



UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal

Ivan da Costa Ilhéu Fontan

ADUBAÇÃO NPK PARA CULTIVO DE *Moringa oleifera* Lam.

Diamantina - MG
2022

Ivan da Costa Ilhéu Fontan

ADUBAÇÃO NPK PARA CULTIVO DE *Moringa oleifera* Lam.

Tese apresentada à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal para obtenção do título de “Doutor”.

Orientador: Prof. Dr. Enilson de Barros Silva

**Diamantina - MG
2022**

Catálogo na fonte - Sisbi/UFVJM

F679a Fontan, Ivan da Costa Ilhéu
2022 Adubação NPK para cultivo de Moringa oleifera Lam.
[manuscrito] / Ivan da Costa Ilhéu Fontan. -- Diamantina,
2022.
44 p.

Orientador: Prof. Enilson de Barros Silva.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) -- Universidade
Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Programa de Pós-
Graduação em Produção Vegetal, Diamantina, 2022.

1. Nutrição mineral. 2. Doses recomendadas. 3. Nível
crítico. 4. Moringa oleifera. I. Silva, Enilson de Barros.
II. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.
III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFVJM com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Este produto é resultado do trabalho conjunto entre o bibliotecário Rodrigo Martins Cruz/CRB6-
2886
e a equipe do setor Portal/Diretoria de Comunicação Social da UFVJM

IVAN DA COSTA ILHÉU FONTAN

ADUBAÇÃO NPK PARA CULTIVO DE *Moringa oleifera* Lam.

Tese apresentada à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal para obtenção do título de ‘Doutor’.

Aprovada em 07 de outubro de 2022

Documento assinado digitalmente
 MARIA DO CEU MONTEIRO DA CRUZ
Data: 10/10/2022 16:12:58-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof^a. Dra. Maria do Céu Monteiro da Cruz – UFVJM

Documento assinado digitalmente
 PAULO HENRIQUE GRAZZIOTTI
Data: 10/10/2022 18:46:44-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Dr. Paulo Henrique Graziotti - UFVJM

Documento assinado digitalmente
 JOSÉ ROBERTO DE PAULA
Data: 10/10/2022 15:47:41-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Dr. José Roberto de Paula - IFMG

Documento assinado digitalmente
 Enilson de Barros Silva
Data: 10/10/2022 15:16:53-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Dr. Enilson de Barros Silva – UFVJM

Orientador

DIAMANTINA
MINAS GERAIS - BRASIL

Dedico este trabalho a minha esposa Renata Guimarães de Oliveira Fontan e meus filhos Pedro Guimarães Fontan e Miguel Guimarães Fontan que sempre estiveram ao meu lado me incentivando e encorajando, permitindo que eu concluísse com êxito o desafio do doutoramento.

AGRADECIMENTOS

A Deus, sempre.

Aos meus pais Ivo e Ana, por tudo o que sou.

À minha esposa Renata e aos meus filhos Pedro e Miguel, pelo amor incondicional, compreensão e paciência.

Aos meus irmãos Rafael e Verônica pelo incentivo e apoio.

Ao professor Enilson de Barros Silva, pela orientação, confiança e amizade.

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) pela oportunidade de realização do curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal.

Ao Instituto Federal de Minas Gerais campus São João Evangelista (IFMG-SJE), por permitir e fomentar a realização do curso, e pelo suporte na condução do experimento.

À Pró-Reitoria de Pesquisa, Inovação e Pós-Graduação do Instituto Federal de Minas de Minas Gerais (IFMG) pelo apoio financeiro.

Aos colegas Ari, Lucas e Ricardo pelo companheirismo e apoio na realização das análises laboratoriais.

À equipe de colaboradores do Viveiro Florestal do IFMG-SJE, em especial aos amigos Adair e Wemerson, pela dedicação e suporte na condução do experimento de campo.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho

RESUMO

Moringa oleifera Lam. (Moringaceae) é uma espécie arbórea de médio porte, com origem no sopé da cordilheira do Himalaia e milenarmente conhecida e cultivada por suas propriedades nutricionais e medicinais. O trabalho foi desenvolvido com o objetivo de determinar doses de NPK para *M. oleifera*, bem como níveis críticos de N, P e K na parte aérea das plantas e de P e K no solo. O experimento foi conduzido a campo em LATOSSOLO VERMELHO distrófico em São João Evangelista – Minas Gerais e organizado em um delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial fracionado $(4 \times 4 \times 4)^{1/2}$ com quatro blocos de oito unidades. As doses de nutrientes aplicadas foram: N (0; 40; 80 e 160 kg ha⁻¹ de N), P (0; 45; 90 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e K (0; 20; 40 e 80 kg ha⁻¹ de K₂O). Adotou-se o espaçamento de 1,0 m x 6,0 m (16.666 plantas ha⁻¹) em cultivo não irrigado com colheitas da parte aérea das plantas a cada 60 dias a partir do plantio das mudas. Os dados de incremento em diâmetro do caule, produtividade de matéria fresca e seca da parte aérea, teor, conteúdo e coeficiente de utilização biológica de N, P e K foram agrupados em três períodos (1º semestre: 0-6 meses; 2º semestre: 7-12 meses; e ano 1: 0-12 meses) e submetidos à análise de regressão. Aos 6 e 12 meses de cultivo foi realizada uma amostragem de solo (0-0,20 m) para determinação dos teores de P e K (Mehlich-1). Nestas ocasiões uma amostra composta da matéria seca da parte aérea foi utilizada para determinação dos teores de N, P e K no tecido vegetal. A produtividade da matéria seca da parte aérea acumulada de plantas de *M. oleifera* foi influenciada apenas pelas doses de N. A produtividade de máxima eficiência econômica após um ano de cultivo foi de 9.324,3 kg ha⁻¹ para matéria fresca e 1.875,6 kg ha⁻¹ para matéria seca, obtidas respectivamente com as doses de 37,6 e 36,3 kg ha⁻¹ de N. Os níveis críticos de N, P e K nas folhas de *M. oleifera* para o primeiro ano de cultivo foram de 3,44 dag kg⁻¹ para N, 0,45 dag kg⁻¹ para P e 2,40 dag kg⁻¹ para K. A ordem de acúmulo nutricional na parte aérea de *M. oleifera* após o primeiro ano de cultivo foi N > K > P, sendo verificada uma extração anual de 65,24 kg ha⁻¹ para N, 7,87 kg ha⁻¹ para P e 42,66 kg ha⁻¹ para K. Os níveis críticos de P e K no solo pelo extrator Mehlich-1 no primeiro ano de cultivo da *M. oleifera* foram 15,25 mg dm⁻³ para P e 59,65 mg dm⁻³ para K.

Palavras-chave: *Moringa oleifera*. Doses recomendadas. Nutrição mineral. Nível crítico.

ABSTRACT

Moringa oleifera Lam. (Moringaceae) is a medium-sized tree species, originally from the Himalayas region and has been known and cultivated for millennia for its nutritional and medicinal properties that give it multiple uses. The objective of this scientific research was to determine NPK recommended rates for *M. oleifera*, as well as critical levels of these nutrients in the shoots of plants and P and K in the soil. The experiment was carried out in the field in a Rhodic Hapludox in São João Evangelista - Minas Gerais and organized in a randomized block design in a fractional factorial scheme $(4 \times 4 \times 4)^{1/2}$ with four blocks of eight units. The rates of nutrients applied were: N (0; 40; 80 and 160 kg ha⁻¹ of N), P (0; 45; 90 and 180 kg ha⁻¹ of P₂O₅) and K (0; 20; 40 and 80 kg ha⁻¹ of K₂O). A spacing of 1.0 m x 6.0 m (16,666 plants ha⁻¹) was adopted in a non-irrigated crop, with shoots harvested every 60 days after the seedlings were planted. Data on stem diameter increment, shoot fresh and dry matter productivity, content, accumulation and biological utilization coefficient of N, P and K were grouped into three periods (1st semester: 0-6 months; 2nd semester: 7-12 months; and year 1: 0-12 months) and subjected to regression analysis. At 6 and 12 months of cultivation, soil sampling (0-0.20 m) was performed to determine P and K (Mehlich-1) levels. On these occasions, a sample composed of the dry matter of the shoot was used to determine the levels of N, P and K in the plant tissue. The productivity of accumulated shoot dry matter of *M. oleifera* plants was influenced only by N rates. The maximum economic efficiency yield after one year of cultivation was 9,324.3 kg ha⁻¹ for fresh matter and 1,875.6 kg ha⁻¹ for dry matter, obtained with doses of 37.6 and 36.3 kg ha⁻¹ of N, respectively. The critical levels of N, P and K in the leaves of *M. oleifera* for the first year of cultivation were 3.44 dag kg⁻¹ for N, 0.45 dag kg⁻¹ for P and 2.40 dag kg⁻¹ for K. The order of nutritional accumulation in the aerial part of *M. oleifera* after the first year of cultivation was N > K > P, with an annual extraction was 65.24 kg ha⁻¹ for N, 7.87 kg ha⁻¹ for P and 42.66 kg ha⁻¹ for K. The critical levels of P and K in the soil by the Mehlich-1 extractor in the first year of *M. oleifera* cultivation were 15.25 mg dm⁻³ for P and 59.65 mg dm⁻³ for K.

