



ARTIGO ORIGINAL

Renato Alves Teixeira^{1*}
Alessandra Daniele de Sousa Brandão¹
Edna Santos de Souza¹
Antonio Rodrigues Fernandes¹
Cristine Bastos do Amarante²
Paulo Alexandre Panarra Ferreira
Gomes das Neves²

¹ Universidade Federal Rural da Amazônia, Av.
Tancredo Neves 2501, Terra Firme, 66077-830,
Belém, PA, Brasil

² Museu Paraense Emílio Goeldi – Belém – Pará –
Brasil, Av. Perimetral, 1901, Terra Firme, 66077-
830, Belém, PA, Brasil

*Autor Correspondente:

E-mail: alves.agro@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE

Adubação
Metabolismo secundário
Relação solo-plantas

KEYWORDS

Fertilization
Secondary metabolism
Relation soil-plant

Teores de flavonoides e nutrientes em plantas de noni cultivadas em solos com atributos químicos contrastantes

Contents of flavonoids and nutrients in noni plants grow in soils with different chemical properties

RESUMO: O noni (*Morinda citrifolia*) tem sido utilizado como planta medicinal em diversos países do mundo, inclusive no Brasil e principalmente na região amazônica, por conter substâncias com ação antioxidantes, principalmente os flavonoides. No entanto, não existem estudos conclusivos sobre a composição nutricional, bem como se o teor de flavonoides varia entre as partes da planta e se são influenciados por condições edáficas. O objetivo foi avaliar o teor de flavonoides totais e nutrientes em frutos, folhas novas, folhas maduras e folhas senescentes de noni em função dos atributos químicos de solos do estado do Pará. O teor de flavonoides na planta variou na seguinte ordem: folha madura \geq folha nova $>$ folha senescente $>$ frutos. As plantas cultivadas na área de Belém, sem adubação, apresentaram os maiores teores de flavonoides totais quando comparadas as plantas que receberam adubação. Os teores totais de flavonoides foram influenciados positivamente pelos atributos do solo, baixo pH, baixos teores de Ca, Mg, K e P.

ABSTRACT: *Noni (Morinda citrifolia) has been used as a medicinal plant in several countries, including Brazil and especially in the Amazon region, it has substances with antioxidant action. However, there is not conclusive studies about nutritional composition of noni, or as the content of phenolic compounds as flavonoids are influenced by edaphic conditions. The aim was to evaluate the total flavonoid content and nutrients in fruits, young leaves, mature leaves and senescent leaves of noni in function of the chemical properties of soils Pará - Amazonian - Brasil. The flavonoid content in the plant varied in the following order: mature leaves \geq young leaves $>$ senescent leaves $>$ fruits. Plants grown in Belém point, without fertilizer, showed the highest total flavonoid content compared to plants treated with fertilizer. The total content of flavonoids were influenced by soil attributes, especially for features that are not beneficial to plant growth such low pH and low contents of Ca, Mg, K and P.*

1 Introdução

O noni (*Morinda citrifolia* L.) é um arbusto que mede entre 3-10 m de altura, possui flores tubulares e pertence à família Rubiaceae. Vem sendo consumido a séculos e possui significativa importância para a medicina tradicional das comunidades das ilhas do pacífico devido seu efeito terapêutico (Basar et al., 2010). As folhas e especialmente os frutos de noni são consumidas de diversas formas em várias partes do mundo, por possuírem grandes concentrações de compostos fenólicos, inclusive flavonoides, que podem possuir ações antimicrobianas, anticancerígenas, antioxidantes, anti-inflamatórias e analgésicas (Chan-Blanco et al., 2006).

Os flavonoides são metabolitos secundários dos vegetais e possuem diversas funções como a defesa contra a herbivoria, a diminuição do estresse provocado pelo ataque de fitopatógenos, e promove a atração de polinizadores e de dispersores de sementes (Kumar & Pandey, 2013). A enzima chave que catalisa o processo de biossíntese de flavonoides é a fenil-amonia liase (PAL), que em diversas situações de estresse ambiental, como, ferimentos, ataque de fitopatógenos e deficiência nutricional tem sua síntese aumentada (Kováčyc & Klejdus, 2014).

Alguns estudos com plantas ricas em flavonoides demonstram que a concentração de alguns nutrientes no solo não influencia o teor de metabolitos secundários, como os flavonoides, nas plantas. Em fava d'anta (*Dimorphandra mollis* Benth), por exemplo, não houve aumento na síntese de flavonoides com o aumento de bases trocáveis no solo (Costa et al., 2007a). Do mesmo modo, o aumento nos teores de fósforo (P), enxofre (S) e boro (B) não influenciou os teores totais de flavonoides também em fava d'anta (Costa et al., 2007b).

