



DESENVOLVIMENTO DE CERVEJA ADICIONADA DE MARAVALHAS DA DALBERGIA ECASTOPHYLLUM (L.) TAUB.: ESTUDO DA CINÉTICA DE FERMENTAÇÃO

Thalison Gustavo da Costa Antunes¹, Alfredina dos Santos Araujo ²

RESUMO

A cerveja é uma bebida consumida em todo o mundo e diversos tipos de processos são empregados para alterações sensoriais, incluindo o envelhecimento em madeira, e em maneiras de re realizá-lo, sendo uma opção em forma de maravalhas, assim, surge a *Dalbergia L. Taub*, que é conhecida por ser a fonte da própolis vermelha do nordeste brasileiro, rica em compostos bioativos. O experimento foi conduzido em fermentadores de 5 litros, utilizando três tratamentos distintos: cerveja padrão (P) sem adição de maravalhas, F1 com 1% de maravalhas e F2 com 3% de maravalhas. Vários parâmetros foram avaliados durante a cinética fermentativa, incluindo pH, açúcares redutores totais, acidez e teor alcoólico nos tempos de 0, 6, 12, 24, 36, 48, 72 e 96 horas, além de compostos bioativos nos tempos de 24 e 96 horas. Os resultados mostraram que os tratamentos F1 e F2 promoveram uma maior fermentação, elevando o teor alcoólico em relação à cerveja P. Os valores de pH e acidez final foram semelhantes entre os tratamentos. O teor de açúcares residuais foram menores nos tratamentos com maravalhas, evidenciando um maior consumo. Além disso, F1 e F2 apresentaram maior teor de compostos bioativos comparado ao tratamento P, que sofreu uma leve perda. A conversão dos substratos também foi superior nos tratamentos com maravalhas, evidenciando a influência positiva da adição de maravalhas de *Dalbergia L. Taub* na fermentação e qualidade da cerveja.

Palavras-chave: Compostos bioativos, Processo fermentativo, Crescimento celular.

¹Aluno de Engenharia de Alimentos, Departamento do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, UFCG, Campina Grande, PB, e-mail: tguga18@gmail.com

²Doutora, Professora do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, UFCG, Campina Grande, PB, e-mail: alfredina.yahoo.com.br

***DEVELOPMENT OF BEER WITH ADDED DALBERGIA ECASTOPHYLLUM (L.)
TAUB. WOOD: STUDY OF FERMENTATION KINETICS.***

ABSTRACT

Beer is a beverage consumed all over the world and various types of processes are used to alter its sensory properties, including aging in wood, and ways of redoing this, one of which is in the form of wood chips. This is how *Dalbergia L. Taub* came to be, which is known for being the source of red propolis in northeastern Brazil, rich in bioactive compounds. The experiment was conducted in 5-liter fermenters, using three different treatments: standard beer (P) without the addition of wood chips, F1 with 1% wood chips and F2 with 3% wood chips. Various parameters were assessed during fermentation kinetics, including pH, total reducing sugars, acidity and alcohol content at 0, 6, 12, 24, 36, 48, 72 and 96 hours, as well as bioactive compounds at 24 and 96 hours. The results showed that treatments F1 and F2 promoted greater fermentation, increasing the alcohol content compared to beer P. The pH values and final acidity were similar between the treatments. The residual sugar content was lower in the treatments with wood shavings, showing greater consumption. In addition, F1 and F2 had a higher content of bioactive compounds compared to treatment P, which suffered a slight loss. Substrate conversion was also higher in the treatments with woodchips, showing the positive influence of adding *Dalbergia L. Taub* woodchips on fermentation and beer quality.

Keywords: Bioactive compounds, Fermentation process, Cell growth.

INTRODUÇÃO

A cerveja é uma das bebidas alcoólicas mais antigas e mais consumidas no mundo, cuja produção está em constante crescente. É obtida via fermentação alcoólica por ação das leveduras que transformam os açúcares presentes no mosto em álcool etílico e dióxido de carbono, contendo também em sua formulação lúpulo e, opcionalmente, alguns aditivos e/ou adjuntos (DENBY et al., 2018).

A indústria cervejeira tem papel de destaque no mercado atual de bebidas, sendo dominado por indústrias tradicionais, tendo uma tendência de crescimento para produção de cerveja em escala artesanal. A inovação tecnológica, por meio da adição de novas matérias-primas no processo de produção cervejeira, tem estimulado novos aromas, cores e sabores voltados a produtos que apresentem qualidade sensorial diferenciada. (PINTO, 2015).

O enriquecimento das cervejas pela adição de adjuntos pode proporcionar novas características para a bebida, como maiores concentrações de compostos bioativos, redução do custo em relação matéria-prima original e até agregar funcionalidade benéfica através dos ingredientes utilizados, desde que não influenciem na qualidade final da cerveja (PEREIRA, 2022).

Outro método que pode agregar características desejáveis ao produto é o envelhecimento da cerveja em madeiras selecionadas como barris de carvalho, amburana, entre outras (SILVELLO, 2019). A fermentação da cerveja pode ocorrer através do envelhecimento em um barril feito de madeira ou pela inclusão de cubos, maravalhas e lascas da mesma fonte (MAGALHÃES, 2015). O tempo de maturação é afetado diretamente pela variedade, dimensão, configuração e superfície de contato do líquido com a madeira (ANGELONI, 2016).

Nesse contexto, surge como uma opção ao envelhecimento de cerveja, a *Dalbergia Ecastophyllum* (L.) Taub. , conhecida como rabo de bugio, é uma planta natural de regiões de mangues (SANTOS, s.d.), sua resina de cor avermelhada é rica em compostos bioativos e dá origem à própolis vermelha nordestina (CORREIA, 2022). A sua utilização no envelhecimento de cervejas poderia influenciar diretamente a qualidade sensorial e nutricional do produto final de maneira benéfica (SILVELLO, 2020).

Uma das opções viáveis da adição da madeira à cerveja seria em forma de maravalhas, que são “pequenas lascas” da madeira e podem ser utilizadas nas

bebidas em escalas menores, no entanto, deve-se estudar, quando e como adicioná-las a bebida, pois também pode ocorrer a reação contrária (NETO et al, 2022). Sendo assim, o objetivo do presente trabalho é desenvolver uma cerveja adicionada de maravalhas da *Dalbergia ecastophyllum* (L.) Taub., estudando a cinética de fermentação.

