

**Alterações dos aspectos físicos e bioquímicos durante o amadurecimento de frutos de cultivares de bananeira (Musa spp.)**

**Changes in physical and biochemical aspects during fruit ripening of banana cultivars (Musa spp.)**

**Cambios en aspectos físicos y bioquímicos durante la maduración de frutos de cultivares de banana (Musa spp.)**

Recebido: 15/08/2020 | Revisado: 24/08/2020 | Aceito: 28/08/2020 | Publicado: 30/08/2020

**Hanna Elisia Araújo de Barros**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3398-4726>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: [hannaelisia@gmail.com](mailto:hannaelisia@gmail.com)

**Lara Maria dos Santos Ferraz e Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6184-9652>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: [lara\\_msfs@outlook.com](mailto:lara_msfs@outlook.com)

**Caio Vinicius Lima Natarelli**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1651-3236>

Universidade Federal de São Carlos, Brasil

E-mail: [caionatarelli@hotmail.com](mailto:caionatarelli@hotmail.com)

**Ana Lázara Matos de Oliveira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3767-3885>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: [analazara.eng@gmail.com](mailto:analazara.eng@gmail.com)

**Danilo José Machado de Abreu**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6165-4361>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: [danilo.mabreu@gmail.com](mailto:danilo.mabreu@gmail.com)

**Elisângela Elena Nunes Carvalho**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1124-8066>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: [elisangelacarvalho@ufla.br](mailto:elisangelacarvalho@ufla.br)

**Eduardo Valério de Barros Vilas Boas**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0252-695X>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: [evbvboas@ufla.br](mailto:evbvboas@ufla.br)

## **Resumo**

O objetivo do presente estudo foi avaliar a coloração, textura (firmeza), teor de compostos fenólicos totais (TCF) e atividade enzimática da pectinametilesterases (PME) e poligalacturonases (PG) nas cultivares de bananas ‘Prata’, ‘Maçã’ e ‘Nanica’ em diferentes estádios de maturação. Todos os resultados foram submetidos ao teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ) e à Análise de Componentes Principais (PCA). Diferenças estatísticas foram verificadas entre os estádios em cada cultivar e entre as cultivares em cada estágio. Em comparação entre as cultivares, a banana ‘Prata’ apresentou maior tonalidade da cor verde no estágio 1 e a banana ‘Nanica’ apresentou, no estágio 3, a coloração amarela mais acentuada. No decorrer do amadurecimento das três cultivares de banana foi possível verificar que houve um decréscimo na firmeza e no TCF, assim como o aumento da ação enzimática da PME e PG, caracterizando o amolecimento da banana no amadurecimento, confirmado pela PCA. Conclui-se que a cultivar de banana e o estágio de maturação em que o fruto se encontra interferem diretamente nos parâmetros avaliados.

**Palavras-chave:** Compostos fenólicos; Pectinametilesterases; Poligalacturonases.

## **Abstract**

The aim of the present study was to evaluate the color, texture (firmness), content of total phenolic compounds (TPC) and enzyme activity of pectinamethylesterases (PME) and polygalacturonases (PG) in different banana cultivars (‘Silver’, ‘Apple’ and ‘Dwarf cavendish’) during different ripening stages. All results were subjected to the Scott-Knott test ( $p < 0,05$ ) and to the Principal Component Analysis (PCA). It was verified statistical differences between the stages in each cultivar and between the cultivars in each stage. In comparison between the cultivars, the ‘Silver’ banana had a higher shade of green in stage 1 and the ‘Dwarf cavendish’ banana presented in stage 3 the most accentuated yellow color. During the ripening of the three banana cultivars, it was possible to verify that there was a decrease in firmness and TPC, as well as an increase in the enzymatic action of PME and PG, characterizing the banana softening during ripening, confirmed by the PCA. It is concluded that the cultivar and the stage of ripeness of banana directly interfere in the evaluated parameters.

**Keywords:** Phenolic compounds; Pectinmethylesterases; Polygalacturonases.

## Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar el color, la textura (firmeza), el contenido de compuestos fenólicos totales (TCF) y la actividad enzimática de las pectinametilsterasas (PME) y las poligalacturonasas (PG) en diferentes cultivares de banana ('plata', 'manzano' y 'cavendish enana') durante diferentes etapas de maduración. Todos los resultados fueron sometidos a la prueba de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ) y a la análisis de componentes principales (PCA). Se verificó diferencias estadísticas entre las etapas en cada cultivar y entre los cultivares en cada etapa. En comparación entre los cultivares, la 'banana plata' tenía un tono verde más alto en la etapa 1 y la 'banana cavendish enana' obtuvo en la etapa 3 el color amarillo más acentuado. Durante la maduración de los tres cultivares de banana fue posible verificar que hubo una disminución en la textura y TCF, así como un aumento en la acción enzimática de PME y PG, que caracteriza el ablandamiento de la banana en la maduración, confirmado por la PCA. Se concluye que el tipo de cultivar de banana y la etapa de madurez en la que se encuentra la fruta interfieren directamente en los parámetros evaluados, dando más datos sobre el ablandamiento y la maduración de las bananas de diferentes cultivares.