Se por um lado o aumento no teor de nutrientes parece não ter efeito sobre a produção de flavonoides de algumas espécies, o tipo de adubação pode influenciar a síntese destes compostos. Estudo realizado com mandioca revelou menor teor de flavonoides totais em plantas que receberam adubação química, quando comparadas as plantas cultivadas com vermicomposto (Omar et al., 2012). Em frutos de damasco também foi observado menores teores totais de flavonoides em plantas adubadas com NPK, do que em plantas que receberam apenas aplicação de zeólitas naturais (Milosevic et al., 2013).

A produção de fitofármacos, como é o caso dos flavonoides, dificilmente é alterada pela adubação, todavia esta prática pode contribuir no aumento da biomassa vegetal (Correa-Junior et al., 1991), e conseqüentemente na quantidade. Por outro lado, o estresse ambiental imposto pelos atributos químicos dos solos amazônicos, como alta acidez e baixa disponibilidade de nutrientes pode afetar a produção de flavonoides devido a eficiência da fenil-amonia liase em sintetizar flavonoides em situações de estresse ambiental (Kováčyc & Klejdus, 2014).

A composição química do noni foi pouco estudada, apenas alguns trabalhos determinaram a composição do fruto e têm demonstrado diferenças tanto qualitativas quanto quantitativas na composição dos frutos (Chan-Blanco et al., 2006; Palioto et al., 2015), sendo que o teor de alguns nutrientes vem sendo ignorado. Sabe-se, contudo, que os teores de fenóis totais são superiores ao encontrado em algumas plantas do cerrado (Costa et al., 2013).

Além disso não se conhece como teor de nutrientes no solo afeta a síntese de flavonoides pelo noni, nem como a absorção de nutrientes é afetada pelos atributos químicos do solo. O clima e solo são fatores que influenciam o estado nutricional da planta (Deng et al., 2010), o que sugere a necessidade de estudos para definir a composição química do noni, a partir de variações edafoclimáticas. O objetivo foi avaliar os teores de flavonoides totais e nutrientes em frutos, folhas novas, maduras e senescentes de noni, em função dos atributos químicos de solos do estado do Pará.

2 Material e Métodos

Foram estudadas quatro áreas de coleta de solo e material vegetal. Uma área localizada no campus da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, em Belém – Pará (01° 27' 13,75"S, 48° 26' 35,10"W), e outras três no município de Capitão Poço – Pará, (CP1: 01° 47' 28,29"S, 47° 04' 28,66"W, CP2: 01° 47' 28,29"S, 47° 04' 28,66"W, CP3: 01° 47' 28,65"S 47°, 04' 26,60"W, CP4 01° 47' 27,29"S, 47° 04' 27,30"W).

Nas áreas de coletas de Capitão Poço o noni (*Morinda citrifolia*) foi cultivado em consórcio com laranja e submetido a turnos de rega e adubação recomendada para esta cultura: 80 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia, 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅, como superfosfato triplo, e 40 kg ha⁻¹ de K₂O, como KCl. Na área de coleta de Belém as plantas não receberam qualquer tipo de adubação.

O clima Belém é classificado como Af conforme a classificação de Koppen-Geiger, com temperatura média anual de 26,8 °C e pluviosidade média anual de 2537 mm. Em Capitão Poço o clima é classificado como Am, com temperatura média anual de 26,1 °C e pluviosidade média anual de 2256 mm.

A amostragem de solo foi realizada na profundidade de 0-0,2 m, sendo coletadas cinco amostras simples para compor uma amostra composta em cada área. Os atributos químicos do solo foram obtidos conforme Embrapa (2011). O P e o K foram extraídos por Mehlich 1 e determinados por espectrofotometria e fotometria de chama, respectivamente. O cálcio (Ca), o magnésio (Mg) e o alumínio (Al) foram extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por titulometria. O pH foi determinado em potenciômetro na relação solo:água de 1:2,5. O carbono orgânico total (COT) foi determinado, pelo método volumétrico de oxidação com K₂Cr₂O₇ e titulação com sulfato ferroso amoniacal e a matéria orgânica foi estimada multiplicando o COT por 1,72. A extração de ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), no solo foi feita conforme Embrapa (2011), utilizando a solução extratora de Mehlich I e a determinação por espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS), utilizando espectrômetro da marca Instrumentos científicos C.G., modelo AA 904 equipado com corretor de fundo e lâmpada de deutério.

Na amostragem das folhas utilizou-se o procedimento adotado por Freitas et al. (2007). Em cada área foi selecionado quatro fileiras de plantio, com 10 plantas, cada uma, cada fileira foi considerada uma repetição. Em cada planta, de cada repetição foi selecionado um galho onde se coletou folhas nos três estágios, novas, maduras e senescente.

