

Artigo

Análise Multivariada da Composição Mineral de Frutos de Camu-camu (*Myrciaria dubia*)

de Freitas, C. A. B.;* Müller, R. C. S.; do Nascimento, W. M. O.; Lima, M. O.; Faial, K. C. F.; Lopes, S. A.

Rev. Virtual Quim., 2019, 11 (3), 741-753. Data de publicação na Web: 21 de junho de 2019

<http://rvq.sbj.org.br>

Multivariate Analysis of Mineral Composition of Fruits of Camu-camu (*Myrciaria dubia*)

Abstract: Camucamuzeiro (*Myrciaria dubia*) is a Brazilian native plant little studied as to the chemical composition of its fruits, mainly in relation to the inorganic compounds. Because it has great nutritional value due to its high amount of vitamin C, the full use of its fruits can meet the nutritional needs when incorporated into the diet. The objective of this study was to determine the nutritional composition related to the presence of the Al, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na and Zn elements in pulps, barks and seeds of seven camu-camu genotypes Germplasm Bank (BAG) of the Embrapa Amazônia Oriental camucamuzeiro in the State of Pará, aiming to select the genotype with the highest nutritional value, using multivariate analysis tools. The concentrations of the Ca, Cu, Mg, Mn, K and Na minerals in the barks were higher than those found in seeds and pulps. On the other hand, lower levels of aluminum were observed, which corroborates the need to use the whole fruit in human food. The mineral composition of the genotypes M66 and M13 demonstrated great nutritional importance and the possibility of the camu-camu fruit contribution to the nutritional status of the population and commercial importance.

Keywords: Camu-camu; *Myrciaria dubia*; mineral composition.

Resumo

O camucamuzeiro (*Myrciaria dubia*) é uma planta nativa brasileira pouco estudada quanto à composição química dos seus frutos, principalmente em relação aos compostos inorgânicos. Por possuir grande valor nutricional em virtude de sua alta quantidade de vitamina C, o aproveitamento integral de seus frutos pode suprir as necessidades nutricionais quando incorporadas na dieta alimentar. Desta forma, este estudo teve como objetivo determinar a composição nutricional relacionada à presença dos elementos metálicos Al, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na e Zn em polpas, cascas e sementes de sete genótipos de camu-camu conservados no Banco de Germoplasma (BAG) de camucamuzeiro da Embrapa Amazônia Oriental no Estado do Pará, visando eleger o genótipo de maior poder nutritivo, utilizando ferramentas de análise multivariada. Os teores dos minerais Ca, Cu, Mg, Mn, K e Na nas cascas foram superiores aos encontrados nas sementes e polpas. Por outro lado, foram observados menores teores de alumínio, o que corrobora para a necessidade da utilização do fruto inteiro na alimentação humana. A composição mineral dos genótipos M66 e M13 demonstraram grande importância nutricional e a possibilidade da contribuição do fruto de camu-camu para os incrementos do estado nutricional da população e importância comercial.

Palavras-chave: Camu-camu, *Myrciaria dubia*, composição mineral.

* Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Av. Augusto Corrêa 01, Guamá, CEP 66075-110, Belém-PA, Brasil.

 camilauad@gmail.com

DOI: [10.21577/1984-6835.20190054](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20190054)

Análise Multivariada da Composição Mineral de Frutos de Camu-camu (*Myrciaria dubia*)

Camila A. B. Freitas,^{a,*} Regina C. S. Müller,^a Walnice M. O. Nascimento,^b Marcelo O. Lima,^c Kelson do C. F. Faial,^c Alessandra S. Lopes^d

^a Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Av. Augusto Corrêa 01, Guamá, CEP 66075-110, Belém-PA, Brasil

^b Embrapa Amazônia Oriental, Laboratório de Propagação de Plantas, Av. Dr. Enéas Pinheiro, CEP 66095-100, Belém-PA, Brasil

^c Instituto Evandro Chagas, Seção de Meio Ambiente, Rodovia BR-316, km 7, Levilândia, CEP 67000-030, Ananindeua-Pará, Brasil

^d Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Av. Augusto Corrêa 01, Guamá, CEP 66075-110, Belém-PA, Brasil.

* camilauad@gmail.com

Recebido em 23 de agosto de 2018. Aceito para publicação em 6 de março de 2019

1. Introdução

2. Metodologia

2.1. Coleta das amostras

2.2. Determinação dos elementos minerais

2.3. Análise estatística

3. Resultados e Discussões

3.1. Teores dos elementos minerais

3.2. Análise estatística

4. Conclusão

1. Introdução

O camu-camu (*Myrciaria dubia*) é um fruto nativo da Bacia Amazônica pertencente à família Myrtaceae, que cresce de forma natural na beira dos rios e lagos de águas escuras e ilhas,¹ possuindo distribuição geográfica natural ampla no Brasil desde o litoral Atlântico no Estado do Pará, região pré-

Amazônica tocantiniana, até os estados de Mato Grosso e Rondônia, assim como nos rios Negro e Uatumã.²

O Camucamuzeiro mede entre 3-8 m³ e produz frutos globosos de superfície lisa e brilhante da cor vermelha escura até preto púrpura ao amadurecer que medem de 2-4 cm de diâmetro,⁴ que são utilizados como matéria-prima na elaboração de produtos para a indústria de alimentos e de cosméticos.