MATERIAIS E MÉTODOS (OU METODOLOGIA)

O projeto será desenvolvido nos Laboratórios do Centro Vocacional Tecnológico (CVT), pertencentes a Unidade Acadêmica de Tecnologia de Alimentos (UATA) do Centro de Ciências e Tecnologia agroalimentar (CCTA) da Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Pombal, Paraíba.

Obtenção das matérias primas

Foram utilizados diferentes tipos de maltes na receita da mosturação, sendo alguns doação da Cervejaria Voiller, no município de São Domingos – PB, As maravalhas da *Dalbergia Ecastophyllum* (L.) Taub. foram adquiridas através dos mangues e beiras de rios no município de João Pessoa - PB, em seguida foram transportadas para os referentes laboratórios, onde foram higienizados e processados, enquanto o lúpulo e a levedura utilizada no produto foram adquiridos em comércio online.

Caracterização das maravalhas da *Dalbergia ecastophyllum* (L.) Taub

Para a obtenção dos chips da *Dalbergia Ecastophyllum* (L.) Taub., a madeira foi cortada em diferentes formatos para testes iniciais, com auxílio de uma faca de aço inoxidável para obtenção dos cortes. Em seguida foi feita a caracterização dos compostos bioativos.

Foram avaliados os cortes em lascas maiores, com a casca (A) , lascas maiores da madeira sem a casca (B), e maravalhas pequenas sem a casca (C), como pode se observar na Figura 1.

Figura 1: Diferentes cortes da *Dalbergia Ecastophyllum* (L.) Taub.



Fonte: Autor (2024)

Na caracterização dos compostos bioativos foram realizadas as análises de compostos fenólicos totais (mg/100g) pelo método de Folin & Ciocalteu (WATERHOUSE, 2006), flavonoides (mg/100g) e antocianinas (mg/100g) conforme método descrito por Francis (1982), clorofila ($\mu\text{g}/100\text{g}$) e carotenoides ($\mu\text{g}/100\text{g}$) proposta por Lichtenthaler (1987).

Preparação das maravalhas

Conforme resultados obtidos no relatório parcial em relação aos compostos bioativos, optou-se por utilizar as maravalhas com casca, elas foram adicionadas de maneira que facilite a retirada na pós-fermentação, assim, utilizou-se uma malha de aço inoxidável para envolver as maravalhas, permitindo a passagem de líquido e sua interação com o mosto, as malhas foram cortadas em formato retangular, de tamanho que acomodasse o volume de maravalhas para cada tratamento, assim, as malhas foram dobradas de maneira semelhante a um sachê de chá, para a segurança e higiene do processo, optou-se pelo processo de autoclavagem como método de sanitização, onde as maravalhas foram limpas e autoclavadas dentro dos sachês de malha de aço, e após resfriadas, adicionadas ao mosto cervejeiro para a fermentação.

Obtenção do mosto cervejeiro e fermentação

Para a obtenção do mosto cervejeiro para a produção de cerveja, foram utilizados malte do tipo Munique I, Carahell®, e flocos de milho, Água mineral, Lúpulo cascade (7,5% Ac.Alfa), levedura cervejeira S-04. Foram três formulações de adição das maravalhas da Dalbergia para a fermentação na relação (v:v) 0% (P), 1% (F1) e 3% (F2).

O processo de obtenção do mosto cervejeiro consistirá nas etapas de moagem, brasagem, fervura, fermentação, maturação e envase. A moagem dos maltes e do floco de milho foi realizada em moinho de grãos manual marca Hércules, de forma a se obter granulometria entre 30 e 80 Mesh, conforme as formulações estabelecidas por testes experimentais em laboratório.

Para o processo de brasagem, foi utilizado uma panela inox cervejeira automática da marca INVERSA com capacidade máxima de 30 litros. Para controle do processo de mosturação, foi programado a seguinte rampa de aquecimento, a qual utiliza o seguinte binômio tempo x temperatura: 62 °C / 60 min.; 72 °C / 20 min.; e 78 °C / 10min.

Transcorrida a etapa da mosturação, a fase líquida da mistura malte: água foi separada por filtração, e o resíduo de malte foi lavado com água aquecida (pH 4,8) a 70°C para completa extração dos açúcares residuais. O resíduo proveniente da mosturação será embalado em sacos de polipropileno de alta densidade, para posteriormente ser congelado em freezer a -30 °C.

Logo em seguida a fase líquida foi encaminhada para a etapa da fervura a 102 °C por 60 minutos. Ao iniciar a fervura o lúpulo Cascade (Ácido alfa de 7,5% do grupo LNF América Latina-Barth-Haas Group), foi adicionado metade do valor determinado pela receita e o restante foi adicionado nos últimos 15 minutos da fervura. Ao término da fervura o mosto foi resfriado a temperatura de 20 °C e logo em seguida filtrado, para remoção de proteínas coaguladas e resíduos de lúpulo. Resfriado o mosto, este foi encaminhado para a etapa de fermentação, que foi adicionado a levedura e as maravalhas da Dalbergia conforme descrito, ao qual foi conduzida em fermentadores confeccionados em polipropileno grau alimentício de 5 litros volume útil. O processo foi conduzido em câmara de fermentação a 20 °C com 3,5 litros de mosto, para posterior caracterização físico-química e compostos bioativos.

Antecedendo o processo de fermentação, houve a propagação das leveduras em meio complexo para ativação das células. Transcorrida a etapa de propagação, serão retiradas alíquotas do material propagado, em uma concentração de células de 1×10^9 células / L, as quais serão inoculadas nos biorreatores contendo o mosto. Antes e após cada etapa de propagação haverá a contagem de células por microscopia óptica com auxílio de câmara de Neubauer (WHITE, 2010). Com a levedura inoculada, e as maravalhas da Dalbergia Ecastophyllum (L.) Taub adicionadas, alíquotas de 100

mL foram coletadas em frascos tipo PET nos tempos 0, 12, 24, 36, 48, 72 e 96 horas, para as análises posteriores.

Análises do processo fermentativo

As amostras dos fermentados coletadas, foram caracterizadas quanto à acidez total titulável, potencial hidrogeniônico (pH), e Sólidos Solúveis Totais (°Brix) por meio de refratômetro conforme descrito no manual de métodos analíticos do Instituto Adolfo Lutz (2008). Ademais, será conduzida a análise de açúcares redutores totais (ART), pelo método descrito por Vasconcelos, Pinto e Aragão (2013), que trata da redução da glicose pelo composto ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS).