**Palabras clave:** Compuestos fenólicos; Pectinametilsterasa; Poligalacturonasa.

## 1. Introdução

A banana (*Musa spp.*) é um fruto típico do sudeste asiático, no entanto está distribuída em diversas regiões tropicais. Pode ser classificada como um fruto climatérico, que apresenta alta perecibilidade, elevada taxa respiratória e produção de etileno após a colheita (Brat et al., 2020). No Brasil, o cultivo da banana tem grande importância, devido ser um fruto nutritivo e de fácil acesso à população. A banana é muito apreciada pelo sabor adocicado e facilidade de consumo, além disso também por ser fonte de energia, vitaminas e minerais (Lichtemberg & Lichtemberg, 2011; Qamar & Shaikh, 2018).

Durante o desenvolvimento da banana, o que caracteriza o seu amadurecimento são as mudanças químicas e físicas, tanto na casca quanto na polpa. Nos diferentes estádios de maturação é possível verificar a diminuição da firmeza da polpa acompanhada pelas mudanças na coloração da casca devido à decomposição da clorofila e à síntese de carotenoides. O amido presente na polpa é degradado rapidamente, e como consequência tem-se o acúmulo de açúcares (Nascimento et al., 2008).

O escurecimento enzimático das bananas é um inconveniente, tendo em vista que ocorre rapidamente após o descascamento ou corte, pela ação de enzimas como as polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (PDO) que oxidam os compostos fenólicos presentes no meio (Melo & Vilas Boas, 2006). Os compostos fenólicos são metabólitos secundários produzidos pelas plantas, responsáveis pela defesa natural para estresses bióticos e abióticos, tais como atividade antioxidante após o estresse mecânico, levando em consideração que os mesmos se oxidam para proteger os frutos, gerando assim as quinonas, que ao se polimerizarem e formam pigmentos indesejáveis de cor escura, denominadas melaninas, afetando a qualidade sensorial (Rêgo Júnior et al., 2011).

Do ponto de vista econômico e da qualidade do produto, a mudança de textura é a mais crucial de todas, pois afeta diretamente o prazo de validade da fruta e a manutenção das propriedades sensoriais aceitáveis pelo consumidor (Prabha & Bhagyalakshmi, 1998). Deste modo, torna-se importante entender o processo de amaciamento em bananas, levando em consideração que esse processo durante o amadurecimento está relacionado com mudanças que ocorrem nos componentes da parede celular do fruto e pela ação das enzimas pectinametilerases (PME) e poligalacturonases (PG) (Murmu & Mishra, 2018).

Manter a qualidade do fruto é o obstáculo enfrentado por produtores e comerciantes de frutas sensíveis como as bananas, devido à perda por amolecimento e escurecimento enzimático indesejável. Para evitar essas problemáticas faz-se necessário realizar estudos sobre as possíveis causas do amolecimento e observar a quantidade de compostos chave que podem desencadear o escurecimento enzimático, que no caso são os compostos fenólicos. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a coloração, textura (firmeza), teor de compostos fenólicos totais (TCF) e atividade enzimática da pectinametilerases (PME) e poligalacturonases (PG) nas cultivares de bananas ‘Prata’, ‘Maçã’ e ‘Nanica’ durante diferentes estádios de maturação.

## **2. Metodologia**

### **2.1. Obtenção e preparo das amostras**

As bananas de três cultivares diferentes, ‘Prata’ – BP, ‘Maçã’ – BM e ‘Nanica’ – BN, foram adquiridas em comércio local do município de Lavras – Minas Gerais, em quatro estádios de maturação, com base na coloração da casca seguindo a escala de Von Loesecke (CEAGESP, 2006), a saber: 1 - verde, 2 - verde com traços amarelados/mais verde que amarelo, 3 - Mais

amarelo que verde/amarelo com ponta verde e 4 - amarelo/amarelo com áreas marrons. Adotou-se um delineamento inteiramente casualizado (DIC) fatorial 3x4, constituído por três cultivares de banana ('Prata', 'Maçã' e 'Nanica') e quatro estádios de desenvolvimento, sendo a parcela experimental constituída por cerca de 6 kg de cada cultivar de fruto. Os frutos foram transportados para o Laboratório de Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças, do Departamento Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras. As amostras foram selecionadas e lavadas em água corrente, para a retirada das sujidades oriundas do campo. Parte dos frutos com casca foi submetida a análise de firmeza e cor. Outra parte foi descascada e realizada a extração e determinação de compostos fenólicos totais, enquanto o restante da polpa da fruta foi congelada em nitrogênio líquido e armazenada em ultra freezer a -80°C para as análises enzimáticas de pectinametilesterase (PME) e poligalacturonases (PG).

## **2.2. Análises Físicas**

### **2.2.1. Colorimétrica**

Para a análise de cor utilizou-se o colorímetro Minolta CR-400, iluminante D65, com a determinação das variáveis L\* (claridade), C (Croma) e °Hue (ângulo Hue) (Bible & Singha, 1993). As leituras foram efetuadas aleatoriamente diretamente na superfície de 6 frutos de cada cultivar e seus respectivos estádios de maturação.

### **2.2.2. Firmeza**

A firmeza foi determinada com o auxílio de um texturômetro Stable Micro System modelo TATX2i, utilizando uma probe cilíndrica (6 mm de diâmetro) com velocidade de teste igual a 1 mm s<sup>-1</sup>, a uma distância de penetração de 3 mm, valores estes previamente fixados para a análise de todos os frutos. Foi usada uma plataforma HDP/90 como base. As análises foram realizadas no fruto com a casca e somente da polpa. Os resultados foram expressos em Newton (N).

