

## Cinética do processo fermentativo do suco de abacaxi: abordagem físico-química

### *The kinetics of the pineapple juice fermentation process: A physicochemical approach*

*Barbara Caroline Nunes de Souza<sup>1</sup>; Lia Lucia Sabino<sup>2</sup>; Matheus Felipe de Oliveira Silva<sup>3</sup>; Maurício Bonatto Machado de Castilhos<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Graduada em Tecnologia de Alimentos, Universidade do Estado de Minas Gerais, Frutal, barbaracarolini13@gmail.com; <sup>2</sup>Mestranda em Ciências Ambientais, Universidade do Estado de Minas Gerais, Frutal, lialsabino@gmail.com; <sup>3</sup>Mestrando em Ciências Ambientais, Universidade do Estado de Minas Gerais, Frutal, matheustecnologo@gmail.com; <sup>4</sup>Doutor em Engenharia e Ciência de Alimentos, Universidade do Estado de Minas Gerais, Frutal, mauricio.castilhos@uemg.br

#### ARTIGO

Recebido: 25/09/2021  
 Aprovado: 12/03/2022

#### Palavras-chave:

Fermentação alcoólica  
 Propriedades físico-químicas  
 Bebida fermentada

#### RESUMO

A composição química das bebidas fermentadas é determinante para delinear suas características sensoriais, sendo estas dependentes do cultivo da fruta, do processamento, da estabilização, do armazenamento e das características intrínsecas da região produtora. A fermentação alcoólica é um processo bioquímico de relevância para a produção de bebidas com características químicas e sensoriais únicas e a análise do comportamento fermentativo promove condições reais de controle deste processo para maximizar a qualidade da bebida produzida. O presente trabalho teve o objetivo de estudar a cinética de fermentação do suco de abacaxi pérola e havaiano, comercializado no município de Frutal, Minas Gerais, determinando as suas propriedades físico-químicas com o objetivo de observar os parâmetros necessários para otimizar o controle do processo fermentativo. As bebidas apresentaram elevada acidez (máximo de 41,7 g/L em ácido cítrico) e extrato seco (47,7 g/L após a fermentação) resultando em bebidas encorpadas. Todas as bebidas foram classificadas como secas (teor de açúcar redutor abaixo de 4 g/L), teor alcoólico máximo de 7,93 % v/v (Pérola) e 5,10 % v/v (Havaiano) e com teor elevado de fenólicos totais (máximo de 1049 mg/L para o Pérola e 852 mg/L para o Havaiano) pressupondo elevada capacidade antioxidante. Os parâmetros cinéticos mostraram que o tempo de 72 horas após o início da fermentação alcoólica pode ser considerado como necessário para a consolidação do processo fermentativo.

#### ABSTRACT

The chemical composition of fermented beverages is determinant to delineate their sensory characteristics since they are dependent on the fruit cultivation, processing, stabilization, storage, and the intrinsic characteristics of the producing region. Alcoholic fermentation is a biochemical process of relevance for the production of beverages with unique chemical and sensory features and the analysis of the fermentative behavior promotes real conditions to control this process to maximize the quality of the produced beverage. The present project aimed at studying the fermentation kinetics of the Pearl and Hawaiian pineapple juices, commercialized in the city of Frutal/MG, determining their physical-chemical properties to observe the necessary parameters to optimize the control of the fermentative process. The beverages showed high acidity (maximum 41.7 g/L in citric acid) and dry extract (47.7 g/L after fermentation), resulting in full-bodied beverages. All beverages were classified as dry (reducing sugar content below 4 g/L), the maximum alcohol content of 7.93 % v/v (Pearl) and 5.10 % v/v (Hawaiian), and with high total phenolic content (maximum of 1,049 mg/L for Pearl and 852 mg/L for Hawaiian) assuming high antioxidant capacity. The kinetic parameters obtained showed that 72 hours after the start of alcoholic fermentation can be considered as a cutoff time for the consolidation of the fermentative process.

#### Key words:

Alcoholic fermentation  
 Physicochemical properties  
 Fermented beverage

## INTRODUÇÃO

O estado de Minas Gerais se destaca no panorama de produção de frutos tropicais, principalmente na produção de abacaxi (*Ananas comosus*), uma das frutas com maior índice de produção na região do Triângulo Mineiro. Em 2019, o Brasil produziu mais de 1,6 bilhões de abacaxis, sendo os estados do Pará (311,9 milhões de frutos produzidos), Paraíba (307,1 milhões de frutos produzidos) e Minas Gerais (179,2 milhões de frutos produzidos) os que apresentaram maior produção da fruta (EMBRAPA, 2019). O município de Frutal responde por 69 milhões de frutos produzidos, ocupando o primeiro lugar em produção dos municípios do estado de Minas Gerais e o quarto município com maior produção de abacaxi no Brasil (EMBRAPA, 2019).