Devido ao conteúdo extremamente alto de vitamina C (0,845 e 6,1 g em 100 g de polpa integral),⁵ o camu-camu tem despertado interesse de diversos países, uma vez que supera a acerola (0,973 a 2,786 g em 100g de polpa).⁶ Outra propriedade importante do camu-camu é a presença de substâncias antioxidantes evidenciadas pelo alto teor de polifenóis totais e o alto teor de antocianinas na casca.⁷ Segundo estudos comparativos com outros frutos que possuem antioxidantes, como o açaí (*Euterpe oleracea*), o mirtilo (*Vaccinium myrtillus*), a maçã (*Malus domestica*) e a laranja (*Citrus sinensis* L.), o camu-camu apresentou os valores mais elevados.⁸ Quanto à sua composição mineral, o fruto de camu-camu, é capaz de suprir a ingestão adequada de elementos minerais diários, uma vez que possui concentrações significativas de K, Ca, Mg, Na, Zn, Fe, Mg, Cu, Al, dentre outros.⁹

A diversidade genética da planta, que é a riqueza de espécies dentro de um ecossistema e o nível de variabilidade gênica existente dentro de cada população,¹⁰ influencia a qualidade da matriz genotípica e a disponibilidade de nutrientes. Estes últimos são influenciados por diversos fatores, tais como clima, deposição atmosférica, natureza do solo e maturidade da planta na época da coleta.¹¹ Assim, a análise de componentes nutricionais e minerais de alimentos tem sido utilizada como ferramenta útil para identificar a qualidade e/ou selecionar genótipos cuja interação com o ambiente seja mais favorável e eficiente. Vale ressaltar que, na medicina popular e na indústria farmacêutica é crescente a utilização de produtos provenientes de frutos por serem fontes de energia, minerais e produtos bioativos.¹²

Considerando a necessidade de incremento de variabilidade genética dentro dos programas de melhoramento, estima-se que a utilização de análises estatísticas multivariadas, tem-se revelado promissora pela possibilidade de sintetizar diversas variáveis em apenas um agrupamento. Portanto um Banco de Germoplasma (BAG) de *Myrciaria dubia* foi criado pela Embrapa Amazônia Oriental com sementes coletadas

em diferentes partes das margens do rio Solimões da região amazônica para estudar a diversidade genética da planta. Assim, este trabalho tem como objetivo determinar a composição dos elementos minerais Al, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na e Zn em polpas, cascas e sementes de sete genótipos de camu-camu conservados no BAG. Os resultados permitirão eleger o genótipo com maior poder nutritivo e, consequentemente, auxiliar o programa de melhoramento genético de *Myrciaria dubia*.

2. Metodologia

2.1. Coleta das amostras

A pesquisa foi realizada com frutos de sete genótipos de camu-camu, previamente identificados, coletados no Banco Ativo de Germoplasma (BAG) da Embrapa Amazônia oriental, no município de Belém-PA. Coordenadas geográficas: 01°26'31,5" S e 48°26'45" W; altitude: 10 m acima do nível do mar. Área ocupada: 0,2 ha (2.000 m²).

Os frutos foram colhidos, manualmente, nas primeiras horas do dia. De cada matriz foram colhidos entre 0,8 e 2 kg de frutos frescos. Cada genótipo foi identificado de acordo com suas respectivas matrizes, denominadas M13, M25, M38, M44, M66, M67, M73. Após a colheita, os frutos foram acondicionados e transportados para o Laboratório de Controle de Qualidade e Meio Ambiente (LACQUAMA) da Universidade Federal do Pará (UFPA), onde foram despolpados e suas partes tissulares separadas (casca, polpa e semente) e conduzidas para análise.

2.2. Determinação dos elementos minerais

A abertura da amostra (casca, polpa e sementes do fruto) foi realizada pelo método de digestão ácida adaptada ao tipo de amostra em bloco digestor, utilizando 1 g de

amostra com procedimento executado em triplicata. Em tubo digestor foi adicionado à amostra 2 mL de HNO₃ P.A (Merck), mantido em *overnight* (sistema aberto), seguido pela adição de 2 mL de H₂O₂ P.A (Merck) prosseguindo o aquecimento de 1 h a 150 °C e 1 h a 200 °C (sistema fechado). Os teores de Al, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na e Zn foram determinados por ICP-OES (ICAP-6000 series, Thermo Scientific, Madison, EUA), no Instituto Evandro Chagas (PA). Os respectivos comprimentos de onda (nm) utilizados foram: 167,0; 422,6; 224,7; 259,9; 766,4; 280,2; 257,6; 589,5; 202,5. Após as medidas, as

concentrações (mg L⁻¹) encontradas nas amostras foram convertidas em teores de metais, considerando as diluições, a massa da amostra e a possível presença destes elementos no branco. Os experimentos foram realizados em triplicata (n=3).

As determinações dos elementos minerais foram realizadas utilizando as condições recomendadas pelo fabricante, descritos Tabela 1. O gás argônio (99,999 % de pureza) foi utilizado na formação de plasma, transporte e formação de gás, com duração da verificação intensidade de emissão de 60s.