O material vegetal foi seco em estufa a 60 °C e triturado em moinho de faca tipo Wiley. Para a obtenção dos teores de

nutrientes no tecido vegetal foi pesado $0,3 \pm 0,05$ g de cada amostra que foram digeridas com uma mistura de 3 mL de HNO_3 concentrado e 1,0 mL de H_2O_2 30%, em bloco digestor com temperatura de 150 °C por 2 h até o clareamento da solução (Amarante et al., 2013). Em seguida foram filtradas em papel filtro faixa azul marca Nalgon. O extrato filtrado foi transferido para tubos tipo Falcon de 50 mL e o volume final ajustado com água deionizada. Os teores obtidos foram determinados por espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS), Varian AA 220, (Mulgrave, Victoria, Austrália) equipado com corretor de fundo e lâmpada de deutério. Os ensaios foram realizados em triplicata e os brancos analíticos preparados pelo mesmo procedimento sem a adição da amostra.

Para a extração dos flavonoides foi pesada 2,0 g de vegetal seco e submetido a extração com metanol 70% grau analítico (Vetec, Duque de Caxias- RJ, Brasil) em temperatura ambiente. O extrato obtido foi filtrado em papel de filtro faixa azul da marca Nalgon. Na alíquota de 15 mL foi acrescido 1 mL de cloreto de alumínio (Vetec, Duque de Caxias- RJ, Brasil) e o volume completado para 50 mL com água ultrapura.

A determinação dos teores de flavonoides totais foi determinada por espectrofotometria em espectrofotômetro Spectro Vision, UV-Visível DB18805. Na curva de calibração foi utilizado rotina a 99,5% como padrão para flavonoides.

O método foi avaliado utilizando o intervalo de linearidade, que foi estimado utilizando concentrações de rotina de 7,0 a 20,0 $\mu\text{g mL}^{-1}$, além disso foram estimados o limite de detecção e quantificação calculados a partir do desvio padrão de dez leituras do branco.

Tabela 1. Classe de interpretação de teores no solo, com base na análise de fertilidade.

Table 1. Category of interpretation of nutrient content in the soil, based on fertility analysis.

Atributo do solo	Classe de teores no solo		
	Baixo	Médio	Alto
P (mg/dm^{-3})	< 10	11 - 30	> 30
K (mg/dm^{-3})	< 45	46 - 90	> 90
Ca ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)	< 1,5	1,6 - 4,5	> 4,5
Mg ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)	$\leq 0,5$	0,5 - 1,5	> 1,5
Ferro (mg/dm^{-3})	< 18	18 - 45	> 45
Manganês (mg/dm^{-3})	< 5	5 - 12	> 12
Zinco (mg/dm^{-3})	< 0,9	0,9 - 2,2	> 2,2

Fonte: Adaptado de Cravo et al. (2010).

Tabela 2. Atributos do solo em áreas cultivadas com Noni.

Table 2. Attributes of soil in areas cultivated with noni.

Pontos de coleta	Atributos do Solo									
	MO ¹ g kg ⁻¹	pH CaCl ₂	Ca cmol _c dm ⁻³	Mg	P	K	Mn mg dm ⁻³	Fe	Zn	H+Al
CP 1	5,6	5,0	4,5	1,4	477,7	8,9	132,9	629,2	7,1	3,8
CP 2	4,3	5,3	3,2	0,8	235,2	4,0	86,8	557,4	12,7	3,5
CP 3	4,5	5,1	3,1	0,7	113,6	3,1	50,4	768,2	9,3	2,9
Belém	3,7	4,1	1,6	0,6	92,6	0,3	4,6	951,0	1,9	5,7

¹Matéria orgânica do solo; CP1 Capitão Poço 1; CP2 Capitão Poço 2; CP3. Capitão Poço.

O teor de nutrientes no solo foi comparado aos teores estabelecidos por Cravo et al. (2010) para interpretação da fertilidade dos solos (Tabela 1). Os teores de nutrientes nos tecidos vegetais e os teores de flavonoides foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott.

Para avaliar o potencial do noni em bioacumular metais pesados foi calculado o fator de bioacumulação (FB) conforme a Equação 1 (Caille et al., 2005).

$$FB = \frac{\text{Concentração do elemento na parte aérea}}{\text{Teor de elemento no solo}} \quad (1)$$

Foi feito estudo de correlação Pearson entre os teores totais de flavonoides e os atributos químicos do solo, utilizando o programa estatístico Assisat (Silva et al., 2002).

