Bora N, Powell CD, Fisk ID (2022) The role of inorganic-phosphate, potassium and magnesium in yeastflavour formation. *Food Res Int* 162:112044–112053. <https://doi.org/10.1016/j.foodres>
- Rosa, C.A., A.M. Soares, and J.B. Faria. 2009. Chapter 34: Cachaça production. In: Ingledew, W.M., Kelsall, D.R., Austin, G.D., Kluhspies, C. *The alcohol Textbook*. Fifth edition. Nottingham University press. Chapter 34, 481-490.
- Rubio-Teixeira, M. (2005). A comparative analysis of the GAL genetic switch between not-so-distant cousins: *Saccharomyces cerevisiae* versus *Kluyveromyces lactis*. *FEMS Yeast Research*, 5(12):1115-1128. <https://doi.org/10.1016/j.femsyr.2005.05.003>
- Sidrim, J.J.C; Moreira, J.L.B. (1999). Fundamentos clínicos e laboratoriais da micologia médica. In: *Fundamentos clínicos e laboratoriais da micologia médica*. p.287.
- Siegel, L.; Wilkerson, J. (1989). Estrutura e função da ferredoxina-nitrito redutase do espinafre. In: WRAY, J.; KINGHORN, J. (Eds.). *Aspectos moleculares e genéticos da assimilação de nitrato*. Oxford: Oxford Science Publications, 1989. p. 263-283.

- Thomas, K.C.; Ingledew, W.M. (1994). Lysine inhibition of *Saccharomyces cerevisiae*: role of repressible L-lysine ϵ -aminotransferase. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 10(5):572-5. <https://doi.org/10.1007/BF00367670>
- van Maris AJ, Abbott DA, Bellissimi E, van den Brink J, Kuyper M, Luttik MA, Wisselink HW, Scheffers WA, van Dijken JP, Pronk JT. Alcoholic fermentation of carbon sources in biomass hydrolysates by *Saccharomyces cerevisiae*: current status. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 90(4):391-418. <https://doi.org/10.1007/s10482-006-9085-7>
- Walker, G.; Stewart, G. (2016). *Saccharomyces cerevisiae* in the production of fermented beverages. *Beverages*, 2(4):30, 2016. <https://doi.org/10.3390/beverages2040030>.
- Walker, G.M. (1998). *Yeast physiology and biotechnology*. New York: John Wiley & Sons.
- Wang H, Wang J, Yang S, Tian H, Liu Y, Sun B. (2018). Highly selective and rapidly responsive fluorescent probe for hydrogen sulfide detection in wine. *Food Chemistry*. 15(257):150-154. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.130>
- Yoshikawa, K., Tanaka, T., Furusawa, C., Nagahisa, K., Hirasawa, T., Shimizu, H. (2009). Comprehensive phenotypic analysis for identification of genes affecting growth under ethanol stress in *Saccharomyces cerevisiae*, *FEMS Yeast Research*, 9(1):32–44. <https://doi.org/10.1111/j.1567-1364.2008.00456.x>

06

COMPOSIÇÃO QUÍMICA E BIOATIVA DA POLPA DE BACURI (PLATONIA INSIGNIS MART.) EM DIFERENTES ANOS DE PRODUÇÃO

AUTORES

Fátima Alves Teixeira da Rocha; Ana Júlia de Brito Araújo Carvalho; Luiza Helena Meller da Silva; Antonio Manoel da Cruz Rodrigues

doi [10.53934/agronfy-9786585062336-06](https://doi.org/10.53934/agronfy-9786585062336-06)



COMPOSIÇÃO QUÍMICA E BIOATIVA DA POLPA DE BACURI (*PLATONIA INSIGNIS* MART.) EM DIFERENTES ANOS DE PRODUÇÃO

da ROCHA, Fátima Alves Teixeira¹²; CARVALHO, Ana Júlia de Brito Araújo³; SILVA, Luiza Helena Meller da¹; RODRIGUES, Antonio Manoel da Cruz¹

¹Universidade Federal do Pará (UFPA). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA), Belém, Pará, Brazil.

²Instituto Federal do Maranhão, Campus Zé Doca, Departamento de Tecnologia em Alimentos -CEP, 65365-000, Zé Doca, MA, Brasil

³Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina, Departamento de Tecnologia em Alimentos - Laboratório de Tecnologia de Bebidas, Jardim São Paulo, CEP 56314-520 Petrolina, PE, Brasil

*E-mail do autor correspondente: fatima.teixeira@ifma.edu.br

RESUMO:

A polpa de bacuri (*Platonia insignis* Mart.) apresenta composição química e bioativa que pode variar em função do período de produção. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a variabilidade da composição química, físico-química e bioativa da polpa de bacuri em diferentes anos de produção. As amostras foram coletadas no Sítio do Cajueiro, em Zé Doca-MA, no mês de janeiro de cada safra, e transportadas para o Laboratório de Tecnologia de Alimentos do IF Sertão-PE, onde foram submetidas a análises físico-químicas e cromatográficas. Foram determinados os teores de matéria seca, lipídios, proteínas, sólidos solúveis, pH, minerais e atividade de água, além da cor instrumental (sistema CIELab). O conteúdo de compostos fenólicos e a capacidade antioxidante foram avaliados pelos métodos Folin-Ciocalteu, DPPH, ABTS e FRAP, enquanto os perfis de compostos fenólicos individuais, açúcares e ácidos orgânicos foram determinados por cromatografia líquida. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida do teste de Tukey ($p < 0,05$). Foram observadas diferenças entre os anos de produção em diversos parâmetros avaliados. O pH variou de 3,01 a 3,76, os sólidos solúveis de 12,33 a 14,40 °Brix, a matéria seca de 20,60 a 27,27% e os lipídios de 1,39 a 2,45%. A capacidade antioxidante variou de 1,41 a 1,70 mmol TE/kg pelo método DPPH, de 1,18 a 4,07 mmol TE/kg pelo ABTS e de 4,26 a 7,89 mmol Fe²⁺/kg pelo FRAP. Os valores determinados pelo método Folin-Ciocalteu variaram de 475,22 a 718,53 mg GAE/kg, com maior valor observado em 2021. A capacidade antioxidante determinada pelo método DPPH não apresentou diferença significativa entre as safras, enquanto os maiores valores de ABTS e FRAP foram observados em 2021. Também foram verificadas variações nos perfis de açúcares, ácidos orgânicos, minerais e compostos fenólicos individuais entre as safras. Os resultados demonstram variabilidade interanual na composição química e bioativa da polpa de bacuri, evidenciando a importância de considerar o ano de produção na caracterização da matéria-prima e em sua aplicação tecnológica.

Palavras-chave: *platonia insignis*, bacuri, compostos bioativos; propriedades nutricionais, variabilidade interanual

Introdução

O bacuri (*Platonia insignis* Mart.), fruto do bacurizeiro pertencente à família Clusiaceae, é uma espécie frutífera e madeireira típica das regiões Norte e Nordeste do Brasil (Teixeira et al., 2005). Reconhecido por suas propriedades nutricionais e antioxidantes, além do sabor agradável e aroma característico, o bacuri apresenta ampla aplicação na indústria alimentícia, especialmente na produção de sorvetes, sucos, geleias, licores e outros derivados (da Rocha et al., 2024).

Seus frutos, protegidos por uma casca espessa e resistente, são tradicionalmente coletados após a absorção natural, que marca o ponto ideal de maturação (Carvalho & Nascimento, 2018). A polpa, firmemente aderida à semente, conserva as características sensoriais e nutricionais por até dez dias após a queda do fruto, período considerado crítico para consumo *in natura* ou processamento em doces, geleias e licores. Contudo, a extração das sementes requer cautela, pois eventuais danos liberam uma resina que mancha a polpa e reduz seu valor comercial.

A polpa corresponde a 10–18% do peso total do fruto e distingue-se por apresentar baixa acidez, elevados teores de sólidos solúveis e presença de compostos fenólicos e outras substâncias bioativas. É ainda uma importante fonte de antioxidantes, incluindo vitaminas C e E, flavonoides, aminoácidos, sacarídeos e minerais (da Rocha et al., 2025), o que reforça seu potencial de valorização pela indústria agroalimentar.

O bacurizeiro apresenta elevada adaptabilidade, desenvolvendo-se em regiões de clima úmido e subúmido. Contudo, variações de precipitação e temperatura podem influenciar seu ciclo fenológico, especialmente os estágios de floração e frutificação (Souza et al., 1999). Embora a composição nutricional e fitoquímica do bacuri já tenha sido descrita em estudos anteriores, ainda são limitadas as informações sobre a variabilidade interanual desses constituintes em frutos provenientes de uma mesma região de produção. A avaliação de diferentes safras pode contribuir para compreender a estabilidade da composição química e bioativa da polpa e identificar possíveis variações associadas às condições ambientais de cada período produtivo.

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a variabilidade da composição química, físico-química e bioativa da polpa de bacuri (*Platonia insignis* Mart.) em diferentes anos de produção, especificamente nas safras de 2020, 2021, 2022 e 2023, considerando de forma descritiva as condições climáticas observadas em cada período.

Metodologia

Amostras

A polpa de bacuri foi obtida no Sítio do Cajueiro, Zé Doca, MA, Brasil, no mês de janeiro das safras de 2020, 2021, 2022 e 2023. Após a lavagem e sanitização, os frutos foram manualmente abertos e despolpados. A polpa fresca foi transportada imediatamente aos laboratórios para análises de proteína, lipídios, matéria seca, pH, sólidos solúveis, atividade de água e cor (L^* , a^* , b^*), compostos fenólicos, antioxidantes, açúcares, ácidos orgânicos e minerais. Dados meteorológicos anuais (temperatura, umidade relativa e precipitação) foram obtidos do INMET (2023) para correlacionar clima e características da polpa.

Análises clássicas de qualidade

Matéria seca, proteína e sólidos solúveis foram determinados conforme AOAC, (2016). Lipídios pelo método de Bligh & Dyer (1959). A análise de pH conforme Instituto Adolfo Lutz (2008). Minerais foram quantificados por espectroscopia de absorção atômica após digestão apropriada (Silva, 2009). Atividade de água foi medida com WA-60A (Landtek). Análise de cor pelo espectrofotômetro MiniScan HunterLab XE Plus (Cielab).

Capacidade antioxidante pelos métodos ABTS, DPPH e FRAP

A avaliação da atividade antioxidante total foi conduzida empregando os métodos de Captura do Radical Livre DPPH e Captura do Radical Livre ABTS, seguindo as metodologias estabelecidas por Re et al. (1999) e Kim et al. (2002), respectivamente. O método FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) foi conduzido conforme a metodologia estabelecida por Rufino et al. (2006).

Perfil de compostos fenólicos individuais (RP-HPLC/DAD)

O perfil de compostos fenólicos individuais foi determinado por cromatografia líquida de alta eficiência em fase reversa com detector de arranjo de diodos (RP-HPLC/DAD), conforme Padilha et al. (2017). A identificação dos compostos foi realizada por comparação dos tempos de retenção e espectros de absorção com padrões analíticos, e a quantificação foi realizada por curvas de calibração externas.

Perfil de ácidos orgânicos e açúcares

A separação, identificação e quantificação de ácidos orgânicos e açúcares foram realizadas simultaneamente em um sistema de cromatografia líquida Infinity LC Agilent 1260 (Agilent Technologies, Santa Clara, EUA), equipado com detector de índice de refração (RID, modelo G1362A) e detector de arranjo de diodos (DAD, modelo G1315D), seguindo a metodologia validada por Coelho et al. (2018).

Análise estatística

As análises foram realizadas em triplicata, e os resultados foram expressos como média ± desvio-padrão. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida do teste de Tukey para comparação entre as médias, adotando-se nível de significância de 5% ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas no software R, versão 4.0.0, utilizando o ambiente RStudio.

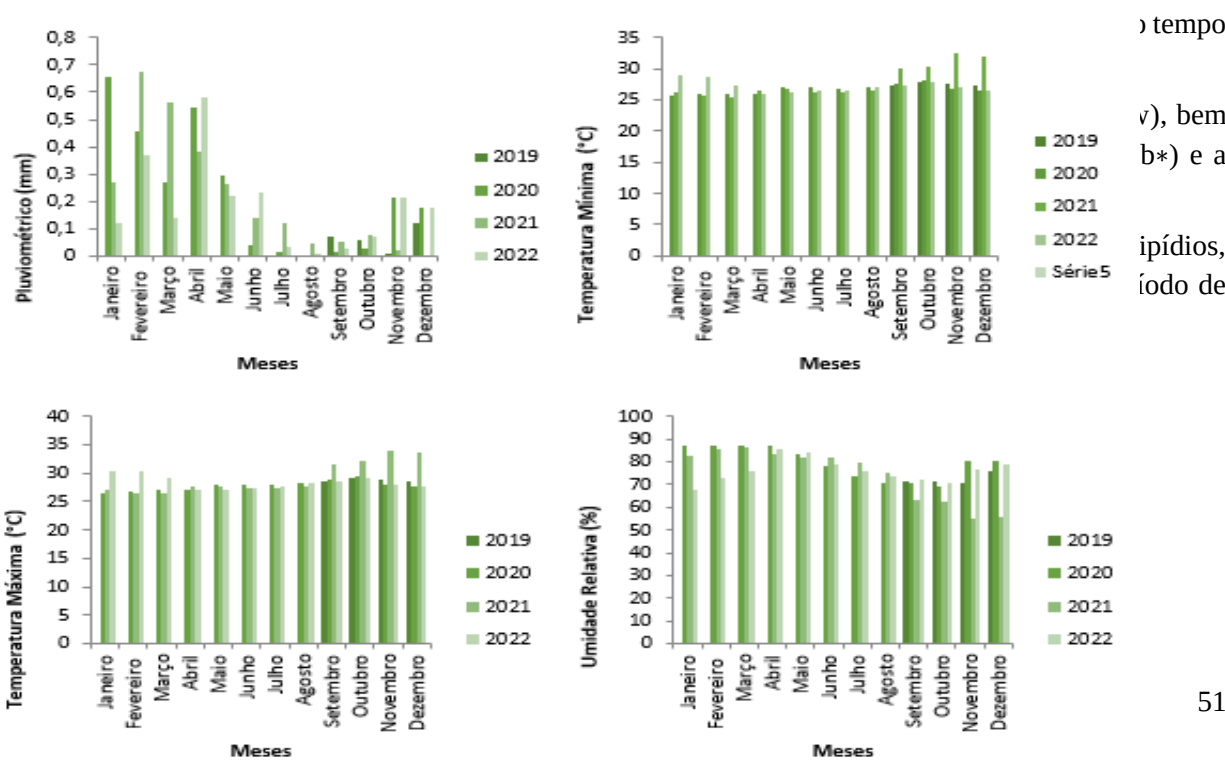
Resultados e Discussão

Composição Química

A composição química da polpa de bacuri variou significativamente entre as safras, influenciada por condições climáticas e de cultivo (Figura 1).

Figura 1. Médias mensais dos dados meteorológicos - temperatura mínima e máxima, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica da região da cidade de Zé Doca, MA.