Tabela 1. Condições Instrumentais do ICP-OES

Parâmetros	Condições
Potência	1,15 kW
Fluxo de gás de plasma	12 L min ⁻¹
Fluxo de gás auxiliar	0,5 L min ⁻¹
Fluxo de gás nebulizador	0,5 L min ⁻¹
Pressão do nebulizador	200 kPa
Tipo de nebulizador	Concêntrico
Câmara de nebulização	Ciclônica
Tempo de integração	5 s
Velocidade da bomba	25 rpm

2.3. Análise Estatística

A análise multivariada foi realizada com o programa MINITAB Statistical Software versão 16, aplicando a análise de componentes principais (PCA) com a finalidade de reduzir a dimensão de problemas multivariados e detectar parâmetros mais significativos que descrevam o conjunto de dados com a mínima perda dos dados originais, com isto há possibilidade de demonstrar as diferenças entre as amostras utilizadas (gráficos de scores) determinando as principais variáveis envolvidas (gráfico de loading).

3. Resultados e Discussões

3.1. Teores dos elementos minerais

Os teores dos elementos minerais quantificados em polpa, casca e semente dos frutos de sete genótipos de camuamuzeiro estão apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4, respectivamente.

Tabela 2. Teores dos elementos minerais da polpa dos frutos de sete genótipos de camuamuzeiro*

Matriz	Alumínio (mg kg ⁻¹)	Cálcio (mg kg ⁻¹)	Cobre (mg kg ⁻¹)	Ferro (mg kg ⁻¹)	Potássio (mg kg ⁻¹)	Magnésio (mg kg ⁻¹)	Manganês (mg kg ⁻¹)	Sódio (mg kg ⁻¹)	Zinco (mg kg ⁻¹)
M13	4,330 ± 0,09	98,71 ± 2,48	0,550 ± 0,14	4,120 ± 0,81	1076 ± 7,81	54,42 ± 2,04	1,240 ± 0,02	63,42 ± 1,50	3,420 ± 0,54
M25	16,00 ± 2,59	163,8 ± 18,7	0,500 ± 0,01	39,40 ± 1,36	848,2 ± 69,4	49,01 ± 8,75	4,830 ± 0,60	52,79 ± 0,59	16,38 ± 0,24
M38	11,62 ± 1,83	110,5 ± 9,66	0,930 ± 0,08	29,15 ± 4,68	760,2 ± 56,1	35,49 ± 2,71	1,630 ± 0,17	54,77 ± 2,44	16,98 ± 1,88
M44	21,53 ± 0,22	82,85 ± 8,63	3,350 ± 0,44	38,40 ± 3,23	883,5 ± 26,8	52,86 ± 6,79	1,560 ± 0,10	62,26 ± 7,63	18,87 ± 1,31
M66	16,67 ± 2,24	145,9 ± 15,9	1,610 ± 0,32	29,27 ± 3,33	677,4 ± 23,8	53,30 ± 7,75	2,120 ± 0,15	48,88 ± 2,39	17,19 ± 0,84
M67	18,16 ± 1,42	143,6 ± 14,4	2,580 ± 1,82	33,29 ± 4,57	928,3 ± 93,2	44,79 ± 6,91	2,000 ± 0,21	52,84 ± 0,30	18,65 ± 1,64
M73	45,95 ± 2,85	107,0 ± 12,4	0,270 ± 0,06	4,820 ± 0,50	748,8 ± 83,1	40,56 ± 4,13	1,570 ± 0,15	78,74 ± 4,48	3,760 ± 0,31

*Análise em triplicata (n=3) ± DP (desvio-padrão)

Tabela 3. Teores dos elementos minerais da casca dos frutos de sete genótipos de camuamuzeiro*

Matriz	Alumínio (mg kg ⁻¹)	Cálcio (mg kg ⁻¹)	Cobre (mg kg ⁻¹)	Ferro (mg kg ⁻¹)	Potássio (mg kg ⁻¹)	Magnésio (mg kg ⁻¹)	Manganês (mg kg ⁻¹)	Sódio (mg kg ⁻¹)	Zinco (mg kg ⁻¹)
M13	33,70 ± 1,73	487,2 ± 33,6	4,960 ± 0,44	12,68 ± 0,98	4658 ± 407	234,3 ± 17,4	6,020 ± 0,64	72,37 ± 5,89	8,560 ± 0,64
M25	26,46 ± 4,99	972,1 ± 77,0	4,320 ± 0,86	11,17 ± 0,96	3725 ± 121	204,1 ± 13,3	25,70 ± 1,78	81,55 ± 16,3	6,290 ± 0,31
M38	41,74 ± 6,48	914,6 ± 5,70	3,320 ± 0,77	8,930 ± 1,03	3099 ± 390	252,8 ± 36,3	10,07 ± 1,43	100,0 ± 4,40	11,25 ± 0,20
M44	28,15 ± 3,15	395,6 ± 65,3	3,060 ± 0,80	9,350 ± 0,47	3183 ± 433	202,2 ± 27,1	6,010 ± 0,86	75,51 ± 25,6	6,520 ± 1,40
M66	22,75 ± 0,78	1166 ± 57,5	2,330 ± 0,28	10,94 ± 0,88	3282 ± 157	252,4 ± 8,00	11,83 ± 0,40	96,10 ± 18,1	8,490 ± 1,17
M67	29,41 ± 1,12	655,8 ± 2,35	1,970 ± 0,13	8,770 ± 1,45	3724 ± 146	181,4 ± 36,5	7,680 ± 0,16	94,80 ± 15,7	9,140 ± 0,79
M73	31,43 ± 2,52	498,5 ± 80,9	2,050 ± 0,04	8,570 ± 0,85	2989 ± 489	174,5 ± 39,8	13,09 ± 2,24	64,28 ± 8,27	4,330 ± 1,01