Key words: *Moringa oleifera*; Recommended doses; Mineral nutrition; Critical level.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Incremento em diâmetro do caule no 1º semestre (0-6 meses) (a) e no ano 1 (0-12 meses) (b) em plantas de <i>Moringa oleifera</i> adubadas com NPK em LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd) em São João Evangelista-MG.....	23
Figura 2 -	Produtividade de matéria fresca no 1º semestre (0-6 meses) (a) e no ano 1 (0-12 meses) (b) em plantas de <i>Moringa oleifera</i> adubadas com NPK em LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd) em São João Evangelista-MG.....	24
Figura 3 -	Produtividade de matéria seca no 1º semestre (0-6 meses) (a), 2º semestre (7-12 meses) (b) e no ano 1 (0-12 meses) (c) em plantas de <i>Moringa oleifera</i> adubadas com NPK em LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd) em São João Evangelista-MG.....	25
Figura 4 -	Conteúdo de N na parte aérea no 1º semestre (0-6 meses) (a), 2º semestre (7-12 meses) (b) e no ano 1 (0-12 meses) (c) em plantas de <i>Moringa oleifera</i> adubadas com NPK em LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd) em São João Evangelista-MG.....	30
Figura 5 -	Teor de K no solo (Mehlich-1) aos 6 meses (a) e 12 meses (b) em área de cultivo de <i>Moringa oleifera</i> adubada com NPK em LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd) em São João Evangelista-MG.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Caracterização química e textural inicial do solo da área experimental.....	16
Tabela 2 -	Distribuição dos tratamentos no fatorial fracionado (4x4x4) ^{1/2} em quatro blocos de oito unidades cada um e as respectivas doses de nutrientes aplicadas.....	17
Tabela 3 -	Incremento em diâmetro do caule e produtividade de matéria fresca e seca da parte aérea em plantas de <i>Moringa oleifera</i> adubadas com NPK em LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd) em São João Evangelista-MG.....	21
Tabela 4 -	Produtividade máxima e de máxima eficiência econômica de matéria fresca e seca da parte aérea e doses de N para obtê-las em plantas de <i>Moringa oleifera</i> adubadas com NPK em LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd) em São João Evangelista-MG.....	26
Tabela 5 -	Teor de nutriente, conteúdo nutricional e coeficiente de utilização biológica de N, P e K na parte aérea de plantas de <i>Moringa oleifera</i> adubadas com NPK em LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd) em São João Evangelista-MG.....	29
Tabela 6 -	Teor de P e K no solo (Mehlich-1) aos 6 e 12 meses em área de cultivo de <i>Moringa oleifera</i> adubada com NPK em LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd) em São João Evangelista-MG.....	32

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	iv
1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	20
4.1 Crescimento e produtividade	20
4.2 Nutrientes nas folhas e no solo	28
6 CONCLUSÕES	36
REFERÊNCIAS	37
ANEXO A - Distribuição mensal da precipitação pluviométrica e temperatura média durante o período experimental na área de cultivo de <i>Moringa oleifera</i> , em São João Evangelista-MG.	44

1 INTRODUÇÃO

Moringa oleifera Lam., conhecida popularmente no Brasil como moringa, é a uma espécie arbórea de médio porte pertencente à família Moringaceae, original do sopé da cordilheira do Himalaia, entre a Índia e o Paquistão (SHAHZAD *et al.*, 2013; GANDJI *et al.*, 2018). Apresenta crescimento rápido e bom desenvolvimento em climas tropicais e subtropicais, adaptando-se em ambientes com ampla variação de solos, altitude e disponibilidade hídrica (MUHL *et al.*, 2013; RAJA *et al.*, 2016; VELÁZQUEZ-ZAVALA *et al.*, 2016; CÂMARA; LEITE, 2018). Trata-se de uma espécie milenarmente conhecida e cultivada, especialmente por suas propriedades nutricionais e medicinais que lhe conferem múltiplos usos, tais como: nutrição humana, tratamento de enfermidades, uso industrial e combustível, alimentação animal e purificação de água.

Características como adaptabilidade a diferentes ambientes, notória tolerância à seca e grande capacidade de rebrota após cortes sucessivos, associadas às inúmeras possibilidades de uso tornam a moringa uma planta com grande potencial de cultivo e exploração econômica. Dentre os aspectos culturais, destaque deve ser dado à adubação das plantas, especialmente se considerarmos as exportações nutricionais realizadas pelas sucessivas colheitas anuais. Assim, torna-se importante estabelecer recomendações nutricionais mais específicas para a *M. oleifera* no Brasil de modo a potencializar sua produtividade e otimizar o uso de insumos e recursos, aumentando a atratividade e a lucratividade do seu cultivo no País.

Neste contexto o presente trabalho teve como objetivo determinar doses de NPK para *M. oleifera*, bem como níveis críticos de N, P e K na parte aérea das plantas e de P e K no solo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Conhecida como “Árvore da vida” ou ainda “Árvore dos milagres” por suas numerosas qualidades medicinais e nutricionais, *M. oleifera* é uma espécie arbórea de médio porte originária de Agra e Oudh, na região noroeste da Índia, ao sul da cordilheira do Himalaia (FOIDL; MAKKAR; BECKER, 2001; GODINO *et al.*, 2013).

Evidências históricas apontam a utilização alimentar desta planta desde a época dos povos caçadores e coletores mesolíticos (10.000 - 7.500 aC), existindo ainda registros do seu cultivo na região de *Balkh* (atual Afeganistão) no período de 2.850 a 2.500 aC, quando era conhecida por *sigrukam*. Escrituras sânscritas de antigos povos hindus relatavam suas propriedades medicinais, utilizadas no sistema *Ayurveda* (GARCIA, 2016; MALL; TRIPATHI, 2017).

Acredita-se que a disseminação desta espécie ao redor do mundo se deu por meio das mais diversas rotas comerciais estabelecidas ao longo da história, nas quais os malaios a espalharam pelo sul da Ásia e ilhas da Índia e do Pacífico. A disseminação pela África Central foi realizada por meio das rotas abertas pelos egípcios. No continente Americano, foi introduzida a partir das Filipinas pelo comércio de Manila (1565 a 1815 dC), onde os produtos orientais eram transportados no oceano Pacífico por navios espanhóis até Acapulco no México. Atualmente pode ser encontrada dos Estados Unidos à Argentina, incluindo diversas ilhas do Caribe e as Índias Ocidentais (PALIWAL; SHARMA; PRACHETA, 2011; VELÁZQUEZ-ZAVALA *et al.*, 2016).

No Brasil foi introduzida na década de 1950 inicialmente como uma planta ornamental e apícola, especialmente na região Nordeste (LORENZI; MATOS, 2002), por apresentar produção de flores durante boa parte do ano. Diante de suas potencialidades, a moringa se disseminou pelo território brasileiro, sendo observados plantios e pesquisas com a espécie em diferentes estados, como Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraíba, Paraná, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, São Paulo e Sergipe (SILVA *et al.*, 2013; SANTOS, MOURA; LIMA, 2016).

O gênero *Moringa* é o único da família *Moringaceae*, que abriga 13 espécies de plantas arbóreas e, ou arbustivas, dentre elas a *Moringa oleifera*, espécie de maior disseminação mundial dentro deste gênero botânico (VELÁZQUEZ-ZAVALA *et al.*, 2016).

M. oleifera é uma espécie que apresenta bom desenvolvimento em climas tropicais e subtropicais (temperatura média anual na faixa de 25 a 35°C), em ambientes úmidos a semiáridos (precipitação anual mínima de 250 mm), com grande amplitude de

altitude (do nível do mar a altitudes que superam 2.000 m) e diferentes tipos de solos, com exceção de áreas pouco drenadas (DUBEY *et al.*, 2013; MUHL *et al.*, 2013; RAJA *et al.*, 2016; CÂMARA; LEITE, 2018). Sua propagação pode ser facilmente realizada de maneira sexuada (sementes) e assexuada (estacas caulinares) e é considerada uma espécie rústica por seu manejo agrônômico simples, sem necessidade de cuidados intensivos (PADILLA; FRAGA; SUÁREZ, 2012; HASSAN; IBRAHIM, 2013; NOUMAN *et al.*, 2014).

As folhas, frutos verdes, flores, sementes torradas, raízes (condimento) e o óleo extraído das sementes da moringa são utilizados na alimentação humana em muitos lugares da Ásia, África e Ilhas do Pacífico, devido aos seus elevados teores de proteínas, fibras, carboidratos, aminoácidos, vitaminas, carotenos e minerais (ABBAS, 2013; ASIEDU-GYEKYE *et al.*, 2014; SANJAY; DWIVEDY, 2015).

Na medicina *Ayurvédica* desde o século XVIII aC. existem registros da utilização da *M. oleífera* para o tratamento de asma, epilepsia, doenças oculares e cutâneas, febre, dor de cabeça, hemorroidas, pedras nos rins, artrite, entre outros males (SANJAY; DWIVEDY, 2015; KUMAR; KUMAR; KUMAR-SINGH, 2015; VELÁZQUEZ-ZAVALA *et al.*, 2016). Em populações da África e da América Latina tem sido utilizada para o tratamento de incontáveis enfermidades, dentre elas: artrites, dores de cabeça, febre, gripes e resfriados, problemas renais, hepáticos, estomacais e respiratórios, picadas de animais peçonhentos (LIM, 2012; POPOOLA; OBEME, 2013; TORRES *et al.*, 2015).

Inúmeras pesquisas evidenciam atividade antioxidante e antiinflamatória de cascas, folhas, caules, raízes, sementes e flores da *M. oleífera* (LUQMAN *et al.*, 2012; MOYO *et al.*, 2012; ALHAKMANI; KUMAR; KHAN, 2013; CORREA-ARAÚJO *et al.*, 2013; MCKNIGHT *et al.*, 2014). Extratos produzidos a partir de diferentes partes da planta apresentam atividade bactericida (URMI *et al.*, 2012), fungicida (ADLINE; DEVI, 2014; GOMASHE *et al.*, 2014; OJIAKO, 2014) e antiviral (YOUNUS *et al.*, 2015). Esses extratos proporcionam também ação inibidora do crescimento larval de *Anopheles gambiaes* (mosquito transmissor da malária) e *Aedes aegypti* (mosquito transmissor de doenças como dengue, zika, chikungunya e febre amarela), atribuído ao seu conteúdo de β -amirina, β -sitosterol, caempferol e quercetina (CHUANG *et al.*, 2007; PRABHU *et al.*, 2011; PONTUAL *et al.*, 2012).

Das sementes maceradas e prensadas é extraído óleo que pode ser utilizado na indústria de cosméticos como ingrediente na produção de sabonetes, cremes e filtros solares (BISWAS *et al.*, 2012; CEFALI, *et al.*, 2016), na indústria alimentícia como conservante e no enriquecimento de alimentos (BIJINA *et al.*, 2011; OYEYINKA; OYEYINKA, 2016), ou

ainda como biocombustível para uso em motores a combustão (HERNÁNDEZ *et al.*, 2013; MOFIJUR *et al.*, 2014; RAHMAN *et al.*, 2014).