Os frutos ou vegetais que possuem umidade, açúcar e nutrientes como ácidos orgânicos e meio ácido estável para o metabolismo das leveduras servem como matéria-prima para a produção de bebidas fermentadas. Sendo assim, o abacaxi é um forte candidato, uma vez que apresenta quantidade considerável de fibras, pectina, vitamina A e C, beta-caroteno, proteínas e elevada capacidade antioxidante devido a elevada concentração de compostos fenólicos (MELO et al., 2008). Além disso, trata-se de uma fruta com características sensoriais atraentes como boa textura, cor atrativa e sabor com elevada aceitação pelos consumidores, sendo considerada uma fruta tropical com potencial comercial (RAMALLO; MASCHERONI, 2012); entretanto não há estudos que mostrem o potencial fermentativo dessa fruta, considerando a possibilidade de produção de uma bebida fermentada de qualidade sensorial e com potencial comercial.

A fermentação alcoólica é uma prática empregada desde a antiguidade na obtenção de alimentos e bebidas, apresentando diferenças concernentes à tecnologia e ao conhecimento científico. O desenvolvimento do conhecimento científico no que se refere à fermentação alcoólica contribuiu para o controle de variáveis e efeitos que degradavam o produto final, eliminando assim as interferências nocivas (VENTURINI, 2016; JACKSON, 2014). A principal levedura que realiza este tipo de processo é a *Saccharomyces cerevisiae*, amplamente utilizada na fabricação de cervejas e vinhos; entretanto, outras leveduras estão sendo alvo de estudos para a aplicação em bebidas fermentadas como a *Dekkera/Brettanomyces*, por exemplo, que produz compostos voláteis secundários que, dependendo da concentração, podem ser considerados off-flavors ou promover um aporte floral que apresentam um aporte floral e frutado para a bebida como o 4-etilfenol e 4-etilguaicol (HOLT et al., 2018).

O processo de fermentação alcoólica é dependente de fatores como temperatura, agitação, tempo e quantidade suficiente de nutrientes no meio para que as leveduras fermentativas se desenvolvam e cumpram o seu papel de degradar o substrato para a formação de compostos primários e secundários. O comportamento da levedura neste meio é de relevante análise para que o processo fermentativo seja otimizado a fim de controlar fatores que possam contribuir para a formação de compostos químicos que promovam resultados indesejados no âmbito sensorial. Além disso, o estudo do

comportamento da levedura também possibilita maior controle do processo fermentativo, a fim de melhorar as características químicas e sensoriais da bebida fermentada produzida (PARENTE et al., 2014)

A cinética de fermentação é estudada com o objetivo de medir as taxas de transformações da biomassa microbiana em função de variáveis independentes como tempo e concentração de substrato, por exemplo; além de prever por meio de equações empíricas ou modelos matemáticos a dinâmica da concentração celular, a metabolização do substrato e a produção de etanol, além de relacionar estes resultados com as propriedades físico-químicas para melhor controle do bioprocessamento. Neste contexto, o estudo da cinética de fermentação de bebidas fermentadas por *Saccharomyces cerevisiae* se torna um assunto a ser explorado, visto que inúmeras matrizes podem ser utilizadas para a elaboração de bebidas fermentadas, sendo que cada uma delas, com suas peculiaridades, apresentará um perfil diferenciado (RABELO et al., 2019).

A ideia do estudo da cinética fermentativa é entender o processo fermentativo na sua essência com a finalidade de produzir bebidas fermentadas com maior qualidade sensorial, proporcionando maior controle das variáveis químicas e promovendo maior rendimento na produção (RABELO et al., 2019). Estudos que abordam a cinética fermentativa do mosto da uva são comuns na literatura (CIOCH-SKONECZNY et al., 2020; TODESCATO et al., 2011; MIRANDA CASTILLEJA et al., 2017); entretanto há carência de estudos científicos que avaliem a cinética de fermentação de outras matrizes complexas como o abacaxi e outras frutas tropicais que apresentam o potencial para produzir bebidas de qualidade e que podem ser comercializadas e bem aceitas pelos consumidores brasileiros.

O objetivo deste artigo foi determinar a cinética do processo fermentativo de bebidas fermentadas de abacaxi de duas variedades (Pérola e Havaiano) através de suas propriedades físico-químicas. O conhecimento do comportamento das propriedades físico-químicas ao longo do processo fermentativo possibilitará maior controle do processo, garantindo maior qualidade sensorial à bebida.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos seguiram, em todos os tratamentos, o processo de fermentação alcoólica previamente descrito por Castilhos et al. (2015) e Castilhos et al. (2013). Os abacaxis foram descascados, cortados e triturados para a extração do suco. O suco foi tratado com metabissulfito de potássio na proporção de 10 g para cada 100 Kg de abacaxi em reatores fermentativos de 10 L com a finalidade de evitar possíveis contaminações microbianas. A fermentação alcoólica foi induzida pela inoculação de 200 ppm de levedura seca ativa *Saccharomyces cerevisiae*. Após a inoculação da levedura, o volume total de suco dividido em 12 frascos de 160 mL cada, sendo que cada um destes foi responsável por um determinado tempo de fermentação (em horas): 0, 6, 12, 24, 36, 48, 72, 96, 120, 144, 168, 192 horas.