*Análise em triplicata (n=3) ± DP (desvio-padrão)

Tabela 4. Teores dos elementos minerais da semente dos frutos de sete genótipos de camucazeiro*

Matriz	Alumínio (mg kg ⁻¹)	Cálcio (mg kg ⁻¹)	Cobre (mg kg ⁻¹)	Ferro (mg kg ⁻¹)	Potássio (mg kg ⁻¹)	Magnésio (mg kg ⁻¹)	Manganês (mg kg ⁻¹)	Sódio (mg kg ⁻¹)	Zinco (mg kg ⁻¹)
M13	13,67 ± 0,31	105,8 ± 3,60	1,440 ± 0,29	12,06 ± 1,74	3549 ± 196	356,2 ± 36,1	2,350 ± 0,15	52,93 ± 5,04	6,530 ± 0,89
M25	15,15 ± 2,18	180,7 ± 3,90	2,310 ± 0,22	6,990 ± 0,72	3171 ± 108	237,4 ± 3,80	6,370 ± 0,20	32,88 ± 2,40	5,800 ± 0,70
M38	6,300 ± 0,35	150,2 ± 10,0	0,830 ± 0,06	6,560 ± 0,11	2470 ± 295	243,4 ± 29,1	3,330 ± 0,33	22,95 ± 4,44	6,180 ± 0,56
M44	13,73 ± 2,47	173,3 ± 2,15	2,500 ± 0,08	9,210 ± 0,18	3490 ± 61,0	324,1 ± 3,00	3,490 ± 0,01	38,01 ± 4,45	6,800 ± 0,15
M66	11,00 ± 0,05	244,4 ± 10,3	2,970 ± 0,38	10,38 ± 0,24	3695 ± 202	303,4 ± 21,4	4,220 ± 0,05	51,59 ± 7,35	9,470 ± 0,45
M67	11,93 ± 1,77	145,1 ± 2,60	2,630 ± 0,07	7,890 ± 0,13	3249 ± 34,0	317,2 ± 14,6	3,360 ± 0,04	43,14 ± 3,79	7,460 ± 0,02
M73	26,01 ± 4,57	158,1 ± 15,8	4,030 ± 0,04	12,08 ± 1,38	4111 ± 407	343,8 ± 34,9	4,080 ± 0,43	51,79 ± 10,5	8,930 ± 1,47

*Análise em triplicata (n=3) ± DP (desvio-padrão)

Os limites de detecção e quantificação foram calculados de acordo com as equações:

$$LD = \frac{3RSD}{\alpha}$$

$$LQ = 10LD$$

Onde: LD = limite de detecção; RSD = desvio padrão relativo para dez medidas da

solução do branco analítico; α = coeficiente angular da curva analítica; LQ = limite de quantificação.

Para os elementos minerais os limites de detecção foram Al (0,0020 mg kg⁻¹), Ca (0,00016 mg kg⁻¹); Cu (0,00070 mg kg⁻¹); Fe (0,00061 mg kg⁻¹); K (0,00042 mg kg⁻¹); Mg (0,00004 mg kg⁻¹); Mn (0,00012 mg kg⁻¹); Na (0,00018 mg kg⁻¹) e Zn (0,000086 mg kg⁻¹).

Tabela 5. Concentrações dos elementos minerais no material de referência NIST SRM 1515

Mineral	Concentração (mg kg ⁻¹)
Al	286,0 ± 9,00
Ca	1526 ± 150
Cu	5,640 ± 0,24
Fe	83,00 ± 5,00
K	1610 ± 200
Mg	2710 ± 80,0
Mn	54,00 ± 3,00
Na	24,40 ± 1,20
Zn	12,50 ± 0,30

A técnica de recuperação dos metais foi realizada utilizando o material de referência certificado pelo *National Institute of Standard and Technology* (NIST) folhas de maçã (NIST SRM 1515 Apple leaves), por ter bioacessibilidade e maior variação de minerais que se assemelham ao do fruto em estudo (Tabela 5), obtendo-se os seguintes valores de recuperação: Al (88,67 %); Ca (99,95 %); Cu

(97,27 %); Fe (74,70 %); K (92,99 %); Mg (98,67 %); Mn (96,45 %); Na (93,60 %) e Zn (58,14 %).

O estudo de recuperação foi realizado pela adição de soluções contendo diferentes concentrações do analito de interesse, seguida pela determinação da concentração do analito adicionado, resultando no cálculo da quantidade percentual recuperada pelo processo, utilizando a fórmula:

$$REC (\%) = \frac{\text{Valor obtido} - \text{Valor Real}}{\text{Valor Real}} \times 100$$

A recuperação dos elementos minerais foi considerada satisfatória, entretanto, as baixas recuperações para Fe (74,7 %) e Zn (58,14 %) são explicadas pela ocorrência de erro sistemático, o qual decorre da perda de substância devido à baixa recuperação da

extração ou digestão, medidas volumétricas imprecisas ou substâncias interferentes na amostra. A faixa linear de trabalho variou de 1,0 a 32,0 mg L⁻¹ utilizando solução padrão de calibração interna 5 mg L⁻¹ de ítrio (Y) a 1 % de HNO₃, apresentando valores de r (coeficiente

de correlação) com razoável linearidade dentro das faixas de concentrações avaliadas (Tabela 6).