A precipitação (0,20–0,80 mm) afetou a disponibilidade hídrica e, consequentemente, a concentração de açúcares, ácidos orgânicos e minerais. As temperaturas máximas (26–34 °C) e mínimas



Ácido fórmico	0,11±0,00 ^b	0,010±0,00 ^c	0,12±0,01 ^b	0,81±0,00 ^a
pH	3,06±0,20 ^c	3,76±0,05 ^a	3,53±0,15 ^b	3,01±0,10 ^c
Sólidos solúveis (Brix°)	14,00±1,00 ^a	14,40±0,52 ^a	12,90±1,01 ^a	12,33±1,52 ^a
<i>Açúcares (g/kg)</i>				
Maltose	0,05±0,00 ^a	0,06±0,01 ^a	0,31±0,26 ^a	0,36±0,00 ^a
Glucose	18,90±0,03 ^a	9,74±0,12 ^d	15,96±0,13 ^d	11,94±0,02 ^c
Frutose	20,41±0,05 ^a	9,13±0,10 ^d	17,41±0,22 ^b	14,52±0,04 ^c
Glicerol	0,04±0,0004 ^b	ND	0,23±0,19 ^{ab}	0,36±0,00 ^a
Proteína (mg/100g)	1,06 ±0,21 ^a	0,95±0,22 ^c	1,04±0,25 ^b	0,81±0,23 ^d
Lipídeos	2,45±0,26 ^a	1,92±0,47 ^{ab}	1,58±0,19 ^b	1,39±0,11 ^b
Aw	0,87±0,10 ^a	0,86±0,24 ^a	0,88±0,23 ^a	0,86±0,14 ^a
<i>Cor</i>				
L*	35,03±2,32 ^a	32,16±3,81 ^a	38,87±2,85 ^a	31,76±2,13 ^a
a*	-2,13±0,24 ^a	-2,06±0,50 ^a	-1,69±0,80 ^a	-1,55±0,51 ^a
b*	7,27±0,43 ^a	7,77±0,19 ^a	8,09±0,83 ^a	8,13±0,69 ^a
Matéria seca (%)	27,27±0,22 ^a	20,98±0,13 ^c	22,46±0,18 ^b	20,6±0,25 ^d
<i>Minerais</i>				
Fósforo (mg/100 g)	19,95± 0,21 ^c	21,48±0,22 ^b	21,98±0,20 ^a	13,07±0,21 ^d
Potássio (mg/100 g)	281,12±0,10 ^a	278,51±0,23 ^b	249,48±0,24 ^c	153,98±0,27 ^d
Cálcio (mg/100 g)	15,02±0,27 ^d	15,23±0,10 ^d	27,82± 0,10 ^a	23,96±0,10 ^b
Magnésio (mg/100 g)	22,65±0,12 ^a	16,46±0,20 ^d	17,93±0,15 ^c	21,64±0,20 ^b
Enxofre (mg/100 g)	21,52±0,10 ^c	23,82±0,18 ^b	27,82±0,11 ^a	19,41±0,25 ^d
Silício (mg/100 g)	3,62±0,21 ^a	1,48±0,21 ^d	2,72±0,22 ^b	2,32±0,24 ^c
Ferro (mg/100 g)	1,12±0,23 ^c	1,32±0,20 ^a	1,15±0,30 ^b	0,85±0,28 ^d
Cobre (mg/100 g)	0,36± 0,20 ^a	0,33± 0,23 ^b	0,32±0,14 ^b	0,22±0,11 ^c
Manganês (mg/100 g)	0,11±0,10 ^a	0,08±0,20 ^b	0,10±0,28 ^{ab}	0,08±0,25 ^b
Zinco (mg/100 g)	0,31±0,20 ^a	0,28±0,10 ^b	0,31±0,20 ^a	0,21 ±0,28 ^c
Boro (mg/100 g)	0,30± 0,11 ^a	0,30±0,18 ^a	0,26 ±0,22 ^a	0,10±0,25 ^b
Sódio (mg/100 g)	14,16±0,11 ^b	6,52±0,25 ^d	14,67±0,22 ^a	7,18±0,28 ^c
Selênio (µg/100g)	3922,08± 0,22 ^a	3568,55±0,25 ^b	3523,25±0,3 ^{0c}	3036,43±0,2 ^{7d}

Os resultados são expressos como média ± desvio padrão (n=3). Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ND-não detectado.

Entre os ácidos orgânicos quantificados, o ácido cítrico foi predominante em todas as safras, com valores entre 4,76 e 9,68 g/kg. O maior teor foi observado em 2020, enquanto o menor ocorreu em 2021. O ácido fórmico foi detectado em todas as safras e apresentou maior concentração em 2023 (0,81 g/kg). Já os ácidos málico e láctico foram detectados apenas na amostra correspondente à safra de 2021. Assim, as diferenças observadas evidenciam variação interanual no perfil de ácidos orgânicos da polpa.

Os açúcares solúveis representaram cerca de 50% da massa seca, com sólidos solúveis variando de 12,33 a 14,40 °Brix, atendendo à Instrução Normativa nº 58/2016 do MAPA. A glicose e a frutose foram os açúcares predominantes.

O teor de lipídios foi baixo (1,39–2,45%), típico de muitas frutas tropicais, enquanto o teor proteico variou de 0,811 a 1,061 mg/100g. A atividade de água (aw) foi elevada (0,86–0,88), destacando a necessidade de processamento rápido após a colheita para prevenir deterioração e fermentação microbiana.

Os parâmetros instrumentais de cor não apresentaram diferenças significativas entre as safras (p>0,05). Os valores de L* variaram de 31,76 a 38,87, enquanto a* apresentou valores negativos entre -2,13 e -1,55, indicando componente esverdeada. Os valores positivos de b*, entre 7,27 e 8,13, indicaram

componente amarelada. A estabilidade estatística desses parâmetros sugere manutenção relativa das características instrumentais de cor entre os anos avaliados.

A composição mineral apresentou diferenças entre as safras. O potássio foi o mineral presente em maior concentração entre os elementos expressos em mg/100 g, variando de 153,98 a 281,12 mg/100 g. Os maiores teores de potássio, magnésio, silício, cobre, manganês e selênio foram observados em 2020, enquanto fósforo, cálcio, enxofre e sódio apresentaram maiores valores em 2022. O ferro apresentou maior concentração em 2021. Para o zinco, os valores observados em 2020 e 2022 não diferiram significativamente, enquanto para o boro não houve diferença entre 2020 e 2021.

Compostos Fenólicos, Capacidade Antioxidante e Capacidade Redutora pelo Método Folin-Ciocalteu

A capacidade antioxidante, capacidade redutora do Folin-Ciocalteu e perfil de compostos fenólicos da polpa de bacuri no período de colheita 2020, 2021, 2022 e 2023, são apresentados na Tabela 2.

No ensaio DPPH, a atividade antioxidante variou de 1,412 a 1,700 mg TE/kg, e pelo método ABTS, de 1,179 a 4,067 mg TE/kg, com maior capacidade em 2021. Pelo FRAP, a polpa de 2021 apresentou a maior capacidade redutora (7,899 mM Fe²⁺/kg). Os valores de atividade antioxidante obtidos neste trabalho para DPPH foram inferiores aos apresentados em Freitas et al., (2018) que encontraram 29,0 ± 0,99 mg DE/100g.

Os maiores teores de fenólicos pelo método de Folin-Ciocalteu foram observados em 2021 e 2022 (718,53 e 610,29 mg GAE/kg), comparando os resultados obtidos com aqueles previamente relatados para alguns frutos amazônicos, o bacuri, apresentou valores de teor de fenólicos mais baixo que o buriti – *Mauritia flexuosa* L. f. (378,07 mg GAE/100 g extrato), tucumã -*Astrocaryum aculeatum* G. Mey. (456,8 mg EAG/100 g de peso fresco), polpa de taperebá - *Spondia mombin* (391,69 mg GAE/100g), murici - *Byrsonima crassifolia* (271,60 mg GAE/100g) (Stafussa et al., 2018).

Dos 11 compostos quantificados, foram identificados 2 flavanonas, 1 estilbeno, 5 flavanóis e 3 flavonóis, com diferenças significativas entre as safras. As flavanonas predominantes foram hesperidina (2021–2023) e naringenina (2021). Entre os estilbenos, o cis-resveratrol variou de 2,934 a 9,414 mg/L, sendo mais alto em 2023 e ausente em 2021. Nos flavanóis, destacaram-se procianidinas B1 e B2 (ND–0,600 e ND–0,786 mg/L), epicatequina galato (ND–1,932 mg/L), procianidina A2 (ND–6,540 mg/L) e epicatequina (ND–0,774 mg/L). Entre os flavonóis, os principais compostos foram rutina (0,216–0,606 mg/L), isorramnetina (0,786–7,032 mg/L) e quercetina 3-glicosídeo (ND–6,300 mg/L).

Tabela 2. Capacidade antioxidante total obtido de acordo com os métodos de eliminação de radicais livres - DPPH e ABTS, poder antioxidante de redução férrica - FRAP, capacidade redutora de Folin-Ciocalteu (FCRC) e perfil de compostos fenólicos (mg/L) da polpa de bacuri nos períodos de colheitas 2020, 2021, 2022 e 2023.

	2020	2021	2022	2023
Capacidade antioxidante				
DPPH(mmol TE/kg)	1,63±0,24 ^a	1,66±0,05 ^a	1,70±0,18 ^a	1,41±0,01 ^a
ABTS(mmol TE/kg)	2,24±0,63 ^b	4,07±0,05 ^a	1,73±0,03 ^b	1,18±0,05 ^b
FRAP(mmol Fe ²⁺ /kg)	4,75±0,08 ^b	7,89±0,55 ^a	4,36±0,55 ^b	4,26±0,49 ^b
FCRC (mg/kg)	565,69±57,3 ^{bc}	718,53±2,54 ^a	610,29±76,45 ^{ab}	475,22±7,64 ^c
Perfil de compostos fenólicos (mg/L)				
<i>Flavanonas</i>				
Hesperidina	ND	23,10 ± 2,16 ^a	5,89 ± 0,23 ^b	5,13 ± 0,11 ^b
Naringenina	ND	24,42 ± 0,11	ND	ND
<i>Estilbenos</i>				
Cis-resveratrol	2,93 ± 0,27 ^b	ND	7,56 ± 0,25 ^a	9,41±0,00 ^a

<i>Flavanois</i>				
Procianidina B1	0,52 ± 0,04 ^b	ND	0,58 ± 0,00 ^b	0,60 ± 0,00 ^a
Procianidina B2	ND	ND	0,78 ± 0,04	ND
Epicatequina galato	0,12 ± 0,00 ^b	1,93 ± 0,03 ^a	ND	0,04 ± 0,01 ^b
Procianidina A2	ND	6,54 ± 0,00	ND	ND
Epicatequina	0,77 ± 0,01	ND	ND	ND
<i>Flavonois</i>				
Rutina	0,22 ± 0,01 ^b	ND	0,25 ± 0,00 ^b	0,61 ± 0,01 ^a
Isorramnetina	0,79 ± 0,07 ^b	7,03 ± 0,14 ^a	1,64 ± 0,05 ^b	1,74 ± 0,04 ^b
Quercetina 3-glicosídeo	2,26 ± 0,19 ^b	ND	5,70 ± 0,19 ^a	6,30 ± 0,11 ^a

Os resultados são expressos como média ± desvio padrão (n=3). Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ND-não detectado.

De modo geral, os resultados evidenciaram variabilidade interanual na composição bioativa da polpa de bacuri. A safra de 2021 apresentou os maiores valores de capacidade antioxidante pelos métodos ABTS e FRAP e de capacidade redutora pelo método de Folin-Ciocalteu, enquanto o ensaio DPPH não apresentou diferenças significativas entre os anos avaliados. Além disso, foram observadas diferenças no perfil e nas concentrações dos compostos fenólicos individuais entre as safras, demonstrando que a composição bioativa da polpa não permaneceu constante ao longo dos quatro anos de produção.

Conclusão

Os resultados demonstraram variabilidade interanual na composição química, físico-química e bioativa da polpa de bacuri (*Platonia insignis* Mart.) entre as safras de 2020 a 2023. A safra de 2021 apresentou os maiores valores de capacidade antioxidante pelos métodos ABTS e FRAP e de capacidade redutora pelo método de Folin-Ciocalteu, enquanto a atividade antioxidante determinada pelo método DPPH não apresentou diferenças significativas entre os anos avaliados. Também foram observadas diferenças nos perfis de ácidos orgânicos, açúcares, minerais e compostos fenólicos individuais entre as safras.

As diferenças observadas entre os anos de produção ocorreram concomitantemente a variações nas condições meteorológicas da região, incluindo precipitação pluviométrica, temperatura e umidade relativa do ar. Entretanto, como não foi realizada análise estatística específica de associação entre as variáveis climáticas e a composição da polpa, não é possível estabelecer relação causal entre essas condições e as diferenças químicas e bioativas observadas.

Dessa forma, os resultados evidenciam a importância de considerar a variabilidade entre safras na caracterização e no aproveitamento tecnológico da polpa de bacuri. Estudos futuros que incorporem análises de correlação ou modelos estatísticos multivariados entre variáveis climáticas e parâmetros químicos e bioativos poderão contribuir para compreender de forma mais precisa os fatores associados às variações observadas na composição da fruta.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e a FAPEMA (Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão).

Referências

1. Alves Teixeira da Rocha, F., Helena Meller da Silva, L., & Manoel da Cruz Rodrigues, A. (2024). Bacuri (*Platonia insignis* Mart.): Nutritional values, volatile compounds, rheological properties, health benefits, and potential products. *Food Chemistry*, 436, 137528.

- <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137528>
2. AOAC. (2016). *ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official Methods of Analyses of the AOAC* (15th ed.).
 3. Ligh, E. G., & Dyer, W. J. (1959). A RAPID METHOD OF TOTAL LIPID EXTRACTION AND PURIFICATION. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37(8), 911–917. <https://doi.org/10.1139/o59-099>
 4. Coelho, E. M., Padilha, C. V. da S., Miskinis, G. A., de Sá, A. G., Pereira, G. E., de Azevêdo, L. C., & Lima, M. dos S. (2018). Simultaneous analysis of sugars and organic acids in wine and grape juices by HPLC: Method validation and characterization of products from northeast Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis*, 66(May 2016), 160–167. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.12.017>
 5. Freitas, F. A. de, Araújo, R. C., Soares, E. R., Nunomura, R. C. S., da Silva, F. M. A., da Silva, S. R. S., de Souza, A. Q. L., de Souza, A. D. L., Franco-Montalbán, F., Acho, L. D. R., Lima, E. S., Bataglion, G. A., & Koolen, H. H. F. (2018). Biological evaluation and quantitative analysis of antioxidant compounds in pulps of the Amazonian fruits bacuri (*Platonia insignis* Mart.), ingá (*Inga edulis* Mart.), and uchi (*Sacoglottis uchi* Huber) by UHPLC-ESI-MS/MS. *Journal of Food Biochemistry*, 42(1), 1–10. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12455>
 6. INMET. (2023). *Instituto Nacional de Meteorologia*. <https://portal.inmet.gov.br/>
 7. INSTITUTO ADOLFO LUTZ. (2008). *Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos Físico-químicos para Análises de Alimentos* (4ª ed. (1ª)).
 8. Kim, Y. K., Guo, Q., & Packer, L. (2002). Free radical scavenging activity of red ginseng aqueous extracts. *Toxicology*, 172(2), 149–156. [https://doi.org/10.1016/S0300-483X\(01\)00585-6](https://doi.org/10.1016/S0300-483X(01)00585-6)
 9. Padilha, C. V. da S., Miskinis, G. A., de Souza, M. E. A. O., Pereira, G. E., de Oliveira, D., Bordignon-Luiz, M. T., & Lima, M. dos S. (2017). Rapid determination of flavonoids and phenolic acids in grape juices and wines by RP-HPLC/DAD: Method validation and characterization of commercial products of the new Brazilian varieties of grape. *Food Chemistry*, 228, 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.137>
 10. R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing* (Version 4.0.0 (2020-04-24)).
 11. Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9–10), 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
 12. Rufino, M. S. M., Alves, R. E., De Brito, E. S., De Moraes, S. M., Sampaio, C. G., Pérez-Jiménez, J., & Saura-Calixto, F. D. (2006). Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pelo Método de Redução do Ferro (FRAP). *Comunicado Técnico Embrapa*, 1–4.
 13. Serra, J. L., Rodrigues, A. M. da C., de Freitas, R. A., Meirelles, A. J. de A., Darnet, S. H., & Silva, L. H. M. da. (2019). Alternative sources of oils and fats from Amazonian plants: Fatty acids, methyl tocopherols, total carotenoids and chemical composition. *Food Research International*, 116(July 2018), 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.12.028>
 14. Silva, F. C. da. (2009). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes* (F. C. da Silva (ed.); 2. ed. rev.). <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/->