3 Resultados e Discussão

Na área de Belém foram observados baixos teores de Ca, Mg, P e K, altos teores de Fe e Mn e teores médios de Zn nos solos (Tabela 2) (Cravo et al., 2010). Nas áreas de Capitão Poço 1 (CP1), Capitão Poço 2 (CP2) e Capitão Poço 3 (CP3) os teores de P, Ca, Mg, Mn e Fe encontrados variaram de médios a altos (CP1), para os macronutrientes, isto pode ser devido ao efeito residual das adubações. A baixa concentração de bases trocáveis e a acidez elevada (pH 4,1) observada na área de Belém estão relacionados a lixiviação de bases trocáveis causada pela elevada precipitação da região, além disso, os solos são pobres naturalmente em minerais primários responsáveis pela reposição das bases (Cravo et al., 2010).

Nos frutos, os teores de Ca variaram entre 2,3 e 2,8 g kg⁻¹, já os teores de Mg variaram entre 1,4 e 2,6 g kg⁻¹, sem haver diferença significativa entre as áreas coletadas para ambos nutrientes (Tabela 3). Os valores estão em consonância aos observados por Silva et al. (2011) também para noni, em Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico.

O teor de Zn no fruto de noni foi maior na área de coleta Belém, porém entre as áreas de Capitão Poço não houve diferenças. Os teores encontrados variaram entre 9,6 e 13,6 mg kg⁻¹ de Zn. Em área cultivada com noni em Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico foi encontrada concentração de 12,5 mg kg⁻¹ de Zn em frutos maduros de noni (Silva et al., 2011).

Considerando que as exigências do noni por nutrientes sejam semelhantes às do cafeeiro (*Coffea arabica* L), cultura também da família Rubiaceae, os teores encontrados em folhas maduras de noni na área de coleta Belém estão abaixo da faixa

de suficiência para Ca que varia entre 8,9 e 11,2 g kg⁻¹ e para Mg que varia entre 3,1 e 4,1 g kg⁻¹ (Martinez et al., 2003). Nas demais áreas (Capitão Poço) o teor de nutrientes está na faixa considerada adequada para o cafeeiro (Martinez et al., 2003).

Os teores de Fe no fruto e em folhas, em todos os estádios de desenvolvimento, foi maior nas plantas cultivadas em Belém (Tabela 3). A faixa de suficiência para Fe, que varia entre 100 e 130 mg kg⁻¹ (Malavolta et al., 1997). Em folhas maduras o teor médio foi de 312,4 mg kg⁻¹ de Fe. Silva et al. (2014), em trabalho realizado com noni, obtiveram teores de Fe nas folhas de 351,6 mg kg⁻¹, o que foi atribuído ao elevado teor de Fe no solo.

Os teores de Mn encontrado nas folhas e frutos foram menores na área coletada em Belém (Tabela 3). Para Mn a faixa de suficiência varia entre 71 e 177 mg kg⁻¹ (Martinez et al., 2003) foi superado em todas as áreas de coleta. Teores elevados de Mn em plantas de noni também foram observados por

Silva et al. (2011) em plantio comercial e Silva et al. (2014) em área experimental, no estado do Maranhão.

Os teores de Zn, Mn e Fe em 100 g de folhas jovens, maduras e senescentes de noni são maiores que os níveis diários de ingestão (RDA em inglês) preconizados pela organização mundial de saúde – OMS. As folhas de noni, podem então ser utilizadas como suprimento desses elementos na dieta alimentar, no entanto, o consumo deve ser moderado, visto que os teores encontrados podem ultrapassar a necessidade diária (Almeida et al., 2009). Teores de nutrientes acima do nível máximo de ingestão tolerável (UL em inglês) podem causar intoxicação e em casos severos levar a óbito (WHO, 2006).

Os teores de nutrientes superiores aos limites de ingestão nas plantas não indicam obrigatoriamente toxidez, pois o organismo não absorve o teor total do elemento ingerido, a absorção está relacionada a fração biodisponível (Silva et al., 2010). A biodisponibilidade é influenciada por diversos fatores como a composição química do mineral, forma molecular e a

Tabela 3. Teores de nutrientes em frutos e folhas de noni.

Table 3. Contents of nutrients in fruits and leaves of noni.