Tabela 6. Valores de r dos elementos minerais

Mineral	r
Al	0,9429
Ca	0,9374
Cu	0,9343
Fe	0,9350
K	0,9351
Mg	0,9378
Mn	0,9351
Na	0,9168
Zn	0,9328

Dentre os minerais quantificados, K é o mais abundante no fruto, para a polpa (1076-677,4 mg kg⁻¹) resultados semelhantes foram publicados em estudo no Estado do Paraná (838,8 mg kg⁻¹)¹³ e em populações de camu-camu ao longo do Rio Uatumã (947,0 mg kg⁻¹).⁹ Sua maior concentração está na casca, seguido pela semente e polpa, próximo aos valores diários recomendados pelo Ministério da Saúde para adultos: 2000 mg; lactentes: 500-670 mg; e crianças: 1000-2000 mg.

O Ca é o segundo mineral mais abundante, para a polpa (163,8-82,85 mg kg⁻¹) resultados foram semelhantes ao de frutos provenientes do Estado do Paraná (157,3 mg kg⁻¹)¹³ e de frutos (106,0 mg kg⁻¹) do Rio Uatumã.⁸ A maior concentração de Ca encontra-se na casca, seguido pela semente e polpa, porém, inferior se comparada ao leite e derivados (média de 9000 mg kg⁻¹), por outro lado, comparada a outros frutos convencionais, se aproxima aos valores diários recomendados pelo Ministério da Saúde, para adultos: 800 mg; lactentes: 400-600 mg; grávidas: 1.200 mg e crianças: 800-1.200 mg.

O Fe desempenha função essencial no organismo, na polpa (39,40-4,120 mg kg⁻¹)

apresentou resultados semelhantes a estudos realizados no Estado do Paraná (157,3 mg kg⁻¹)¹³ e (4,360 mg kg⁻¹) no Rio Uatumã.⁸ Sua maior concentração está na polpa, seguido pela casca e semente, superiores aos valores diários recomendados pelo Ministério da Saúde, para adultos: homens, 10 mg e mulheres, 15 mg; lactentes: 6 – 10 mg e crianças: 10 – 12 mg.

O Na apresentou resultados inferiores (78,74-48,88 mg kg⁻¹) aos dos frutos do Estado do Paraná (111,3 mg kg⁻¹)¹³ para a polpa. Sua maior concentração está na casca, seguido pela polpa e semente, inferiores aos valores diários recomendados pelo Ministério da Saúde, para adultos: 500 mg; lactentes: 120-200 mg e crianças: 225-500 mg.

O Mg com maior teor na semente (356,2-237,4 mg kg⁻¹), seguido pela casca e polpa e se aproximam aos valores diários recomendados pelo Ministério da Saúde, para adultos: 280 mg – 350 mg; lactentes: 40-60 mg; grávidas: 290-355 mg e crianças: 80-170 mg.

O Mn na polpa (4,830-1,240 mg kg⁻¹) apresentou resultados inferiores aos dos frutos do Estado do Paraná (21,10 mg kg⁻¹)¹³ e

sua maior concentração encontra-se na casca, seguido por semente e polpa, porém, superiores aos valores diários recomendados pelo Ministério da Saúde para adultos: 2 – 5 µg; lactentes: 0,3 – 1,0 µg e crianças: 1 – 5 µg.

O Zn na polpa (18,87-3,420 mg kg⁻¹) apresentou resultados superiores aos publicados (3,600 mg kg⁻¹ e 2,420 mg kg⁻¹)^{8,13}. Apresenta maior concentração na polpa, seguido por semente e casca, próximos aos valores diários recomendados pelo Ministério da Saúde para adultos: 12-15 mg; lactentes: 5 mg e crianças: 10-15 mg.

O Cu é o mineral de menor concentração no fruto, para a polpa (3,350-0,440 mg kg⁻¹) os resultados foram semelhantes aos dos frutos do Estado do Paraná (2,000 mg kg⁻¹)¹³. Apresenta maior concentração casca, seguido por semente e polpa, enquadrando-se ao valor de ingestão diária recomendada pela Organização Mundial de Saúde (1,5 a 3 mg).

Os teores de Al são maiores na casca (45,95-4,330 mg kg⁻¹), seguido por polpa e semente, a Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda que se limite a ingestão de Al à quantidade de 1 mg por kg de peso corporal/dia em virtude da participação do Al no grupo de metais tóxicos, portanto, seria necessário verificar quais fatores influenciam na absorção de Al pela planta e fixação no fruto, uma vez que o tipo e ambiente de cultivo influenciam nos teores de minerais no fruto.¹⁴

3.2. Análise estatística

A análise de componentes principais (PCA) foi aplicada aos resultados obtidos a partir da quantificação dos elementos minerais presentes nas partes tissulares de sete genótipos em frutos de camu-camuzeiro. As primeiras componentes (PC1 e PC2) foram

escolhidas por representarem a combinação linear de maior variância de dados, portanto, através do gráfico dos scores obtido por PC1 x PC2, apresentado na Figura 1, é possível observar que as partes tissulares (casca, polpa e semente) do fruto de camu-camu encontram-se agrupadas por similaridade, evidenciando a significativa relação entre as variações das concentrações de metais entre as partes do fruto, portanto, houve formação de dois grupos que relacionam as componentes e variáveis, totalizando 100 % da amostragem. Com base em PC1 (42,5 %), o grupo A (polpa) formado por cinco genótipos e o grupo D (casca) formado por três genótipos, assim como a formação de dois grupos em PC2 (23,1 %), o grupo B (semente) formado por seis genótipos e o grupo D (casca) formado por três genótipos.