Destaca-se também, dentre os múltiplos utilidades da moringa, seu potencial forrageiro na alimentação animal, seja pelo elevado teor de proteína e alta digestibilidade de suas folhas e caules, ou por seu rápido crescimento e elevada capacidade de resistir ao déficit hídrico no solo (SOLIVA *et al.*, 2005; NOUMAN *et al.*, 2014). Estudos demonstram que a utilização de folhas de *M. oleifera* como parte da dieta alimentar tem proporcionado ganho de peso e aumento na produção de leite em ruminantes (MAHMOOD; MUGAL; HAQ, 2010; MENDIETA *et al.*, 2011), melhorias no crescimento, digestão, saúde intestinal, coloração de pele e produção de ovos em aves, (MELESSE *et al.*, 2013; NKUKWANA *et al.*, 2014; KANA *et al.*, 2015), aumento de peso em coelhos (ABBAS, 2013; CARO *et al.*, 2013), e à uma melhoria na digestibilidade em porcos (GARCÍA; MACIAS, 2014; MUTHUKUMAR *et al.*, 2014; LY *et al.*, 2016).

As sementes de *M. oleifera* apresentam propriedades coagulantes, floculantes e desinfetantes (BICHI, 2013; SUHARTINI; HIDAYAT; ROSALIANA, 2013), tornando-as potencialmente aptas à utilização no tratamento de águas de rios e efluentes de diferentes processos indústrias (LIJESH; MALHOTRA, 2016; DE PAULA; DE OLIVEIRA-ILHA; SANTOS-ANDRADE, 2016).

Como apresentado até aqui é vasto o número de trabalhos científicos e publicações sobre as propriedades e usos nutricionais e medicinais da *M. oleifera*. Porém, menos numerosas são as pesquisas que se encarregam de investigar seus aspectos culturais e agronômicos, dentre eles o adequado suprimento nutricional às plantas.

O efeito da adubação com composto orgânico e NPK (21:17:17) no crescimento vegetativo e teor de proteína em plantas de *M. oleifera* em condições de campo foi estudado na Coréia do Sul por SARWAR; PATRA; JIHUI (2018), que concluíram que a utilização de 120 kg ha⁻¹ de NPK promoveu maior crescimento em diâmetro do caule e altura total, além do maior teor de proteína nas folhas.

Na Nigéria, o efeito de fontes orgânicas (esterco bovino, de aves e organomineral) e químicas (NPK 15:15:15) sobre o crescimento de *M. oleifera* plantada em campo no espaçamento de 0,75 x 0,75 m foi estudado por ADEBAYO *et al.* (2017). Estes autores observaram que as adubações proporcionaram efeito significativo sobre o crescimento das plantas em relação ao controle e recomendaram a aplicação de 20 toneladas por hectare de esterco de aves para potencializar a produção sustentável de matéria seca de folhas.

O incremento nutricional promovido pela combinação de fertilizações orgânicas (biofertilizante a base de *Azotobacter*) e minerais (nitrato de amônio, superfosfato de cálcio e sulfato de potássio) tem potencializado a produção de folhas e sementes, bem como os teores nutricionais, de antioxidantes e fenóis nas folhas de *M. oleifera*, cultivadas em solo arenoso, no *North Sinai*, Egito (ATTIA *et al.*, 2014).

Ao avaliar a influência de adubos orgânicos (esterco bovino, caprino, asinino e composto orgânico) e intervalos de corte (três e seis meses) em plantio de *M. oleifera* na Paraíba, Brasil, BAKKE *et al.* (2010) verificaram que o incremento em altura e diâmetro não foi afetado significativamente pelas adubações. Os autores mencionam que possivelmente na idade de avaliação ainda não havia ocorrido a completa decomposição e mineralização dos materiais e por isso os nutrientes não estariam plenamente disponíveis para as plantas.

Por outro lado, a combinação de compostos orgânicos com fertilizante químico em mistura com solo na formulação de substratos influenciou o crescimento radicular de mudas de moringa em condições de viveiro em Chad, Camarões (CHRISTOPHE *et al.*, 2019). Estes autores observaram que a utilização de 32 g de esterco bovino, caprino e de aves, cada, em combinação com 3 g de NPK 20:10:10, por quilo de substrato, proporcionou um aumento de 100% da biomassa de raízes em comparação com o tratamento controle sem adubação.

Diante da pesquisa bibliográfica realizada ficou evidente a necessidade de realização de investigações científicas que possam aperfeiçoar as recomendações de adubação para *M. oleifera* de modo a subsidiar a expansão das áreas de cultivo garantindo bons níveis de produtividade e retorno econômico para os produtores.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental localiza-se na fazenda do Instituto Federal de Minas Gerais (18°33'10''S; 42°45'12''W, 713 m), no município de São João Evangelista (MG), microrregião de Guanhanes, Vale do Rio Doce. A formação vegetal natural da região é a floresta estacional semidecidual, situada sob o domínio da Mata Atlântica. O clima é do tipo Cwa (temperado chuvoso-mesotérmico) pela classificação do sistema internacional de Köppen, com verão chuvoso e inverno seco. As médias anuais de temperatura e precipitação em São João Evangelista são de 21,2 °C e 1.000 mm, respectivamente (CLIMATE.DATA.ORG, 2022).

O solo da área experimental é um LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd) (SANTOS *et al.*, 2018). Antes da instalação do experimento foram retiradas amostras para a realização das análises químicas e de textura do solo (TEIXEIRA *et al.*, 2017) (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização química e textural inicial do solo da área experimental.

Atributo	Unidade	Valores	Classificação*
pH _{água}	-	5,09	Baixo
P	mg dm ⁻³	5,11	Baixo
K	mg dm ⁻³	144,00	Muito bom
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	1,25	Médio
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	0,10	Muito baixo
Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	0,35	Baixo
T	cmol _c dm ⁻³	5,85	Médio
V	%	29,36	Baixo
m	%	16,92	Baixo
MO	dag kg ⁻¹	1,91	Baixo
Areia	dag kg ⁻¹	24,7	Argiloso
Silte	dag kg ⁻¹	17,2	
Argila	dag kg ⁻¹	58,1	

Fonte: o autor; pH_{água}: Relação solo:água 1:2,5. P e K: extrator Mehlich⁻¹. Ca, Mg e Al: extrator KCl 1 mol L⁻¹. T: Capacidade de troca de cátions a pH 7,0. m: Saturação de alumínio. V: Saturação por bases. MO: Matéria orgânica pelo método *Walkey-Black*. Areia, silte e argila: Método da pipeta. * Alvarez *et al.* (1999).

O experimento foi organizado em um delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial fracionado (4x4x4)^{1/2} com quatro blocos de oito unidades cada um (CONAGIN; NAGAI; IGUE, 1997). Os tratamentos utilizados são apresentados na Tabela 2 e representam combinações de quatro doses de N (ureia – 44% N), quatro doses de P₂O₅ (superfosfato triplo - 41% P₂O₅) e quatro doses de K₂O (cloreto de potássio - 52% K₂O).

Tabela 2 - Distribuição dos tratamentos no fatorial fracionado (4x4x4)^{1/2} em quatro blocos de oito unidades cada um e as respectivas doses de nutrientes aplicadas.

Número da parcela	Tratamento NPK	Doses de nutrientes		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
-----kg ha ⁻¹ -----				
Bloco I				
1	111	0	0	0
2	122	0	45	20
3	133	0	90	40
4	144	0	180	80
5	212	40	0	20
6	221	40	45	0
7	234	40	90	80
8	243	40	180	40
Bloco II				
9	313	80	0	40
10	324	80	45	80
11	331	80	90	0
12	342	80	180	20
13	414	160	0	80
14	423	160	45	40
15	432	160	90	20
16	441	160	180	0
Bloco III				
17	114	0	0	80
18	123	0	45	40
19	132	0	90	20
20	141	0	180	0
21	213	40	0	40
22	224	40	45	80
23	231	40	90	0
24	242	40	180	20
Bloco IV				
25	312	80	0	20
26	321	80	45	0
27	334	80	90	80
28	343	80	180	40
29	411	160	0	0
30	422	160	45	20
31	433	160	90	40
32	444	160	180	80

Fonte: o autor. N: nitrogênio (ureia 44% de N); P: Fósforo (superfosfato triplo 41% de P₂O₅); K:(Cloreto de potássio 52% K₂O).

O preparo da área consistiu em uma roçada mecanizada seguida de uma capina manual para retirada da vegetação espontânea indesejável. A correção da acidez do solo foi feita com calcário dolomítico (PRNT 85%) incorporado a uma profundidade de 0,20 m por meio de aração em área total, de modo a elevar a saturação por bases a 50%.

Durante o período de reação do calcário no solo foi realizada a produção das mudas utilizadas no experimento, por meio da semeadura direta em tubetes plásticos (180 cm³) preenchidos com substrato Bioplant®, utilizando sementes oriundas de área de coleta de semente localizada no município de Birigui (SP).

Noventa dias após a calagem realizou-se a abertura manual das covas de plantio (30 x 30 x 30 cm) e as mudas que apresentavam idade aproximada de 80 dias foram estabelecidas em um espaçamento de 1,0 m entre linhas e 0,6 m entre plantas (16.666 plantas por hectare), estabelecendo-se o sistema semi-intensivo de cultivo, não irrigado, com colheitas da parte aérea das plantas (ramos e folhas) realizadas a cada 60 dias a partir do plantio das mudas.

As doses de P₂O₅ foram integralmente aplicadas na cova na ocasião do plantio, que ocorreu no dia 14 de janeiro de 2021. As doses de N e K₂O foram parceladas em duas aplicações, aos 15 dias após o plantio das mudas e 30 dias após o primeiro parcelamento. O K₂O foi aplicado superficialmente enquanto a ureia foi aplicada em “coveta” e coberta com uma fina camada de solo para reduzir as perdas por volatilização. Simultaneamente ao primeiro parcelamento de N e K₂O foi realizada a adubação com os micronutrientes B e Zn, de forma que todas as parcelas experimentais receberam 4,0 kg ha⁻¹ de Zn (sulfato de zinco - 20% Zn) e 1,0 kg ha⁻¹ de B (ácido bórico - 17% B).