Todos os frascos foram mantidos hermeticamente fechados com batoques hidráulicos para possibilitar a saída do anidrido carbônico resultante do processo fermentativo e evitar

a entrada de oxigênio do ambiente para o interior do reator promovendo a oxidação do etanol, já que é um efeito indesejado do processo. Após alcançar o tempo de fermentação, os mostos em fermentação foram submetidos a uma nova dose de metabisulfato de potássio na concentração de 8 g/L para evitar o prosseguimento da fermentação alcoólica e foram acondicionados em ambiente refrigerado para garantir a minimização da atividade fermentativa das leveduras ainda ativas. Em cada um dos tempos analisados foram realizadas as análises físico-químicas.

As análises físico-químicas realizadas foram: acidez total e volátil (g/L em ácido cítrico e acético, respectivamente) com uso de pHmetro, aparato para titulometria e destilador Tecnal (TE0363) (AOAC, 2005); extrato seco total (g/L) utilizando banho termostático a 100 °C e estufa a 105 °C até peso constante (AOAC, 2005); açúcares redutores utilizando Redutec Tecnal (TE0861) baseado no método de Lane-Eynon com redução de íons cobre a partir da solução de Fehling (AOAC, 2005); teor alcoólico (% v/v) utilizando densímetro digital (Anton Paar®) (AOAC, 2005) e teor de fenólicos totais (mg/L de ácido gálico) pelo método de Folin-Ciocalteu com emprego de espectrofotômetro de absorvância a 765 nm (SLINKARD; SINGLETON, 1977). Todas as propriedades físico-químicas foram determinadas em triplicata.

Todos os dados obtidos foram comparados mediante a aplicação da Análise de Variância (ANOVA) com posterior teste de comparação múltipla de Tukey quando  $P < 0,05$ . O software utilizado para essas análises foi o Minitab 17 (Minitab Inc.). O nível de significância aplicado para todos os testes foi de 0,05 (ou 5 %).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados da Tabela 1, a acidez total apresentou diferenças significativas quando os tempos avaliados em estudo cinético foram comparados em ambas variedades de abacaxi ( $P=0,001$ ). A acidez total variou de 7,7 (6 h) a 10,3 g/L (48 h) para a bebida fermentada de abacaxi pérola e de 8,6 (48 h) a 41,7 g/L (192 h) para a bebida fermentada de abacaxi havaiano. Os resultados de acidez total da variedade pérola estão de acordo com a legislação (BRASIL, 2014), entretanto, os valores de acidez total da variedade havaiano estão significativamente acima dos preconizados pela legislação brasileira. Bebidas elaboradas a partir da fermentação alcoólica da jabuticaba foram consideradas de alta acidez com valores acima de 9,5 g/L (SILVA; ROGEZ, 2013). Nas bebidas a base de framboesa elaboradas por Li et al. (2019), o valor de acidez total encontrado foi ainda maior (16,75 g/L).

**Tabela 1.** Resultados físico-químicos para as bebidas fermentadas de abacaxi pérola e havaiano em relação aos tempos de fermentação.

Tempo (horas)	Acidez total (g/L) <sup>1</sup>		Acidez volátil (g/L) <sup>1</sup>		Extrato Seco (g/L) <sup>1</sup>	
	Pérola	Havaiano	Pérola	Havaiano	Pérola	Havaiano
0	7,8±0,07 c	10±0,44 g	0,2±0,06 bcd	0,5± 0,03 h	120,1±1,56 a	119,1± 0,49 c
6	7,7±0,15 c	10,7±0,22 g	0,1±0,03 d	0,5±0,03 h	116,7±0,74 b	121,3±1,16 b
12	7,9±0,14 c	10,4±0,15 g	0,2±0,03 bcd	0,5±0,19 h	122,1±1,53 a	124,4±0,87 a
24	8,2±0,04 bc	10,4±0,12 g	0,2±0,05 cd	0,5±0,59 h	122,6±2,24 a	119,1±1,12 c
36	8,6±0,27 b	10,8±0,46 g	0,2±0,03 bcd	0,8±0,32 h	94,8±0,76 c	99,7±0,54 d
48	10,3±0,18 a	8,6±0,41 h	0,3±0,03 abc	3,8±0,12 g	55,7±1,79 d	63,3±0,29 e
72	7,8±0,15 c	15,3±0,15 f	0,3±0,03 ab	8,2±0,14 f	26,4±0,10 e	49,6±0,63 f
96	7,9±0,11 c	17,2±0,15 e	0,4±0,03 a	9,7±0,27 e	25,8±0,21 e	50±0,50 f
120	8,1±0,22 c	22,1±0,19 d	0,4±0,06 a	13,9±0,42 d	26,7±0,01 e	49,7±0,27 f
144	8,1±0,11 c	27,3±0,26 c	0,4±0,03 a	18,1±0,34 c	25,9±0,73 e	47,5±0,34 g
168	8,1±0,11 bc	32,8±0,15 b	0,4±0,03 a	22,6±0,90 b	26,9±0,04 e	47,4±0,47 g
192	7,8±0,18 c	41,7±0,29 a	0,4±0,06 a	29,1±0,64 a	26,4±0,80 e	47,7±0,15 g
Valor P <sup>1</sup>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

<sup>1</sup>Valor P referente ao teste de Análise de Variância com teste post-hoc de Tukey a  $P < 0,05$ . Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas a  $P < 0,05$  pelo teste de comparação múltipla de médias.