Conforme indicado no gráfico dos pesos apresentado na Figura 2, a PC1 da polpa possui como variáveis dominantes Fe e Zn, fatores que correlacionam os cinco genótipos agrupados, contudo, a separação evidente do genótipo M13 se relaciona às baixas concentrações de Fe, Zn e Al e do genótipo M73 decorre da alta concentração de Al e baixas concentrações de Fe e Zn. Para semente, a PC1 apresenta como variáveis dominantes K e Mg correlacionando os seis genótipos agrupados, porém o genótipo M38 encontra-se distante devido às baixas concentrações de Al, Cu, K, Mg e Na. Considerando a casca, a PC1 demonstra Ca e Mn como variáveis dominantes formando dois grupos: o grupo C (M13, M44, M73), que se correlaciona pelas altas concentrações de Na, Ca e Mn, e o grupo D (M25, M38 e M66), que se correlaciona pelas baixas concentrações de Na, Ca e Mn e pela baixa concentração de Cu. O genótipo M67 difere dos demais pela baixa concentração de Cu e alta concentração de Na, portanto, se apresenta isolado dos demais.

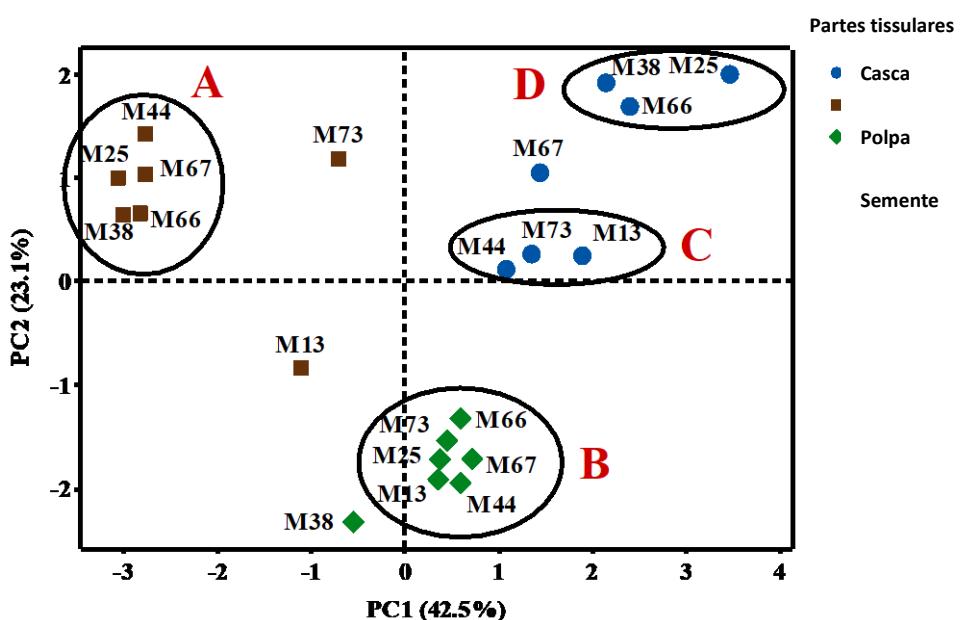


Figura 1. Gráfico dos scores obtido por PC1 x PC2

Consequentemente, o gráfico de pesos na Figura 2 apresenta correlação positiva entre Fe e Zn para a polpa, entre Na, Ca, Al e Mn para a casca e negativa para o Mg em semente, devido aos seus percentuais em

PC2. Portanto, os resultados demonstram que as partes tissulares podem ser diferenciadas e correlacionadas com base na similaridade dos teores de elementos minerais.

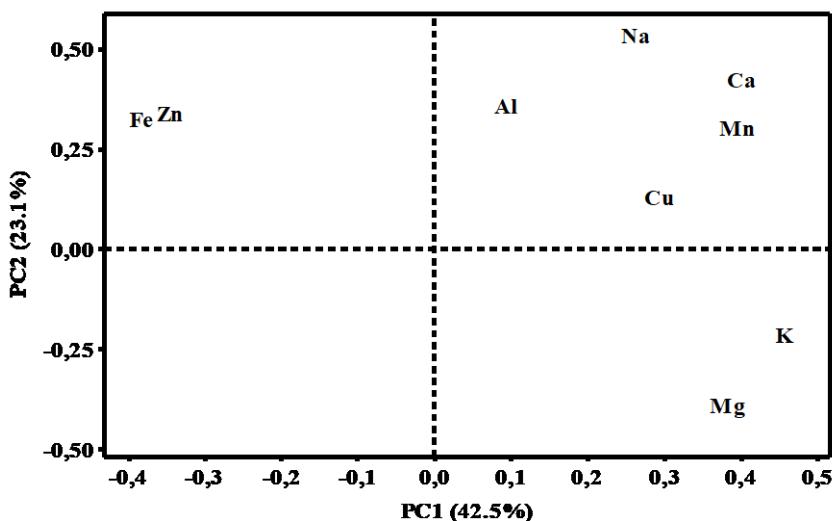


Figura 2. Gráfico dos pesos

A observação da matriz de correlação e significância ($p < 0,05$) entre as partes tissulares permite a identificação das variáveis que se correlacionam fortemente: Ca, Mn e Na, logo, o gráfico tridimensional apresentado na Figura 3 permite observar a variação entre os teores de três minerais essenciais, uma vez que incrementos nos níveis de Ca aumentam os teores de Mn e Na. Ao contrário, a diminuição da concentração de Ca é seguida