Cada unidade experimental foi constituída de quatro plantas dispostas em fileira, sendo as plantas centrais consideradas a área útil para as avaliações de crescimento e produção de matéria fresca e seca. Na primeira colheita as plantas foram decepadas a 0,30 m de altura a partir do solo para estimular a emissão das brotações laterais e permitir as colheitas futuras. Imediatamente após o plantio e antes de cada colheita foram realizadas medições do diâmetro do caule das plantas ao nível do solo para avaliar o efeito das adubações sobre o incremento do caule.

Em cada colheita a massa de matéria fresca da parte aérea foi determinada, acondicionada em sacos de papel e seca em estufa a 65° C até peso constante, para determinação da massa de matéria seca. Os resultados foram convertidos para quilograma por hectare (kg ha⁻¹) para facilitar interpretações e comparações.

Ao final de cada semestre do primeiro ano de cultivo, ou seja, aos 6 e 12 meses, foi realizada uma amostragem de solo, retirando-se quatro subamostras por parcela útil, na profundidade de 0-0,20 m, sobre a linha de plantio e próximo ao tronco das plantas. Uma amostra composta de cada tratamento foi utilizada na análise dos teores de P e K pelo extrator Mehlich-1 (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Nas mesmas épocas (6 e 12 meses de cultivo) foram confeccionadas amostras compostas da matéria seca da parte aérea das plantas de cada tratamento, por meio da mistura de subamostras de folhas obtidas em cada uma das colheitas no respectivo semestre. Nas amostras foliares foram determinados os teores de N, P e K, conforme metodologia descrita por Silva (2009). O conteúdo desses nutrientes acumulados na parte aérea das plantas foi calculado multiplicando-se o teor nas amostras pela matéria seca total colhida no semestre. Complementarmente o coeficiente de utilização biológica (CUB) de N, P e K na parte aérea das plantas cultivadas foi calculado dividindo-se os valores de matéria seca acumulada no período de avaliação pelo respectivo conteúdo desses nutrientes.

Para fins de realização das análises estatísticas os dados das variáveis que expressam o crescimento e a produção das plantas cultivadas (incremento em diâmetro do caule ao nível do solo e a produtividade de matéria fresca e seca da parte aérea), bem como o seu estado nutricional (teor de nutriente, conteúdo nutricional e coeficiente de utilização biológica), foram agrupados em três períodos sendo eles o 1º semestre (0-6 meses), o 2º semestre (7-12 meses) e o primeiro ano completo de cultivo (Ano 1: 0-12 meses).

Para todas as variáveis avaliadas foi realizado o ajuste do modelo de superfície de resposta do tipo $Y = b_0 + b_1 N + b_2 N^2 + b_3 P + b_4 P^2 + b_5 K + b_6 K^2 + b_7 NP + b_8 NK + b_9 PK$, onde Y é a variável dependente, b_0 a b_9 são os coeficientes de regressão e N, P e K são as doses de N, P_2O_5 e K_2O utilizadas no experimento. A significância dos coeficientes de regressão foi testada e novas funções de resposta foram ajustadas apenas nos casos de efeitos significativos ($p \leq 0,05$).

A partir das equações ajustadas para estimar a produtividade de matéria fresca e seca da parte aérea foram determinadas a produtividade máxima e a de máxima eficiência econômica (90% da máxima), bem como as doses dos nutrientes necessárias para atingi-las.

Os níveis críticos de P e K no solo e de N, P e K na parte aérea foram estimados substituindo-se as doses de N, P e K associadas à produtividade de máxima eficiência econômica nas equações que relacionam as doses de N, P e K com essas variáveis.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Crescimento e produtividade

Os resultados do presente estudo indicaram que a produtividade da matéria fresca e seca da parte aérea acumulada nos períodos avaliados assim como o incremento em diâmetro do caule das plantas não foram estatisticamente influenciados ($p > 0,05$) pelas doses de P e K aplicadas (Tabela 3). Na literatura científica a *M. oleifera* tem sido relatada como uma espécie com reconhecida adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas, se desenvolvendo bem em solos pobres ou com reduzida fertilização (VELÁZQUEZ-ZAVALA *et al.*, 2016; MABAPA, AYISI e MARIGA, 2017; MASHAMAITE *et al.*, 2021).

No entanto, ao final do 1º semestre (0-6 meses) e do primeiro ano completo de cultivo (Ano 1: 0-12 meses) o incremento em diâmetro do caule das plantas bem como a matéria fresca da parte aérea acumulada nas colheitas destes períodos foi influenciado pelas doses de N aplicadas ($p \leq 0,05$). Nos três períodos avaliados as adubações de N aumentaram também a produtividade de matéria seca da parte aérea das plantas ($p \leq 0,05$) (Tabela 3).

Via de regra, o N é o nutriente mais exigido e consumido pelas espécies vegetais por desempenhar função estrutural como constituinte de aminoácidos, proteínas, bases nitrogenadas, ácidos nucleicos, enzimas, vitaminas, pigmentos, além de participar de processos fisiológicos como fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012). Desta forma, as funções desempenhadas pelo N nas plantas associadas às colheitas bimestrais da matéria fresca parte aérea, composta essencialmente por folhas e ramos verdes, ajudam a explicar os resultados observados, que evidenciam a necessidade de se realizar adubações com N para potencializar a produção de biomassa em áreas de cultivo com esta espécie.

Os maiores incrementos em diâmetro do caule das plantas foram acompanhados das maiores produtividades de matéria fresca e seca da parte aérea acumulada ao longo do primeiro ano de cultivo (Ano 1, Tabela 3). Estudos realizados com a rebrota de diferentes espécies arbóreas evidenciam que plantas com maiores dimensões (incluindo o diâmetro do caule) apresentam sistema radicular mais desenvolvido, com maior estoque de reservas orgânicas e inorgânicas, além de maior capacidade de absorção de água e nutrientes do solo, o que possibilita a formação de brotações mais vigorosas (OHASHI, ROSA; MEKDECE, 2004; OLIVEIRA *et al.*, 2008; SOUZA *et al.*, 2016).

Tabela 3 - Incremento em diâmetro do caule e produtividade de matéria fresca e seca da parte aérea em plantas de *Moringa oleifera* adubadas com NPK em LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd) em São João Evangelista-MG.

Doses dos nutrientes (kg ha ⁻¹)	Incremento diâmetro do caule			Produtividade matéria fresca acumulada			Produtividade matéria seca acumulada		
	1º Semestre	2º Semestre	Ano 1	1º Semestre	2º Semestre	Ano 1	1º Semestre	2º Semestre	Ano 1
	----- mm -----			----- kg ha ⁻¹ -----			----- kg ha ⁻¹ -----		
N									
0	10,4	5,9	16,3	2.504,5	4.482,0	6.986,5	451,1	932,3	1.383,4
40	14,5	4,1	18,6	4.630,9	5.449,7	10.080,6	776,3	1.325,7	2.102,0
80	14,4	3,4	17,8	4.509,8	5.323,6	9.833,4	776,4	1.157,7	1.934,0
160	14,0	2,4	16,4	4.116,5	4.308,0	8.424,5	745,7	894,4	1.640,1
Tendência	L**Q**	NS	L*Q*	L**Q**	NS	L**Q**	L**Q*	Q*	L**Q**
P ₂ O ₅									
0	13,2	4,6	17,8	3.896,8	4.949,5	8.846,3	660,3	1.212,8	1.873,1
45	13,0	3,2	16,2	4.116,9	4.420,1	8.537,0	723,8	993,6	1.717,4
90	12,8	4,1	16,8	3.882,1	5.385,7	9.267,8	690,3	1.115,8	1.806,2
180	14,4	3,8	18,3	3.865,8	4.808,0	8.673,8	675,1	987,8	1.662,9
Tendência	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
K ₂ O									
0	13,8	3,6	17,3	3.928,2	4.508,7	8.436,9	685,7	974,0	1.659,7
20	13,8	4,4	18,2	3.913,8	5.455,3	9.369,1	673,5	1.163,4	1.837,0
40	13,2	3,8	17,0	4.182,5	4.295,7	8.478,2	731,2	1.001,6	1.732,8
80	12,5	4,0	16,5	3.737,1	5.303,7	9.040,8	659,1	1.171,0	1.830,2
Tendência	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Média	13,3	3,9	17,3	3940,4	4890,8	8831,3	687,4	1077,5	1764,9
CV(%)	11,8	40,9	12,2	27,3	32,1	22,4	25,1	35,2	23,8

Fonte: o autor. 1º Semestre: 0-6 meses; 2º Semestre: 7-12 meses; Ano 1: 0-12 meses; L: resposta linear; Q: resposta quadrática; NS não significativo; * significativo 5%; ** significativo 1%.

Em plantas lenhosas, proteínas, carboidratos e aminoácidos armazenados no sistema radicular antes da decepa são essenciais para a produção e crescimento inicial dos brotos (EL OMARI *et al.*, 2003; KABEYA e SAKAI, 2005; LUOSTARINEN; KAUPPI, 2005). No caso da *M. oleífera* isso pode ser ainda mais importante, por se tratar de uma espécie arbórea que possui raízes tuberosas. Assim, os resultados observados sugerem que as adubações de N garantiram adequado desenvolvimento do sistema radicular das plantas cultivadas proporcionando maior crescimento das brotações, e consequentemente maior produtividade de matéria fresca e seca da parte aérea.