A concentração celular (biomassa) do fermentado será determinado conforme metodologia descrita por White (2010), a qual utiliza câmara de Neubauer para contagem de célula (cel L-1) e o teor alcoólico será determinado por ebulliometria conforme descrito por Jacobson (2006).

Além disso, foi realizada a caracterização dos compostos bioativos no início e no final do processo fermentativo onde foram realizadas as análises de compostos fenólicos totais (mg/100g) pelo método de Folin & Ciocalteu (WATERHOUSE, 2006) e flavonoides (mg/100g) e antocianinas (mg/100g) conforme método descrito por Francis (1982).

O estudo da cinética de fermentação envolve a análise das mudanças nas concentrações dos componentes do sistema de cultivo ao longo do tempo, no caso, os parâmetros da fermentação do mosto cervejeiro. Os componentes do incluem: o microrganismo ou biomassa (quantidade de levedura) (X), os produtos do metabolismo (quantidade de etanol) (P) e os nutrientes ou substratos (açúcares fermentáveis do mosto) (S). Como esses valores são parte essencial dos dados necessários para o dimensionamento de uma instalação produtiva, fica claro que, sem o conhecimento da cinética, é inviável transferir um experimento de laboratório para a escala industrial (MELNIKOV, 2002).

No final do processo deu-se início aos estudos das variáveis de respostas de acordo com o desenvolvimento da fermentação, para os coeficientes globais de conversão de substrato em biomassa (Equação 1), conversão de substrato em produto (Equação 2), produtividade de álcool etílico (Equação 3), produtividade de células (Equação 4) e percentual de conversão (Equação 5).

Para a determinação da velocidade máxima específica ($\mu_{\text{máx}}$), empregando-se o recurso de regressão linear, conforme a Equação 6. A partir do valor de $\mu_{\text{máx}}$, obtém-se o tempo de geração (Equação 7).

$$Y_{X/S} = \frac{X - X_0}{S_0 - S} \quad (1)$$

$$Y_{P/S} = \frac{P - P_0}{S_0 - S} \quad (2)$$

$$\text{Produtividade (Produto)} \left(\frac{g}{L} \cdot h \right) = \frac{P - P_0}{t_f} \quad (3)$$

$$\text{Produtividade (células)} \left(\frac{g}{L} \cdot h \right) = \frac{X - X_0}{t_f} \quad (4)$$

$$\text{Conversão(\%)} = \frac{P}{(S_0 \times 0,511)} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{Log } [X] = \mu \times t + b \quad (6)$$

$$\text{Tempo de geração (h)} = \frac{0,693}{\mu_{\text{máx}}} \quad (7)$$

Em que “X₀” representa a concentração inicial de células (cel/mL); “X” é a concentração de células final (cel/mL); “P₀” é a concentração inicial de produto (g/L); “P” é a concentração final de produto (g/L); “S₀” é a concentração inicial de substrato (g/L); “S” é a concentração final de substrato (g/L); “t_f” é o tempo de fermentação (h); “0,511” Fator de conversão de açúcar em álcool; “ $\mu_{\text{máx}}$ ” velocidade máxima específica.

Análise estatística, gráficos e parâmetros cinéticos

Para a análise estatística da caracterização das maravalhas foi utilizado o software ASSISTAT, versão 7.2 beta. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo delineamento em blocos inteiramente casualizados (DIC) e os resultados serão avaliados por ANOVA, seguido por teste de Tukey. Os resultados estão apresentados como média \pm desvio padrão, e uma probabilidade $p \leq 0,05$ sendo considerada significativa (SILVA; AZEVEDO, 2002).

Todos os gráficos e parâmetros cinéticos foram feitos com o auxílio do software Microsoft Office 365®.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização das maravalhas

A tabela abaixo mostra os resultados dos testes iniciais para os diferentes tipos de corte da *Dalbergia Ecastophyllum* (L.) Taub.

Tabela 1: Resultado dos parâmetros avaliados para os diferentes tipos de corte da madeira.

Parâmetros Avaliados	Amostras		
	LC	LD	M
Clorofilas totais (µg/100g)	280,37 ^a ± 0,83	181,85 ^c ± 2,46	189,44 ^b ± 3,07
Carotenoides Totais (mg/100g)	1,33 ^a ± 0,3	0,72 ^b ± 0,02	0,68 ^b ± 0,01
Flavonoides Amarelos (mg/100g)	635,72 ^a ± 4,56	414,23 ^c ± 3,22	463,98 ^b ± 9,84
Antocianinas (mg/100g)	108,35 ^a ± 2,70	87,17 ^b ± 0,31	87,72 ^b ± 1,4
Fenólicos Totais (mgEAG[*]/100g)	1482,81 ^a ± 0,87	429,73 ^c ± 0,29	514,43 ^b ± 0,53

*Equivalente ácido gálico; LC: Lascas com casca; LD: Lascas descascadas; M: Maravalhas. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade
Fonte: Autor (2024).

É importante salientar que a literatura carece de resultados semelhantes ao presente trabalho, uma vez que a parte analisada da amostra foi a madeira em diferentes cortes, enquanto outros trabalhos avaliam apenas o extrato, compostos isolados ou até mesmos produtos derivados da planta como a própolis vermelha, assim, a discussão dos resultados ocorreu de maneira associativa, apesar de diferenças quantitativas, outro ponto importante é que os dados obtidos pelo trabalho são testes iniciais e nem todos serão utilizados no produto final.

Pelos dados apresentados na Tabela 1, pode-se observar diferenças significativas para os resultados de compostos dos cortes realizados, nota-se que, para clorofilas e carotenoides totais, o presente estudo obteve diferentes concentrações dos parâmetros, se destacando LC, com o maior valor, diferindo estatisticamente de ambas as amostras restantes (LD e M). A variação na quantidade de clorofila em diferentes partes da planta pode ser explicada, Streit et al. (2005) afirmou que a maior parte da clorofila está presente nas folhas, o que influencia nos resultados mais baixos. Lanfer-Marquez (2003) acrescentou que a clorofila é essencial para a fotossíntese e o desenvolvimento das plantas, destacando também seu papel antioxidante. Além disso, os carotenoides frequentemente estão associados à clorofila, conforme Uenojo et al. (2007).