15. Souza, V. A. B. de, Vasconcelos, L. F. L., & Araújo, E. C. E. (1999). BACURIZEIRO Recomendações de Cultivo. *Embrapa*, 1–4.
16. Teixeira da Rocha, F. A., de Brito Araújo Carvalho, A. J., Pessoa, T., Viana, A. C., dos Santos Lima, M., Santos, N. C., Meller da Silva, L. H., & da Cruz Rodrigues, A. M. (2025). Harvest time influences in the quality attributes and physicochemical and phytochemical composition of bacuri pulp (*Platonia insignis* Mart.). *Food Research International*, 199, 115343. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115343>
17. Teixeira, G. H. de A., Durigan, J. F., Lima, M. A., Alves, R. E., & Filgueiras, H. A. C. (2005). Postharvest changes and respiratory pattern of bacuri fruit (*Platonia insignis* Mart.) at different maturity stages during ambient storage. *Acta Amazonica*, 35(1), 17–21. <https://doi.org/10.1590/s0044-59672005000100003>

DESENVOLVIMENTO DE MACARRÃO TIPO TALHARIM ENRIQUECIDO COM FARINHA DE ABÓBORA (CURCUBITA MAXIMA)

AUTORES

Elisa Sarmento; Luciana Azevedo; Ana Júlia Carvalho; Silvana Vilar

[doi 10.53934/agronfy-9786585062336-07](https://doi.org/10.53934/agronfy-9786585062336-07)



DESENVOLVIMENTO DE MACARRÃO TIPO TALHARIM ENRIQUECIDO COM FARINHA DE ABÓBORA (*CURCUBITA MAXIMA*)

SARMENTO¹, Elisa; AZEVEDO²,

Luciana; CARVALHO², Ana Júlia;

VILAR^{2*}, Silvana

¹Aluna, IF SertãoPE

² Professoras, IF SertãoPE

*E-mail do autor correspondente: silvana.belem@ifsertao-pe.edu.br

RESUMO

A abóbora (*Cucurbita maxima*) é uma hortaliça de importância alimentar e agrícola, destacando-se por seu potencial nutricional, presença de compostos bioativos e ampla utilização na agricultura familiar. Essa matéria-prima apresenta potencial para aplicação no desenvolvimento de massas alimentícias. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver macarrão tipo talharim por meio da substituição parcial da farinha de trigo pela farinha integral de abóbora (FIA) e avaliar as características físico-químicas e funcionais das formulações obtidas. A farinha foi produzida a partir da secagem da abóbora (casca e polpa) a 70 °C, seguida de trituração e padronização granulométrica em peneira de 28 mesh. Foram realizadas quatro formulações com diferentes níveis de substituição parcial da farinha de trigo por FIA: Controle (0% de FIA), F1 (10% de FIA), F2 (20% de FIA) e F3 (30% de FIA). Foram realizadas análises físico-químicas e funcionais na FIA e nas formulações de macarrão, incluindo determinações de umidade, minerais totais, fibras solúveis e insolúveis, pH, atividade de água, cor, compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante pelo método ABTS. Os resultados da FIA indicaram teores de minerais de 8,04%, fibras solúveis de 9,58% e fibras insolúveis de 8,44%. A incorporação da FIA promoveu alterações na composição das formulações, com aumento nos teores de minerais, que variaram de 2,77 a 4,00%, de fibras solúveis, de 22,01 a 36,89%, e de fibras insolúveis, de 0,74 a 2,54%. Também foi observado aumento da umidade, de aproximadamente 11 para 13%, e alterações nas coordenadas de cor, com redução de L* de 73,28 para 54,68, aumento de a* de 5,98 para 15,39 e valores de b* entre 27,03 e 43,11. O conteúdo de compostos fenólicos totais aumentou de 982,74 para 1.898,85. Os valores de capacidade antioxidante dos macarrões foram de 1,33, 2,64, 4,48 e 5,92 para as formulações Controle, F1, F2 e F3, respectivamente. Os resultados indicam que a substituição parcial da farinha de trigo por FIA promoveu aumento nos teores de minerais, fibras, compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante das formulações, evidenciando o potencial da farinha integral de abóbora como ingrediente para o desenvolvimento de massas alimentícias com características nutricionais e funcionais diferenciadas.

Palavras-chave: Agricultura familiar, alimento funcional, massa alimentícia.

INTRODUÇÃO

O cenário mundial contemporâneo da alimentação tem sido marcado por uma crescente busca por produtos que ofereçam benefícios além da nutrição básica. Nesse contexto, os alimentos funcionais vêm ganhando espaço por conterem compostos bioativos capazes de promover a saúde e prevenir doenças crônicas [1].

A abóbora (*Cucurbita maxima*) é um vegetal amplamente cultivado no Brasil, especialmente pela agricultura familiar, e apresenta elevado valor nutricional. Destaca-se pelo alto teor de fibras, minerais, vitaminas e carotenóides, compostos responsáveis por importante atividade antioxidante. Apesar de seu potencial, grande parte da produção sofre perdas pós-colheita devido à perecibilidade do fruto [2].

A utilização integral da abóbora, incluindo casca e polpa, por meio da produção de farinha, constitui alternativa viável para agregação de valor e redução de desperdícios. Paralelamente, o macarrão é um alimento amplamente consumido, porém nutricionalmente pobre quando elaborado apenas com farinha de trigo refinada [3].

Apesar do potencial nutricional e tecnológico da farinha integral de abóbora, ainda é relevante compreender como diferentes níveis de sua incorporação em massas alimentícias afetam simultaneamente parâmetros físico-químicos, composição de fibras, características de cor e propriedades bioativas do produto. A avaliação desses parâmetros pode contribuir para definir níveis de substituição capazes de melhorar a composição nutricional e funcional da massa sem desconsiderar suas características tecnológicas.

Diante desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver macarrão tipo talharim com diferentes níveis de substituição parcial da farinha de trigo por farinha integral de abóbora (FIA) e avaliar os efeitos dessa incorporação sobre suas características físico-químicas e propriedades funcionais.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado nos laboratórios do Instituto Federal do Sertão Pernambucano – Campus Petrolina.

Matéria-prima

Foram utilizadas abóboras da espécie *Cucurbita maxima*, adquiridas no comércio local. Os frutos foram selecionados, higienizados e sanitizados conforme normas de boas práticas.

Obtenção da farinha integral de abóbora

Após remoção de sementes e fibras, a polpa com casca foi fatiada e submetida à secagem em estufa com circulação de ar a 70 °C por 5 horas. O material seco foi triturado, peneirado e acondicionado em embalagem adequada (Figura 1).

O rendimento da farinha integral de abóbora foi determinado pela relação entre a massa final de farinha obtida após a secagem, trituração e peneiramento e a massa inicial da matéria-prima submetida ao processamento, conforme a Equação 1:

em que R corresponde ao rendimento da farinha (%), mf à massa final de farinha obtida (g) e mi à massa inicial da matéria-prima submetida ao processamento (g).

Farinha de Abóbora

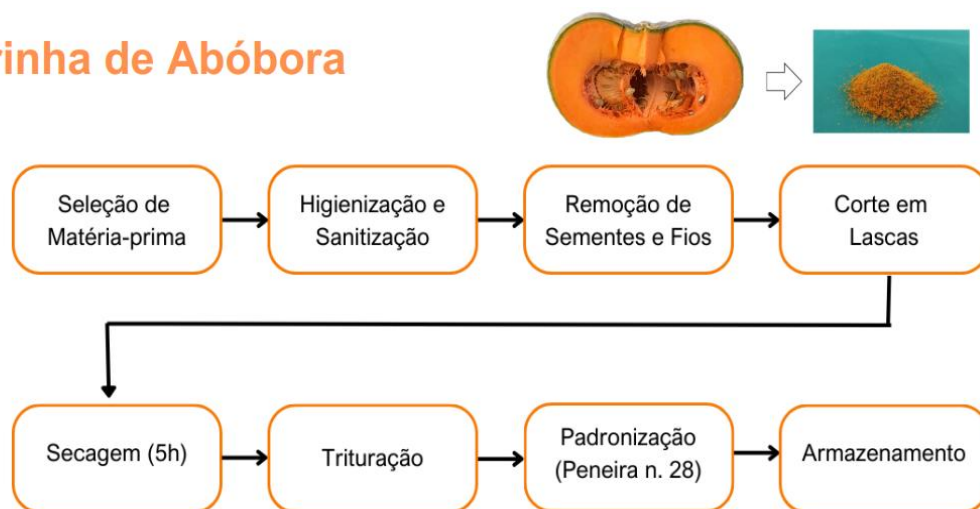


Figura 1. Produção de farinha integral de abóbora

Desenvolvimento do macarrão tipo talharim enriquecido com farinha integral de abóbora

Foram elaboradas quatro formulações com diferentes níveis de substituição da farinha de trigo, comumente variando entre 0% (Controle), 10%, 20% e 30%. Essas proporções permitiram avaliar o impacto da farinha funcional sobre as características tecnológicas, nutricionais e bioativas do produto.

O processo de elaboração compreendeu as etapas de pesagem e mistura dos ingredientes, homogeneização da massa, repouso para hidratação adequada dos componentes, laminação, corte no formato de talharim e secagem final. A etapa de secagem foi fundamental para garantir a estabilidade microbiológica e a vida útil do macarrão.

Análises realizadas

Foram realizadas análises físico-químicas e funcionais nas farinhas e nas formulações de macarrão, sendo feitas determinações de umidade, minerais totais, fibras solúveis e insolúveis, pH, atividade de água, cor, compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante (ABTS). As determinações foram realizadas em triplicata e os resultados foram avaliados por ANOVA e teste de Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização físico-química das massas enriquecidas com farinha integral de abóbora evidencia alterações significativas em relação à formulação controle. Observa-se redução do teor de umidade, atendendo aos limites estabelecidos pela legislação para massas secas, bem como aumento do teor de cinzas, refletindo o maior conteúdo mineral do produto, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Características físico-químicas da abóbora in natura e da farinha integral de abóbora. Valores expressos como média $\pm$ desvio-padrão (n = 3).

	Abóbora in natura (PCA)	Farinha integral de abóbora (FCA)
Rendimento	89,52%*	14,50%
Umidade (%)	83,95 $\pm$ 0,13%	9,58 $\pm$ 0,03%
Fibra Total	2,99%	18,02%
Fibra Solúvel	1,29 $\pm$ 0,07%	9,58 $\pm$ 0,19%
Fibra Insolúvel	1,6 $\pm$ 0,09 %	8,44 $\pm$ 0,49 %
Minerais (g/100g)	1,29g $\pm$ 0,08	8,04 $\pm$ 0,38 g
pH	6,76 $\pm$ 0,01	6,66 $\pm$ 0,01
Aw	0,83 $\pm$ 0,0	0,51 $\pm$ 0,02
Cor		
L	66,08 $\pm$ 0,37	59,16 $\pm$ 0,63
a*	37,57 $\pm$ 0,52	26,07 $\pm$ 0,41
b*	60,70 $\pm$ 1,01	54,68 $\pm$ 0,35

Tabela 1. Abóbora in natura vs farinha

Na Tabela 2, pode-se constatar que a inclusão de farinha de abóbora nas massas resultou em mudanças mensuráveis nas características físico-químicas do produto. Foi observado redução do teor de umidade e elevação significativa no teor de fibras solúveis e insolúveis à medida que a proporção de farinha de abóbora aumentou. Ademais, estudos demonstram incrementos nos compostos fenólicos totais (Tabela 3) e na capacidade antioxidante medida pelo método ABTS (Tabela 4), os quais se correlacionam positivamente à porcentagem de farinha funcional incorporada [5][8].

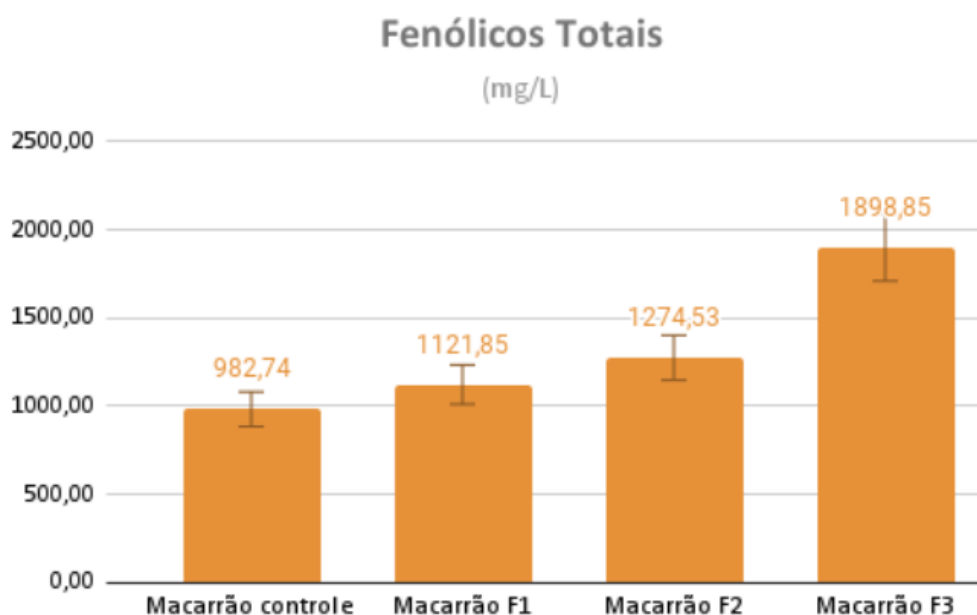
Tabela 2 – Características físico-químicas das formulações de macarrão tipo talharim com diferentes níveis de farinha integral de abóbora.

	Macarrão (Controle)	Macarrão (F1)	Macarrão (F2)	Macarrão (F3)
Rendimento	76,67%**	76,67%**	76,67%**	76,67%**
Umidade (%)	11,14 ± 0,03% a	12,56 ± 0,26% bc	12,75 ± 0,19% bcd	13,12 ± 0,16% bd
Fibra Total	11,44%	22,75%	26,41%	39,43%
Fibra Solúvel	11,17 ± 0,07% a	22,01 ± 0,43% b	24,32 ± 0,96% b	36,89 ± 1,43% c
Fibra Insolúvel	0,27 ± 0,03 % a	0,74 ± 0,09% b	2,09 ± 0,09% c	2,54 ± 0,026% d
Minerais (g/100g)	2,39 ± 0,03g a	2,77 ± 0,08g b	3,29 ± 0,16g c	4,00 ± 0,07g d
pH	6,60 ± 0,00	6,60 ± 0,00	6,70 ± 0,00	6,70 ± 0,00
Aw	0,67 ± 0,00	0,69 ± 0,00	0,68 ± 0,00	0,68 ± 0,00
Cor				
L	73,28 ± 0,31 a	59,79 ± 0,43 b	58,89 ± 0,08 b	54,68 ± 0,10 c
a*	5,98 ± 0,01 a	12,95 ± 0,14 b	13,73 ± 0,05 c	15,39 ± 0,06 d
b*	27,03 ± 0,02 a	41,57 ± 0,32 b	44,39 ± 0,12 c	43,11 ± 0,07 d

Valores expressos como média ± desvio-padrão (n = 3). Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Os valores obtidos pelo método ABTS foram: 2,64 mM Trolox/L para a formulação F1, 4,48 mM Trolox/L para a F2 e 5,92 mM Trolox/L para a F3. Esses resultados confirmam que o aumento do percentual de substituição da farinha de trigo pela farinha integral de abóbora promove elevação significativa do potencial funcional do produto final. Além disso, a incorporação da FIA promoveu alterações nas coordenadas de cor das massas. Os valores de L* diminuíram de 73,28 na formulação controle para 54,68 em F3, indicando redução da luminosidade com o aumento da proporção de FIA. Os valores de a* aumentaram de 5,98 para 15,39, evidenciando maior tendência à tonalidade vermelha. Para b*, os valores aumentaram de 27,03 no controle para valores superiores a 41 nas formulações contendo FIA, indicando intensificação da componente amarela.