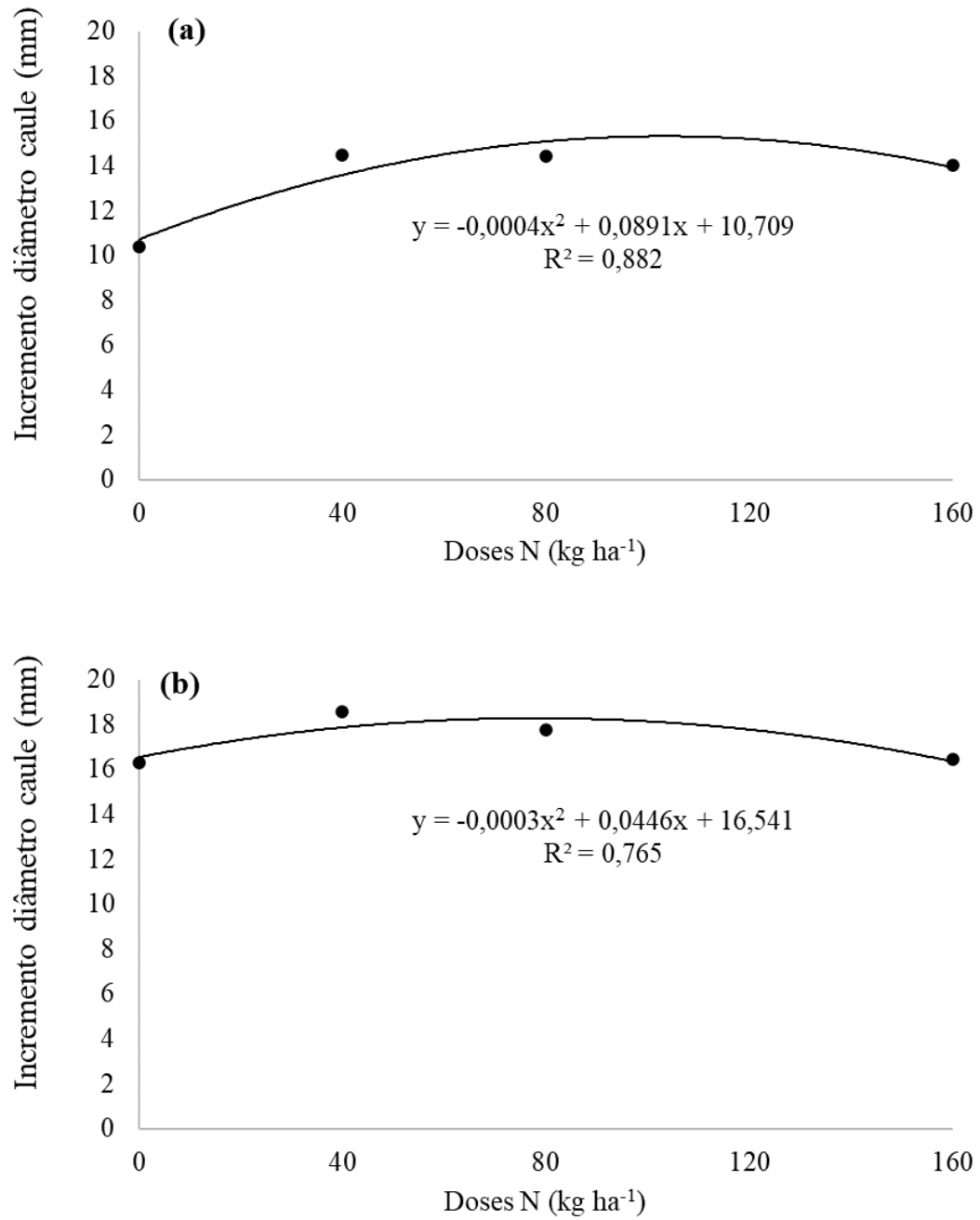
No 1º semestre de cultivo (0-6 meses) a produtividade média experimental da matéria fresca e seca acumulada foi respectivamente de 3.940,4 e 687,4 kg ha⁻¹ (Tabela 3) No 2º semestre (7-12 meses), as plantas apresentaram maior produtividade de matéria fresca e seca da parte aérea, sendo acumulada neste período 4.890,8 kg ha⁻¹ de matéria fresca e 1.077,5 kg ha⁻¹ de matéria seca da parte aérea nas plantas de *M. oleífera* (Tabela 3).

Ainda que os semestres de cultivo no presente trabalho não representem exatamente os períodos seco e chuvoso característicos do clima local, verificou-se que no 1º semestre houve precipitação acumulada (420,8 mm) inferior ao total registrado no 2º semestre (697,9 mm) (Anexo A), situação que pode ter influenciado o desenvolvimento e a produtividade das plantas, especialmente por se tratar de uma área de cultivo não irrigada. Os impactos da escassez de água são complexos, podendo afetar atributos morfológicos, fisiológicos, bioquímicos e moleculares, que refletirão sobre a capacidade fotossintética das plantas, principal processo que impulsiona o crescimento vegetal (CHAVES, FLEXAS e PINHEIRO, 2009; SUN *et al.*, 2020; BASHIR *et al.*, 2021; SELEIMAN *et al.*, 2021).

O efeito das condições climáticas sobre o cultivo da moringa foi verificado também por Reyes-Sánchez, Ledin e Ledin (2006) e Mendieta-Araica *et al.* (2013) que ao longo de dois anos consecutivos observaram maior produção de matéria fresca da parte aérea nas colheitas realizadas durante os meses chuvosos, em sistema não irrigado de cultivo, na Nicarágua. Zheng, Zhang e Wu (2016) constataram que 91% da matéria fresca total colhida no 1º ano de cultivo de *M. oleífera*, no espaçamento de 0,8 x 0,8 m, na China, foi produzida durante a estação chuvosa (maio a outubro), enquanto apenas 9% da foi acumulada ao longo das colheitas realizadas na estação seca (novembro a abril).

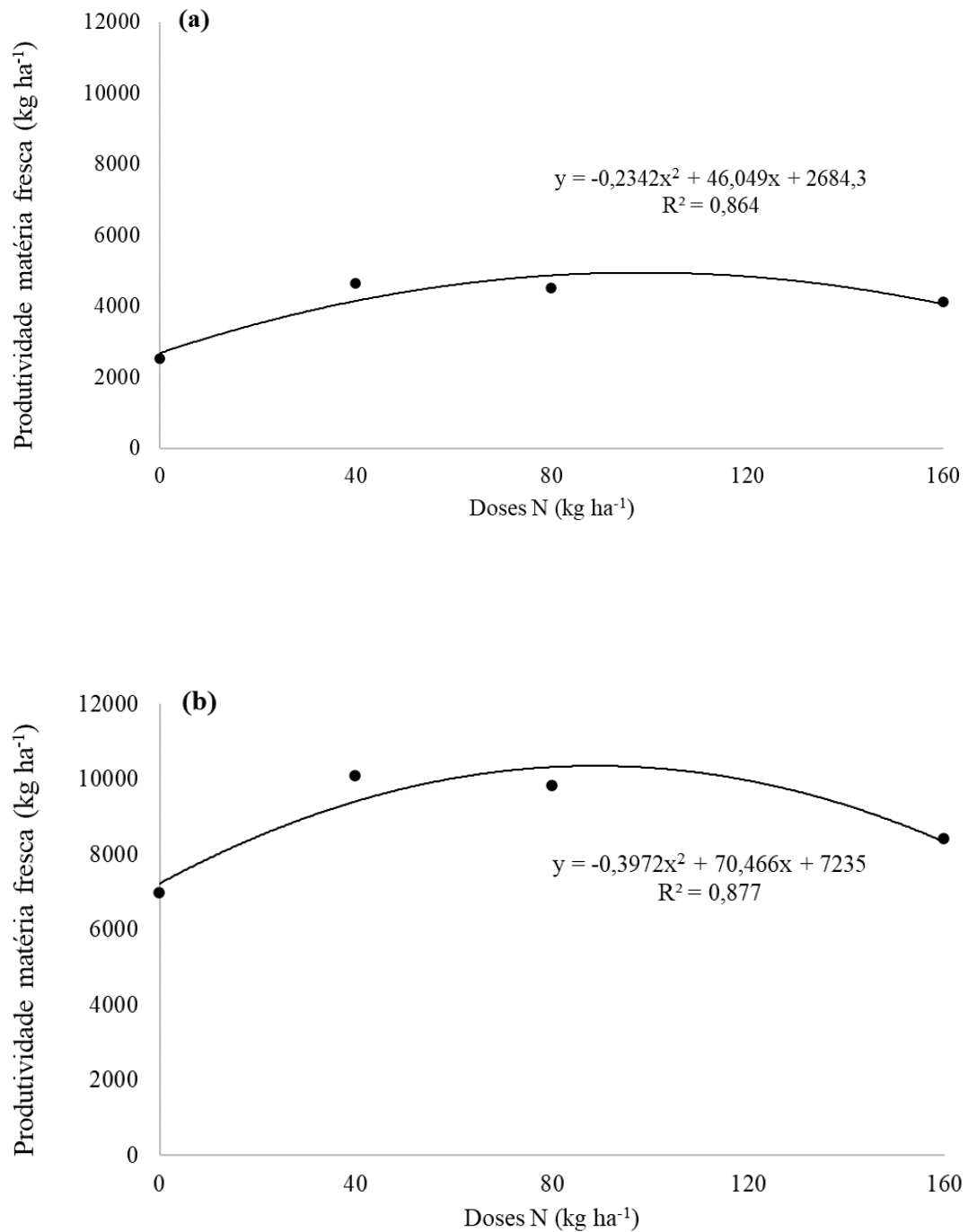
As doses crescentes de N influenciaram de maneira quadrática as variáveis analisadas e as novas equações ajustadas podem ser observadas nas Figuras 1, 2 e 3, que se referem respectivamente ao incremento em diâmetro do caule, produtividade da matéria fresca e produtividade da matéria seca.

Figura 1 - Incremento em diâmetro do caule no 1º semestre (0-6 meses) (a) e no ano 1 (0-12 meses) (b) em plantas de *Moringa oleifera* adubadas com NPK em LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd) em São João Evangelista-MG.