## **2.3. Preparação de extrato e determinação do teor de compostos fenólicos totais (TCF)**

A extração foi realizada seguindo Rufino et al. (2010) com modificações. Utilizou-se 6 g de amostra retiradas aleatoriamente de 4 bananas de cada cultivar. Foram homogeneizadas

em politron com 20 mL de metanol/água 70% (v/v). Em seguida, o homogenato ficou no banho ultrassônico durante 1 hora à temperatura ambiente (25°C), sendo agitado a cada 5 minutos. Posteriormente, o extrato foi filtrado com papel de filtro com porosidade 14 µm e armazenado em frascos de vidro âmbar à -18°C.

O teor de compostos fenólicos totais foi determinado pela metodologia adaptada de Folin-Ciocalteu (Waterhouse, 2002), na qual alíquotas de 30 µL dos extratos das amostras foram pipetadas em microplacas, juntamente com 150 µL do reagente Folin Ciocalteu 10% e 120 µL de carbonato de sódio 4%, sendo as leituras realizadas no leitor de microplacas (EZ Read 2000) a 750 nm, após duas horas de repouso. Os resultados foram expressos em mg de equivalente ácido gálico (EAG) 100 g<sup>-1</sup> de amostra.

## **2.4. Análises Enzimáticas**

### **2.4.1. Extração Enzimática**

A extração enzimática foi realizada segundo Buescher & Furmanski (1978), com modificações. Utilizaram-se 10 g de polpa do fruto com 40 ml de água destilada gelada, com 1% polivinilpirrolidona, homogeneizado em politron. O homogenato foi filtrado em tecido fino (organza) e o resíduo foi ressuscitado em 40 mL de NaCl 1 M, gelado. O novo homogenato, após ter o pH ajustado para 6,0 com NaOH, foi incubado à 4°C por 1 h. Em seguida, realizou-se a filtração com organza, cujo filtrado foi centrifugado sob refrigeração a 5000 g por 30 min. Uma terceira filtragem foi realizada com papel de filtro e o extrato foi congelado para posteriores determinações enzimáticas.

### **2.4.2. Atividade enzimática da Pectinametilsterase (PME)**

A determinação da atividade pectinametilsterase (PME) foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Hultin et al. (1966) e Ratner et al. (1969) com modificações. Utilizaram-se 5 mL de extrato enzimático, pipetados sobre 30 mL de pectina cítrica 1% em NaCl 0,1 M. O pH da solução foi mantido na faixa de 7 por 10 min com NaOH 0,01N. Os resultados foram expressos em UE min<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> de amostra, onde uma unidade (UE) de PME foi definida como a quantidade de enzima capaz de catalisar a desmetilação de pectina correspondente ao consumo de 1 nmol de NaOH por minuto, sob condições de ensaio.

### **2.4.3. Atividade enzimática da Poligalacturonases (PG)**

A determinação da atividade de poligalacturonase (PG) foi realizada segundo o método descrito por Markovič et al. (1975), com modificações. Para isso, foram utilizados 3 mL de extrato enzimático e uma alíquota de 0,8 mL de pectina cítrica a 0,25%. A incubação foi realizada a 30°C por 3h em banho maria e a reação interrompida em banho fervente por 5 min. Para o branco enzimático, utilizou-se uma alíquota de 3 mL de extrato cujas enzimas foram desnaturadas em banho fervente por 30 min. Em seguida 0,8 mL de pectina cítrica a 0,25% foram adicionados. O doseamento do teor de açúcares redutores foi realizado segundo o método de Somogyi (1937) modificado por Nelson (1944), que por diferença, obteve-se a concentração de açúcares redutores formados, exclusivamente, pela ação enzimática. Uma unidade de atividade de PG foi definida como a quantidade de enzima capaz de catalisar a formação de 1 nmol de açúcar redutor por minuto sob as condições de ensaio e os resultados foram expressos em nmol de ácido galacturônico g<sup>-1</sup> de polpa min<sup>-1</sup>.

### **2.5. Análise Estatística**

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) sendo as médias, quando significativas, comparadas pelo teste de Scott-Knott com 5% de significância. Utilizou o software STATISTICA versão 12.0.

Além disso, o programa R versão 4.0.2 juntamente com os pacotes FactoMineR e factoextra foram utilizados para aplicar a Análise de Componentes Principais (PCA) nos dados obtidos.

## **3. Resultados e Discussão**

Na Tabela 1 encontra-se a análise de variância (ANOVA) para as determinações de firmeza e cor. De acordo com Pimentel-Gomes (1985), o coeficiente de variação (C.V.) é utilizado para indicar a precisão dos experimentos, de forma que os valores menores que 10% indicam alta precisão, aqueles entre 10 e 20% tem precisão média, entre 20 e 30%, os experimentos têm baixa acurácia e, por fim, aqueles valores maiores que 30%, são considerados de análises com muito baixa precisão. Partindo desse pressuposto, observa-se que, em geral, os valores ficaram abaixo de 20%, o que indica que as análises foram realizadas com acurácia. No entanto, há valores de C.V. maiores de 20%, o que pode ser explicado devido ao fato das

amostras em questão se tratarem de frutos que podem ser diferentes entre si, tendo em vista que não vêm da mesma planta-mãe ou do mesmo solo e entre outros fatores, e por isso, podem apresentar alto desvio padrão entre si e conseqüentemente, elevar o valor do C.V.

**Tabela 1** – Análise de variância (ANOVA) para as análises físicas (textura e coloração) em diferentes cultivares de bananas e seus respectivos estádios de maturação.