Analisando o comportamento da acidez total, é possível observar que esta aumenta de forma significativa no tempo 48 horas para o abacaxi pérola, mostrando que a fermentação alcoólica pode ter formado ácidos importantes para a bebida fermentada. A diminuição deste valor no tempo posterior de 72 horas indica que esses ácidos podem ter sido metabolizados para a formação de compostos voláteis importantes para a bebida, sendo esta reação mediada principalmente pela levedura *Saccharomyces cerevisiae* utilizando o mecanismo da acetil-coenzima A (Acetil CoA) (JACKSON, 2014).

A acidez volátil das bebidas fermentadas indica a sanidade da bebida de acordo com a legislação, o qual apresenta valor inferior a 1,2 g/L de ácido acético. Neste estudo cinético em

ambas as variedades de abacaxi, a acidez volátil apresentou diferenças significativas quando os tempos foram comparados ( $P=0,001$ ). A acidez volátil variou de 0,1 (6 h) a 0,4 g/L (192 h) na bebida elaborada com abacaxi pérola e de 0,5 (6 h) a 29,1 g/L (192 h) na bebida produzida pelo abacaxi havaiano. Este resultado pressupõe possível contaminação por bactérias acéticas na bebida fermentada de abacaxi havaiano, já que os resultados de acidez volátil ultrapassaram o limite máximo preconizado pela legislação. Entretanto, esse resultado é passível de análise criteriosa por meio da aplicação de técnicas de cromatografia líquida de alta eficiência, a fim de observar se a incidência desses ácidos voláteis está relacionada com a matriz propriamente dita.

Essa pressuposição tem certo fundamento, pois uma breve análise sensorial foi realizada e verificou-se que as bebidas não apresentaram sinais de avaria sensorial, evidenciando a presença de possíveis ácidos voláteis advindos da matriz, ou produzidos pela fermentação alcoólica, que foram contabilizados pela técnica analítica de acidez volátil. Analisando o comportamento da acidez volátil, é possível observar aumento de forma significativa no tempo 48 horas para o abacaxi havaiano, evidenciando que a grande produção de ácidos voláteis iniciou no ápice da fermentação alcoólica, aumentando significativamente sua concentração nos tempos posteriores. Os resultados de acidez volátil da variedade pérola apresentaram-se de acordo com a legislação (BRASIL, 2014).

Estudos mostram variações significativas na acidez volátil de bebidas fermentadas de matrizes diferenciadas como melão e banana. Nos fermentados alcoólicos de melão a variação da acidez volátil foi expressiva, mostrando que a acidez volátil da bebida fermentada produzida com melão amarelo 4,59 mEq/L e a de melão cantaloupe de 40,08 mEq/L, sendo essa diferença atribuída ao tempo de fermentação (BESSA et al., 2018). Em bebidas fermentadas de banana, Arruda et al. (2007) observaram acidez volátil variando de 17,50 e 9,93 mEq/L de ácido acético, nas temperaturas de 30 e 16 °C, respectivamente, pressupondo efeito da temperatura no metabolismo das leveduras, contribuindo para o aumento da acidez volátil.

O extrato seco apresentou diferenças significativas quando comparado ao tempo avaliado em estudo cinético para ambas as variedades de abacaxi ( $P < 0,001$ ). O extrato seco da bebida da variedade pérola variou de 122,6 g/L (34 h) a 25,9 g/L (144 h) e da variedade havaiano variou de 124,4 (12 h) a 47,4 g/L (168 h). Em ambos, apresentou-se elevado extrato seco até 36 horas do início do processo fermentativo, evidenciando que após esse período, a fermentação iniciou de forma tumultuosa, metabolizando os açúcares e formando etanol, diminuindo o extrato seco das bebidas de ambas as variedades de abacaxi. Li et al. (2019) observaram extrato seco no fermentado de framboesa em torno de 43,1 g/L, valor similar ao encontrado na bebida fermentada elaborada com abacaxi havaiano. Castilhos

et al. (2016) estudaram vinhos tintos elaborados por processos alternativos de vinificação e observaram extrato seco em torno de 47,89 g/L para vinhos produzidos por cultivares BRS Violeta que foram submetidas a processo de secagem pré-vinificação.