A presença de uma boa quantidade de antocianinas também foi encontrada pelo presente estudo, destacando-se LC com o maior valor para o parâmetro em relação aos demais cortes, onde nota-se diferença estatística dos mesmos. Pertencente à classe dos flavonoides, as antocianinas desempenham papéis

importantes nos vegetais, normalmente encontrada em maior quantidade nos frutos, pode atuar auxiliando na proteção de diversos tecidos da planta, além de serem solúveis em água, apresentam propriedades antioxidantes, indicadora ácido-base e pode ser responsável pela pigmentação nas cores laranja, vermelho, roxo e azul (PACHECO, 2023; GOMES, 2022).

Os flavonoides também atuam como antioxidante por serem bons doadores de elétrons, além disso, podem apresentar efeitos anti-inflamatórios, podendo ser encontrados em maçã, cebola, brócolis e em chás verde e preto (VARGAS, 2022).

Os valores encontrados para flavonoides e fenólicos, foram de longe, os maiores encontrados, sendo os flavonoides da classe dos fenólicos, é comum que os valores estejam associados. Com o mesmo comportamento dos demais parâmetros, LC obteve os maiores valores para estes parâmetros diferindo estatisticamente dos outros 2 cortes, sendo, por ora, a melhor opção de corte testada levando em consideração apenas a quantidade de compostos bioativos.

Lustosa (2008) mostra em seu trabalho uma correlação entre os tipos de compostos presentes na própolis vermelha do Nordeste e ressalta que é a mesma composição da *Dalbergia Ecastophyllum* (L.) Taub, sendo um dos tipos de própolis mais ricos em compostos bioativos no geral, o autor citou estudos que afirmam que esses compostos derivam dos exsudatos da *Dalbergia*, assim, pode-se afirmar que o exsudato possui uma composição variada, como é possível observar pelos resultados do presente estudo, onde foi confirmada a presença de vários compostos bioativos e alguns em grande quantidade como Flavonoides e Fenólicos.

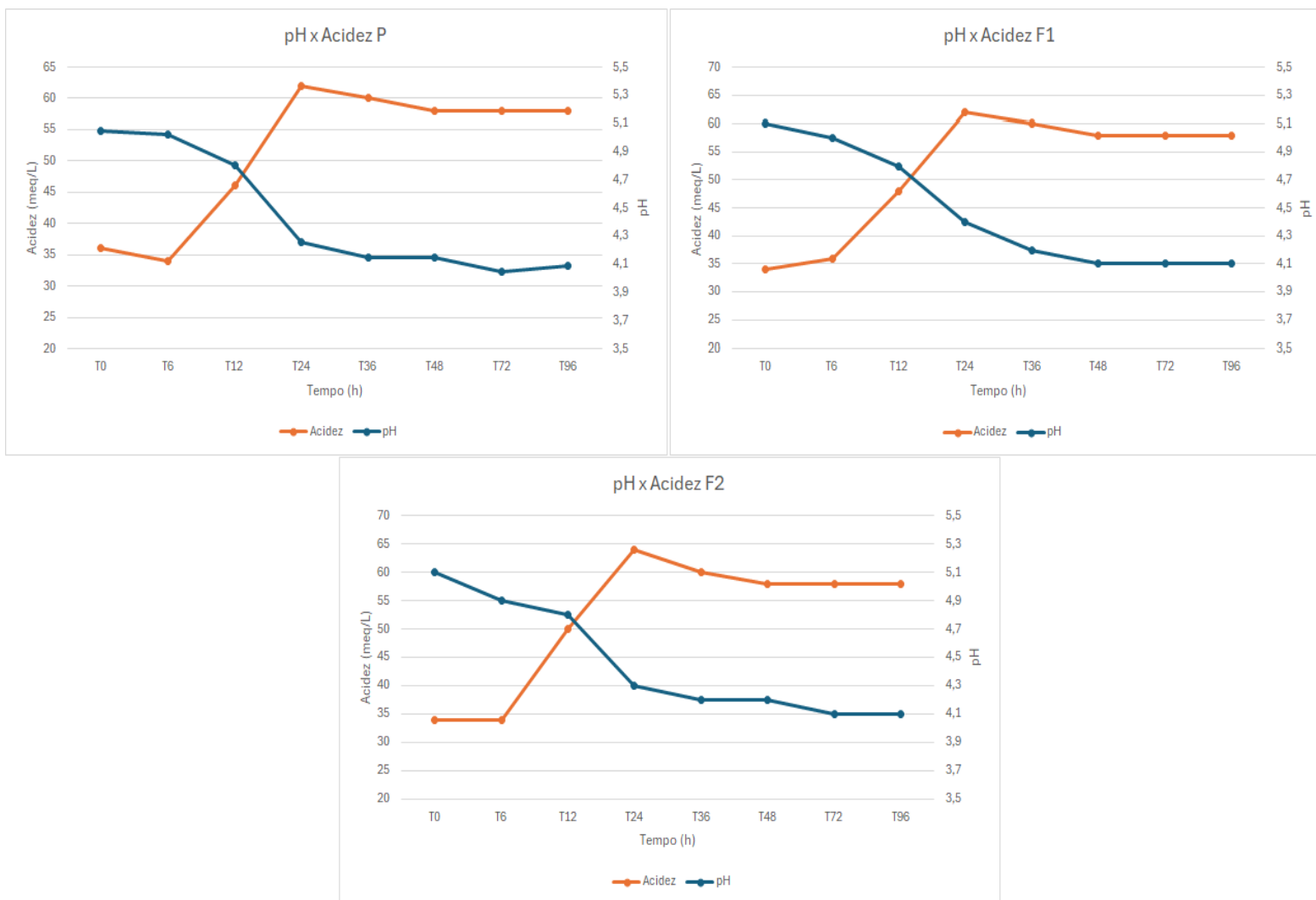
O teor de compostos fenólicos totais obtidos foi bastante elevado, Moraes (2016) em seu trabalho também encontrou valores elevados para extratos hidroetanólicos da *Dalbergia Ecastophyllum* (L.) Taub, com resultados que variaram de 297 até 378 mgEAG/g de extrato seco. Outro trabalho com bons resultados foi o de Silva (2018), que analisou extratos das cascas de aroeira do sertão do cariri paraibano (*Myracrodruon urundeuva*), onde obteve o valor de 387 mg EAG/g de extrato bruto, no mesmo estudo o autor ainda citou outros artigos semelhantes ao dele que obtiveram valores menores, entre 37,7 e 77 mg EAG/g, sendo os últimos variando o solvente ou método de determinação.