		Efeitos			C.V. (%)	Média Geral
		Cultivar	Estádio	Cultivar*Estádio		
Textura	QM	892,90	27095,16	237,98	27,73	33,58
Casca	Pr>F	< 0,01	< 0,01	0,02		
Textura	QM	216,79	10839,38	603,93	15,99	19,31
Polpa	Pr>F	< 0,01	< 0,01	< 0,01		
L*	QM	352,08	1455,48	164,84	6,22	52,80
	Pr>F	< 0,01	< 0,01	< 0,01		
C*	QM	22,35	849,03	91,08	8,95	46,58
	Pr>F	0,28	< 0,01	< 0,01		
°Hue	QM	274,20	3802,64	64,83	2,52	88,24
	Pr>F	< 0,01	< 0,01	< 0,01		

QM: Quadrado médio. C.V.: Coeficiente de variação. Fonte: Autores (2020).

Na Tabela 2 encontram-se os resultados relativos às análises de textura (firmeza) e colorimétrica das cultivares e seus respectivos estádios de maturação.



**Tabela 2** - Médias seguidas de desvio padrão das análises físicas (textura e coloração) das cultivares de banana ‘Prata’ (BP), ‘Maçã’ (BM) e ‘Nanica’ (BN) e seus respectivos estádios de maturação (1 - verde, 2 - verde com traços amarelados/mais verde que amarelo, 3 - Mais amarelo que verde/amarelo com ponta verde e 4 - amarelo/amarelo com áreas marrons).

Amostra	Textura - Firmeza (N)		Coloração		
	Casca	Polpa	L*	C*	°Hue
BP 1	71,33 ±	55,04 ±	41,35 ±	38,48 ±	103,78 ±
	12,70 <sup>aA</sup>	4,48 <sup>aA</sup>	4,51 <sup>cD</sup>	4,46 <sup>bC</sup>	0,64 <sup>aA</sup>
BP 2	38,38 ±	15,14 ±	46,33 ±	44,52 ±	92,62 ±
	12,34 <sup>aB</sup>	4,72 <sup>bB</sup>	1,63 <sup>bC</sup>	2,48 <sup>aB</sup>	2,28 <sup>bB</sup>
BP 3	9,22 ±	9,10 ±	53,23 ±	50,09 ±	83,80 ±
	2,33 <sup>bC</sup>	1,15 <sup>aC</sup>	4,82 <sup>bB</sup>	4,97 <sup>aA</sup>	4,58 <sup>aC</sup>
BP 4	7,50 ±	7,48 ±	58,52 ±	50,08 ±	78,23 ±
	1,50 <sup>bC</sup>	0,83 <sup>aD</sup>	6,06 <sup>bA</sup>	3,72 <sup>aA</sup>	1,52 <sup>aD</sup>
BM 1	71,58 ±	41,13 ±	47,08 ±	39,92 ±	99,34 ±
	12,18 <sup>aA</sup>	3,93 <sup>bA</sup>	2,56 <sup>bC</sup>	1,90 <sup>bB</sup>	2,25 <sup>bA</sup>
BM 2	40,11 ±	11,75 ±	55,69 ±	47,44 ±	84,99 ±
	5,54 <sup>aB</sup>	1,12 <sup>cB</sup>	3,06 <sup>aB</sup>	5,52 <sup>aA</sup>	3,45 <sup>cB</sup>
BM 3	27,02 ±	10,08 ±	58,94 ±	51,21 ±	80,66 ±
	6,91 <sup>aC</sup>	0,77 <sup>aC</sup>	2,54 <sup>aA</sup>	5,93 <sup>aA</sup>	1,93 <sup>bC</sup>
BM 4	15,38 ±	7,45 ±	59,03 ±	49,03 ±	76,95 ±
	5,62 <sup>aD</sup>	0,84 <sup>aD</sup>	1,45 <sup>bA</sup>	6,64 <sup>aA</sup>	1,19 <sup>aD</sup>
BN 1	67,09 ±	36,39 ±	50,39 ±	44,34 ±	101,01 ±
	12,32 <sup>aA</sup>	3,25 <sup>cA</sup>	2,76 <sup>aC</sup>	1,37 <sup>aC</sup>	1,17 <sup>bA</sup>
BN 2	39,14 ±	27,43 ±	44,05 ±	40,49 ±	95,64 ±
	17,39 <sup>aB</sup>	6,40 <sup>aB</sup>	2,63 <sup>cD</sup>	2,41 <sup>bD</sup>	1,12 <sup>bB</sup>
BN 3	9,60 ±	6,67 ±	57,32 ±	51,03 ±	82,63 ±
	2,02 <sup>bC</sup>	0,57 <sup>bC</sup>	1,93 <sup>aB</sup>	2,92 <sup>aB</sup>	2,23 <sup>aC</sup>
BN 4	6,56 ±	4,05 ±	61,68 ±	52,29 ±	79,30 ±
	1,55 <sup>bC</sup>	0,53 <sup>bD</sup>	1,92 <sup>aA</sup>	3,77 <sup>aA</sup>	0,77 <sup>aD</sup>

Médias ± desvio padrão de três repetições, seguidas de mesmas letras minúsculas e maiúscula na mesma coluna não diferem entre si estatisticamente pelo Teste de Scott Knott a 5% (p <0,05). Fonte: Autores (2020).