Área de coleta	Teores de nutrientes em frutos de noni				
	Ca	Mg	Zn	Mn	Fe
	g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹		
Capitão Poço 1	2,8 a	2,6 a	9,6 b	203,2 ab	48,2 c
Capitão Poço 2	2,2 a	2,3 a	10,7 b	174,3 b	71,5 b
Capitão Poço 3	2,5 a	2,5 a	9,7 b	250,3 a	52,7 c
Belém	2,3 a	1,4 a	13,6 a	119,8 c	102,7 a
Área de coleta	Teores de nutrientes em folhas novas de noni				
	Ca	Mg	Zn	Mn	Fe
	g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹		
Capitão Poço 1	7,8 a	2,8 a	182,8 b	1005,9 b	245,5 b
Capitão Poço 2	8,2 a	2,9 a	144,6 a	1031,3 b	198,9 c
Capitão Poço 3	8,4 a	3,2 a	148,7 b	1942,2 a	174,4 d
Belém	6,5 a	2,2 a	132,3 c	1007,5 b	303,4 a
Área de coleta	Teores de nutrientes em folhas maduras de noni				
	Ca	Mg	Zn	Mn	Fe
	g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹		
Capitão Poço 1	8,2 a	3,2a	200,9 b	1414,6 a	227,8 b
Capitão Poço 2	8,3 a	3,4a	173,7 a	1514,6 a	235,1 b
Capitão Poço 3	8,5 a	3,7a	164,5 c	1888,0 a	252,2 b
Belém	7,2 a	2,5a	140,4 d	1074,6 b	312,6 a
Área de coleta	Teores de nutrientes em folhas senescentes de noni				
	Ca	Mg	Zn	Mn	Fe
	g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹		
Capitão Poço 1	8,3 a	2,9a	190,2 a	1910,8 a	222,5 b
Capitão Poço 2	8,7 a	3,1a	162,3 b	1424,8 b	145,2 b
Capitão Poço 3	8,3 a	3,2a	153,1 b	1476,9 b	184,0 b
Belém	7,5 a	1,9b	132,9 c	1439,3 b	298,9 a
Valores de referência mg dia ⁻¹					
*RDA	1200	350	7	2,3	14
**UL	3000	1200	45	11	45
***WHO			15	3	20

Letras minúsculas comparam os teores pelo teste de Scott-Knott; **Recommended Dietary Allowances*: nível diário de ingestão de um nutriente considerado suficiente para indivíduos saudáveis; ** *Tolerable Upper Intake Level*: nível máximo tolerável da ingestão crônica diária total de um nutriente ou componente alimentar; ****World Health Organization*: Necessidades diárias recomendadas.

absorção de outros compostos no organismo (Amarante et al., 2011).

As condições ambientais e as práticas agrícolas adotadas influenciaram os níveis de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) que as plantas de noni podem acumular. Isto pode ser um risco potencial devido a toxicidade de determinados elementos. No caso do noni a forma de cultivo e manejo devem ser levados em consideração para o consumo seguro de folhas e frutos, pois esta espécie apresentou potencial para bioacumulação de Zn e Mn (Tabela 4).

A bioacumulação é definida como a transferência para organismos de substâncias ou metais ou elementos químicos presentes nos ambientes (Cohen, 1985). Deste modo o consumo de folhas ou mesmo frutos de locais com altos teores de Zn e Mn podem representar risco potencial à saúde humana e levar

a intoxicação por esses elementos. Além disso, o elevado teor de EPTs em plantas medicinais afeta a composição fitoquímica da espécie e influencia na eficácia dos compostos bioativos como os flavonoides (Okem et al., 2014).

Os teores de flavonoides totais diferiram entre as partes da planta: folha madura (entre 17 e 21,4 mg g⁻¹) > folha nova (entre 11 e 19,3 mg g⁻¹) > folha senescente (entre 2,2 e 4,1 mg g⁻¹) > frutos (entre 0,4 e 0,5 mg g⁻¹) (Tabela 5). Esses resultados indicam a possibilidade do uso das folhas provenientes das podas do noni para a produção de fitoterápicos. O teor de flavonoides totais também foi maior em folhas mais jovens de maracujazeiro que em folhas mais próximas a senescência (Freitas et al., 2007).

Os teores de flavonoides em frutos de noni, variaram entre 0,4 e 0,5 mg g⁻¹, e foram maiores que os obtidos em frutos de aceroleira (*Malpighia sp*), na qual, foram encontradas concentrações entre 0,1 e 0,2 mg g⁻¹ (Lima et al., 2000).

O teor de total de flavonoides em frutos, folhas novas, folhas maduras e folhas senescentes de noni foi maior nas plantas coletadas na área de Belém. Provavelmente devido ao desbalanço nutricional na área de Belém provocado pelo teor de Ca e Mg abaixo da faixa de suficiência e pelo excesso de Zn, Mn e Fe, que alcançaram teores superiores a faixa de suficiência (Martinez et al., 2003).

A área de coleta Belém foi a única que não recebeu adubação química, prática de manejo, que possui efeito direto no crescimento e na qualidade nutricional dos cultivos e, segundo Omar et al. (2012), provoca a redução da produção de compostos fenólicos, como os flavonoides. Isto ocorre devido a maior biossíntese de flavonoides estar relacionada a maior atividade da PAL, enzima que tem sua atividade aumentada quando as plantas são submetidas a estresse ambiental (Mitchel et al., 2007).