Vale ressaltar, que teores elevados de compostos fenólicos são características de algumas madeiras utilizadas no envelhecimento de cerveja, além disso, estes compostos podem se incorporar à cerveja ao longo do tempo de envelhecimento, e

causando reações como a diminuição do pH, alteração de cor, podendo ser desejada ou não, além de aspectos sensoriais e por serem compostos antioxidantes, podem ajudar a inibir oxidações indesejadas durante o envelhecimento (SILVELLO, 2019).

Processo fermentativo

Figura 1. pH e acidez em função do tempo de fermentação.



Fonte: Autor, 2024

Observando a figura 1, é possível afirmar que as curvas das variações de pH e acidez em função do tempo de fermentação, se mantiveram relativamente semelhantes, os valores de pH para todas as amostras analisadas, em 96h de fermentação, se mantiveram no valor de 4,1.

O pH é um parâmetro muito importante a se analisar em um produto, pois a partir dele, o mesmo pode ser mais, ou menos suscetível à contaminação microbiana, diminuindo sua vida útil. Além disso, também é muito importante em processos

fermentativos, pois acompanhando o seu valor em relação ao tempo, esse parâmetro nos permite saber se a fermentação está ou não ocorrendo normalmente, uma vez que quando ocorre o processo, há a formação ácidos orgânicos e liberação de íons H^+ no meio, resultando na diminuição do pH e aumento da acidez, caracterizando assim, uma relação inversa entre esses dois parâmetros (WALKER, 2016).

Tal comportamento é encontrado na Figura 1, enquanto o valor de acidez aumenta com o passar das horas, finalizando no valor de 58meq/L para todas as amostras, o valor de pH diminui e finaliza em 4,1 para todas as amostras, mostrando semelhança entre todos os processos fermentativos, ainda sim, é possível notar o ponto de encontro entre as curvas, sendo entre 12 e 24h de fermentação para todas as amostras, nesse ponto, é onde há o equilíbrio entre pH e acidez, importante em muitos processos fermentativos.

O pH reduz consideravelmente nas primeiras 48 horas em todos os tratamentos, devido ao comportamento da levedura *Saccharomyces cerevisiae*. Conforme Pires (2014), isso acontece porque os ácidos orgânicos gerados pela levedura são utilizados na produção de ésteres através de uma reação de condensação química enzimática, juntamente com o álcool.

Souza (2019) avaliou os mesmos parâmetros para diversas amostras de cerveja artesanais e industriais comercializadas no município de Vitória da Conquista – BA e encontrou valores de pH que variaram de 4,29 até 4.7, resultados superiores ao presente estudo. Ainda no mesmo trabalho, o autor encontrou teores de acidez inferiores aos mostrados na Figura 1, variando de 27 até 37meq/L, indicando que a cerveja do presente estudo pode estar relativamente mais ácida em comparação às analisadas pelo autor citado.

Na figura 2, é mostrada a variação do teor alcoólico, expressado em g de etanol/L de mosto em relação à concentração de açúcares redutores totais de acordo com o tempo de fermentação, expressado em g/L de mosto para as 3 formulações de cerveja.

Figura 2: Açúcares redutores totais e teor alcoólico em função do tempo de fermentação.



Fonte: Autor, 2024

A figura 2 mostra os resultados de açúcares redutores totais (ART) em g/L e o teor de etanol (g/L) para os 3 experimentos, para a cerveja padrão, os teores encontrados no início da fermentação foram de 95,8g/L para ART e 0g/L para etanol, ao final dos tempos analisados, em 96h, para o mesmo experimento, os valores encontrados foram 27,6g/L de açúcares residuais e 33,26g/L de etanol, ou, 4,2% de teor alcoólico.

Para o F1, cerveja com 1% de adição de maravalhas da *Dalbergia*, o valor inicial de ART foi de 86,3g/L e 0g/L para etanol, ao fim do experimento o valor mudou para 19,4g/L de açúcares residuais e 36,43g/L de etanol, ou 4,6% de teor alcoólico.

O tratamento F2, onde teve 3% de adição de maravalhas da *Dalbergia* teve valores encontrados de ART e teor de etanol de, respectivamente, 84,9g/L e 0g/L no

início do processo, já em 96h de fermentação, o valor de açúcares diminuiu para 16,9 e o teor de etanol aumentou para 36,43g/L, ou, ou 4,6% de teor alcoólico.

Observando as curvas de ART e etanol em função do tempo de fermentação, pode-se notar a relação inversa entre os parâmetros, isso é, quando ocorre uma diminuição no valor de açúcares, há um aumento no teor de etanol, tal comportamento se dá pela utilização dos açúcares pelas leveduras como substrato na fermentação para a produção do etanol (ALMEIDA, 2005).