A firmeza refere-se à facilidade com que fruto irá ser esmagado por compressão (Jan et al., 2018). Dessa forma, no decorrer do amadurecimento das três cultivares de banana foi possível verificar que houve redução da firmeza tanto do fruto com a casca, quanto da polpa, além de observar diferenças estatísticas ( $p < 0,05$ ) entre os estádios de maturação das cultivares. A redução da firmeza mais acentuada ao longo do amadurecimento foi observada para BP, quando comparada com BM e BN. A redução da firmeza está relacionada com as transformações químicas que acontecem no fruto durante seu amadurecimento, como a hidrólise de amido e solubilização das substâncias pécticas e pela ação conjunta de algumas enzimas (Murmu & Mishra, 2018).

Verifica-se que todas as tonalidades de cor entre os estádios de maturação das cultivares de banana avaliadas foram diferentes estatisticamente ( $p < 0,05$ ). No estágio 1 de maturação, a predominância da cor foi esverdeada em todas as cultivares. BP apresentou coloração esverdeada mais acentuada quando comparada com as demais cultivares. Nos estádios intermediários (2 e 3), as bananas apresentaram a diminuição da cor esverdeada tendendo para uma coloração amarelo claro. No estágio 4, todas as cultivares apresentaram uma coloração amarelada e BN teve a coloração amarelada mais intensa que as demais cultivares. Tais resultados corroboram a classificação da escala de Von Loesecke (CEAGESP, 2006). As mudanças de coloração das cascas das bananas estão relacionadas aos processos de degradação da clorofila e síntese ou desmascaramento de outros pigmentos, como carotenoides, presentes nas frutas durante o amadurecimento (Nascimento et al., 2008)

Na Tabela 3 encontra-se a análise de variância (ANOVA) para as determinações de teor de compostos fenólicos totais (TCF) e atividades enzimáticas da pectinametilesterase (PME) e poligalacturonases (PG). Em relação ao C.V. observa-se que todos os valores ficaram abaixo de 20%, o que indica que todas as análises foram realizadas com precisão.

**Tabela 3** – Análise de variância (ANOVA) para as análises de teor de compostos fenólicos totais (TCF) e atividades enzimáticas (PME e PG) em diferentes cultivares de bananas e seus respectivos estádios de maturação.

		Efeitos			C.V. (%)	Média Geral
		Cultivar	Estádio	Cultivar*Estádio		
TCF	QM	68,93	315,20	12,27	1,83	18,58
	Pr>F	< 0,01	< 0,01	0,02		
PME	QM	1799328,31	5144247,06	506367,91	2,90	800,84
	Pr>F	< 0,01	< 0,01	< 0,01		
PG	QM	680,50	959,81	153,90	14,75	10,59
	Pr>F	< 0,01	< 0,01	< 0,01		

QM: Quadrado médio. C.V.: Coeficiente de variação. Fonte: Autores (2020).

Na Tabela 4 estão descritos os resultados obtidos nas análises de TCF, PME e PG, mostrando que quanto maior o grau de maturação do fruto, menores foram os resultados encontrados para TCF e maiores ações enzimáticas da PME e PG.

**Tabela 4** - Médias seguidas de desvio padrão das análises de teor de compostos fenólicos totais (TCF) e atividades enzimáticas (PME e PG) das cultivares de banana ‘Prata’ (BP), ‘Maçã’ (BM) e ‘Nanica’ (BN) e seus respectivos estádios de maturação (1 - verde, 2 - verde com traços amarelados/mais verde que amarelo, 3 - Mais amarelo que verde/amarelo com ponta verde e 4 - amarelo/amarelo com áreas marrons).

Amostra	TCF	PME	PG
	(mg de EAG 100 g <sup>-1</sup> de amostra)	(UE min <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> de amostra) (C.V.)	(nmol de ácido Galacturônico g <sup>-1</sup> de polpa min <sup>-1</sup> ) (C.V.)
BP 1	23,39 ± 0,08 <sup>bd</sup>	136,80 ± 4,29 <sup>aA</sup>	0,72 ± 0,09 <sup>aA</sup>
BP 2	22,62 ± 0,04 <sup>bc</sup>	175,64 ± 1,15 <sup>aA</sup>	3,22 ± 0,41 <sup>aB</sup>
BP 3	21,35 ± 0,65 <sup>bb</sup>	450,17 ± 10,99 <sup>aB</sup>	3,85 ± 0,25 <sup>aB</sup>
BP 4	11,62 ± 0,02 <sup>bA</sup>	1363,9 ± 11,61 <sup>aC</sup>	12,81 ± 1,93 <sup>aC</sup>
BM 1	24,74 ± 0,27 <sup>cd</sup>	199,74 ± 1,41 <sup>bA</sup>	0,79 ± 0,16 <sup>aA</sup>
BM 2	22,87 ± 0,07 <sup>bc</sup>	254,20 ± 6,88 <sup>bb</sup>	1,54 ± 0,16 <sup>aA</sup>
BM 3	21,96 ± 0,01 <sup>cb</sup>	662,99 ± 10,45 <sup>bc</sup>	10,09 ± 0,27 <sup>bb</sup>
BM 4	11,14 ± 0,28 <sup>bA</sup>	1388,13 ± 12,95 <sup>aD</sup>	17,32 ± 2,12 <sup>bc</sup>
BN 1	22,59 ± 0,30 <sup>ad</sup>	223,87 ± 7,48 <sup>bA</sup>	0,62 ± 0,02 <sup>aA</sup>
BN 2	20,20 ± 0,10 <sup>ac</sup>	265,62 ± 12,82 <sup>bb</sup>	9,22 ± 0,37 <sup>bb</sup>
BN 3	12,49 ± 0,21 <sup>ab</sup>	1874,98 ± 15,98 <sup>cc</sup>	24,81 ± 3,95 <sup>cc</sup>
BN 4	8,03 ± 0,12 <sup>aA</sup>	2613,99 ± 19,06 <sup>bd</sup>	42,09 ± 2,22 <sup>cd</sup>

Médias ± desvio padrão de três repetições, seguidas de mesmas letras minúsculas e maiúscula na mesma coluna não diferem entre si estatisticamente pelo Teste de Scott Knott a 5% (p < 0,05). Fonte: Autores (2020).