Gráfico 3 . Quantidade de Fenólicos Totais nos macarrões



Esse comportamento está relacionado à presença de compostos bioativos na abóbora, capazes de neutralizar radicais livres e exercer importante atividade antioxidante. Entre as formulações avaliadas, a F3, contendo 30% de farinha integral de abóbora, apresentou os melhores resultados, sugerindo que os compostos presentes na abóbora são eficazes na neutralização do radical ABTS, contribuindo para a proteção celular contra danos oxidativos.

Os resultados mostram aumento progressivo do teor de fenólicos totais com a incorporação da farinha integral de abóbora, passando de 982,74 mg/L no controle para 1.898,85 mg/L na formulação F3. Esse comportamento indica uma relação positiva entre a proporção de farinha de abóbora adicionada e a concentração de compostos bioativos nas massas, destacando-se a formulação F3, com 30% de substituição, pelo maior teor de fenólicos totais.

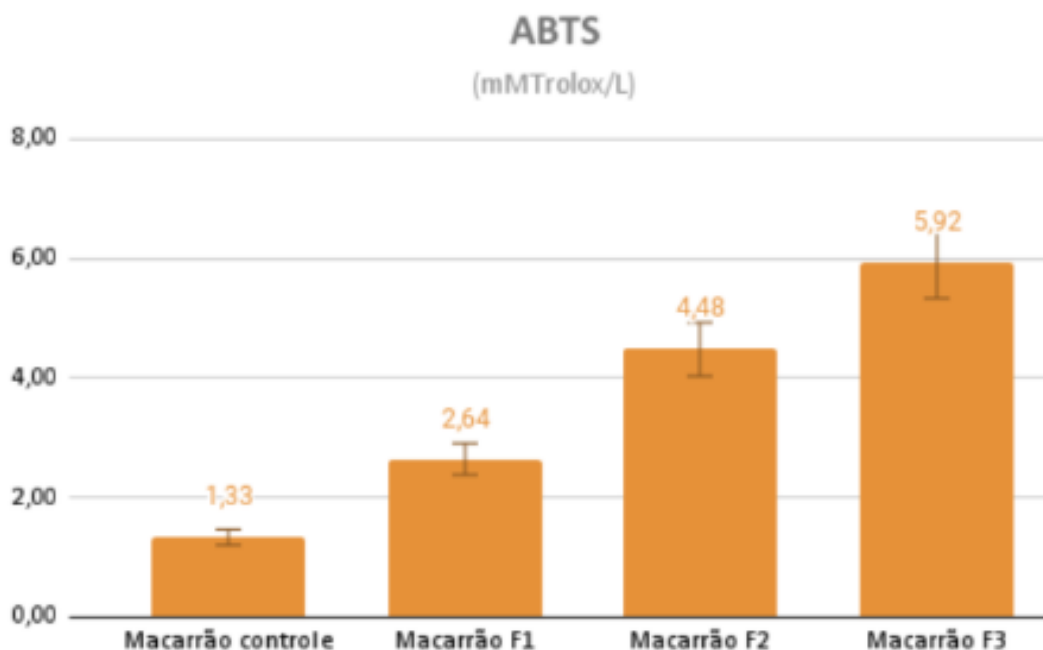


Gráfico 4 . Capacidade antioxidante (ABTS) nos macarrões

Os resultados do Gráfico 4 evidenciam aumento progressivo da capacidade antioxidante pelo método ABTS com a incorporação da farinha integral de abóbora. Os valores aumentaram de 1,33 mM Trolox/L no controle para 5,92 mM Trolox/L na formulação F3, demonstrando uma relação positiva entre o percentual de farinha de abóbora e o potencial antioxidante das massas. Esse comportamento reforça a contribuição dos compostos bioativos presentes na abóbora para a funcionalidade do produto.

CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram que a incorporação da farinha integral de abóbora promoveu modificações na composição físico-química e nas propriedades funcionais do macarrão tipo talharim. O aumento da proporção de FIA foi acompanhado por maiores teores de minerais, fibras, compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante, além de alterações nas características de cor das massas. Entre as formulações avaliadas, aquela contendo 30% de FIA apresentou os maiores teores de fibras e compostos fenólicos totais e a maior capacidade antioxidante pelo método ABTS. Dessa forma, os resultados indicam o potencial da farinha integral de abóbora como ingrediente para substituição parcial da farinha de trigo em massas alimentícias. Entretanto, estudos adicionais envolvendo características tecnológicas de cocção, textura, análise sensorial, estabilidade durante o armazenamento e aceitabilidade são necessários para avaliar de forma mais abrangente a qualidade e a aplicabilidade do produto desenvolvido.

REFERÊNCIAS

1. Martirosyan D. Functional Food Science and Bioactive Compounds. *Bioactive Compounds in Health and Disease*. 2025;8(6):218-229.
2. Gavril RN, Stoica F, Lipşa FD, Constantin OE, Stănciuc N, Aprodu I, Râpeanu G. Pumpkin and Pumpkin By-Products: A Comprehensive Overview of Phytochemicals, Extraction, Health Benefits, and Food Applications. *Foods*. 2024;13(17):2694. DOI:10.3390/foods13172694.
3. Alija D, Olędzki R, Nikolovska Nedelkoska D, Wojciechowicz-Budzisz A, Xhabiri G, Pejcz E, Alija E, Harasym J. *The Addition of Pumpkin Flour Impacts the Functional and Bioactive Properties of Soft Wheat Composite Flour Blends*. *Foods*. 2025;14(2):243. DOI:10.3390/foods14020243.
4. Hussain A, Kausar T, Sehar S, et al. A comprehensive review on nutritional properties of pumpkin. *Food Sci Nutr*. 2021.
5. Lago-Vanzela ES, Nascimento P, et al. Effect of drying on bioactive compounds of pumpkin. *J Food Process*. 2013.
6. Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo; 2008.
7. Brasil. RDC nº 107/2016. Regulamento técnico para massas alimentícias. ANVISA.
8. Re R, Pellegrini N, Proteggente A, et al. Antioxidant activity applying ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med*. 1999.
9. Singleton VL, Rossi JA. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am J Enol Vitic*. 1965.
10. Lichtenthaler HK. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods Enzymol*. 1987.

08

DESENVOLVIMENTO DE IOGURTE DIET SEM LACTOSE À BASE DE POLPA DE CAJÁ

AUTORES

Gabrielly de Albuquerque Oliveira; Lisandro Honorato dos Santos; Maria Clara Cardoso da Silva Costa; Severina de Sousa

[doi 10.53934/agronfy-9786585062336-08](https://doi.org/10.53934/agronfy-9786585062336-08)



DESENVOLVIMENTO DE IOGURTE DIET SEM LACTOSE À BASE DE POLPA DE CAJÁ

Gabrielly de Albuquerque Oliveira; Lisandro Honorato dos Santos; Maria Clara Cardoso da Silva Costa; Severina de Sousa

*Autor correspondente: gabrielly.albuquerque@estudante.ufcg.edu.br

RESUMO: O iogurte é um produto obtido pela fermentação controlada do leite, principalmente pela ação das bactérias *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Nesse contexto, objetivou-se desenvolver um iogurte sem lactose e sem adição de açúcares, saborizado com polpa de cajá e adoçado com sucralose, bem como avaliar os efeitos das concentrações desses ingredientes sobre suas características químicas, físico-químicas e de textura. Foi utilizado um planejamento fatorial completo 2², tendo como variáveis independentes a concentração de polpa de cajá (%) e a concentração de adoçante (%), com os níveis codificados -1, 0 e +1. As concentrações de polpa de cajá foram de 5%, 10% e 15%, enquanto as concentrações de adoçante foram de 0,035%, 0,045% e 0,055%, em relação à massa do iogurte. Os iogurtes foram produzidos utilizando leite sem lactose e iogurte natural como fonte de cultura láctea, além de goma xantana como espessante. A fermentação foi realizada em estufa a 45 °C, durante 6 horas, seguida de resfriamento e repouso sob refrigeração por 18 horas. Foram realizadas análises de pH, acidez total titulável, teor de água, vitamina C, firmeza, coesividade, índice de viscosidade e consistência. Os valores de pH variaram de 4,27 a 4,44, o teor de água de 38,20% a 42,26% e a acidez de 5,97% a 6,38%. A análise dos coeficientes de regressão indicou efeito significativo da concentração de polpa de cajá sobre o pH; das concentrações de polpa e de adoçante sobre a acidez; e dos efeitos lineares e da interação entre esses fatores sobre a vitamina C. Entretanto, na análise de variância dos modelos, apenas o modelo referente ao pH foi significativo, enquanto os modelos de acidez e vitamina C não apresentaram significância estatística. Quanto ao perfil de textura, a consistência e a coesividade apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$), enquanto a firmeza e o índice de viscosidade não foram significativamente influenciados pelas formulações. Conclui-se que as concentrações de polpa de cajá e adoçante influenciaram especialmente o pH, a consistência e a coesividade do iogurte. A incorporação da polpa mostrou potencial para diversificar produtos lácteos sem lactose; contudo, são necessárias análises sensoriais, microbiológicas e da composição de açúcares para confirmar a qualidade, a segurança e a adequação do produto ao público com restrições alimentares.

Palavras-chave: alimento funcional, frutas cítricas, sucralose, tecnologia de alimentos

1 INTRODUÇÃO

A lactose é um dissacarídeo presente no leite que necessita da enzima lactase para ser digerida. Segundo Wiley⁽¹⁾, a intolerância à lactose é uma condição que afeta cerca de 60% da população mundial, sendo causada pela deficiência ou ausência dessa enzima no organismo humano. Essa condição pode provocar sintomas gastrointestinais como dor abdominal, diarreia e flatulência.

O leite é amplamente consumido em diversas regiões do mundo, e seus derivados ocupam papel de destaque na alimentação humana, especialmente o iogurte. Este é obtido por meio da fermentação do leite realizada pelos microrganismos *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, sendo valorizado por suas propriedades nutricionais⁽²⁾⁽³⁾.

Diversos tipos de iogurtes estão disponíveis no mercado, como o natural, integral, grego e convencional, além das versões saborizadas com polpas de frutas. Nesse contexto, o cajá (*Spondias mombin*) é uma fruta brasileira rica em compostos bioativos e vitaminas com atividade antioxidante, cuja incorporação pode agregar valor nutricional e contribuir para as características sensoriais e tecnológicas de produtos lácteos, como o iogurte⁽⁴⁾⁽⁵⁾.

Apesar do potencial nutricional e tecnológico do cajá, ainda é necessário avaliar como diferentes concentrações de sua polpa, combinadas com adoçante à base de sucralose, interferem nas características químicas, físico-químicas e físicas de iogurtes sem lactose. Essa necessidade constitui a lacuna investigada neste estudo e pode contribuir para a definição de formulações adequadas ao desenvolvimento de produtos destinados a consumidores com restrições alimentares.

A utilização de frutas regionais como o cajá na elaboração de iogurtes representa uma alternativa inovadora voltada aos consumidores com restrições alimentares, pessoas com intolerância à lactose ou que necessitam controlar a ingestão de açúcares. Avanços tecnológicos têm viabilizado a produção de iogurtes características nutricionais e funcionais diferenciadas⁽⁶⁾. A crescente demanda por alimentos funcionais tem impulsionado pesquisas voltadas ao uso de ingredientes naturais que agregam valor nutricional e sensorial aos produtos⁽⁷⁾.

Diante disso, objetivou-se desenvolver um iogurte sem lactose e sem adição de açúcares, saborizado com polpa de cajá e adoçado com sucralose, bem como avaliar os efeitos das concentrações desses ingredientes sobre o pH, a acidez titulável, o teor de água, a vitamina C e as propriedades de textura do produto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de realização

O experimento foi conduzido no Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA), pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), localizado no campus de Campina Grande.

2.2 Materiais utilizados e produção do iogurte

Foram utilizados os seguintes ingredientes e insumos: polpa de cajá, adquirida comercialmente e armazenada a -18°C ; leite sem lactose, obtido no comércio local; iogurte natural com prebióticos, utilizado como cultura láctea; goma xantana, empregada como espessante; e adoçante com sucralose, aplicado em diferentes concentrações conforme o planejamento experimental.

A produção do iogurte iniciou-se com a distribuição do leite sem lactose em recipientes de vidro refratário devidamente higienizados. Em seguida, adicionaram-se o iogurte prebiótico e a goma xantana, promovendo a homogeneização da mistura. Essa preparação foi incubada em estufa a 45°C por 6 horas. Após o período de fermentação, os iogurtes foram resfriados e mantidos em repouso por 18 horas em geladeira, garantindo a estabilização do produto antes das análises.

2.3 Planejamento experimental

A pesquisa foi conduzida por meio de um delineamento fatorial 2^2 , acrescido de três repetições no ponto central, totalizando sete ensaios. As variáveis independentes foram a concentração de polpa de cajá (%) e a concentração de adoçante (%), com três níveis (-1; 0; +1). A Tabela 1 apresenta os níveis codificados e reais utilizados para cada variável, conforme o planejamento adotado.

Tabela 1. Matriz de planejamento experimental 2^2

Ensaios	Polpa de cajá (%)	Adoçante (%)	Nível polpa de cajá	Nível adoçante
1	5	0,035	-1	-1
2	15	0,035	+1	-1
3	5	0,055	-1	+1
4	15	0,055	+1	+1
5	10	0,045	0	0
6	10	0,045	0	0
7	10	0,045	0	0

4.4 Análises químicas, físico-químicas e físicas

As análises físicas, físico-químicas e químicas do iogurte saborizado com polpa de cajá foram realizadas conforme a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz⁽⁸⁾. Foram realizadas as análises de teor de água (g/100g), a concentração de vitamina C (mg/100g), pH e a acidez total titulável (g/100mL). Além disso, foi realizada a análise de perfil de textura do iogurte, permitindo avaliar a consistência, a coesividade e o índice de viscosidade do produto desenvolvido.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises físico-químicas e químicas do iogurte produzido se encontram na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados do planejamento experimental 2².

Ensaio	CC (%)	CA(%)	pH	Teor de água (%)	Acidez (%) (A)	Vitamina C (%)
1	5	0,035	4,27	42,26	6,23	1,46/10 ⁵
2	15	0,035	4,29	40,1	6,33	2,91/10 ⁵
3	5	0,055	4,42	40,63	6,22	2,04/10 ⁵
4	15	0,055	4,33	39,23	6,38	2,62/10 ⁵
5	10	0,045	4,36	38,2	6,17	1,11/10 ⁴
6	10	0,045	4,40	40,56	5,97	2,6/10 ⁵
7	10	0,045	4,44	39,83	6,14	3,79/10 ⁵

CC - Concentração de polpa de Cajá; CA - Concentração de adoçante.

A Tabela 2 apresenta os efeitos das variações nas concentrações de polpa de cajá (CC) e adoçante (CA) sobre as propriedades físico-químicas do iogurte. O aumento da CC promoveu redução no teor de água e elevação na acidez e no teor de vitamina C, indicando influência significativa da fruta na composição do produto. A variação da CA teve impacto mais discreto, com leve aumento no pH. Os valores de pH permaneceram dentro da faixa esperada para produtos fermentados (4,27 a 4,44). A acidez variou entre 5,97% e 6,38%, sendo maior nas amostras com mais cajá. O teor de vitamina C foi mais elevado nas formulações com maior CC, alcançando até $3,79 \times 10^5$. Esses resultados destacam o papel da polpa de cajá na melhoria nutricional do iogurte.

As tabelas 3, 4, 5 e 6 mostram os resultados obtidos pelo coeficiente de regressão para o teor de água, pH, acidez e vitamina C.