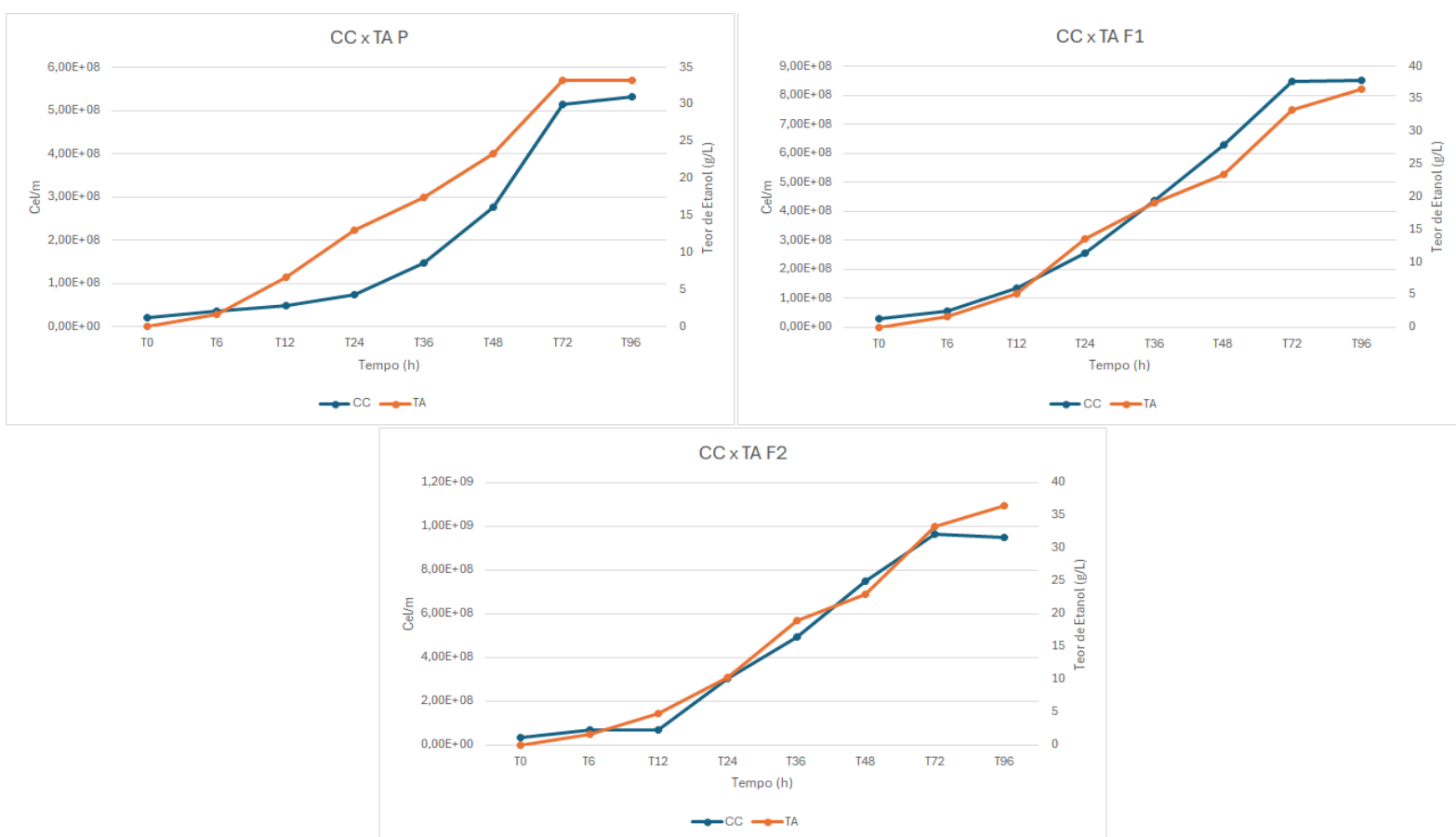
Para todos os experimentos, pode-se notar o ponto de encontro das curvas entre 24h e 48h, onde ocorre um consumo considerado de açúcares e uma produção mais elevada de etanol, que aumenta consideravelmente entre 48 e 72h, posteriormente seguindo em uma maior estabilidade entre 72h e 96h, indicando o início da fase estacionária do processo fermentativo, onde possivelmente, após as 96h de fermentação, a produção de etanol iria ser próxima à zero devido ao consumo de todo o açúcar fermentável pelas leveduras.

Dentre todos os experimentos, nota-se que a cerveja F1 e a F2 obtiveram um maior teor alcoólico em relação a cerveja padrão 4,6%, 4,6% e 4,2%, respectivamente, evidenciando uma fermentação mais eficiente, outro dado que corrobora com a afirmação, é a quantidade de açúcares residuais, que foram menores nos tratamentos que foram adicionados das maravalhas.

O MAPA define “cerveja com álcool” como aquela que possui um teor alcoólico maior que 0,5% v/v (BRASIL, 2021). Sendo assim, tanto a cerveja padrão, como as adicionadas de maravalhas podem ser classificadas como cerveja com álcool ao final do processo, no entanto, por se tratar de uma cerveja artesanal, é normal esse teor ser ainda mais elevado.

Na figura 3, é possível observar o crescimento celular juntamente do teor alcoólico durante os tempos da fermentação para as três amostras.

Figura 3. Crescimento celular e teor alcoólico em função do tempo



Fonte: Autor, 2024

Pela figura 3, é possível observar a relação positiva entre o crescimento celular em cel/ml e o teor de etanol em g/L para todos os experimentos, inicialmente, nota-se uma clara correlação entre o crescimento celular e o teor de etanol, uma vez que o etanol é gerado pelo metabolismo das leveduras, consumindo açúcares e gerando o mesmo. Dentre as fases visíveis de crescimento celular, nota-se a fase Lag, ou período de adaptação ao meio entre 0h e 12h, posteriormente um aumento significativo na quantidade de células, podendo caracterizar a fase log ou exponencial, já no tempo de 72h e 96h, percebe-se um menor crescimento, indicando o início da fase estacionária, possivelmente, após as 96h houve a lise celular, onde há um declínio no número de células devido à falta de substrato para consumo.

Entre os tratamentos, ao final do processo, em 96h, os números de células para a P, F1 e F2, foram, respectivamente, $5,33 \times 10^8$ Cel/ml, $8,52 \times 10^8$ Cel/ml e $9,48 \times 10^8$ Cel/ml. Percebe-se que em F1 como em F2, que são adicionadas de maravalhas, o teor alcoólico e a quantidade células foram superiores a cerveja padrão (P), tal comportamento pode ser explicado que observou em seu trabalho a adição

de diversos tipos de madeiras no envelhecimento de cervejas e afirmou que elas podem auxiliar impulsionando a fermentação e o consumo de açúcares residuais, Silva (2023), cita também que a presença de compostos bioativos potencializam a fermentação alcoólica, que explica o maior teor alcoólico e um menor número de açúcares residuais nos experimentos contendo a madeira em relação à cerveja padrão.

Tabela 2. Compostos bioativos em diferentes tempos da fermentação.

Amostras	Padrão		F1		F2	
Tempo (h)	24	96	24	96	24	97
CFT* (mg/100g)	139,34±1,9 4	129,58±3,2	270,86±3, 1	342,16±3,29	284,07±4,3	351,54±3,2
Flavonoides (mg/100g)	132,22±0,6	101,42±0,2	135,2±0,3	246,21±0,07	138,75±0,1	246,52±0,3
Antocianinas (mg/100g)	63,25 ±0,32	51,23±0,1	61,04±0,1	66,70±0,26	67,20±0,12	68,46±0,41

*Compostos Fenólicos Totais(mgEag/100g).