Os TCFs por cultivar e entre os estádios de maturação apresentaram diferenças estáticas entre si (p < 0,05) (Tabela 4). Tais resultados podem ser explicados devido ao fato de os fenólicos serem compostos bioativos mais abundantes e facilmente obtidos de diferentes plantas, além de apresentarem propriedades antioxidantes e antimicrobiana como mecanismo de defesa (Ephrem et al., 2018).

A presença de compostos fenólicos em frutas tem diversos benefícios durante o amadurecimento, mas em contrapartida a presença desses compostos está associada ao escurecimento enzimático de frutas frescas, devido a reações oxidativas entre enzimas (PPO e

PDO) e o TCF. Diversos estudos na literatura associam a perda da qualidade visual do fruto à degradação fenólica de frutas processados (Chen et al., 2017; Ephrem et al., 2018; Tinello & Lante, 2018). Persic et al. (2017), por exemplo, concluíram em seu trabalho que o TCF em maçãs está fortemente correlacionado com a taxa de escurecimento enzimático. Assim, pode-se inferir que quanto maior o teor de compostos fenólicos na fruta maior será a chance de ocorrer formação de quinonas, originando o escurecimento enzimático.

Diante disso, observou-se maiores valores para as diferentes cultivares de bananas no estádio 1, seguidos dos estádios 2, 3 e 4., concluindo que as bananas verdes estão mais susceptíveis a ocorrência mais rápida da oxidação dos compostos fenólicos e, conseqüentemente, um possível escurecimento enzimático. Em adição a isso, a redução do teor de fenólicos, no decorrer do amadurecimento, sua atuação em outras reações de sínteses bioquímicas possibilitam o melhoramento do sabor, aroma, cor e textura durante o desenvolvimento e amadurecimento do fruto (Ephrem et al., 2018).

O comportamento observado das atividades enzimáticas da pectinametilesterase (PME) e poligalacturonases (PG) foi o mesmo, no qual a ação enzimática aumentou à medida que os frutos foram amadurecendo. Além disso, foi possível verificar diferença estatística pelo Scott-Knott com 5% de significância entre os estádios em cada cultivar (letra maiúscula) e entre as cultivares em cada estádio (letra minúscula), conforme está descrito na Tabela 4.

O amaciamento dos frutos é geralmente atribuído à degradação da parede celular e a solubilização dos polissacarídeos pectíneos da lamela média, mediado pela ação coordenada das enzimas pectina metilesterase (PME), poligalacturonase (PG) (Prabha & Bhagyalakshmi, 1998). Duan et al. (2008) concluíram que modificações nas composições de polissacarídeos e despolimerização de pectina durante o amadurecimento da banana foram responsáveis pelo amolecimento dos frutos devido a ação da PME e PG.

Segundo Pathak e Sanwal (1998), a atuação da PME desmetilando as pectinas, convertendo-as em ácido péctico permite a ação da PG, que promove a hidrólise desse composto, deixando a parede celular menos rígida. Isso justifica o fato de a atividade da PG aumentar durante o amadurecimento concomitantemente ao aumento da PME, acarretando o aumento da maciez do fruto pela solubilização dos polissacarídeos de parede. Partindo desse pressuposto, o comportamento enzimático da PME e PG observado no presente estudo corrobora a redução da firmeza (Tabela 2) das bananas das diferentes cultivares.

A Análise de Componentes Principais (PCA) foi aplicado aos dados de firmeza, TCF, PME e PG para as três variedades de banana, nos 4 estádios de maturação. Na Tabela 5 estão os *loadings* das variáveis, assim como a porcentagem da variação de dados explicada e a

variação acumulada para os componentes principais. Os dois primeiros componentes (PC1 e PC2) explicam 96,15% da variação dos dados, onde PC1 representa 82,24% e PC2 representa 13,91% da variação total. Todas as variáveis foram responsáveis pelas separações ocorridas na PC1, apresentando valores acima de 0,6, e somente a variável TCF foi responsável pelas separações ocorridas no PC2. As variáveis PG e PME possuem uma correlação positiva entre elas e uma correlação negativa com as demais variáveis.