Uma vez feita a calagem e a adubação são amenizadas e/ou eliminadas características ambientais relacionadas aos atributos químicos do solo que desfavorecem o desenvolvimento vegetal, tais como, baixos teores de Ca, Mg, P, K, elevada acidez (pH 4,1) e altos teores de Fe (951 mg kg⁻¹), propriedades essas observadas na área de Belém, o que explica os maiores teores de flavonoides observados (Tabela 5) (Mitchel et al., 2007).

Tabela 4. Fator de bioacumulação noni para micronutrientes.

Table 4. Bioaccumulation factor of nutrients from the noni.

Área de coleta	Fator de Acumulação		
	Zn	Mn	Fe
Capitão Poço 1	26,8	14,4	0,4
Capitão Poço 2	12,8	16,4	0,3
Capitão Poço 3	16,5	29,3	0,2
Belém	69,9	312,9	0,3

Tabela 5. Teores totais de flavonoides em plantas de noni cultivadas em solos com diferentes atributos químicos.

Table 5. Total contents of flavonoids in noni plants grown in soil with different chemical attributes.

Local de coleta	Fruto	Folha		
		Nova	Madura	Senescente
mg g ⁻¹				
CP1 ¹	0,4 aC	15,9 abA	17,2 bA	2,2cB
CP2	0,5 aD	17,2 ab	19,3 abA	3,0bC
CP3	0,5 aC	11,0 bB	20,5 aA	3,2bC
Belém	0,4 aC	19,3 aA	21,4 aA	4,1 a B

¹CP: Capitão Poço; Médias seguidas pelas mesmas letras, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 6. Matriz de correlação de Pearson entre os atributos do solo e o teor de flavonóides totais em frutos e folhas de noni.

Table 6. Pearson correlation matrix between soil attributes and the content of total flavonoids in fruits and leaves of noni.

	pH	Ca	Mg	P	K	Mn	Fe	Zn	H+Al	¹ FLFR	² FLFN	³ FLFM
Ca	0,730											
Mg	0,362*	0,891										
P	0,402	0,880	0,985*									
K	0,574	0,974	0,970	0,961								
Mn	0,706*	0,970	0,906	0,933	0,971**							
Fe	-0,899*	-0,794*	-0,575*	-0,660*	-0,722	-0,864*						
Zn	0,956*	0,519*	0,128	0,203	0,351	0,533	-0,858					
H+Al	-0,935	-0,669	0,263	0,246	-0,483	-0,561**	0,699*	-0,852*				
¹ FLFR	0,706	0,049	0,046	0,059	0,169*	-0,002	-0,424	0,829*	-0,740			
² FLFN	-0,567*	-0,396	-0,046	-0,059	-0,215**	-0,182	0,185	-0,440	0,823*	-0,573		
³ FLFM	-0,559*	-0,942**	-0,965**	-0,984**	-0,985**	-0,982**	0,768*	0,367	0,410*	0,191	0,069	0,959*
⁴ FLFS	-0,730*	-0,997*	-0,900**	-0,901**	-0,979	-0,985**	0,821*	-0,528*	0,644*	0,037	0,333	0,959*

* p valor < 0,05; ** p valor; ¹Flavonóides fruto de noni; ²Flavonóides folha nova de noni; ³Flavonoides folhas maduras de noni; ⁴Flavonoides folhas senescentes de noni.

Em plantas de damasco houve redução nos teores de flavonoides totais nos frutos após a adubação com NPK, quando comparadas a plantas que receberam apenas aplicação de zeólitas naturais (Milosevic et al., 2013). Em estudo realizado com mandioca foi observado menor teor de flavonoides totais em plantas que receberam adubação química quando comparadas a plantas cultivadas com vermicomposto (Omar et al., 2012).

Os macronutrientes, N, P, K, Ca e Mg se correlacionaram negativamente com os teores de flavonoides nas folhas maduras e nas folhas senescentes (Tabela 6). Em situações de deficiência nutricional as plantas aumentam a biossíntese de fenilpropanoides e, por conseguinte de flavonoides (Cesco et al., 2010), o que explica as correlações negativas encontradas. Em fava d'anta, o aumento nas bases trocáveis não teve efeito sobre o teor de flavonoides em folhas, enquanto que os teores baixos de Ca e Mg no solo aumentam a biossíntese de flavonoides totais (Costa et al., 2007a).

O aumento nos teores de flavonoides em função do maior estresse ambiental explica também as correlações positivas fortes e significativas encontradas entre o teor de Fe no solo e o teor de flavonoides em folhas maduras (FLFM) ($r = 0,768$ $p < 0,05$) entre Fe no solo e o teor de flavonoides em folhas senescentes (FLFS) ($r = 0,821$ $p < 0,05$), a correlação negativa forte e significativa entre FLFS e o pH ($r = -0,730$ $p < 0,05$), a correlação negativa entre FLFM e pH ($r = -0,559$ $p < 0,05$) (Tabela 6).