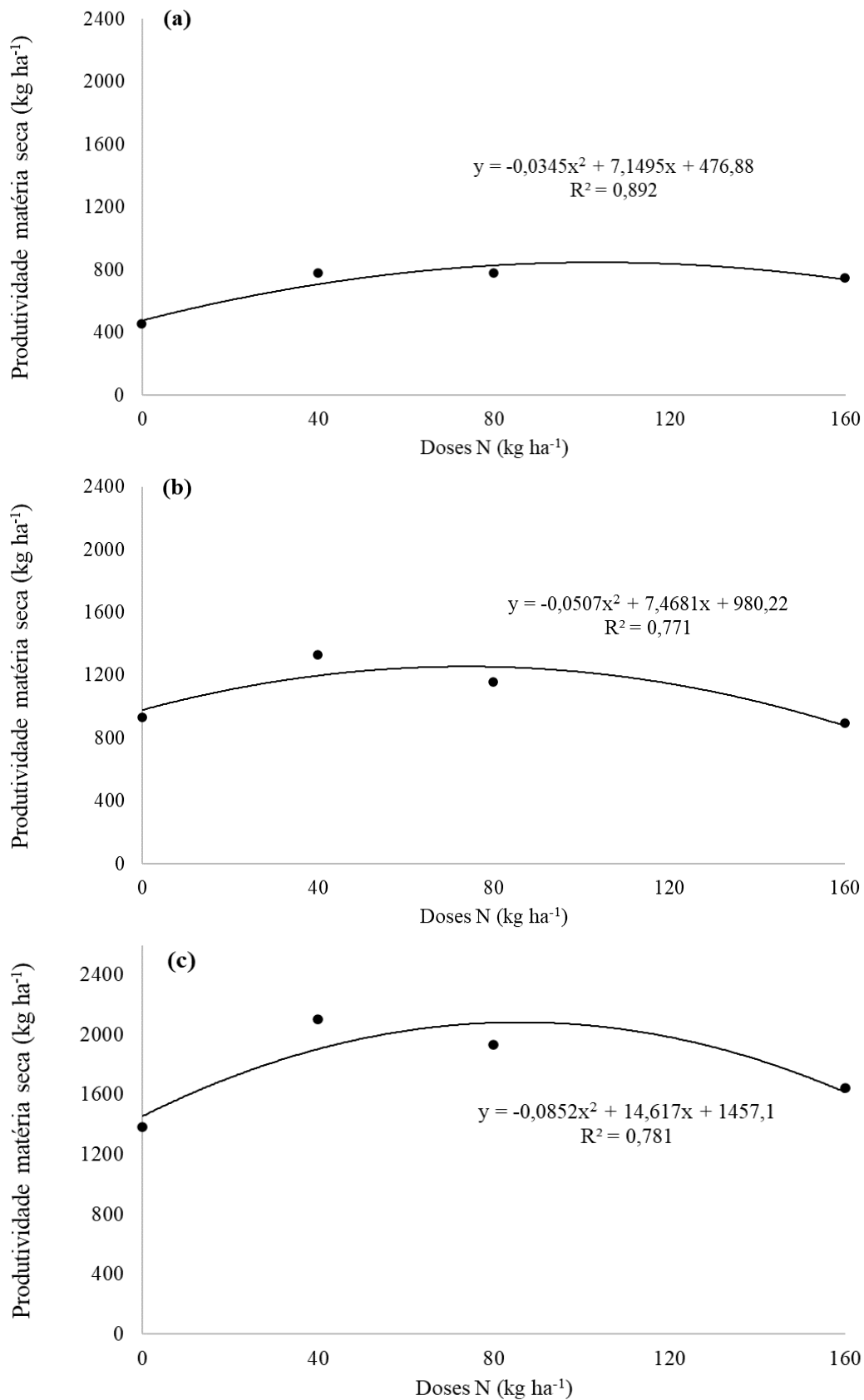
Fonte: o autor.

Figura 2 - Produtividade de matéria fresca no 1º semestre (0-6 meses) (a) e no ano 1 (0-12 meses) (b) em plantas de *Moringa oleifera* adubadas com NPK em LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd) em São João Evangelista-MG.



Fonte: o autor.

Figura 3 - Produtividade de matéria seca no 1º semestre (0-6 meses) (a), 2º semestre (7-12 meses) (b) e no ano 1 (0-12 meses) (c) em plantas de *Moringa oleifera* adubadas com NPK em LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd) em São João Evangelista-MG.



Fonte: o autor

A partir das novas equações ajustadas foi possível determinar a produtividade máxima e a de máxima eficiência econômica (90% da produtividade máxima estimada) para a matéria fresca e seca da parte aérea acumuladas nos diferentes períodos de avaliação, bem como as doses de N necessárias para atingi-las (Tabela 4).

Tabela 4 – Produtividade máxima e de máxima eficiência econômica de matéria fresca e seca da parte aérea e doses de N para obtê-las em plantas de *Moringa oleifera* adubadas com NPK em LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd) em São João Evangelista-MG.

Período de avaliação	Produtividade ⁽¹⁾ (kg ha ⁻¹)		Dose de N (kg ha ⁻¹)	
	Máxima	Máxima eficiência econômica ⁽²⁾	Máxima	Máxima eficiência econômica ⁽²⁾
----- <i>Massa fresca</i> -----				
1º Semestre	4.947,9	4.453,1	98,3	52,3
Ano 1	10.360,3	9.324,3	88,7	37,6
----- <i>Massa seca</i> -----				
1º Semestre	847,3	762,6	103,6	54,1
2º Semestre	1.255,2	1.129,7	73,6	23,9
Ano 1	2.084,0	1.875,6	85,8	36,3

Fonte: o autor; ⁽¹⁾ Somatório da matéria fresca ou da matéria seca da parte aérea colhida nos respectivos períodos de avaliação; ⁽²⁾ Corresponde à 90% da produtividade máxima; 1º Semestre: 0-6 meses; 2º Semestre: 7-12 meses; Ano 1: 0-12 meses.

Após o primeiro ano de cultivo da *M. oleifera* (Ano 1: 0-12 meses) verificou-se que as máximas produtividades estimadas para a matéria fresca (10.360,3 kg ha⁻¹) e seca (2.84,0 kg ha⁻¹) acumuladas foram obtidas respectivamente com o fornecimento de 88,7 e 85,8 kg ha⁻¹ de N (Tabela 4). Estes resultados representam incremento médio de 43% em relação à matéria fresca e seca da parte aérea produzida e acumulada sem o acréscimo de N via adubação.

Em relação à produtividade de máxima eficiência econômica, que representa 90% da produtividade máxima estimada, os resultados indicaram que no Ano 1 (0-12 meses) as doses de 37,6 e 36,3 kg ha⁻¹ de N levaram ao acúmulo de 9.324,3 e 1.875,6 kg ha⁻¹ de matéria fresca e seca colhida, respectivamente (Tabela 4). Desta forma a adoção da produtividade de máxima eficiência econômica como meta de produção representaria na prática uma redução média de 58% na dose de N utilizada ao longo de um ano de cultivo.

A importância da adubação no cultivo de moringa foi evidenciada também por pesquisadores da Nicarágua que realizaram adubação NPK apenas no plantio das mudas ($90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$; $30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$; $30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$) e observaram uma redução de 60% na produção de matéria seca da parte aérea no segundo ano de cultivo (REYES-SÁNCHEZ, LEDIN E LEDIN, 2006).

A produção de vagens e sementes de *M. oleifera* foi potencializada pela combinação de vermicomposto (50 t ha^{-1}) e fertirrigação com NPK 19:19:19 (2 g L^{-1}) em estudo realizado na província de Alexandria, Egito (ATTEYA *et al.*, 2021). A aplicação de fontes de fertilizante e biofertilizante promoveu também maior desenvolvimento da parte aérea de moringa na Coreia do Sul (SARWAR, PATRA e JIHUI, 2018) e no Egito (YOUSSAF, 2016).

Em estudo realizado com diferentes doses de N, P e K em *M. oleifera* estabelecidas em vasos He *et al.* (2020) observaram que a maior biomassa ocorreu com o fornecimento de $1.425 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, $290 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ e $290 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$. A utilização de $521 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N em *M. oleifera* cultivadas na Nicarágua foi recomendada para otimizar a produção de matéria seca da parte aérea em área de cultivo com alta densidade de plantas ($167.000 \text{ plantas ha}^{-1}$) e frequência de corte de 45 dias com oito colheitas anuais (MENDIETA-ARAICA *et al.*, 2013). A adubação com N aumentou significativamente a produção de matéria seca em *M. oleifera* na região Centro-Norte da Nigéria, sendo recomendada a aplicação da dose de 200 kg ha^{-1} de N para maximizar a produção de biomassa em plantio estabelecido com uma densidade de $40.000 \text{ plantas ha}^{-1}$ (ABDULLAHI, OCHI e GWARAM, 2013).

As doses de N que levaram à máxima produtividade da matéria fresca e seca da parte aérea estimada no presente estudo diferiram daquelas sugeridas em outras pesquisas relatadas (ABDULLAHI, OCHI; GWARAM, 2013; MENDIETA-ARAICA *et al.*, 2013). As diferenças podem ser explicadas se levarmos em consideração que as respostas da moringa às adubações dependem de características edafoclimáticas no local de plantio bem como do sistema de manejo adotado pelo produtor, especialmente no que diz respeito à densidade do plantio e a frequência com que as colheitas são realizadas. No presente estudo foi utilizado um sistema semi-intensivo de cultivo, com cortes sendo realizados a cada 60 dias em plantas estabelecidas no espaçamento de $1,0 \times 0,6 \text{ m}$, que representa uma densidade de $16.667 \text{ plantas por hectare}$, número expressivamente inferior à densidade de plantas dos trabalhos citados.

4.2 Nutrientes nas folhas e no solo

Os teores de N, P e K no tecido vegetal (parte aérea) não foram influenciados ($p > 0,05$) pelas adubações realizadas (Tabela 5). Na prática isto significa que a função que expressa os teores foliares em função das doses NPK é uma reta, representativa da média dos valores observados. Portanto, ao final do primeiro ano completo (Ano 1: 0-12 meses) de cultivo, os teores críticos de N, P e K na parte aérea das plantas são representados pelas médias experimentais, que foram de 3,44 dag kg⁻¹ para N, 0,45 dag kg⁻¹ para P e 2,40 dag kg⁻¹ para K. Os valores observados no presente estudo estão compreendidos dentro dos intervalos considerados genericamente ideais para tecidos vegetais, que são de 1,00 a 5,60 dag kg⁻¹ para N, 0,12 a 0,50 dag kg⁻¹ para P e 1,40 a 6,40 dag kg⁻¹ para K (RAVIV; LIETH, 2008).