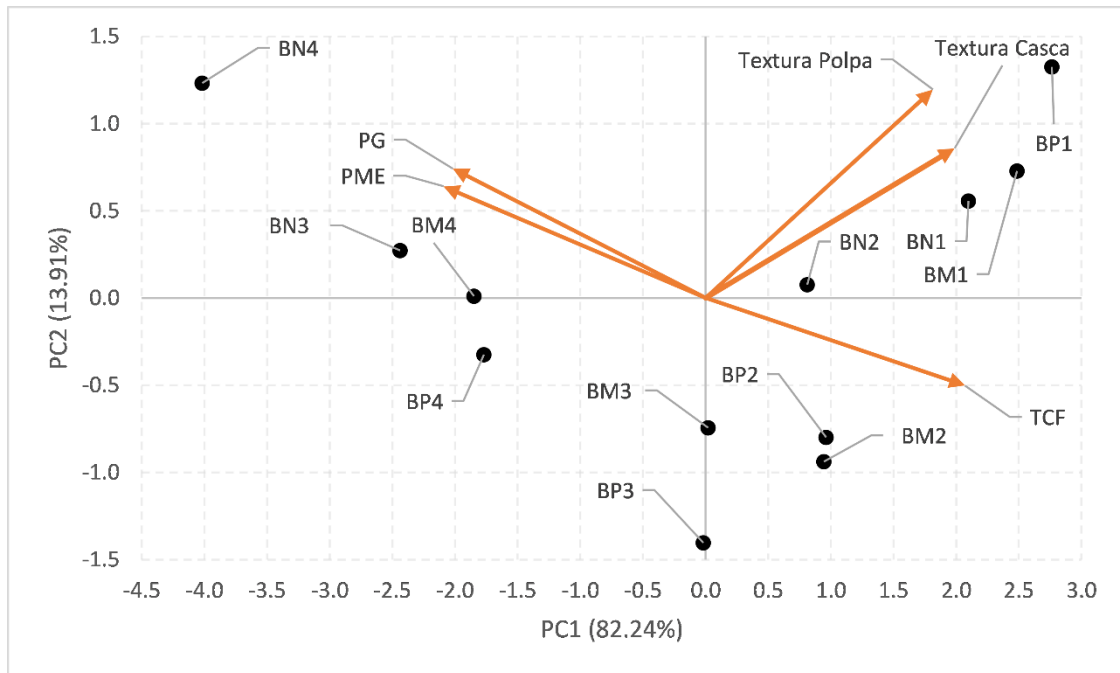
**Tabela 5** – *Loadings* das variáveis juntamente com a variância e a variância acumulada para cada componente obtidos através Análise de Componentes Principais (PCA).

	PC1	PC2
Textura Casca	0,902	-0,458
Textura Polpa	0,823	-0,252
TCF	0,939	0,733
PME	-0,949	0,173
PG	-0,916	-0,091
Variância (%)	82,24	13,91
Variância acumulada (%)	82,24	96,15

Fonte: Autores (2020).

Para a análise visual, o biplot da análise de PCA é apresentado na Figura 1. Baseado nos dois componentes principais PC1 e PC2, nota-se uma tendência para a formação de 3 grupos. O primeiro constituído por todas as cultivares de banana no primeiro estágio de maturação (BP1, BN1 e BM1), além da BN no segundo estágio (BN2). O segundo grupo composto pelas cultivares restantes no segundo estágio de maturação (BP2 e BM2) e pelas cultivares ‘Prata’ e ‘Maçã’ no terceiro estágio (BP3 e BM3). Por fim, o terceiro grupo formado pela BN no terceiro estágio (BN3) e todas as cultivares no quarto estágio de maturação (BP4, BN2 e BM4). Além disso, foi possível comprovar que à medida que a PME e PG foram agindo nos frutos, houve a redução da firmeza e seu amadurecimento. Logo, isso explica a separação dos grupos de acordo com os estádios de maturação. Outro fator que influenciou na separação e agrupamento foi o TPC, conforme descrito na Figura 1.

**Figura 1** – Análise de Componentes Principais (PCA) para as amostras de banana em diferentes estádios de maturação.



Fonte: Autores (2020).

#### 4. Considerações Finais

Para as condições avaliadas nesse estudo, pode-se inferir que o tipo de cultivar de banana e o estágio de maturação em que o fruto se encontra interferem diretamente na coloração e firmeza, bem como no teor de compostos fenólicos totais e na ação das enzimas PME e PG. Os teores de compostos fenólicos totais diminuíram à medida que o fruto amadureceu e o contrário foi observado pela ação das enzimas (PME e PG) responsáveis pelo amolecimento dos frutos. A alta atividade enzimática da PME e PG no fruto maduro corroboraram a redução da firmeza durante o desenvolvimento dos estádios estudados.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Bolsas de Produtividade em Pesquisa 302259/2018-0, 302699/2019-8, CNPq, Brasil), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG PPM-00458-15), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES: 88881.068456/2014-01) e Universidade Federal de Lavras (UFLA, Lavras, Minas Gerais,

Brasil).

## Referências

Bible, B. B., & Singha, S. (1993). Canopy Position Influences CIELAB Coordinates of Peach Color. *HortScience*, 28(10), 992–993. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.28.10.992>

Brat, P., Bugaud, C., Guillermet, C., & Salmon, F. (2020). Review of banana green life throughout the food chain: From auto-catalytic induction to the optimisation of shipping and storage conditions. *Scientia Horticulturae*, 262, 109054. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109054>

Buescher, R. W., & Furmanski, R. J. (1978). Role of pectinesterase and polygalacturonase in the formation of woolliness in peaches. *Journal of Food Science*, 43(1), 264–266. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1978.tb09788.x>

CEAGESP. (2006). PBMH & PIF – Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura & Produção Integrada de Frutas. Normas de Classificação de Banana N° 29.