O extrato seco é uma propriedade físico-química que está diretamente relacionada com os compostos químicos fixos da bebida fermentada, sendo os açúcares (redutores ou não redutores) os principais representantes. A redução significativa do extrato seco ao longo do processo fermentativo foi esperada, já que as leveduras consomem os açúcares como substrato para a produção de etanol, principal bioproduto da fermentação alcoólica. De acordo com Zoecklein et al. (1994), vinhos com teor de extrato seco entre 20 e 30 g/L apresentam-se como leves ao paladar, enquanto que vinhos com teor de extrato seco superior a 30 g/L podem ser considerados encorpados. Os resultados finais indicam que a bebida fermentada produzida com abacaxi pérola pode ser classificada como uma bebida leve, pois apresentou teor de extrato seco final de 26,4 g/L; e a bebida fermentada produzida pelo abacaxi havaiano pode ser considerada uma bebida de elevado corpo, já que o extrato seco final resultou em 47,7 g/L.

De acordo com a Tabela 2, as bebidas apresentaram diferenças significativas quando o teor de açúcar redutor foi comparado em relação ao tempo avaliado ( $P < 0,001$ ). O açúcar redutor variou de 34,2 (6 h) a 1,5 g/L (192 h) para a bebida fermentada da variedade pérola e de 28,3 (24 h) a 2,0 g/L (120 h) para a bebida fermentada da variedade havaiano. Em ambos os casos, as bebidas apresentaram elevado teor de açúcar redutor até 36 horas do início do processo fermentativo, evidenciando que após esse período, a fermentação iniciou de forma tumultuosa, metabolizando os açúcares e formando etanol, diminuindo a concentração de açúcar das bebidas de ambas as variedades de abacaxi. Este resultado foi considerado dentro das expectativas pelos analistas, já que o perfil cinético pressupõe que a fermentação alcoólica iniciou em 36 horas e terminou em 72 horas, atingindo a concentração mínima de açúcar redutor nesse período e permanecendo nessa concentração até 192 horas após o início do processo fermentativo (JACKSON, 2014).

**Tabela 2.** Resultados físico-químicos para as bebidas fermentadas de abacaxi pérola e havaiano em relação aos tempos de fermentação.

Tempo (horas)	Açúcar redutor (g/L) <sup>1</sup>		Fenólicos totais (mg/L) <sup>1</sup>		Teor alcoólico (% v/v)	
	Pérola	Havaiano	Pérola	Havaiano	Pérola	Havaiano
0	30,2± 3,27 a	26,9±2,34 a	985±195 abc	808±8,59 ab	1,16±0,05 d	0,33±0,05 f
6	34,2±3,44 a	23,9±2,47ab	1049±21,7 a	671±55,2 cde	1,23±0,05 d	0,36±0,05 f
12	31,6±5,84 a	24,9±2,01ab	997±27,9 ab	708±5,56 bcd	1,20±0,00 d	0,40±0,10 f
24	34,2±3,44 a	28,3±5,67 a	955±54,2 abcd	584±13,59 e	1,30±0,00 d	0,56±0,20 f
36	32,1±3,27 a	25,9±4,09 a	999±47,3 ab	575±44,1 e	1,30±0,00 d	1,60±0,10 e
48	21,8±2,20 b	18±1,91 b	887±34,2 abcd	646±12,63 de	2,43±0,05 c	3,73±0,25 bc
72	1,7±0,02 c	3,2±0,32 c	801±43,6 bcd	806±14,15 ab	7,60±0,34 ab	5,10±0,36 a
96	1,6±0,04 c	3,5±0,21 c	744±54,5 d	852±60,6 a	7,76±0,23 ab	4,76±0,30 a
120	1,6±0,02 c	2,0±0,15 c	768±49,0 bcd	847±19,5 a	7,93±0,05 a	4,06±0,23 b
144	1,5±0,07 c	2,1±0,28 c	762±106 cd	830±13,41 a	7,40±0,26 b	3,43±0,25 c
168	1,5± 0,02 c	2,3±0,65 c	807±94,5 bcd	756±13,18 abcd	7,70±0,10 ab	2,80±0,17 d
192	1,5± 0,11 c	2,3±0,54 c	840±49,3 abcd	773±81,3 abc	7,70±0,26 ab	1,76±0,05 e
Valor P <sup>1</sup>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

<sup>1</sup>Valor P referente ao teste de Análise de Variância com teste post-hoc de Tukey a  $P < 0,05$ . Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas a  $P < 0,05$  pelo teste de comparação múltipla de médias.

Bebidas fermentadas com teor de açúcar redutor abaixo de 4 g/L são consideradas bebidas secas (BRASIL, 2014). Neste caso, as bebidas fermentadas de abacaxi produzidas pelas variedades pérola e havaiano podem ser consideradas do tipo seca, pois o teor de açúcares redutores, no final do processo fermentativo, foi de 1,5 g/L e 2,3 g/L, respectivamente. Alvarenga (2014) relatou que a presença de resíduos do abacaxi influenciaram significativamente no teor de açúcares residuais de bebidas fermentadas, mostrando que quanto maior a proporção de cascas presentes na bebida, maior o teor de açúcares redutores. Esse fenômeno pode ser explicado pela maior dificuldade das leveduras encontrarem o seu específico substrato para metabolizá-lo em etanol, devido à maior proporção de cascas existentes no reator.