4 Conclusões

Os atributos químicos do solo influenciam o teor de flavonoides em folhas e frutos de Noni, sendo que a menor disponibilidade de nutrientes e acidez elevada diminui a biossíntese de flavonoides. O Noni apresentou potencial de bioacumulação de Zn e Mn. Os teores destes elementos podem alcançar níveis tóxicos nas folhas, sendo que a forma de cultivo e manejo do solo devem ser levadas em consideração para o uso do noni em programas fitoterápicos.

Referências

ALMEIDA, M. M. B.; SOUSA, P. H. M.; FONSECA, M. L.; MAGALHAES, C. E. C.; LOPES, M. F. G.; LEMOS, T. L. G. Avaliação de macro e micronutrientes em frutas tropicais cultivadas no nordeste brasileiro. *Ciência Tecnologia de Alimentos* v. 29, p. 581-586, 2009.

AMARANTE, C. B.; RUIVO, M. L. P.; SILVA, R. J. R.; BATISTA, R. J. R.; BOTERO, W.G. Teor de nutrientes do tecido foliar de duas espécies de *Montrichardia cruger* (Araceae) em solos de várzea da Amazônia oriental. *Revista analytica*, v. 12, p. 69-72, 2013.

AMARANTE, C. B.; SILVA, J. C. F.; MÜLLER, R. C. S.; MÜLLER, A. H. Avaliação da composição mineral do chá da folha senescente de *Montrichardia linifera* (Arruda) Schott (Araceae) por espectrometria de absorção atômica com chama (faas). *Química Nova*, v. 34, p. 419-423, 2011.

BASAR, S.; UHLENHUT, T. K.; HOGGER, P.; SCHONE, F.; WESTENDORF, J. Analgesic and antiinflammatory activity of morinda citrifolia L. *Phytotherapy research*, v.24, p. 38-42, 2010.

CAILLE, N.; ZHAO, F.J.; MCGRATH, S.P. Comparison of root absorption, translocation and tolerance of arsenic in the hyperaccumulator

Pteris vittata and the nonhyperaccumulator *Pteris tremula*. *New Phytologist*, v.165, p.755-761, 2005.

CESCO, S.; NEUMANN, G.; TOMASI, N.; PINTON, R.; WEISSKOPF, L. Release of plant-borne flavonoids into the rhizosphere and their role in plant nutrition. *Plant soil*, v.329, p.1-25, 2010.

CHAN-BLANCO, Y.; VAILLANT, F.; PEREZ, A. M.; REYNES, M.; BRILLOUET, J. M.; BRAT, P. The noni fruit (*Morinda citrifolia*L.): A review of agricultural research, nutritional and therapeutic properties. *Journal of Food Composition and Analysis*, v.19, p.645-654, 2006.

COHEN, B. L. Bioaccumulation factor in marine organism. *Health Physics*. v. 49, p.1290-1294, 1985.

CORREA JUNIOR, C; MING, L.C; SCHEFFER, M.C. *Cultivo de plantas medicinais, condimentares e aromáticas*. Curitiba: EMATER-PR. 151p, 1991.

COSTA C. A.; SOUZA G. A.; ALVES D. S.; ARAÚJO C. B. O.; FERNANDES L.A.; MARTINS E. R.; SAMPAIO R.A.; LOPES P.S.N. Saturação por bases no crescimento inicial e na produção de Flavonóides totais da fava-d'anta. *Horticultura Brasileira*, v. 25 p 49-52, 2007a.

COSTA, A. B; OLIVEIRA, A. M.C.; SILVA, A. M. O.; MANCINI-FILHO, J.; LIMA, A. Atividade antioxidante da polpa, casca e sementes de noni. *Revista brasileira de fruticultura*, v. 35, p. 345-354, 2013.

COSTA, C. A.; ALVES, D. S.; FERNANDES, L. A.; MARTINS E. R.; SOUSA I.G.B.; SAMPAIO, R.A.; LOPES, P.S.N. Nutrição mineral de fava d'anta. *Horticultura brasileira*, v. 25, p. 24-28, 2007b.

CRAVO, M.S.; VIÉGAS, I.J.M.; BRASIL, E.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, p. 262, 2010.

DENG, S.; WEST, B. J.; JENSEN, J. C. A quantitative comparison of phytochemical components in global noni fruits and their commercial products. *Food Chemistry*, v.122, p.267-270, 2010.

EMBRAPA. 2011. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. 2ª.ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Brasília, DF.