da queda dos teores de Mn e Na. Em síntese, tal correlação demonstra que a disponibilidade de Ca se encontra diretamente associada à maior disponibilidade de Mn e Na no fruto, permitindo grande capacidade de contribuição a um programa de nutrição humana e subsídio no programa de melhoramento genético do fruto de camuamuzeiro.

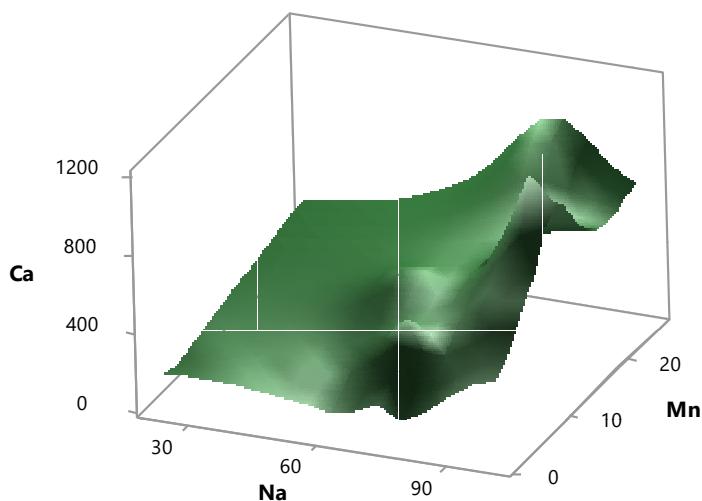


Figura 3. Gráfico de superfície de Ca versus Mn; Na

Para análise da disponibilidade dos elementos mais significativos e essenciais para nutrição humana (Ca, K e Na), os quais igualmente se fazem presentes em maior abundância no fruto íntegro, emprega-se a Figura 4 que demonstra suas variações nas partes tissulares do fruto, considerando os genótipos. Portanto, é possível observar que o mineral Ca demonstrou elevada contribuição para a casca dos frutos, corroborando os resultados encontrados em estudos realizados em outras regiões geográficas^{8,13}, entretanto deve-se destacar o genótipo M66, o qual apresenta 1166 mg kg^{-1} de Ca, com teor igualmente significativo na polpa e na semente dos frutos de camu-camu.

Similarmente o mineral K possui expressiva contribuição para a composição nutricional da

casca e semente do fruto, entretanto, seu teor foi mais significativo para a casca no genótipo M13 (4658 mg kg^{-1}) e para a semente no genótipo M73 (4111 mg kg^{-1}), contudo, para a polpa o teor foi inferior e invariável entre os genótipos; O mineral Na apresentou variação e contribuição expressiva para a distinção dos genótipos devido ao seu baixo teor nas sementes do fruto, possuindo menores concentrações no genótipo M38 ($22,95 \text{ mg kg}^{-1}$); Por outro lado, o mineral Al deve ser analisado cautelosamente devido a seu potencial de intoxicação, sendo classificado como indutor de eminente efeito neurotóxico¹⁵, portanto, o critério mais interessante deste mineral seria eleger o genótipo com baixo teor (M66).