Tabela 3 – Coeficientes de regressão das variáveis independentes sobre a resposta teor de água.

Fator	Coeficientes de regressão	Erro Padrão	P
Média	88, 2738	0,042542	0,000000
Concentração de polpa de cajá (CC),%	0,00184	0,000936	0,188210
Concentração de adoçante (AC),%	0,00297	0,000936	0,086566
Interação CC versus AC	0,00002	0,000015	0,275009

Tabela 4 – Coeficiente de variação das variáveis independentes sobre a resposta pH.

Fator	Coeficientes de regressão	Erro Padrão	P
Média	4,374917	0,018881	0,000019
Concentração de polpa de cajá (CC),%	-0,001833	0,000416	0,047742

Fator	Coefficientes de regressão	Erro Padrão	P
Concentração de adoçante (AC),%	0,000446	0,000416	0,395165
Interação CC versus AC	0,000009	0,000007	0,323432

Tabela 5 – Coeficientes de regressão das variáveis independentes sobre a resposta acidez.

Fator	Coefficientes de regressão	Erro Padrão	P
Média	0,641029	0,001119	0,000003
Concentração de polpa de cajá (CC),%	-0,000210	0,000025	0,013545
Concentração de adoçante (AC),%	-0,000131	0,000025	0,033618
Interação CC versus AC	0,000000	0,000000	0,827416

Tabela 6 – Coeficientes de regressão das variáveis independentes sobre a resposta vitamina C.

Fator	Coefficientes de regressão	Erro Padrão	P
Média	24,02662	0,014656	0,000000
Concentração de polpa de cajá (CC),%	0,02270	0,000323	0,000202
Concentração de adoçante (AC),%	-0,06275	0,000323	0,000026
Interação CC versus AC	0,00062	0,000005	0,000069

Com base nos dados obtidos e nos testes estatísticos realizados, verificou-se que o teor de água não apresentou significância estatística, indicando que as variações nas concentrações de polpa de cajá e de adoçante não exerceram influência relevante sobre essa variável. Em contrapartida, pH, acidez titulável e teor de vitamina C apresentaram significância estatística a 95% de confiança, evidenciando que esses parâmetros foram sensíveis às alterações na composição da formulação. Tais resultados reforçam o papel dos componentes da mistura na definição das características finais do produto, contribuindo para sua funcionalidade e qualidade tecnológica. Os dados da análise de perfil de textura obtidos estão contidos na Tabela 7.

Tabela 7- ANOVA da Textura do Iogurte de Cajá.

Variável	GL Tratamento	SQ Tratamento	QM Tratamento	Fc	Pr > Fc	Significância do Modelo	Superfície de Resposta
Firmeza	2	0,000253	0,0001265	0,84	0,511	Não significativa	Representativa
Consistência	2	0,000253	0,0001265	84,03	0,011	Significativa	Preditiva
Coesividade	2	0,03150	0,01575	10,02	0,0264	Significativa	Preditiva
Índice de Viscosidade	2	0,001215	0,0006075	0,292	0,708	Não significativa	Representativa

A Tabela 7 apresenta os resultados da ANOVA para as variáveis de textura do iogurte de cajá. Consistência e coesividade mostraram significância estatística ($P < 0,05$), sendo classificadas como superfícies de resposta preditivas, com boa capacidade de previsão. Já firmeza e índice de viscosidade não foram significativamente influenciadas pelos tratamentos, sendo consideradas representativas.

Os dados da análise de variância de acidez, pH e vitamina C obtidos estão contidos nas Tabelas 8, 9 e 10.

Tabela 8 - ANOVA da Acidez do Iogurte de Cajá.

Fontes de Variação	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	$F_{calculado}$	$F_{tabelado}$
Regressão	0,001084	2	0,000542		
Resíduo	0,000555	4	0,000138	3,91	6,94
Falta de ajuste	0,000545	2	0,000272		
Erro puro	0,000010	2	0,000005	54,50	19,00
Total	0,001639	6			

Tabela 9 - ANOVA do pH do Iogurte de Cajá.

Fontes de Variação	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	$F_{calculado}$	$F_{tabelado}$
Regressão	0,034399	1	0,034399	11,00	6,61
Resíduo	0,015636	5	0,003127		
Falta de ajuste	0,012755	3	0,004251	2,95	19,16
Erro puro	0,002881	2	0,001440		
Total	0,050035	6			

Tabela 10 - ANOVA da Vitamina C do Iogurte de Cajá.

Fontes de Variação	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	$F_{calculado}$	$F_{tabelado}$
Regressão	51,195600	3	17,065200	0,90	9,28
Resíduo	57,108600	3	19,036200		
Falta de ajuste	57,106900	1	57,106900	67.184,59	18,51
Erro puro	0,001700	2	0,0008500		
Total	108,304200	6			

A análise de variância (ANOVA) para acidez (Tabela 8) indica que o modelo não foi significativo, pois o valor de $F_{calculado}$ (3,91) é inferior ao $F_{tabelado}$ (6,94), sugerindo que os fatores testados não explicam adequadamente a variação da acidez. Para o pH (Tabela 9), o modelo foi significativo ($F_{calculado} = 11,00 > F_{tabelado} = 6,61$), evidenciando influência dos tratamentos sobre essa variável. Já na Tabela 10, referente à vitamina C, o modelo não apresentou significância ($F_{calculado} = 0,90 < F_{tabelado} = 9,28$), mas o erro puro foi altamente significativo ($F = 67.184,59$), indicando alta precisão nas medições. Esses resultados demonstram que apenas o pH respondeu significativamente às variações da formulação.

4 CONCLUSÕES

Este estudo avaliou o efeito de diferentes concentrações de polpa de cajá e adoçante com sucralose na formulação de iogurte sem lactose e sem adição de açúcar. As variações influenciaram significativamente o pH, a acidez, a vitamina C e a textura, evidenciando o potencial funcional da polpa de cajá. O teor de água se manteve estável, sem diferença estatística entre os tratamentos. A análise de textura mostrou impacto direto na consistência, coesividade e viscosidade, destacando a importância do equilíbrio entre os ingredientes para a qualidade do produto. Conclui-se que a adição de polpa de cajá pode enriquecer o iogurte nutricionalmente, sendo uma opção promissora para consumidores que buscam produtos saudáveis. Recomenda-se que estudos futuros incluam análises de proteínas, açúcares totais, lipídeos, além de testes sensoriais e microbiológicos.

Referências

1. **Wiley A.S.** Lactose intolerance. *Evol Med Public Health*. v.2020, n.1, 2020. p.47–48.
2. **Barbosa N.E.A., Ferreira N.C.J., Vieira T.L.E., Brito A.P.S.O., Garcia H.C.R.** Intolerância à lactose: revisão sistemática. *Pará Research Medical Journal*. v.4, n.1, 2020. 101p. iL.

3. **Woźniak D., Cichy W., Dobrzyńska M., Przysławski J., Drzymała-Czyż S.** Reasonableness of enriching cow's milk with vitamins and minerals. *Foods*. v.11, n.8, 2022. p.1079.
4. **Rodrigues V.V.** Aproveitamento do subproduto do cajá para a produção de novos ingredientes alimentícios [Monografia]. Bananeiras: Universidade Federal da Paraíba; 2024.
5. **Santos M.B.** Caracterização e qualidade de frutos de umbu-cajá (*Spondias tuberosa* × *S. mombin*) provenientes do Recôncavo Sul da Bahia. *Rev Bras Frutic*. v.32, n.4, 2010.
6. **Lactalis Ingredients Pharma.** Pharmaceutical lactose, in what form and for what use? [Internet]. 17 de abril de 2024 [acesso em 14 de junho de 2025]. Disponível em: <https://pharma.lactalisingredients.com/2024/04/17/pharmaceutical-lactose-in-what-form-and-for-what-use/>
7. **Slavin J.L.** Health effects and sources of prebiotic dietary fiber. *Adv Nutr*. v.9, n.3, 2018. p.292–312.
8. **Brasil. Instituto Adolfo Lutz.** *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. 1ª ed. digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz; 2008.

09

INFLUÊNCIA DAS RAÇAS E ESTAÇÕES DO ANO NA COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE LEITE DE CABRA

AUTORES

Ana Catarina Guimarães Gomes; Isanna Menezes Florêncio; Elainy Virginia dos Santos Pereira*; Eliane Rolim Florentino

doi 10.53934/agronfy-9786585062336-09



INFLUÊNCIA DAS RAÇAS E ESTAÇÕES DO ANO NA COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE LEITE DE CABRA

Ana Catarina Guimarães Gomes¹; Isanna Menezes Florêncio²; Elaine Virginia dos Santos Pereira^{3*}; Eliane Rolim Florentino⁴

¹Aluna de graduação, Departamento de Farmácia/UEPB - <https://orcid.org/0000-0001-5740-1743>

²Técnica de laboratório, NUPEA/UEPB - <https://orcid.org/0009-0009-5352-5410>

³Técnica de laboratório, NUPEA/UEPB - <https://orcid.org/0000-0002-4159-2482>

⁴Docente do Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas, PPGCF/UEPB - <https://orcid.org/0000-0002-9968-9703>

**Autor correspondente (Corresponding author): pereira.ev@servidor.uepb.edu.br*

RESUMO: A composição do leite caprino pode variar em função de fatores genéticos, nutricionais e ambientais, incluindo raça, período de lactação, alimentação e condições climáticas. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar as variações na composição físico-química do leite caprino de animais das raças Anglo-Nubiana (AN), Toggenburg (T), Mestiça (M) e Saanen (S) ao longo de diferentes períodos do ano. As amostras de leite foram obtidas de animais mantidos em regime de semiconfinamento no município de Soledade-PB, durante os meses de maio, junho, agosto, setembro e outubro de 2024. A densidade foi determinada por termolactodensimetria, o teor de proteínas pelo método de Kjeldahl, os lipídios pelo método de Gerber, a umidade por secagem em estufa a vácuo e os carboidratos por diferença, conforme metodologias do Instituto Adolfo Lutz. Os dados foram submetidos à análise estatística considerando os fatores raça e período de coleta, adotando-se nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Foram observadas diferenças significativas entre raças e períodos de coleta para diferentes parâmetros físico-químicos. Os teores de proteína variaram de 2,62 a 4,76 g/100 g, enquanto os lipídios variaram de 2,20 a 14,75 g/100 g. A umidade apresentou valores entre 76,70 e 89,15 g/100 g, e os sólidos totais variaram de 10,85 a 23,30 g/100 g. Os teores de cinzas permaneceram entre 0,72 e 0,91 g/100 g, enquanto os carboidratos variaram de 3,27 a 5,29 g/100 g. As maiores variações foram observadas principalmente nos teores de umidade, sólidos totais, proteínas e lipídios, demonstrando que a composição do leite não permaneceu constante entre as raças e os períodos avaliados. Os resultados evidenciam associação entre raça, período de coleta e variações na composição físico-química do leite caprino. Entretanto, considerando que houve alteração na suplementação alimentar em setembro, os efeitos sazonais e nutricionais devem ser interpretados com cautela.

Palavras-chave: composição centesimal; variação sazonal; teor de proteínas, teor de lipídeos.

INTRODUÇÃO

A criação de caprinos desempenha importante papel na produção de leite e carne destinados ao consumo humano. Entre esses produtos, o leite caprino tem adquirido crescente importância no cenário mundial, especialmente em países em desenvolvimento. Segundo dados da FAOSTAT (2022), a produção mundial aumentou de aproximadamente 10 milhões de toneladas em 2010 para 20,6 milhões de toneladas em 2020. (FAOSTAT, 2022).

No Brasil, a região Nordeste detém cerca de 70% da produção nacional, e estima-se que cerca de R\$ 57 milhões são gerados por ano no país com esta atividade, evidenciando o impacto socioeconômico e a relevância da caprinocultura, tendo em vista que cerca de 14.846 mil propriedades estão envolvidas nesta atividade. Vale ressaltar que a Paraíba se destaca como a maior produtora de leite caprino, de acordo com o Censo Agro do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com 72% da produção sendo destinada à venda, gerando cerca de R\$ 7,6 milhões (Embrapa, 2022; Monteiro, 2023).

A criação de caprinos em pequenas propriedades constitui importante alternativa de geração de renda, especialmente em regiões semiáridas. A capacidade de adaptação desses animais às condições ambientais locais favorece sua criação em sistemas produtivos caracterizados por limitações sazonais na disponibilidade de recursos alimentares (Aragão et al., 2019; Oriente et al., 2020).

Apesar da importância socioeconômica da caprinocultura e da capacidade de adaptação dos caprinos às condições do semiárido, a produção pode sofrer variações ao longo do ano em função das condições ambientais e da disponibilidade de alimentos. Na região Nordeste, alterações de temperatura e precipitação podem estar associadas a mudanças no conforto térmico dos animais e na oferta de recursos alimentares, refletindo-se potencialmente na quantidade e na composição do leite produzido.

Em média, o leite caprino é constituído por aproximadamente 87% de água, 3,6% de proteínas, 4,3% de lipídios, 4,3% de carboidratos e 0,8% de cinzas (Claeys et al., 2014; Alichanidis; Moatsou; Polychroniadou, 2016). Entretanto, sua composição pode variar em função da raça, alimentação, sistema de produção, período de lactação, condições ambientais, idade e estado de saúde dos animais (Steinshamn et al., 2014; Tabet et al., 2016; Satir; Guzel-Seydim, 2016; Caroprese et al., 2016; McLeod; Prosser; Wakefield, 2016; El-Tarabany; El-Tarabany; Roushdy, 2016).

Embora seja reconhecido que fatores genéticos, nutricionais e ambientais podem modificar a composição do leite caprino, permanece relevante compreender como essas variações se manifestam entre diferentes raças mantidas sob condições semelhantes de criação ao longo de distintos períodos do ano. A avaliação conjunta desses fatores pode contribuir para caracterizar a variabilidade físico-química do leite e fornecer informações úteis para o acompanhamento da produção em condições regionais.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as variações na composição físico-química do leite caprino de animais das raças Anglo-Nubiana (AN), Toggenburg (T), Mestiça (M) e Saanen (S) ao longo de diferentes períodos do ano, considerando as condições de produção adotadas no estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

LOCAL DE PESQUISA

A pesquisa foi desenvolvida nos laboratórios do Núcleo de Pesquisa e Extensão em Alimentos (NUPEA) do Centro de Ciências e Tecnologia (CCT) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), *campus* I, localizado no município de Campina Grande, PB.

OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

O leite de cabra, o qual foi coletado em diferentes épocas do ano de 2024 com as diferentes raças, foi obtido de produtores da cidade de Soledade-PB. A propriedade é conhecida por “Rancho Maria Bezerra” e está situada no Sítio Livramento no município, com latitude de 7°6'39.531"S e longitude de 36°21'4.525"W. As raças de cabras do estudo foram: Anglo-Nubiana (AN), Toggenburg (T), Mestiça (M) e Saanen (S).

Durante o período experimental, os animais foram mantidos em sistema de semiconfinamento. No período da manhã, aproximadamente das 7h às 14h, permaneceram em pastejo e, posteriormente, foram confinados e suplementados com palma, silagem de milho e ração concentrada composta por milho, soja, torta de caroço de algodão e trigo.

CARACTERIZAÇÃO DO LEITE DE CABRA *IN NATURA* NAS DIFERENTES ÉPOCAS DO ANO

A caracterização seguiu conforme o período de chuvas e estiagem na região. O período de coleta foi de maio a outubro (2024), com exceção do mês de julho, que foi um mês sem mudanças climáticas visíveis: maio (início das chuvas com anterior período de estiagem), junho (chuvas instaladas com

temperaturas frias na região), agosto (início da estiagem e clima quente e seco na região), setembro (período seco na maioria dos dias, com chuvas espaçadas e fora de época) e outubro (estiagem e clima quente e seco), apenas para as raças T, M e S. A alimentação informada anteriormente, seguiu todos os meses de maneira semelhante. Apenas no mês de setembro, em que aconteceu o 4º Festival de Queijo na cidade de Soledade, PB, os produtores adicionaram suplemento vitamínico Hemolitan® e de aminoácidos Glicopan® Energy, ambos da empresa de produtos veterinários Vetnil® (Louveira, Brasil) forma oral à dieta dos animais.