A análise do teor de fenólicos totais indica o potencial antioxidante da bebida e é um fator que pode ser considerado benéfico para os consumidores. Os compostos fenólicos apresentam elevada capacidade antioxidante com benefícios nutricionais, diminuindo a probabilidade de doenças coronárias, cânceres e ajudando no combate ao elevado colesterol (LDL) e elevados níveis de triglicérides sérico (CASTILHOS et al., 2015; MORAIS et al., 2015). As bebidas apresentaram diferenças significativas quando comparadas em relação ao tempo avaliado ( $P < 0,001$ ). O teor de fenólicos totais variou de 744 (96 h) a 1049 mg/L (6 h) para a bebida fermentada da variedade pérola e de 575 (36 h) a 852 mg/L (96 h) para a bebida fermentada da variedade havaiano.

Os compostos fenólicos são substâncias produzidas através do caminho bioquímico do fenilpropanoide, ou seja, eles apresentam o aminoácido fenilalanina como precursor comum. O processo bioquímico de formação desses compostos se inicia com a transformação irreversível da glicose em glicose-6-fosfato que, por sua vez, é transformada em ribulose-6-fosfato através da via pentose fosfato pela ação da enzima glicose-6-fosfato desidrogenase. A partir da formação da ribulose-6-fosfato, duas vias bioquímicas são formadas: uma delas direcionando a formação do fosfato de dinucleotídeo de nicotinamida e adenina (NADPH), e outra via formando eritrose-4-fosfato sintetizado pelo seu precursor fosfoenolpiruvato sintetizado pela glicólise. A eritrose-4-fosfato é então direcionada pela via do ácido chiquímico para a produção de fenilalanina, aminoácido precursor dos compostos fenólicos (HORNEDO-ORTEGA et al., 2020; LIN et al., 2018).

Estudos mostram que o teor de compostos fenólicos em bebidas fermentadas varia de forma considerável de acordo com a matriz fermentada. Castilhos et al. (2016) observaram teores de fenólicos totais em vinhos produzidos com as cultivares Bordô, Isabel, BRS Violeta e BRS Carmem em torno de 1446,4 mg/L, 675,7 mg/L, 1702,7 mg/L e 1515,9 mg/L, respectivamente. É possível observar que os teores de compostos fenólicos variam de forma considerável de acordo com o tipo de matriz utilizada na produção de bebida fermentada.

O comportamento do teor alcoólico das bebidas fermentadas analisadas variou de forma considerável, já que essa propriedade físico-química apresentou um comportamento ascendente na bebida fermentada produzida com o abacaxi pérola, aumentando seus valores até atingir um teor alcoólico

máximo em 120 horas após o início do processo fermentativo (7,93 %v/v), mantendo-se constante em 7,70 %v/v após esse período. Em contrapartida, o teor alcoólico da bebida fermentada produzida pelo abacaxi havaiano apresentou valor máximo de 5,10 %v/v em 72 horas após o início do processo fermentativo, decaindo de forma gradativa após esse período, atingindo o valor de 1,76 %v/v em 192 horas após o início da fermentação. O comportamento visualizado na bebida elaborada com o abacaxi pérola é esperado, já que o etanol produzido pela fermentação alcoólica não se perde ao longo do processo e se mantém solúvel no meio aquoso. O objetivo da fermentação alcoólica é produzir etanol até a levedura consumir o máximo de substrato e, também, até o teor alcoólico atingir limites que possibilitem o efeito *killer* nas leveduras, fato este que possibilita o término da produção de etanol.

O teor alcoólico máximo da bebida fermentada produzida pelo abacaxi havaiano foi inferior ao teor alcoólico máximo atingido pela bebida fermentada produzida pelo abacaxi pérola e este fato pode ser explicado pela possível contaminação do mosto com outras leveduras do gênero *Dekkera/Brettanomyces* que são conhecidas por apresentar a capacidade de metabolizar o açúcar destinado à fermentação através do mecanismo de respiração aeróbia e não pela fermentação propriamente dita (OZTURK; ANLI, 2014). Além disso, a formação de álcoois de uma forma geral é mediada por dois mecanismos, um deles pela sua síntese através de aminoácidos pela reação de Ehrlich ou pela síntese direta via metabolismo dos açúcares pela levedura. Sendo assim, o perfil de aminoácidos da matriz é um fator que influencia diretamente a produção de álcoois na fermentação alcoólica (ZHANG et al., 2020).

Outra possível explicação ao declínio gradual do teor alcoólico na fermentação da bebida produzida pelo abacaxi havaiano está vinculada à possível contaminação do mosto por bactérias acéticas que degradaram o etanol para a formação de ácido acético (JACKSON, 2014). Esse resultado pode ser viável e corrobora com o aumento da acidez volátil desta bebida após 72 horas do início da fermentação alcoólica. Entretanto, estudos mais aprofundados necessitam ser realizados para elucidar esse fenômeno atípico.