Fonte: Autor, 2024.

Pela tabela 2, podemos observar os valores obtidos para os compostos bioativos analisados no início e no final do processo de fermentação com a finalidade de verificar a interação entre os compostos da madeira e o mosto durante a fermentação.

Para a amostra P, nota-se uma leve perda de compostos bioativos entre 24 e 96h, o que já era esperado em função da amostra P não ter sido adicionada das maravalhas, possivelmente resultando em uma degradação de compostos fenólicos, flavonoides e antocianinas.

Nas amostras F1 e F2, que possuem a adição de 1% e 3% das maravalhas da *Dalbergia*, nota-se que além de não haver nenhuma perda ao longo dos tempos analisados, tiveram aumentos considerados em compostos fenólicos e flavonoides, já nas antocianinas, houve apenas um sutil aumento, evidenciando a manutenção na quantidade dos compostos.

Os aumentos dos teores analisados indicam uma interação entre as maravalhas da *Dalbergia*, que são ricas em compostos bioativos, e o mosto durante a fermentação, acontecendo a migração de parte desses compostos.

Tabela 3. Parâmetros cinéticos das três formulações .

Parâmetros cinéticos	Formulações
----------------------	-------------

	Padrão	F1	F2
$Y_{P/S}$ (g/g)	0,488	0,545	0,536
$Y_{P/X}$ (células/g)	$7,511 \times 10^6$	$1,23 \times 10^7$	$1,348 \times 10^7$
Produtividade de álcool etílico (g/L.h)	0,347	0,380	0,380
Produtividade de células (células/L.h)	$5,336 \times 10^6$	$1,143 \times 10^7$	$9,73 \times 10^6$
Conversão (%)	67,9	82,6	84,0
Velocidade específica de crescimento celular (h^{-1})	0,0593	0,0834	0,0927
Tempo de geração (h)	11,68	8,30	7,47

Fonte: Autor, 2024.

A tabela 3 mostra os parâmetros cinéticos dos dados analisados durante o processo fermentativo das cervejas, analisando individualmente, pode-se perceber que em sua maioria, os tratamentos contendo as maravalhas obtiveram melhores números em relação à cerveja padrão.

$Y_{p/s}$ (g/g) representa a quantidade de produto gerado por unidade de substrato, observando os valores encontrados, pode-se afirmar que F1 e F2 tiveram mais produto gerado em relação ao substrato consumido, o que pode ser refletido no teor alcoólico, para $Y_{p/x}$ (cel/g), os resultados seguiram o mesmo padrão do parâmetro anterior, sendo maiores para F1 e F2, tais valores indicam uma maior geração do produto por unidade de biomassa celular, indicando uma maior eficiência e uma maior produção de etanol, que é confirmada no parâmetro seguinte, onde a produção de etanol em g/L.h, com resultados superiores para F1 e F2 em relação à cerveja padrão.

Observando o teor de conversão, que indica a quantidade em porcentagem de substrato inicial que foi transformado em produto, é possível notar uma melhor conversão para F1 e F2, com valores acima dos 80% em relação ao valor da cerveja padrão (67,9%). A eficiência da fermentação é muito complexa e depende de inúmeros fatores para que ocorra corretamente, levando em consideração apenas a conversão de açúcares em etanol, os valores indicam que a adição das maravalhas nos tratamentos F1 e F2 auxiliaram no processo fermentativo.

A velocidade específica de crescimento celular indica a taxa de crescimento das leveduras por hora, onde é evidenciado uma maior velocidade para as amostras F1 e F2 em comparação com a amostra P, o contrário é observado para o tempo de geração, que é o tempo necessário para dobrar a população de leveduras no processo fermentativo, pode-se notar uma diminuição nos valores das amostras F1 e F2 em comparação a P, mostrando que, quanto maior a velocidade específica de

crescimento, menor o tempo de geração, indicando uma fermentação mais ativa para os mostos adicionados de madeira (F1 e F2).

CONCLUSÃO

Ao observar os dados apresentados nas figuras e tabelas, é possível afirmar que a adição das maravalhas da *Dalbergia* teve um efeito positivo no processo fermentativo da cerveja, mostrando um aumento no teor alcoólico em comparação à cerveja padrão no mesmo tempo analisado, um menor valor de açúcares residuais e ainda auxiliou na manutenção da quantidade de compostos bioativos, evitando perdas durante o processo.

Recomenda-se novos trabalhos estudando as características sensoriais que possivelmente as maravalhas atribuíram a cerveja, assim como a sua viabilidade de produção.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil. Sendo desenvolvido no programa PIBIC/CNPq-UFCG.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA E SILVA. Cerveja. In: VENTURINI FILHO, G.W. **Tecnologia de Bebidas: Matéria-Prima, Processamento, BPF / APPCC, Legislação e Mercado**. Edgard Blucher, 2005, 550p.
- ANGELONI, L. H. P. Cerveja envelhecida em barril de madeira, aspectos químicos e microbiológicos. Tese de Doutorado. **Universidade de São Paulo**, Piracicaba – SP. 2016.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento. Gabinete do Ministro. **Portaria MAPA nº 378, de 22 de dezembro de 2021**. Regulamento Técnico que estabelece os padrões de identidade e qualidade para produtos de cervejaria
- CORREIA, S. E. G.; ALMEIDA, A. C. P. de; MARQUES, L. G. A. Potencial tecnológico da *Dalbergia Ecastophyllum*: uma prospecção de artigos e patentes. **Encontros Universitários da UFC**, v. 7, n. 14, 2022. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufc.br/eu/article/view/89559>>. Acesso em: 5 out. 2024.
- DENBY, C. M.; LI, R. A.; VU, V. T.; COSTELLO, Z.; LIN, W.; CHAN, L. J. G.; KEASLING, J. D. Industrial brewing yeast engineered for the production of primary flavor determinants in hopped beer. **Nature communications**, v.9, n.1, p.1-10, 2018. Disponível: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03293-x>.
- FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. (Ed.). Anthocyanins as food colors. New York: Academic Press, 1982. p. 181-207.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: **Instituto Adolfo Lutz**, 2008.