Após a coleta, os leites foram refrigerados e as análises dos parâmetros físico-químicos dos leites seguiram os procedimentos analíticos descritos pelo Instituto Adolfo Lutz (2008): termolactodensímetro para densidade, Kjeldahl para proteínas, Gerber para lipídeos, secagem em estufa à vácuo para umidade e carboidratos por diferença.

ANÁLISE DE DADOS

Os resultados foram expressos como média ± desvio padrão. Na análise estatística, os dados avaliados primeiramente quanto à normalidade, usando o teste de Shapiro-Wilk, e quanto à homogeneidade de variâncias, com o teste de Bartlett. Quando não confirmada a normalidade e/ou homogeneidade de variâncias, os dados foram analisados através de testes não paramétricos. Os casos em que atendiam àqueles quesitos, a ANOVA (análise de variância) foi utilizada para análise, seguidos pelo teste de Tukey para a identificação dos contrastes, considerando nível de significância de $p<0,05$. O programa utilizado para as análises será o Software Statistica 7.0 (Statsoft, Tulsa, EUA).

Neste estudo, dois fatores foram testados, onde os fatores foram x1: raça e x2: estação, observando-se também a interação entre os dois.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do leite de cabra *in natura* nas diferentes estações do ano

As médias dos resultados das análises densidade e composição centesimal das amostras nas diferentes épocas do ano: de maio a outubro, e das diferentes raças: Anglo-Nubiana (AN), Toggenburg (T), Mestiça (M) e Saanen (S), estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características físico-químicas dos leites das raças Anglo-Nubiana (AN), Toggenburg (T), Mestiça (M) e Saanen (S)**Fonte:** Elaborada pela autora, 2024.

Notas: Sinais convencionais utilizados:

Parâmetros	Raça	Meses				
		Maio	Junho	Agosto	Setembro	Outubro
Densidade (g cm ⁻³)	NA	1034,0±0,00 ^{aA}	1030,0±0,00 ^{cAB}	1033,0±0,00 ^{bA}	1024,4±0,00 ^{dD}	-
	T	1030,6±0,00 ^{cC}	1028,6±0,00 ^{dC}	1032,8±0,00 ^{aB}	1028,6±0,00 ^{dC}	1032,0±0,00 ^{bC}
	M	1030,2±0,00 ^{cD}	1029,8±0,00 ^{dB}	1030,8±0,00 ^{bD}	1029,6±0,00 ^{dB}	1033,6±0,00 ^{aA}
	S	1031,8±0,00 ^{cB}	1030,0±0,00 ^{dA}	1031,6±0,00 ^{cC}	1032,0±0,00 ^{bA}	1033,4±0,00 ^{aB}
Umidade (g 100 g ⁻¹)	NA	88,36±0,05 ^{aD}	85,05±0,01 ^{bB}	84,84±0,04 ^{bC}	76,70±0,10 ^{cD}	-
	T	88,96±0,03 ^{aB}	88,03±0,03 ^{bA}	87,50±0,14 ^{cB}	84,22±0,07 ^{dB}	88,68±0,01 ^{eA}
	M	87,40±0,04 ^{bC}	83,74±0,07 ^{cC}	87,21±0,08 ^{bB}	83,87±0,01 ^{cC}	88,01±0,08 ^{aB}
	S	89,15±0,01 ^{aA}	85,09±0,34 ^{bB}	88,64±0,12 ^{aA}	85,01±0,15 ^{bA}	86,39±0,05 ^{cC}
Sólidos totais (g 100 g ⁻¹)	NA	11,64±0,05 ^{cB}	14,95±0,01 ^{bB}	15,16±0,04 ^{bA}	23,30±0,10 ^{aA}	-
	T	11,04±0,03 ^{eB}	11,98±0,03 ^{cC}	12,50±0,12 ^{bB}	15,78±0,07 ^{aC}	11,31±0,001 ^{dC}
	M	12,60±0,04 ^{bA}	16,26±0,47 ^{aA}	12,79±0,07 ^{bB}	16,13±0,01 ^{aB}	11,99±0,07 ^{cB}
	S	10,85±0,02 ^{dC}	15,15±0,05 ^{aB}	11,36±0,10 ^{cC}	14,99±0,13 ^{aD}	13,63±0,04 ^{bA}

Cinzas (g 100 g ⁻¹)	NA	0,84±0,02 ^{abA}	0,77±0,00 ^{cA}	0,88±0,00 ^{aA}	0,82±0,00 ^{bA}	-
	T	0,81±0,03 ^{aA}	0,78±0,03 ^{aA}	0,91±0,04 ^{aA}	0,86±0,02 ^{aA}	0,88±0,001 ^{aA}
	M	0,78±0,02 ^{aA}	0,81±0,02 ^{aA}	0,83±0,002 ^{aA}	0,79±0,02 ^{aA}	0,76±0,02 ^{aAB}
	S	0,72±0,00 ^{cB}	0,78±0,00 ^{abcA}	0,87±0,00 ^{abA}	0,84±0,00 ^{abA}	0,74±0,00 ^{bcB}
Proteína (g 100 g ⁻¹)	NA	3,31±0,02 ^{bA}	3,13±0,04 ^{bcA}	3,89±0,01 ^{bA}	4,76±0,07 ^{aA}	-
	T	2,62±0,002 ^{bB}	2,99±0,33 ^{abA}	3,60±0,09 ^{ab}	3,36±0,18 ^{abB}	2,92±0,15 ^{abB}
	M	2,71±0,10 ^{cAB}	3,42±0,14 ^{abA}	2,9±0,009 ^{cC}	3,76±0,002 ^{ab}	3,63±0,07 ^{abA}
	S	2,63±0,04 ^{dAB}	3,37±0,00 ^{bA}	3,0±0,03 ^{cC}	3,70±0,01 ^{abB}	3,84±0,14 ^{aA}
Lipídios (g 100 g ⁻¹)	NA	2,20±0,00 ^{cC}	6,15±0,15 ^{bB}	5,90±0,10 ^{bA}	14,75±0,25 ^{aA}	-
	T	2,60±0,10 ^{cB}	3,85±0,15 ^{bc}	3,55±0,05 ^{bc}	7,25±0,05 ^{ab}	3,45±0,05 ^{bB}
	M	4,35±0,05 ^{cA}	7,40±0,00 ^{bA}	4,45±0,05 ^{cB}	7,75±0,05 ^{ab}	2,95±0,05 ^{dC}
	S	2,55±0,05 ^{bBC}	6,10±0,00 ^{ab}	3,0±0,10 ^{bD}	5,70±0,20 ^{aC}	4,50±0,00 ^{cA}
Carboidratos (g 100 g ⁻¹)	NA	5,29±0,00 ^{aA}	4,90±0,00 ^{bA}	4,49±0,00 ^{cB}	3,27±0,00 ^{dD}	-
	T	5,01±0,00 ^{ab}	4,35±0,00 ^{cD}	4,44±0,00 ^{bc}	4,31±0,00 ^{dB}	4,07±0,00 ^{cC}
	M	4,76±0,00 ^{aD}	4,63±0,00 ^{cC}	4,61±0,00 ^{dA}	3,84±0,00 ^{cC}	4,65±0,00 ^{bA}
	S	4,95±0,00 ^{aC}	4,66±0,00 ^{cB}	4,49±0,00 ^{eB}	4,75±0,00 ^{bA}	4,53±0,00 ^{dB}

- = não realizado.

a,b,c,d,e = Letras minúsculas sobrescritas diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas entre os meses para a mesma raça (p<0,05).

A,B,C,D = Letras maiúsculas sobrescritas diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas entre os leites de raças diferentes (p<0,05).

A densidade varia conforme a concentração de elementos dissolvidos em suspensão no leite (extrato seco), dependente principalmente do teor de matéria seca e da matéria lipídica presente no leite. O aumento do teor de gordura ocasionará a diminuição da densidade, e fatores como período de armazenamento, passagem por equipamentos também influenciarão mudanças nesse parâmetro. A legislação preconiza para todas as raças uma variação da densidade de 1.028 a 1.034 g cm⁻³ (Brasil, 2000). É observado (Tabela 1) que houve, com exceção do mês de setembro (AN), o cumprimento dessa variação no presente estudo (Brasil, 2000).

Na Tabela 1 a variações da densidade foram: para a raça AN de 1.024,4 a 1.034 g cm⁻³, para a T de 1.028,6 a 1.032,8 g cm⁻³, para a M de 1.029,6 a 1.033,6 g cm⁻³ e para a S de 1.030 a 1.033,4 g cm⁻³. Para os meses e as raças houve diferenças significativas entre si (p<0,05).

Pereira *et al.* (2005) afirmam que o leite de cabra apresenta densidade mais elevada do que o leite de vaca (1,032 g cm⁻³), podendo atingir 1,034 g cm⁻³, o que pode ser influenciado pelo clima brasileiro.

Os dados de umidade das raças AN, T e S variaram de 76,70 a 88,36 g 100 g⁻¹, de 84,22 a 88,96 g 100 g⁻¹ e de 85,01 a 89,15 g 100 g⁻¹, respectivamente e todas obtiveram valores mais baixos em setembro. Já a raça M (83,74 a 88,01 g 100 g⁻¹) também obteve baixa da umidade no mês de junho. É observado diferenças estatísticas significativas (p<0,05) entre os meses do ano. Na comparação de maio (início de chuvas) para junho (chuvas abundantes), todas as raças foram diferentes estatisticamente entre si (p<0,05), com a diminuição da umidade do leite, para todas, estando associado ao aumento dos sólidos totais.

Com as diferenças nos teores de umidade, foi constatado o efeito das chuvas sobre ela, nos meses do estudo, em que o clima estava mais seco (maio, agosto e outubro) as raças T, M e S obtiveram as médias maiores de umidade.

Os sólidos totais variaram (Tabela 1) e estavam superiores, mesmo no período da seca, aos valores encontrados por Pawlos *et al.* (2022) na primavera (10,29 g 100 g⁻¹) e no outono (11,63 g 100 g⁻¹), do

primeiro mês de análise (maio) para o segundo (junho) no qual as chuvas estavam instaladas, houve um aumento na média numérica de todas as raças caprinas, e diferenças significativas entre si ($p < 0,05$).

As autoras Kawçcka e Pasternak (2024) obtiveram valores para sólidos totais dos leites das raças Anglo-Nubiana (AN) e Mestiça (Saanen x Alpina) $12,01 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ e $11,72 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente. Os valores dos autores para as raças AN e M foram próximos ao do presente trabalho para as mesmas raças nos meses maio e outubro, respectivamente. Os autores observaram que o teor de sólidos totais, é um fator dependente da raça, para os meses de setembro e outubro (Tabela 1) obteve entre raças diferenças significativas ($p < 0,05$), corroborando com a afirmação das autoras.

Na comparação da influência do período chuvoso observou-se diferença significativa no mês de junho em comparação a maio ($p < 0,05$), destacando o efeito sazonal na mudança de sólidos totais, períodos de maior calor o animal tem tendência de ingerir mais água e menos alimentos, o que foi observado no presente estudo (Ribas *et al.*, 2004).

Os valores de cinzas (Tabela 1) observados estão em conformidade com o preconizado pela legislação para leites de cabra, sendo o mínimo igual a $0,70 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ (Brasil, 2000). No presente estudo a variação foi de $0,72$ a $0,91 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ não foi observado uma correlação com os períodos de estiagem e chuva. Contudo apresentou diferenças significativas entre si, para meses do ano. Para os meses de junho, agosto e setembro não houve diferença estatística entre as 4 raças ($p > 0,05$) (Brasil, 2000).

Para os valores de proteína, a legislação preconiza que os leites devem ter no mínimo $2,8 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ (Brasil, 2000). No mês de maio os leites das raças T, M e S estavam com valores abaixo do preconizado, $2,62$, $2,71$ e $2,63 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente. Época de início de chuvas, sendo anteriormente com predominância de estiagem o que afeta na disponibilidade de alimentação para os animais. No estudo de Currò *et al.* (2019) foram obtidos valores bem variados para proteína ($2,10$ a $5,61 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) quando comparados aos leites de diferentes raças, sendo o valor mínimo encontrado por eles inferior ao menor valor de proteínas apresentado na Tabela 1. Já para a raça Saanen ($3,42 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) os valores obtidos por aqueles autores estão próximos ao encontrado no atual estudo. Egito *et al.* (2023) avaliou durante 1 ano leites de cabra do estado da Paraíba e Pernambuco em tanques de refrigeração comunitários e os valores de proteína variaram de $2,79$ a $3,88 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, sendo o valor mínimo superior aos encontrados nas raças T, M e S no presente estudo (Tabela 1), apesar daqueles autores não avaliarem as raças separadas tampouco a estações do ano.

O estudo Pizarro *et al.* (2020) relacionou as mudanças na composição centesimal do leite com a sazonalidade e, no período do inverno o valor de proteína daqueles autores foi $3,7 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, superior ao encontrado na Tabela 2, para o mês de junho para todas as raças. Apenas a raça AN obteve diferença significativa em setembro ($p < 0,05$), mostrando que a alimentação não foi um fator influente na quantidade de proteína para as outras raças, exceto a AN. Devido à 4ª edição do Festival de Queijos da cidade de Soledade, PB, os produtores adicionaram Hemolitan® e Glicopan Energy® à dieta das cabras, os quais possuem, respectivamente, a função na suplementação vitamínica e de aminoácidos dos animais, contudo não obteve variação para proteína.

Os valores de lipídios (Tabela 2) encontrados nos leites no mês de maio para as raças AN, T e S, encontraram-se abaixo do permitido para o leite *in natura* ($2,9 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ pela legislação (Brasil, 2000) e, para os leites daquele mês o período da coleta era de estiagem e início de chuvas, o que pode ter afetado o parâmetro.

Scano e Caboni (2022) avaliaram período sazonal em duas raças caprinas (Pardas e Saanen), e observaram que houve uma variação na gordura. Os autores obtiveram o teor médio de gordura para a raça Saanen de $3,92 \pm 0,92 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, próximo ao encontrado nos leites do presente estudo no mês de agosto (Tabela 2). O valor máximo encontrado por aqueles autores para a raça Saanen foi de $4,67 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ no mês de dezembro e, no presente estudo, para a mesma raça foi obtido valor de $6,10 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ no

mês de junho (época de chuvas) apresentando diferença significativa ($p<0,05$), comparada a maio. Para todas as raças, houve diferenças significativas quando comparado o mês de maio e junho ($p<0,05$) e, portanto, que existe para gordura uma relação com período de estiagem e chuvas por estar relacionado à disponibilidade de alimentos e são estes que afetam diretamente na mudança do teor de lipídio do leite caprino.

De acordo com Silva et al. (2011), os triglicerídeos presentes na circulação sanguínea do animal ruminante são os percussores dos lipídios do leite, produzidos pelos ácidos graxos voláteis, que são sintetizados no rúmen durante o consumo de forragem, e a diminuição da qualidade da ingestão o produto pelos animais pode afetar na quantidade presente de gordura no leite. No mês de setembro, quando se fez uso dos suplementos vitamínico Hemolitan® e de aminoácidos Glicopan Energy®, observa-se (Tabela 1) um aumento nos valores dos teores de gordura em todas as raças quando comparado ao mês anterior, evidenciando a influência da dieta animal para essa variável com diferença significativa ($p<0,05$).