FREITAS, M. S. M.; MONNERAT, P. H.; VIEIRA, I. J. C.; CARVALHO, A. J. C. Flavonoides e composição mineral de folhas de maracujazeiro amarelo em função da posição da folha no ramo. *Ciência rural*, v. 37, p. 1634-1639, 2007.

KOVÁČY, J.; KLEJDUS, B. induction of phenolic metabolites and physiological changes in chamomile plants in relation to nitrogen nutrition. *Food Chemistry*, v.142, p. 334-341, 2014.

KUMAR, S.; PANDEY, K. A. Chemistry and biological activities of flavonoids: na overview. *The scientific world journal*. v. 2013, p. 1-16, 2014.

LIMA, V. L. A. G.; MELO, E. A.; LIMA, L. S. NASCIMENTO, P. P. Flavonoides em seleções de acerola (*Malpighi asp L.*) 1- Teor de antocianinas e flavonóis totais. *Ciência Rural*, v. 30, p. 1063-1064, 2000.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. G.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Potafos, 1997. 201p

MARTINEZ, H. E. P.; MENEZES, J. F. S.; SOUZA, R. B.; VENEGAS, V. H. A.; GUIMARÃES, T. G. Faixas críticas de concentração de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quarto

regiões de Minas Gerais. *Pesquisa agropécuaria brasileira*, v. 38, p. 703-713, 2003.

MILOSEVIC, T.; MILOSEVIC, N.; GLISIC, I.; BOSKOVIC-RAKOCEVIC, L.; MILIVOJEVIC, J. Fertilization effect on trees and fruits characteristics and leaf nutrients status of apricots wich are grown Cacak region (Serbia). *Scientia Horticulturae*, v. 164, p. 112-123, 2013.

MITCHEL, A. E.; HONG, Y. J.; KOH, E.; BARRET, D. M.; BRYANT, D. E.; DENISON, R. F.; KAFKA, S.; Tem-year comparison of the influence of organic and conventional crop management practices of the content of flavonoids in tomatoes. *Journal of agricultural and food chemistry*, v.55, p. 6154-6159, 2007.

OKEM, A.; SOUTHWAY, C.; STIRK, W. A.; STREET, R. A.; FINNIE, J. F.; VAN STADEN J. Heavy metal contamination in South African medicinal plants: A cause for concern. *South African Journal of Botany*, v 93, p.125–130, 2014.

OMAR, N. F.; HASSAN, S. A.; YUSOFF, U. K.; ABDULLAH, N. A. P.; WAHAB, P. E. M.; SINNIAH, U. R. Phenolics, flavonoids, antioxidante activity and cyanoigenic glycosides of organic and mineral-base fertilized cassava tubers. *Molecules*, v.17, p 2378-2387, 2012.

PALIOTO, G. F.; SILVA, C. F. G.; MENDES, M. P.; ALMEIDA, V. V., ROCHA, C. L. M. S. C.; TONIN, L. T. D. Composição centesimal,

compostos bioativos e atividade antioxidante de frutos de *Morinda citrifolia* Linn (noni) cultivados no Paraná. *Revista Brasileira de plantas medicinais*, v.17, p. 59-66, 2015.

SILVA, C. S.; NUNES, P. O.; MESCOUTO, C. S. T.; MÜLLER, R. C. S.; PALHETA, D. C.; FERNANDES, K. G. Avaliação do uso da casca do fruto e das folhas de *Caesalpinia férrea* Martius como suplemento nutricional de Fe, Mn e Zn. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 30, p. 751-754, 2010.

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

SILVA, J. J. M.; CAVALCANTE, L. F.; NASCIMENTO, J. A. M.; DINIZ B. L. M. T.; SOUTO, A. G. L. Esterco bovino e potássio na composição mineral de plantas de Noni. *Ciência florestal*, v. 24, p. 1021-1030, 2014.

SILVA, J.J.M.; CAVALCANTE, L.F.; ROCHA, L.F.; NUNES, J.C.; LIMA-NETO, A.J. Macro e micronutrientes no solo, folhas e frutos de noni (*Morinda citrifolia*) em São Luís- MA. *Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável*, v. 6, p 123-133, 2011.

World Health Organization – WHO. Guidelines on food fortification with micronutrients. WHO, 2006. 341p.

Contribuição dos autores: Renato Alves Teixeira, Alessandra Daniele de Sousa Brandão e Edna Santos de Souza contribuíram com a execução da proposta e redação; Antonio Rodrigues Fernandes contribuiu na orientação e redação do manuscrito; Cristine Bastos do Amarante e Paulo Alexandre Panarra contribuíram com as análises e redação científica.

Agradecimentos: A Capes pela concessão de bolsa de estudos ao primeiro e segundo autores e ao CNPQ pela bolsa produtividade ao quarto autor.

Fonte de financiamento: Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e a Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (Fapespa) pelo apoio financeiro.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.