## CONCLUSÕES

As propriedades físico-químicas de bebidas fermentadas de abacaxi pérola e havaiano são influenciadas pelo tempo de fermentação alcoólica, sendo que os tempos de 36 a 72 horas indicaram a consolidação do bioprocessamento de fermentação alcoólica em ambas as variedades de abacaxi. As bebidas fermentadas elaboradas pela cultivar havaiano apresentaram maiores teores de acidez volátil. O processo de fermentação alcoólica do suco de abacaxi pode ser considerado consolidado às 72 horas após o início da fermentação alcoólica.

## AGRADECIMENTO

Os autores agradecem o Programa Institucional de Apoio à Pesquisa (PAPq/UEMG) pela bolsa concedida.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, L. M. Fermentado alcoólico e acético de polpa e casca de abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merrill): Cinética das Fermentações e caracterizações dos produtos. 2014. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.
- AOAC, Association of Official Agricultural Chemists. Official methods of analysis of the AOAC International. Washington, 2005, 1141p.
- ARRUDA, A. R.; CASIMIRO, A. R. S.; GARRUTI, D. S. ABREU, F. A. P. Caracterização físico química e avaliação sensorial de bebida fermentada alcoólica de banana. *Revista Ciência Agronômica*, v. 38, n. 4, p. 377 – 384, 2007.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA. Decreto n. 8.198, de 20 de fevereiro de 2014. Regulamenta a Lei, n. 7.678, de 8 de novembro de 1988, que dispõe sobre a produção, circulação e comercialização do vinho e derivados de uva e do vinho. Diário Oficial da União da República Federativa do Brasil, Brasília, 2014.
- BESSA, M. A. D.; OLIVEIRA, E. N. A.; FEITOSA, B. F.; FEITOSA, R. M.; ALMEIDA, F. L. C.; NETO, J. O. O. Bebida alcoólica fermentada de melão (*Cucumis melo* L.): processamento e caracterização. *Brazilian Journal of Food Technology*, Campinas, v. 21, 2018. [10.1590/1981-6723.21717](https://doi.org/10.1590/1981-6723.21717)
- CASTILHOS, M. B. M.; CATTELAN, M. G.; CONTI-SILVA, A. C.; DEL BIANCHI, V. L. Influence of two different vinification procedures on the physicochemical and sensory properties of Brazilian non-Vitis vinifera red wines. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, London, v. 54, n. 2, p. 360-366, 2013. [10.1016/j.lwt.2013.06.020](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.06.020)
- CASTILHOS, M. B. M.; CORRÊA, O. L. S.; ZANUS, M. C.; MAIA, J. D. G.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GARCÍA-ROMERO, E.; DEL BIANCHI, V. L.; HERMOSÍNGUTIÉRREZ, I. Pre-drying and submerged cap winemaking: effects on polyphenolic compounds and sensory descriptors. Part II: BRS Carmem and Bordô (*Vitis labrusca* L.). *Food Research International*, v. 76, n. 3, p. 697-708, 2015. [10.1016/j.foodres.2015.07.033](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.07.033)
- CASTILHOS, M. B. M.; MAIA, J. D. G.; GÓMEZ-ALONSO, S.; DEL BIANCHI, V. L.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I. Sensory acceptance drivers of pre-fermentation dehydration and submerged cap red wines produced from *Vitis labrusca* hybrid grapes. *LWT-Food Science and Technology*, v. 69, p. 82-90, 2016. [10.1016/j.lwt.2016.01.043](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.043)
- CIOCH-SKONECZNY, M.; SATORA, P.; SKONECZNY, S.; PATER, A. Determination of the oenological properties of yeasts strains isolated from spontaneously fermented grape musts obtained from cool climate grape varieties. *European Food Research and Technology*, v. 246, p. 2299-2307, 2020. [10.1007/s00217-020-03574-0](https://doi.org/10.1007/s00217-020-03574-0)
- EMBRAPA. Base de dados dos produtos, 2019. Disponível em: [http://www.cnpmf.embrapa.br/Base\\_de\\_Dados/index\\_pdf/bras\\_il/abacaxi/abacaxi\\_brasil\\_producao\\_municipios.htm](http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/bras_il/abacaxi/abacaxi_brasil_producao_municipios.htm). Acessado em: 31 Jul 2021.
- HOLT, S.; MUKHERJEE, V.; LIEVENS, B.; VERSTREPEN, K. J.; THEVELEIN, J. M. Bioflavoring by non-conventional yeasts in sequential beer fermentations. *Food Microbiology*, v. 72, p. 55-66, 2018. [10.1016/j.fm.2017.11.008](https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.11.008)
- JACKSON, R. S. Wine science: principles and applications. 4 ed. San Diego: Academic Press, 2014. 978p.
- HORNEDO-ORTEGA, R.; GONZÁLEZ-CENTENO, M. R.; CHIRA, K.; JOURDES, M.; TEISSEDE, P-L. Phenolic compounds of grapes and wines: key compounds and implications in sensory perception. In: COSME, F.; NUNES, F. M.; FILIPE-RIBEIRO, L. (Eds.). *Chemistry and Biochemistry of Winemaking, Wine Stabilization and Ageing*. IntechOpen, 2020. [10.5772/intechopen.93127](https://doi.org/10.5772/intechopen.93127)
- LI, H.; JIANG, D.; LIU, W.; YANG, Y.; ZHANG, Y.; JIN, C.; SUN, S. Comparison of fermentation behaviors and properties of raspberry wines by spontaneous and controlled alcoholic fermentations. *Food Research International*, [s. l.], 2019. [10.1016/j.foodres.2019.108801](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108801)
- LIN, X.; HU, X.; WU, W.; LIU, S.; LI, C. Evaluation of the volatile profile of wax apple (*Syzygium samarangense*) wines fermented with different commercial *Saccharomyces cerevisiae* strains. *Food Science Biotechnology*, [s. l.], 2018. [10.1007/s10068-018-0511-1](https://doi.org/10.1007/s10068-018-0511-1)
- MELO, E. A.; MACIEL, M. I. S.; LIMA, V. L. A. G.; NASCIMENTO, R. J. Capacidade antioxidante de frutas. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, v. 44, n. 2, p. 193-201, 2008. [10.1590/S1516-93322008000200005](https://doi.org/10.1590/S1516-93322008000200005)
- MIRANDA-CASTILLEJA, D. E.; ALDRETE TAPIA, J. A.; ARVIZU MEDRANO, S. M.; HERNÁNDEZ ITURRIAGA, M.; SOTO MUÑOZ, L.; MARTÍNEZ PENICHE, R. A. Growth kinetics for the selection of yeast strains for fermented beverages. In: MORATA, A.; LOIRA, I. (Eds.). *Yeast – Industrial Applications*. Intech Open, 2017. [10.5772/intechopen.70224](https://doi.org/10.5772/intechopen.70224)
- MORAIS, D. R.; ROTA, E. M.; SARGI, S. C.; SCHMIDT, E. M.; BONAFE, E. G.; EBERLIN, M. N.; VISENTAINER, J. V. Antioxidant activity, phenolics and UPLC–ESI(–)MS of extracts from different tropical fruits parts and processed peels. *Food Research International*, [s. l.], v. 77, p. 392-399, 2015. [10.1016/j.foodres.2015.08.036](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.08.036)
- OZTURK, B.; ANLI, E. Different techniques for reducing alcohol levels in wine: A review. *BIO Web of Conferences*, v. 3, p. 02012, 2014. [10.1051/bioconf/20140302012](https://doi.org/10.1051/bioconf/20140302012)
- PARENTE, G. D. L.; ALMEIDA, M. M.; DA SILVA, J. L.; DA SILVA, C. G.; ALVES, M. F. Cinética da produção do