CONCLUSÕES

Os resultados evidenciaram variações significativas na composição físico-química do leite caprino entre as raças e os diferentes períodos de coleta avaliados. Essas variações foram observadas principalmente nos teores de umidade, sólidos totais, proteínas e lipídios, demonstrando que a composição do leite não permaneceu constante ao longo do período estudado. Entretanto, considerando que houve alteração na suplementação alimentar dos animais no mês de setembro, os efeitos relacionados às condições sazonais e nutricionais devem ser interpretados com cautela.

Dessa forma, o acompanhamento periódico da composição físico-química do leite caprino, considerando as características das diferentes raças, as condições ambientais e o manejo alimentar, pode fornecer subsídios para o ajuste das práticas de produção e para a manutenção da qualidade da matéria-prima ao longo do ano. Estudos adicionais, com maior controle das variáveis nutricionais e ambientais, são recomendados para melhor compreender a contribuição individual desses fatores sobre a composição do leite caprino.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi desenvolvido com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), em parceria com a Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Os autores agradecem, ainda, ao Núcleo de Pesquisa e Extensão em Alimentos (NUPEA/UEPB) pelo suporte técnico, pela infraestrutura disponibilizada e pela contribuição para a realização das atividades experimentais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - FAOSTAT – Food and agriculture organization of the United Nations. Supply utilization accounts. 2022.
- 2 - EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Diagnóstico da Bacia Leiteira Caprina localizada entre os estados da Paraíba e Pernambuco. Felisberto N R de O, Oliveira LS; Xavier LH, Sousa MF de, Araújo TGP, Egito AS do, Silva MMC da, Castro MM, Nascimento ECS editores. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2022.
- 3 - Monteiro E. Paraíba é o maior produtor de leite de cabra do Brasil. Política & etc; 2023.
- 4 - Aragão BB, Trajano SC, Silva JG, Silva BP, Oliveira RP, Pinheiro Júnior JW, Peixoto RM, Mota RA. Short communication: High frequency of β -lactam-resistant *Staphylococcus aureus* in artisanal coalho cheese made from goat milk produced in northeastern Brazil. Journal of Dairy Science. 2019; 102(8):6923-6927.

- 5 - Oriente SFdo, Barreto F, Tomaszewski CA, Barnet LS, Souza NC, Oliveira HML, Pa squali MAdeB. Retention of vitamin A after goat milk processing into cheese: a nutritional strategy. *Journal of Food Science and Technology*. 2020; 57:4364-4370.
- 6 - Claeys WL, Verraes C, Cardoen S, De Block J, Huyghebaert A, Raes K, Dewettinck K, Herman L. Consumption of raw or heated milk from different species: an evaluation of the nutritional and potential health benefits. *Food Control*. 2014; 42:188 – 201.
- 7 - Alichanidis E, Moatsou G, Polychroniadou A. Composition and Properties of Non- cow Milk and Products. Elsevier. 2016; 81-116.
- 8- Tabet E, Mangia NP, Mouannes E, Hassoun G, Helal Z, Deiana P. Characterization of goat milk from Lebanese Baladi breed and its suitability for setting up a ripened cheese using a selected starter culture. Elsevier. 2016; 140:13-17.
- 9- Caroprese M, Ciliberti MG, Santillo, A, Marino R, Sevi A, Albenzio M. Immune response, productivity and quality of milk from grazing goats as affected by dietary polyunsaturated fatty acid supplementation. *Research in Veterinary Science*. 2016; 105:229-235.
- 10 - El-Tarabany MS, El-Tarabany AA, Roushdy EM. Impact of parity on the efficiency of ovulation synchronization protocols in Holstein cows. *Theriogenology*. 2016; 86(9):2230-2237.
- 11 - Instituto Adolfo Lutz (SP). Métodos físico-químicos para análise de alimentos. Zenebon O, Pascuet NS, Tiglea P, editores. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz; 2008. 1020p.
- 12 - Brasil. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa no 37, de 31 de outubro de 2000. Regulamento técnico de identidade e qualidade de leite de cabra. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil: seção 1, Brasília (DF); 2000. 13 - Pereira RAG, Queiroga RDECRE, Vianna RPT, Oliveira MEGDE. Chemical and physical quality of goat milk distributed in the social program “New Pact Cariri” of State of Paraíba. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*. 2005; 64 (2):205-211.
- 14 - Pawlos M, Znamirska-Piotrowska Á, Kowalczyk M, Zagula G. Application of Calcium Citrate in the Manufacture of Acid Rennet Cheese Produced from High-Heat-Treated Goat’s Milk from Spring and Autumn Season. *Molecules*. 2022; 27(17):1-19.
- 15 - Kawęcka A, Pasternak M. Chemical, nutritional and sensory characteristics of milk and cheeses obtained from autochthonous, cosmopolitan, and crossbred goats *Annals of Animal Science*. 2024; 24(2):607-617.
- 16 - Ribas NP, Hartmann W, Monardes HG, Andrade UVC. Sólidos Totais do Leite em Amostras de Tanque nos Estados do Paraná, Santa Catarina e São Paulo. *R. Bras. Zootec*. 2004; 33(6):2343-2350.
- 17 - Currò S, De marchi M, Palmas S, Salzano A, De Palo P, Manueliano CL, Neglia G. Diferenças na composição mineral detalhada do leite das raças italianas de cabras locais e Saanen. *Animals*. 2019; 412(9).
- 18 - EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Variação anual na composição do leite de cabra produzido nos estados da Paraíba e Pernambuco. Egito AS, Silva MMC, Felisberto NRO, Lima AR, Oliveira LS editores. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2023.
- 19 - Pizarro MG Landi V, Navas FJ, Leão JM, Martinez A, Fernández J, Delgado JV. Non-parametric analysis of the effects of nongenetic factors on milk yield, fat, protein, lactose, dry matter content and somatic cell count in Murciano-Granadina goats. *Italian Journal of Animal Science*. 2020; 19(1):960-973.
- 20 - Scano P, Carboni P. Seasonal Variations of Milk Composition of Sarda and Saanen Dairy Goats. *Journal Dairy*. 2022; 3(3):528-540.

21 - Silva, J. N, Araújo A C, Santos EP, Holanda Neto JP, Alves TTL. Parâmetros e determinantes da qualidade físico-química do leite caprino. Revista Verde. 2011; 6(3):28-32.

10

DESEMPENHO FERMENTATIVO E PERFIL FÍSICO-QUÍMICO GERADOS POR LEVEDURAS AUTÓCTONES

AUTORES

Júlia Bizerra-Santos, Maria Clara De-Barros, Normando Ribeiro-Filho*

[doi 10.53934/agronfy-9786585062336-10](https://doi.org/10.53934/agronfy-9786585062336-10)



DESEMPENHO FERMENTATIVO E PERFIL FÍSICO-QUÍMICO GERADOS POR LEVEDURAS AUTÓCTONES

Júlia Bizerra-Santos¹, Maria Clara De-Barros¹, Normando Ribeiro-Filho^{1*}

¹Laboratório de Tecnologia de Produtos Agropecuários, DSER, CCA, Universidade Federal da Paraíba-UFPB, Areia, Paraíba, Brasil

*E-mail para correspondência: normandofilho@cca.ufpb.br

Resumo

A valorização de leveduras autóctones representa uma estratégia relevante para aprimorar a fermentação da cachaça e ampliar o aproveitamento da biodiversidade microbiana regional. Este estudo avaliou o desempenho fermentativo, a viabilidade celular e o perfil físico-químico de leveduras isoladas de engenhos de cachaça da Paraíba, visando selecionar cepas promissoras para aplicações biotecnológicas. Treze cepas foram fermentadas em mosto sintético de 15 °Brix, com monitoramento por perda de CO₂ durante 12 dias. A viabilidade celular foi determinada em câmara de Neubauer com azul de metileno, e análises físico-químicas avaliaram teor alcoólico, acidez e ésteres. Os resultados revelaram elevada variabilidade entre as cepas, destacando FYFE-01, FYFE-03 e FYFE-13 pelo melhor desempenho fermentativo, maior produção alcoólica e alta viabilidade. Essas leveduras possuem potencial biotecnológico expressivo, podendo contribuir para processos fermentativos mais eficientes, sustentáveis e tecnologicamente inovadores.

Palavras-chave: Leveduras autóctones, Desempenho fermentativo, Cachaça, Ésteres.

1. Introdução

O desempenho fermentativo das leveduras constitui um dos principais parâmetros para avaliar sua aplicabilidade em processos industriais. A eficiência na conversão de açúcares em etanol depende de fatores intrínsecos às linhagens e das condições do meio, refletindo diretamente na produtividade e na qualidade do produto final (Da Silva et al., 2023). Em produções de cachaça, a escolha de leveduras com elevado potencial fermentativo é decisiva para otimizar o processo e reduzir perdas. Dessa forma, a análise do desempenho fermentativo de leveduras autóctones permite identificar linhagens adaptadas e eficientes para aplicação tecnológica.

A viabilidade celular é outro indicador essencial, pois revela a capacidade das leveduras de manter atividade metabólica ao longo dos ciclos fermentativos. A exposição ao etanol, à limitação de nutrientes e às oscilações ambientais pode comprometer a integridade celular e reduzir a eficiência do processo (Ribeiro-Filho et al., 2022). Paralelamente, o perfil físico-químico dos fermentados fornece informações sobre rendimento alcoólico, acidez, consumo de substratos e formação de compostos secundários. Esses parâmetros são fundamentais para compreender a relação entre fisiologia celular e qualidade tecnológica, além de orientar estratégias de melhoria do processo.

Diante da necessidade de aprimorar a fermentação da cachaça e ampliar o uso de recursos microbiológicos regionais, torna-se indispensável avaliar de forma integrada o desempenho das leveduras autóctones. A identificação de linhagens com alta viabilidade, eficiência fermentativa e impacto positivo nas características físico-químicas pode tornar-se peças chave para produções de etanol e bebidas alcoólicas. Este trabalho investigou o desempenho fermentativo, a viabilidade celular e o perfil físico-químico de leveduras autóctones, visando selecionar culturas promissoras para aplicações biotecnológicas e para o desenvolvimento de bebidas de maior qualidade.

2. Metodologia

2.1. Banco de Leveduras e Manutenção

No ano de 2021, foram coletadas amostras de 25 mL de “pé-de-cuba”, em triplicata, oriundas de treze unidades produtoras de cachaça distribuídas em diferentes municípios do estado da Paraíba: Areia (8), Alagoa Grande (1), Alagoa Nova (1), Guarabira (1), Belém (1) e Alhandra (1). O “pé-de-cuba” representa a fase inicial de propagação das leveduras em uma pequena porção do caldo de cana-de-açúcar, permitindo sua adaptação às condições fermentativas e favorecendo a preservação de uma microbiota nativa estável.

Após a coleta, as amostras foram manipuladas assepticamente e armazenadas em tubos criogênicos estéreis contendo volume equivalente de glicerol como agente crioprotetor. Em seguida, foram submetidas à criopreservação a -80°C . As cepas obtidas passaram a integrar o banco de leveduras do grupo de pesquisa “Food, Fermentation, Yeast and Flavours”. Todas as atividades experimentais foram realizadas no Laboratório de Tecnologia de Produtos Agropecuários da Universidade Federal da Paraíba.

2.2. Desempenho Fermentativo

O desempenho fermentativo das leveduras isoladas foi avaliado individualmente em condições padronizadas. Inicialmente, cada cepa foi cultivada em 5 mL de meio YPD líquido por 24 h e, em seguida, transferida para frascos Erlenmeyer contendo 100 mL do mesmo meio, permanecendo incubada por mais 48 h em temperatura ambiente, a fim de obter biomassa suficiente para os ensaios. Após esse período, a concentração celular foi determinada em câmara de Neubauer, mediante contagem em cinco quadrantes menores de um quadrante central, conforme metodologia clássica de quantificação celular. A partir da densidade obtida, calculou-se o volume necessário para padronizar o inóculo em $3,0 \times 10^7$ células/mL.

As células foram recuperadas por centrifugação, separadas do sobrenadante e transferidas para mini-fermentadores contendo 75 mL de mosto sintético a 15 °Brix, conforme descrito por Maia et al. (2025). As fermentações ocorreram em recipientes de vidro estéreis de 250 mL, equipados com airlock, sendo acompanhadas por perda de massa associada à liberação de CO_2 a cada 4 h, durante 12 dias, em balança analítica (Tecnal Mark 2200, Classe II).

Ao término do processo, a viabilidade celular foi determinada pelo método do azul de metileno. Amostras foram misturadas em proporção 1:1 com a solução corante, e uma alíquota de 10 μL foi analisada em câmara de Neubauer sob microscopia óptica (40 $\times$). Células viáveis permaneceram incolores, enquanto células inviáveis apresentaram coloração azul. A viabilidade foi expressa em porcentagem, considerando a razão entre células viáveis e o número total de células contadas.

2.3. Análise estatística

Os resultados obtidos foram avaliados através de análise de variância (ANOVA), teste tukey, utilizando o software STATISTICA 5.0®. Toda a análise estatística foi baseada em um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

3. Resultado e Discussão

Treze cepas de leveduras selecionadas de engenhos de cachaça foram avaliadas quanto ao desempenho fermentativo em mosto sintético de 15 °Brix, utilizando mini-fermentadores monitorados por perda de massa de CO_2 durante 12 dias. A concentração celular foi padronizada por contagem em câmara de Neubauer. A viabilidade celular foi determinada com azul de metileno, diferenciando células vivas e mortas. Ao final, realizaram-se análises físico-químicas do mosto fermentado, incluindo teor alcoólico, acidez e ésteres, com tratamento estatístico via ANOVA e teste de Tukey.

3.1. Desempenho Fermentativo das Cepas Isoladas

A avaliação do desempenho fermentativo das treze cepas autóctones isoladas de unidades produtoras de cachaça evidenciou diferenças marcantes na dinâmica de liberação de CO_2 , refletindo a ampla diversidade metabólica entre os microrganismos estudados. As cepas FYFE-01, FYFE-03, FYFE-08, FYFE-09, FYFE-12 e FYFE-13 exibiram maior intensidade fermentativa nas primeiras 24 h, com perdas de CO_2 entre 1,8 e 2,5 g, enquanto as demais registraram valores inferiores a 1 g no mesmo período

(Figura 1). Tais diferenças reforçam a noção de que características metabólicas distintas constituem critérios importantes de classificação microbiana (Alves, 1994), além de influenciarem diretamente a eficiência tecnológica das fermentações.

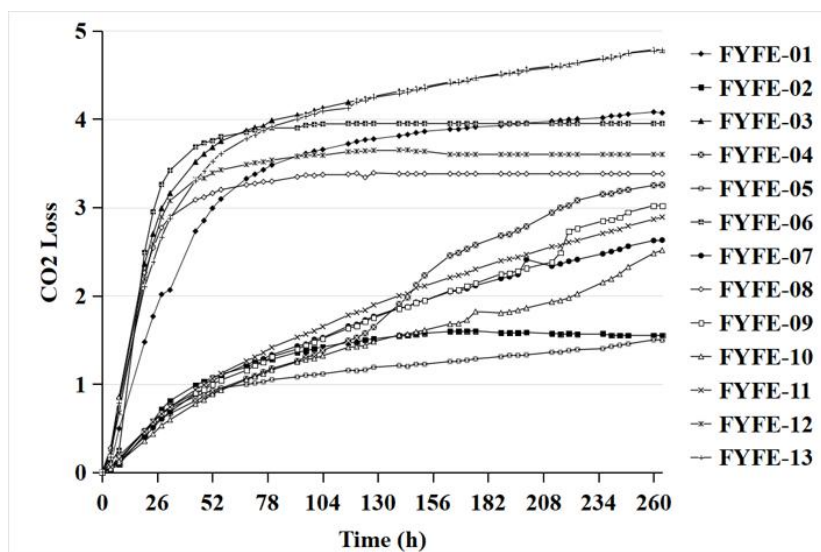


Figura 1: Comparação do desempenho fermentativo de treze cepas de leveduras autóctones isoladas dos “pé-de-cuba” de treze engenhos produtores de cachaça. Fermentações foram conduzidas usando mosto sintético (15° Brix) a 30°C durante 11 dias (264 h). As fermentações foram acompanhadas por média cumulativa de perda de CO₂ (g). As cepas de leveduras autóctones utilizadas foram FYFE-01, FYFE-02, FYFE-03, FYFE-04, FYFE-05, FYFE-06, FYFE-07, FYFE-08, FYFE-09, FYFE-10, FYFE-11, FYFE-12 e FYFE-13. Cada valor avaliado em 3 réplicas e barra de erro mostrada pelo desvio padrão.