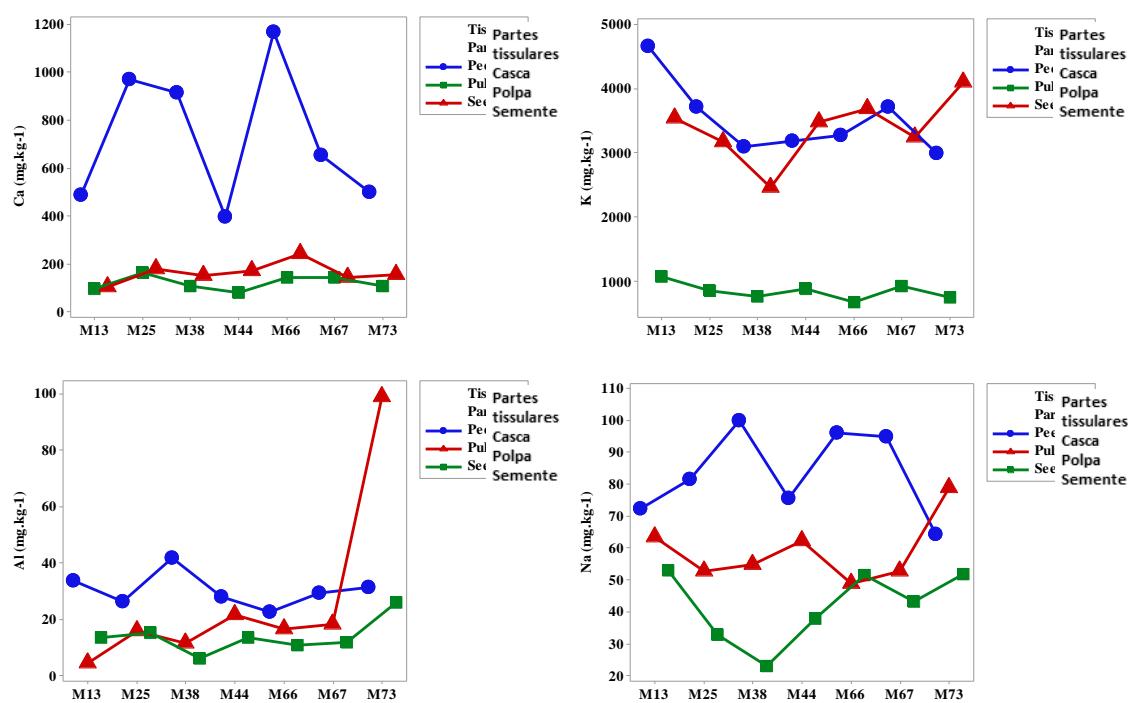


Figura 4. Potencial disponibilidade de Ca, K, Al e Na em partes tissulares do fruto

4. Conclusão

A composição mineral dos genótipos M66 (alto teor de Ca e baixo teor de Al) e M13 (alto teor de K e baixo teor de Al) demonstraram expressiva importância nutricional e possibilidade de contribuição do fruto de camu-camu para o incremento da necessidade nutricional da população e da importância comercial do fruto. Como possuem maior poder nutritivo, são considerados por este estudo, os materiais genéticos com qualidade superior para serem reproduzidos e participarem do programa de melhoramento genético do fruto de camucamuzeiro realizado na Embrapa Amazônia Oriental. Como comprovado, o camu-camu é rico em elementos minerais essenciais, que estão de acordo ou muito próximos à quantidade necessária para a manutenção do bom funcionamento do organismo podendo ser utilizado em diferentes faixas etárias, sem severas restrições, possibilitando o estabelecimento de um programa de nutrição humana.

Referências Bibliográficas

- 1 McVaugh, R. *Botany of the Guyana highland. Part VIII. Memoirs of the New York Botanical Garden* **1969**, 18,55.
- 2 Villachica, L. H.; *El Cultivo de Camu-Camu (Myrciaria dubia H. B. K. Mc Vaugh) en la Amazonia Peruana, Tratado de Cooperacion Amazonica*: Lima, Peru, 1996.
- 3 Alves, R. E.; Filgueiras, H. A. C.; Moura, C. F. H. *Caracterização de frutas nativas da América Latina*. Funep: Jaboticabal, 2000.
- 4 Pinedo A, R.; *Dissertação de Mestrado* Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 2002. [\[Link\]](#)
- 5 Yuyama, K.; Aguiar, J. P. L.; Yuyama, L. K. O. Camu-camu: um fruto fantástico como fonte de vitamina C. *Acta Amazônica* **2002**, 32, 169. [\[CrossRef\]](#)
- 6 Matsuura, F. C. A. U.; Cardoso, R. L.; Oliveira, J. R. P.; Oliveira, J. A. B.; Santos, D. B.; *Resumo do 15º Congresso Brasileiro de Fruticultura*, Poços de Caldas, Brasil, 1998.

- ⁷ Andrade. J. S. *Tese de Doutorado*, Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 1993.
- ⁸ Rodrigues. R., Papagiannopoulos. M., Maia. J., Yuyama. K., Marx. F. Antioxidant capacity of camu-camu [Myrciaria dubia (H. B. K.) McVaugh] pulp. *Ernährung/Nutrition* **2006**; *30*, 357.
- ⁹ Yuyama, L. K. O.; Aguiar, J. P. L.; Yuyama, K.; Lopes, T. M.; Favaro, D. I. T.; Bergl, P. C. P.; Vasconcellos, M. B. A. Teores de elementos minerais em algumas populações de camu-camu. *Acta Amazonica* **2003**, *33*, 549. [\[CrossRef\]](#)
- ¹⁰ Nei, M. Analysis of gene diversity in subdivided populations. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* **1973**, *70*, 3321.
- ¹¹ Ali, M. H. H.; Al-Qahtani, K. M. Assessment of some heavy metals in vegetables, cereals and fruits in Saudi Arabian markets. *Egyptian Journal of Aquatic Research* **2012**, *38*, 31. [\[CrossRef\]](#)
- ¹² Alves, R. E; Brito, E. S.; Rufino, M. do S. M.; *Resumo do 19º Congresso Brasileiro de Fruticultura*, Cabo Frio, Brasil, 2006.
- ¹³ Justi K. C.; Visentainer, J. V.; De Souza, N. E.; Matsushita, M. Nutritional composition and vitamin C stability in stored camu-camu (Myrciaria dubia) pulp. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* **2000**; *50*, 405. [\[PubMed\]](#)
- ¹⁴ Ribeiro, P. F. A.; Stringheta, P. C.; Oliveira, E. B.; Mendonça, A. C.; Sant'ana, H. M. P. Levels of vitamin C, β-carotene and minerals in camu-camu cultivated in different environments. *Ciência Rural* **2016**, *46*, 567. [\[CrossRef\]](#)
- ¹⁵ Ferreira, P. C; Piai, K. A; Takayanagui, A. M. M; Segura-Munoz, S. I. Alumínio como fator de risco para a doença de Alzheimer. *Revista Latino-Americana de Enfermagem* **2008**, *16*, 151 [\[CrossRef\]](#)