Os resultados apresentados na Tabela 5 demonstram que as doses de N influenciaram de forma quadrática e significativa o conteúdo de N na parte aérea ($p \leq 0,05$), que aumentou com o acréscimo de N no solo nos três períodos de avaliação (1º Semestre: 0-6 meses; 2º Semestre: 7-12 meses; e Ano 1: 0-12 meses). Em relação aos conteúdos de P e K na parte aérea não houve influência dos acréscimos de P e K no solo em nenhum dos períodos avaliados (Tabela 5).

Estes resultados são justificados tendo em vista que a produção de matéria seca acumulada nas colheitas também foi afetada apenas pelas doses de N, e que o conteúdo nutricional representa o produto entre o teor do nutriente no tecido vegetal e a matéria seca acumulada no período de avaliação. As equações quadráticas ajustadas que permitem estimar o conteúdo de N acumulado na matéria seca da parte aérea em função das doses de N podem ser observadas na Figura 4.

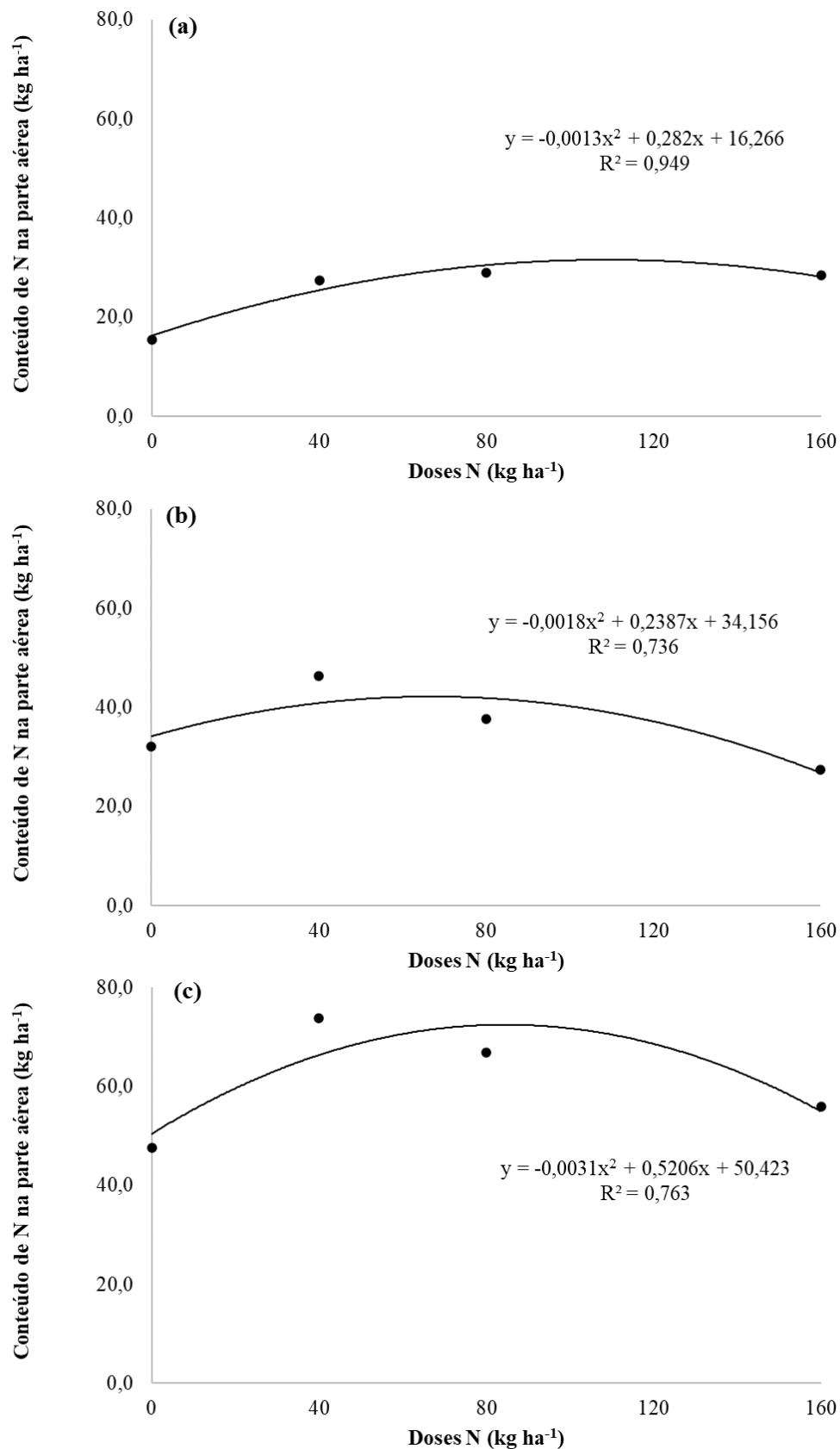
A partir das equações ajustadas para estimar o conteúdo nutricional em função das doses (Figura 4) observou-se que o máximo conteúdo de N acumulado na matéria seca da parte aérea no 1º semestre (0-6 meses) foi de 31,56 kg ha⁻¹, com a dose de 108,46 kg ha⁻¹, enquanto no 2º semestre (7-12 meses) o conteúdo máximo de N foi de 42,07 kg ha⁻¹ com a dose de 66,31 kg ha⁻¹ de N. Considerando a análise conjunta do primeiro ano completo de cultivo (Ano 1: 0-12 meses) o máximo conteúdo de N acumulado foi de 72,28 kg ha⁻¹, obtido com a dose de 83,97 kg ha⁻¹ de N.

Tabela 5 – Teor de nutriente, conteúdo nutricional e coeficiente de utilização biológica de N, P e K na parte aérea de plantas de *Moringa oleifera* adubadas com NPK em LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd) em São João Evangelista-MG.

Doses dos nutrientes	Teor de nutriente			Conteúdo nutricional			Coeficiente de utilização biológica		
	1º Semestre	2º Semestre	Ano 1	1º Semestre	2º Semestre	Ano 1	1º Semestre	2º Semestre	Ano 1
(kg ha ⁻¹)	----- dag kg ⁻¹ -----			----- kg ha ⁻¹ -----			----- CUB -----		
N	----- Nitrogênio -----								
0	3,46	3,30	3,35	15,55	32,08	47,63	29,16	30,94	30,27
40	3,53	3,54	3,52	27,38	46,38	73,77	28,43	28,37	28,44
80	3,77	3,20	3,43	29,09	37,71	66,79	26,72	31,75	29,23
160	3,81	3,24	3,46	28,41	27,46	55,86	26,33	36,90	30,27
Tendência	NS	NS	NS	L**Q**	Q*	L**Q**	NS	NS	NS
P ₂ O ₅	----- Fósforo -----								
0	0,44	0,45	0,45	2,92	5,42	8,34	228,47	221,25	223,11
45	0,42	0,51	0,47	2,99	4,86	7,85	249,80	202,03	215,79
90	0,37	0,47	0,43	2,58	5,16	7,74	273,50	216,47	233,08
180	0,38	0,51	0,46	2,50	5,04	7,54	270,12	197,54	220,66
Tendência	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
K ₂ O	----- Potássio -----								
0	1,64	2,78	2,32	11,11	28,05	39,15	65,81	40,85	45,23
20	1,62	3,07	2,53	10,94	35,79	46,74	63,42	33,22	40,41
40	1,35	2,93	2,28	10,74	29,41	40,15	82,63	34,44	44,16
80	1,76	2,91	2,49	11,01	33,60	44,61	67,37	34,86	40,85
Tendência	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Fonte: o autor. 1º Semestre: 0-6 meses; 2º Semestre: 7-12 meses; Ano 1: 0-12 meses; L: resposta linear; Q: resposta quadrática; NS não significativo; * significativo 5%; ** significativo 1%.

Figura 4 - Conteúdo de N na parte aérea no 1º semestre (0-6 meses) (a), 2º semestre (7-12 meses) (b) e no ano 1 (0-12 meses) (c) em plantas de *Moringa oleifera* adubadas com NPK em LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd) em São João Evangelista-MG.



Fonte: o autor

Utilizando a dose de N estimada para obtenção da produtividade de máxima eficiência econômica de matéria seca da parte aérea acumulada (36,3 kg ha⁻¹ de N, conforme Tabela 4) no primeiro ano de cultivo (Ano 1: 0-12 meses) na equação ajustada para calcular o conteúdo nutricional (Figura 4), obtém-se conteúdo crítico de N igual a 65,24 kg ha⁻¹ (extração anual de N).

Os conteúdos de P e K não foram influenciados ($p > 0,05$) pelas adubações (Tabela 5) e tal como explicado para os teores NPK na parte aérea, a extração anual de P e K pelas plantas pode ser expressa pela média dos respectivos valores observados no experimento, que foi de 7,87 kg ha⁻¹ para P e 42,66 kg ha⁻¹ para K. Os resultados obtidos no experimento se enquadram nos intervalos genéricos sugeridos por Raviv e Lieth (2008) para valores anuais necessários aos rendimentos máximos em plantas cultivadas que são de 50-300 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para N, 5-50 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para P e 40-250 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para K.

A ordem de acúmulo nutricional na parte aérea de *M. oleifera*, que reflete a extração dos nutrientes pelas plantas, foi $N > K > P$ em todos os períodos de avaliação. Ao comparar os resultados semestrais observou-se que a extração média de N, P e K no experimento foi respectivamente 43,0%; 86,3% e 189,6% superior no 2º semestre (7-12 meses). Esta situação se justifica na medida em que a matéria fresca e seca da parte aérea produzida neste período foi superior, impulsionada possivelmente pela maior precipitação acumulada (697,9 mm, valor 1,7 vezes superior àquela acumulada no 1º semestre: 0-6 meses).