A progressão fermentativa ao longo do experimento revelou dois perfis fisiológicos distintos entre as cepas avaliadas. As linhagens FYFE-01, FYFE-03, FYFE-06, FYFE-08, FYFE-12 e FYFE-13 concluíram a fermentação em aproximadamente 60 h, demonstrando elevada adaptação ao meio e maior eficiência no aproveitamento dos nutrientes disponíveis (Figura 2). Em contraste, as cepas FYFE-02, FYFE-04, FYFE-05, FYFE-07, FYFE-09, FYFE-10 e FYFE-11 mantiveram atividade até 264 h, sem atingir a perda total de CO₂ esperada, sugerindo metabolismo mais lento ou necessidade prolongada de adaptação (Figura 2). Esse comportamento evidencia estratégias fisiológicas diferenciadas e destaca a relevância da triagem criteriosa para identificar cepas mais adequadas a processos fermentativos de alto rendimento e estabilidade industrial.

3.1.1. Viabilidade Celular

A viabilidade celular é um parâmetro fundamental para avaliar a capacidade de sobrevivência das células e eficiência fermentativas (Ribeiro-Filho et al., 2021). Entre as leveduras analisadas, as cepas apresentaram viabilidade variando de 40% a 95% (Figura 3). As cepas FYFE-01 (91,9%), FYFE-02 (82,3%), FYFE-09 (85,8%), FYFE-10 (83,4%), FYFE-11 (82,2%), FYFE-12 (86,2%) e FYFE-13 (83,4%) destacaram-se com viabilidades superiores a 80%, indicando bom desempenho. Em contraste, as cepas FYFE-03, FYFE-04 e FYFE-07 apresentaram viabilidades inferiores a 60%, sugerindo baixa qualidade celular e potencial comprometimento da eficiência fermentativa (Figura 3). Apenas a cepa FYFE-01 apresentou viabilidade acima de 90% que são valores desejáveis, uma vez que indicam maior resistência celular, performance, qualidade e eficiência do processo e, conseqüentemente, possibilidade de reutilização dos microrganismos em fermentações subsequentes.

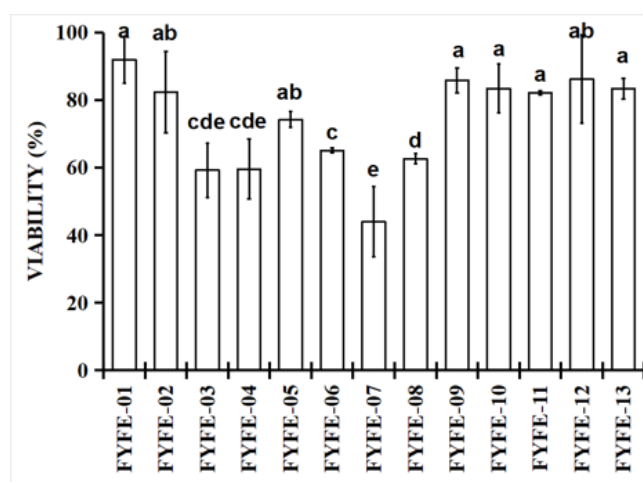


Figura 3: Viabilidade celular das leveduras inoculadas a 3×10^7 células/mL em mosto sintético (15° Brix) a 30°C durante 11 dias (264 h). As fermentações foram acompanhadas por média cumulativa de perda de CO₂ (g). As cepas de leveduras autóctones utilizadas foram FYFE-01, FYFE-02, FYFE-03, FYFE-04, FYFE-05, FYFE-06, FYFE-07, FYFE-08, FYFE-09, FYFE-10, FYFE-11, FYFE-12 e FYFE-13. Os dados são apresentados como média $\pm$ desvio padrão e o teste Tukey post hoc. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

3.2. Perfil físico-químico

A fermentação é um processo biológico fundamental para a produção de diversas bebidas e produtos alimentícios. As leveduras são utilizadas em processos fermentativos por serem responsáveis pela conversão dos carboidratos em etanol e dióxido de carbono (CO₂). As análises físico-químicas do mosto fermentado ajudam a entender a eficiência da fermentação sob influência das treze cepas de leveduras isoladamente, possibilitando otimizações para a produção de bebidas de maior qualidade.

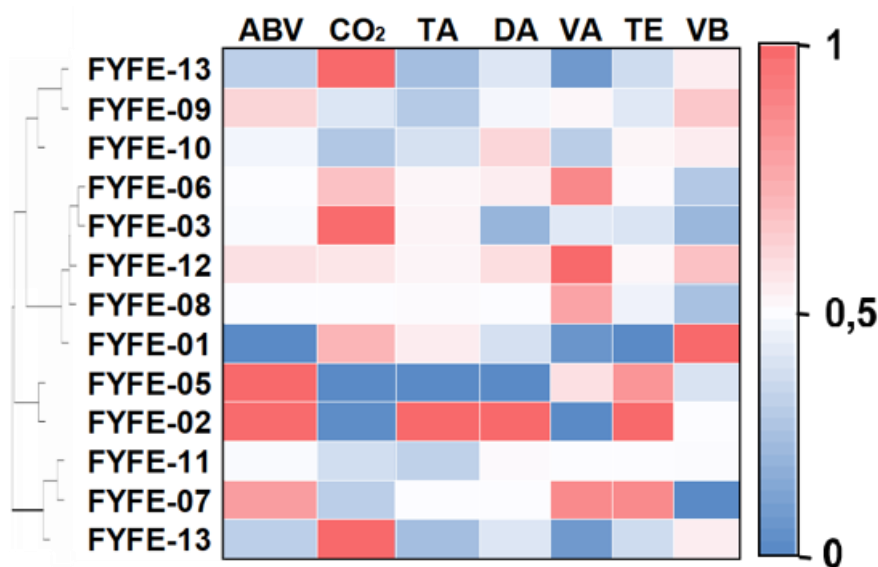


Figura 3: Mapa de calor (heatmap) contendo resultados das análises físico-químicas do mosto sintético fermentado. As fermentações foram conduzidas inoculadas a 3×10^7 células/mL em mosto sintético (15° Brix) a 30°C durante 11 dias (264 h). As cepas de leveduras autóctones utilizadas foram FYFE-01, FYFE-02, FYFE-03, FYFE-04, FYFE-05, FYFE-06, FYFE-07, FYFE-08, FYFE-09, FYFE-10, FYFE-11, FYFE-12 e FYFE-13. As análises conduzidas foram acidez total (TA, mg/100mL ác. acético), Álcool por volume (ABV, %, v:v), Ésteres Totais (TE, mg Ac. Etila/100mL a.a.), Perda de dióxido de carbono (CO₂, g CO₂ loss/L). Os dados são apresentados como média $\pm$ desvio padrão e o teste Tukey post hoc. Letras diferentes indicam diferenças significativas na viabilidade dentro de uma espécie ($p < 0,05$).

A acidez total e o teor alcoólico são parâmetros essenciais para compreender a eficiência e a estabilidade do processo fermentativo. A acidez total, composta por frações volátil e fixa, variou entre 1,3 e 38,3 mg ácido acético/100 mL ($p < 0,05$), com destaque para FYFE-02, que apresentou o maior valor, e FYFE-05, o menor (Figura 3/Tabela S1). Níveis adequados de acidez favorecem o controle microbiológico e influenciam diretamente a produção de etanol e compostos sensoriais (Maia et al., 2025;

Ribeiro-Filho et al., 2021; Felizardo et al., 2023). Quanto ao teor alcoólico, os valores oscilaram entre 1,1 e 6 °GL, sendo FYFE-01 a cepa mais eficiente (Figura 3/Tabela S1). Esses resultados demonstram diferenças metabólicas importantes, associadas ao efeito Crabtree e à adaptação fermentativa das linhagens (Malina et al., 2021; Pfeiffer & Morley, 2014).

A formação de ésteres e a liberação de CO₂ complementam a avaliação do potencial biotecnológico das cepas estudadas. Os ésteres totais variaram de 4,6 a 136,5 mg acetato de etila/100 mL ($p < 0,05$), com maiores concentrações observadas em FYFE-02, FYFE-07 e FYFE-05, enquanto FYFE-01 apresentou a menor produção (Figura 3/Tabela S1). Esses compostos são determinantes para atributos aromáticos, contribuindo para perfis frutados e florais valorizados em bebidas fermentadas (Boulton & Quain, 2001; He et al., 2023). Já a perda de CO₂ oscilou entre 1,5 e 4,8 g/100 mL, com maior desempenho para FYFE-03 e FYFE-13 (Figura 3/Tabela S1). Altas taxas de CO₂ indicam fermentação eficiente e rápida adaptação metabólica, enquanto valores reduzidos sugerem comportamento fermentativo prolongado (Malina et al., 2021; Pfeiffer & Morley, 2014).

Os resultados evidenciaram expressiva variabilidade fisiológica e fermentativa entre as treze cepas de leveduras autóctones isoladas de engenhos de cachaça, confirmando diferenças metabólicas relevantes para aplicações industriais. Cepas como FYFE-01, FYFE-03 e FYFE-13 destacaram-se pela elevada produção de CO₂, maior teor alcoólico e alta viabilidade celular, indicando eficiência fermentativa superior. Em contraste, outras cepas apresentaram fermentação prolongada, maior viscosidade e menor rendimento, sugerindo estratégias metabólicas distintas. As aplicações potenciais incluem seleção de culturas iniciadoras para produção de cachaça, etanol e bebidas fermentadas com perfis sensoriais específicos. Como limitação, o estudo foi conduzido em mosto sintético e escala laboratorial, o que pode não reproduzir integralmente as condições industriais. Estudos futuros devem incluir identificação molecular, validação em mosto real de cana-de-açúcar, análise transcriptômica e avaliação sensorial dos destilados produzidos, visando consolidar o potencial biotecnológico dessas leveduras em processos fermentativos regionais.

Conclusão

As leveduras autóctones provenientes de unidades produtoras de cachaça da Paraíba apresentam perfis fermentativos distintos e potencial biotecnológico promissor. As diferenças observadas em produção de CO₂, teor alcoólico, viabilidade celular, acidez e síntese de ésteres demonstram que a seleção criteriosa de cepas pode otimizar rendimento e qualidade sensorial em processos fermentativos. Cepas com desempenho superior representam candidatas estratégicas para aplicações industriais, especialmente na cadeia sucroalcooleira. Além disso, o estudo reforça a relevância da biodiversidade microbiana regional como fonte de inovação tecnológica. A continuidade das investigações em escala industrial será essencial para validar e ampliar o uso dessas leveduras em bioprocessos sustentáveis e competitivos.

Referências

- Alves, D.M.G. (1994). Fatores que afetam a formação de ácidos orgânicos bem como outros parâmetros da fermentação alcoólica. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11144/tde-20210917-161601/>>. Acesso em: 15 Dez. 2024.
- Boulton, C., & Quain, D. (2001). *Brewing Yeast and Fermentation*. Oxford, UK: Blackwell Science.
- Brazil (2008) Ministério da Saúde, Instituto Adolfo Lutz, Métodos Físico-Químicos para Análises de Alimentos. 5th ed. 205–260
- Da Silva VP, De Souza JB, De Queiroz AL, Ribeiro-Filho N, Bezerra TK (2023) Cachaça production: from sugar cane to spirit. *J Inst Brew*. <https://doi.org/10.58430/jib.v129i4.40>

- He, Y., Wang, X., Li, P, Lv, Y., Nan, H., Wen, K., Wang, Z. (2023). Research progress of wine aroma components: A critical review. *Food Chemistry*, v. 402, p. 134491. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134491>
- Maia, L., Felizardo, L., De-Barros, M.C. Bizerra-Santos, J., Silva, F.L.H., Ribeiro-Filho, N. (2025). Unveiling the influence of autochthonous yeasts selected from spontaneous fermentation of cachaça on ethanol, ester and fermentation kinetics. *Antonie van Leeuwenhoek* 118, 104 . <https://doi.org/10.1007/s10482-025-02123-7>
- Malina, C.; Yu, R.; Björkeröth, J.; Kerkhoven, E. J.; Nielsen, J. (2021). Adaptações no metabolismo e na tradução de proteínas dão origem ao efeito Crabtree em leveduras. *Anais da Academia Nacional de Ciências*, 118(51):e2112836118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2112836118>
- Pfeiffer, T.; Morley, A. (2014). An evolutionary perspective on the Crabtree effect. *Frontiers in Molecular Biosciences*, 1(17):1-6. <https://doi.org/10.3389/fmolb.2014.00017>
- Ribeiro-Filho, N., Linforth, R., Powell, C.D., Fisk, I.D., 2021. Influence of essential inorganic elements on flavour formation during yeast fermentation. *Food Chem.* 361, 130025. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130025>
- Ribeiro-Filho N, Linforth R, Bora N, Powell CD, Fisk ID (2022) The role of inorganic-phosphate, potassium and magnesium in yeastflavour formation. *Food Res Int* 162:112044–112053. <https://doi.org/10.1016/j.foodres>
- Rosa, C.A., A.M. Soares, and J.B. Faria. 2009. Chapter 34: Cachaça production. In: Ingledew, W.M., Kelsall, D.R., Austin, G.D., Kluhspies, C. *The alcohol Textbook*. Fifth edition. Nottingham University press. Chapter 34, 481-490.

Tabela S1: Resultados das Análises Físico-químicas do Mosto sintético fermentado.

Cepas	AT	TA	ET	CO ₂
FYFE-01	7,7±0,6 ^b	6±2 ^a	4,6±0,9 ^c	4,1±0,0 ^b
FYFE-02	38±16 ^a	1,2±0,9 ^{cd}	137±116 ^a	1,6±0,2 ^e
FYFE-03	6±0 ^c	4±1 ^a	21±8 ^a	4,8±0,6 ^a
FYFE-04	2,9±0,6 ^a	4,3±0,5 ^a	21±3 ^a	3,3±0,5 ^d
FYFE-05	1±0 ^f	1,1±0,1 ^d	104±22 ^a	1,5±0,2 ^e
FYFE-06	5,4±0,4 ^c	3,8±0,2 ^{ab}	28±3 ^a	4,0±0,2 ^{ab}
FYFE-07	3,7±0,8 ^d	2,1±0,1 ^c	112±16 ^a	2,6±0,3 ^{de}
FYFE-08	4±1 ^{cd}	4±1 ^{ab}	24±9 ^a	3,4±0,0 ^d
FYFE-09	2,7±0,6 ^d	3,1±0,4 ^b	22±1 ^a	3,0±0,6 ^d
FYFE-10	3,2±0,2 ^d	3,9±0,8 ^{ab}	32±4 ^a	2,5±0,6 ^d
FYFE-11	2,8±0,4 ^d	3,8±0,3 ^{ab}	26±1 ^a	2,9±0,4 ^d
FYFE-12	6±1 ^c	3,3±0,4 ^{ab}	30±6 ^a	3,6±0,0 ^c
FYFE-13	2±0 ^e	4,7±0,4 ^a	19,7±0,4 ^b	4,8±0,5 ^a

AT – Acidez Total (mg/100mL Ac. Acético), AF - Acidez Fixa (mg/100mL Ac. Acético), AV – Acidez Volátil (mg/100mL Ác. Anidro), TA – Teor Alcoólico (°GL), ET – Ésteres Totais (mg Ac. Etila/100mL Ác. Anidro); perca de CO₂ função do tempo (h).