fermentado alcoólico de abacaxi ‘pérola’ e caracterização da bebida. *Revista Verde*, Mossoró, v. 9, n. 2, p. 230 - 247, 2014.

RABELO, A. G. S.; MELO SANTOS, S. K.; QUEIROZ, G. A. Characterization and optimization of production process of alcoholic fermentation of pineapple. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 23, p. 1-8, 2019. [10.5902/2236117037891](https://doi.org/10.5902/2236117037891)

RAMALLO, L. A.; MASCHERONI, R. H. Quality evaluation of pineapple fruit during drying process. *Food and Bioproducts Processing*, [s. l.], v. 90, p. 275–283, 2012. [10.1016/j.fbp.2011.06.001](https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.06.001)

SILVA, J. J. M.; ROGEZ, H. Avaliação da estabilidade oxidativa do óleo bruto de açaí (*Euterpe oleracea*) na presença de compostos fenólicos puros ou de extratos vegetais amazônicos. *Química Nova* [online], v. 36, n. 3, p. 400-406, 2013. [10.1590/S0100-40422013000300009](https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000300009)

SLINKARD, K.; SINGLETON, V. L. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, Davis, v. 28, p. 49-55, 1977.

TODESCATO, D.; CATARINA, L. S.; FORTES, L. D.; LOPES, T. J.; DA SILVA, A.; COSTELLI, M. C.; CANCELIER, A. Influence of nutrients addition in the fermentation kinetics of Japanese grape juice by *Saccharomyces* sp. *Brazilian Journal of Food Research*, v. 2, n. 1, p. 23-26, 2011. [10.14685/rebrapa.v2i1.40](https://doi.org/10.14685/rebrapa.v2i1.40)

VENTURINI, W. G. F. *Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia*. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2016.

ZHANG, Q-A.; XU, B-W.; CHEN, B-Y.; ZHAO, W-Q.; XUE, C-H. Ultrasound as an effective technique to reduce higher alcohols of wines and its influencing mechanism investigation by employing a model wine. *Ultrasonics – Sonochemistry*, v. 61, p. 104813, 2020. [10.1016/ultsonch.2019.104813](https://doi.org/10.1016/ultsonch.2019.104813)

ZOECKLEIN, B. W.; FUGELSANG, K. C.; GUMP, B. H.; NURY, F. S. *Wine analysis and production*. New York: Chapman & Hall, 1994, p. 621.