JACOBSON, J. L. Introduction to wine laboratory practices and procedures. New York, NY: **Springer Science Business Media** Editora. 2006. 390p

LANFER-MARQUEZ, U. M. O papel da clorofila na alimentação humana: uma revisão. *Rev. Bras. Cienc. Farm.*, v. 39, n. 3, jul./set. 2003.

LANFER-MARQUEZ, U. M. O papel da clorofila na alimentação humana: uma revisão. *Rev. Bras. Cienc. Farm.*, v. 39, n. 3, jul./set. 2003.

LUSTOSA, Sarah R. Própolis: atualizações sobre a química e a farmacologia. *Revista Brasileira de Farmacologia*. 18 (3): 447 – 454p. agosto, 2008.

MAGALHÃES, J. G. Maturação de uma cerveja artesanal em barrica de carvalho: caracterização química e sensorial .Dissertação de mestrado. **Universidade do Minho**, 2015.

MELNIKOV, G. M. D. Estudo cinético do processo fermentativo de produção de cervejas em mostos concentrados. Lorena, Programa de Pós-graduação em Biotecnologia Industrial. **Dissertação de mestrado**, 112 p, FEQL, 2002.

MORAIS, Daniel Vieira de. Davlergia ecastaphyllum (L.) Taub. Do estado da Bahia, Brasil: caracterização populacional das propriedades biológicas. **Dissertação de mestrado** – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas, 2016.

NASCIMENTO, Jessica Ferreira do. **ESTUDO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE MADEIRAS ADVINDAS DO CERRADO PARA APLICAÇÃO EM ENVELHECIMENTO DE CERVEJA**. Trabalho de conclusão de curso. Brasília, UNB. 2017.

NETO, Dorival M. Coelho et al.. ESTUDO DO PERFIL QUÍMICO DE CERVEJAS BRASILEIRAS: UMA AVALIAÇÃO ENTRE AS BEBIDAS ARTESANAIS E INDUSTRIAIS. *Química Nova*, 45(5), 518–530.

PACHECO, Ana Flávia Coelho et al. INCORPORAÇÃO DE ANTOCIANINAS EM EMBALAGENS INTELIGENTES: UMA REVISÃO DO POTENCIAL AGENTE INDICADOR DE pH PARA DETECTAR O FRESCOR DO LEITE. *Pesquisas E Avanços Em Química Dos Produtos Naturais*. **Agron Science**. 2023.

PEREIRA, C. C. B. Desenvolvimento, caracterização e atividade antioxidante de cerveja artesanal contendo amarantho. 2022. 64f. Monografia (Engenharia Química) - **Universidade Federal de São Paulo**, Diadema/SP, 2022.

PINTO, L. Í. F. ; ZAMBELLI, R. A. ; SANTOS JUNIOR, E. C. ; LIMA, D. P. e/ou PONTES, D. F. . Desenvolvimento de Cerveja Artesanal com Acerola (*Malpighia emarginata* DC) e Abacaxi (*Ananas comosus* L. Merrill). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável** , v. 10, p. 67-71, 2015.

PIRES, E. J.; TEIXEIRA, J. A.; BRÁNYIK, T.; VICENTE, A. A. Yeast: the soul of beer's aroma—a review of flavour-active esters and higher alcohols produced by the brewing yeast. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v.98(5), p.1937-1949, jan/2014.

SANTOS, V. M. A. C.; FERREIRA, M. C.; LAMEIRA, O. A. *Dalbergia* spp. **Embrapa**. Disponível em: <
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1144683/1/Plantas-para-o-Futuro-Norte-1048-1056.pdf>> . Acesso em: 5 out. 2024.

SILVA, F.A.S. A; AZEVEDO, C.A.V.. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina Grande, v.4, n.1, p.71-78, 2002.

SILVA, Larissa da Silva Santos. **Desenvolvimento de cerveja adicionada de extratos de própolis**. 2023. 138 f. Dissertação (Mestrado Gestão em Sistemas Agroindustriais) - Centro de Ciências e Tecnologias Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba, Brasil, 2023.

SILVELLO, GC , Bortoletto, AM e Alcarde, AR (2020) The barrel aged beer wheel: a tool for sensory assessment . **J.Inst. Brewing.**, 126 : 382-393.

SILVELLO, GC , Bortoletto, AM e Alcarde, AR (2020) The barrel aged beer wheel: a tool for sensory assessment . **J.Inst. Brewing.**, 126 : 382-393.

SILVELLO, Giovanni Casagrande. Qualidade química e sensorial de cerveja envelhecida em barris de diferentes madeiras. Dissertação de mestrado, **Universidade de São Paulo. Piracicaba**, 2019.

SOUSA, Vitória Magalhães; FOGAÇA, Larissa Costa Silva. Perfil físico-químico de cervejas artesanais e industriais e adequação dos rótulos quanto à sua graduação alcoólica. **Revista Multidisciplinar e de Psicologia**, v. 13, n. 43, p. 440-447, 2019.

STREIT, N. M. et al. As clorofilas. **Cienc. Rural**, v. 35, n. 3, jun. 2005.

UENOJO, M.; MARÓSTICA JUNIOR, M. R.; PASTORE, G. M. Carotenóides: propriedades, aplicações e biotransformação para formação de compostos de aroma. **Quím. Nova**, v. 30, n. 3, jun. 2007.

VARGAS, Guilherme C. ESTUDO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS COMPOSTOS FENÓLICOS NA MEDICINA PREVENTIVA: REVISÃO DE LITERATURA. **Visão Acadêmica, Curitiba**, v.23 n.1, Jan. - Mar. /2022 - ISSN 1518-8361.

VASCONCELOS, N. M.; PINTO, G.A.S.; ARAGAO, F. A. S. de. Determinação de açúcares redutores pelo ácido 3,5-dinitrosalicílico: histórico do desenvolvimento do método e estabelecimento de um protocolo para o laboratório de bioprocessos. Fortaleza: **Embrapa Agroindústria Tropical**, 2013. (Embrapa Agroindústria Tropical. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 87).

WALKER, G.; STEWART, G. *Saccharomyces cerevisiae* in the Production of Fermented Beverages. *Beverages*, v.2(4), nov/2016.

WATERHOUSE, A. Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, p. 3-5, 2006.

WHITE, C. Yeats: the practical guide to beer fermentation. New York: **Brewes Publications**. 2010. 226p.