Chen, X., Ren, L., Li, M., Qian, J., Fan, J., & Du, B. (2017). Effects of clove essential oil and eugenol on quality and browning control of fresh-cut lettuce. *Food Chemistry*, 214, 432–439. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.101>

Duan, X., Cheng, G., Yang, E., Yi, C., Ruenroengklin, N., Lu, W., Luo, Y., & Jiang, Y. (2008). Modification of pectin polysaccharides during ripening of postharvest banana fruit. *Food Chemistry*, 111(1), 144–149. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.049>

Ephrem, E., Najjar, A., Charcosset, C., & Greige-Gerges, H. (2018). Encapsulation of natural active compounds, enzymes, and probiotics for fruit juice fortification, preservation, and processing: An overview. *Journal of Functional Foods*, 48(May), 65–84. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.06.021>



Hultin, H. O., Sun, B., & Bulger, J. (1966). Pectin Methyl Esterases of the Banana. Purification and Properties. *Journal of Food Science*, 31(3), 320–327. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1966.tb00500.x>

Jan, K. N., Panesar, P. S., & Singh, S. (2018). Optimization of antioxidant activity, textural and sensory characteristics of gluten-free cookies made from whole indian quinoa flour. *Lwt*, 93(December 2017), 573–582. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.013>

Lichtemberg, L. A., & Lichtemberg, P. dos S. F. (2011). Avanços na bananicultura brasileira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33(spe1), 29–36. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500005>

Markovič, O., Heinrichová, K., & Lenkey, B. (1975). Pectolytic enzymes from banana. *Collection of Czechoslovak Chemical Communications*, 40(3), 769–774. <https://doi.org/10.1135/cccc19750769>

Melo, Â. A. M., & Vilas Boas, E. V. de B. (2006). Inibição do escurecimento enzimático de banana maçã minimamente processada. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 26(1), 110–115. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000100019>

Murmu, S. B., & Mishra, H. N. (2018). Post-harvest shelf-life of banana and guava: Mechanisms of common degradation problems and emerging counteracting strategies. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 49, 20–30. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.07.011>

Nascimento, B. B. Do, Ozorio, L. P., Rezende, C. M., Soares, A. G., & Fonseca, M. J. D. O. (2008). Diferenças entre bananas de cultivares Prata e Nanicão ao longo do amadurecimento: Características físico-químicas e compostos voláteis. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, 28(3), 649–658. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612008000300022>

Nelson, N. (1944). A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. *J. Biol. Chem*, 153(2), 375–380.

Pathak, N., & Sanwal, G. G. (1998). Multiple forms of polygalacturonase from banana fruits. *Phytochemistry*, 48(2), 249–255. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(98\)00005-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(98)00005-3)

Persic, M., Mikulic-Petkovsek, M., Slatnar, A., & Veberic, R. (2017). Chemical composition of apple fruit, juice and pomace and the correlation between phenolic content, enzymatic activity and browning. *LWT - Food Science and Technology*, 82, 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.017>

Pimentel-Gomes, F. (1985). *Curso de Estatística Experimental* (11th ed.). Nobel.

Prabha, T. N., & Bhagyalakshmi, N. (1998). Carbohydrate metabolism in ripening banana fruit. *Phytochemistry*, 48(6), 915–919. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(97\)00931-X](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(97)00931-X)

Qamar, S., & Shaikh, A. (2018). Therapeutic potentials and compositional changes of valuable compounds from banana- A review. *Trends in Food Science & Technology*, 79, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.06.016>

Ratner, A., Goren, R., & Monselise, S. P. (1969). Activity of Pectin Esterase and Cellulase in the Abscission Zone of Citrus Leaf Explants. *Plant Physiology*, 44(12), 1717 LP – 1723. <https://doi.org/10.1104/pp.44.12.1717>

Rêgo Júnior, N. O., Fernadez, L. G., Castro, R. D. de, Silva, L. C., Gualberto, S. A., Pereira, M. L. A., & Silva, M. V. da. (2011). Compostos bioativos e atividade antioxidante de extratos brutos de espécies vegetais da caatinga. *Brazilian Journal of Food Technology*, 14(01), 50–57. <https://doi.org/10.4260/BJFT2011140100007>

Rufino, M. do S. M., Alves, R. E., de Brito, E. S., Pérez-Jiménez, J., Saura-Calixto, F., & Mancini-Filho, J. (2010). Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, 121(4), 996–1002. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.037>

Somogyi, M. (1937). Reagent for Microdetermination of Sugar. *Journal of Biological Chemistry*, 117, 771–776.

Tinello, F., & Lante, A. (2018). Recent advances in controlling polyphenol oxidase activity of fruit and vegetable products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 50(May), 73–83. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.10.008>

Tribess, T. B., Hernández-Uribe, J. P., Méndez-Montevalvo, M. G. C., Menezes, E. W., Bello-Perez, L. A., & Tadini, C. C. (2009). Thermal properties and resistant starch content of green banana flour (*Musa cavendishii*) produced at different drying conditions. *LWT - Food Science and Technology*, 42(5), 1022–1025. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.12.017>

Waterhouse, A. L. (2002). Determination of Total Phenolics. In R. E. Wrolstad (Ed.), *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. John Wiley & Sons, Inc.

#### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Hanna Elisia Araújo de Barros – 20%

Lara Maria dos Santos Ferraz e Silva – 15%

Caio Vinicius Lima Natarelli – 13%

Ana Lázara Matos de Oliveira – 13%

Danilo José Machado de Abreu – 13%

Elisângela Elena Nunes Carvalho – 13%

Eduardo Valério de Barros Vilas Boas – 13%