O maior volume de chuva promove ainda o aumento do conteúdo volumétrico de água no solo maximizando assim o fluxo difusivo de P e K, principal mecanismo de transporte destes nutrientes da solução do solo às raízes das plantas (COSTA *et al.*, 2006; COSTA *et al.*, 2009), o que ajuda a explicar o aumento expressivo no conteúdo médio de P e K na parte aérea das plantas.

Os resultados experimentais demonstraram que os coeficientes de utilização biológica (CUB) não foram influenciados ($p > 0,05$) pelas adubações NPK (Tabela 5). Para a parte aérea das plantas acumulada nas sucessivas colheitas o nutriente que apresentou maiores valores de CUB nos períodos analisados foi o P, seguido do K e N, indicando que os nutrientes utilizados com maior e menor eficiência foram respectivamente P e N. A maior eficiência no uso do P tem sido constatada em diferentes espécies florestais plantadas em solos com baixos teores deste nutriente (CALDEIRA *et al.*, 2002; SANTANA, BARROS; NEVES, 2002; MOURA *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2020; LAFETÁ *et al.*, 2021).

O coeficiente de utilização biológica que reflete a eficiência de utilização de um dado nutriente é calculado pela razão entre a quantidade de matéria seca produzida pela quantidade do nutriente extraída (BARROS *et al.*, 1986). Desta forma, quanto menor a quantidade do nutriente acumulada no componente da planta analisado (conteúdo do nutriente), maior será o CUB, justificando os resultados observados.

Ao analisar os teores dos nutrientes no solo ao final de cada período de avaliação constatou-se que as doses de P aplicadas não influenciaram significativamente ($p > 0,05$) os teores de P no solo (Tabela 6). A disponibilidade de P aplicado como fertilizante em solos de regiões tropicais é em geral limitada uma vez que a capacidade de fixação de P é potencializada em solos ácidos e com maior predomínio de óxidos de ferro e alumínio na fração argila (COSTA *et al.*, 2006; NOVAIS *et al.*, 2007). Assim, o resultado observado no presente estudo pode ter sido influenciado pela adsorção do P pelos coloides do solo, uma vez que o solo experimental apresentou textura argilosa e baixo teor inicial de P.

Tabela 6 – Teor de P e K no solo (Mehlich-1) aos 6 e 12 meses em área de cultivo de *Moringa oleifera* adubada com NPK em LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd) em São João Evangelista-MG.

Doses dos nutrientes (kg ha ⁻¹)	P no solo (mg dm ⁻³)		K no solo (mg dm ⁻³)	
	6 meses	12 meses	6 meses	12 meses
N				
0	11,81	14,78	172,73	98,81
40	15,48	17,58	128,54	71,66
80	10,32	13,41	110,19	68,44
160	13,67	15,22	94,58	68,11
Tendência	NS	NS	NS	L*Q*
P ₂ O ₅				
0	10,70	12,43	134,53	77,49
45	11,79	11,59	129,64	70,99
90	14,42	18,64	119,83	77,48
180	14,37	18,34	122,04	81,08
Tendência	NS	NS	NS	NS
K ₂ O				
0	14,48	9,33	64,60	58,80
20	14,02	9,13	110,54	64,44
40	11,67	8,97	135,43	82,95
80	11,11	9,35	195,46	102,82
Tendência	NS	NS	L**	L*

Fonte: o autor. L: resposta linear; Q: resposta quadrática; NS não significativo; * significativo 5%; ** significativo 1%.

O teor crítico de P no solo após um ano de cultivo (12 meses) foi de 15,25 mg dm⁻³, que representa sua média experimental. Apesar das doses de P aplicadas não influenciarem a produtividade da parte aérea os resultados sugerem que alguma medida cultural com vistas ao aumento da disponibilidade de P deve ser realizada para estabelecer áreas de cultivo com moringa em solos com baixos teores de P, visto que o teor inicial de P no solo experimental era de 5,11 mg dm⁻³ (Tabela 1) antes da correção com calcário, valor quase três vezes inferior ao teor crítico de P no solo após um ano completo de cultivo.

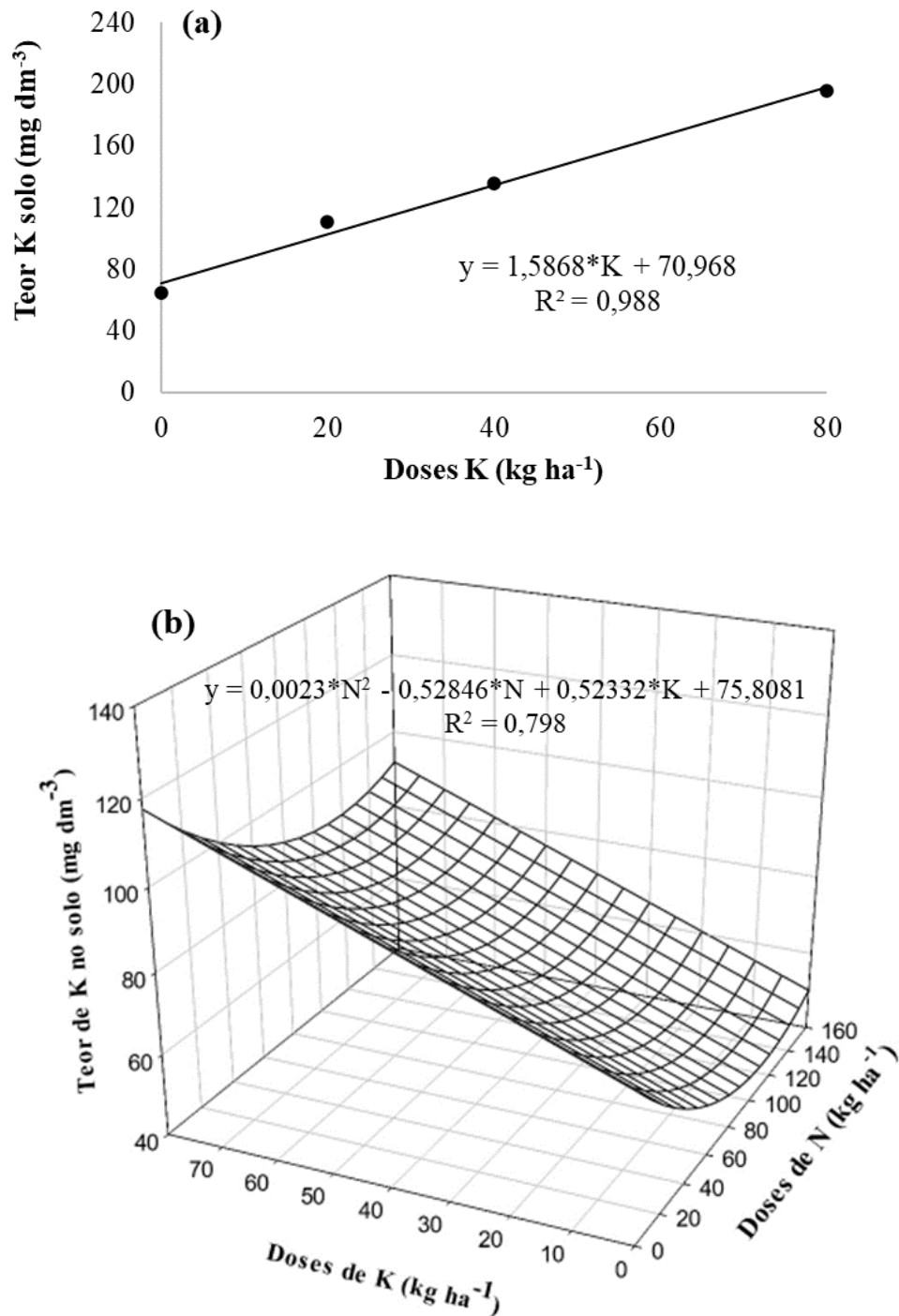
Aos 6 meses de cultivo o teor de K no solo aumentou de forma linear com as doses de K aplicadas (Figura 5a). Aos 12 meses (1º ano completo de cultivo) os resultados demonstraram que o teor de K no solo foi influenciado simultaneamente pelas doses de K e N aplicadas (Figura 5b). Verificou-se que o acréscimo de K via adubação proporcionou crescimento linear nos teores de K no solo, enquanto as doses crescentes de N reduziram o teor de K no solo de forma quadrática (Figura 5b).

O comportamento do K no solo é relativamente simples e o seu teor disponível em solos tropicais é representado pelo potássio trocável (íons K⁺) adsorvidos nas cargas negativas dos coloides do solo por atração eletrostática, facilmente deslocados ou trocados por outros cátions da solução (COSTA *et al.*, 2009). O seu suprimento crescente via adubação justifica o aumento nos teores de K no solo, conforme observado no experimento.

A redução quadrática do teor de K no solo com o aumento das doses de N se manifestou apenas na análise realizada após um ano de cultivo (12 meses), possivelmente influenciada pela maior extração de K (31,71 kg ha⁻¹) pelas plantas no 2º semestre (7-12 meses), valor 2,9 vezes superior à extração média no 1º semestre (0-6 meses), que foi de 10,95 kg ha⁻¹. Influiu ainda sobre este resultado o fato de que as doses de N aumentarem de forma quadrática a produtividade da matéria fresca e seca da parte aérea.

As adubações potássicas não interferiram na produtividade da matéria fresca e seca, bem como o teor e o conteúdo de K na parte aérea, conforme já foi discutido (Tabela 5). Segundo Vieira, Chaves e Viégas (2008) a omissão de K da solução nutritiva não resultou em alterações significativas no crescimento de plantas de moringa, que mantiveram taxas de acumulação de matéria fresca compatíveis com a do controle experimental, representado pela solução nutritiva completa. Os autores sugerem que isso pode estar associado a considerável eficiência de utilização de K pela moringa. Além disso, no presente estudo o solo na área experimental apresentava teor inicial de K de 144 mg dm⁻³, considerado “muito bom” segundo Alvarez *et al.*, (1999), situação que contribuiu com a falta de resposta no crescimento das plantas às adubações com K.

Figura 5 - Teor de K no solo (Mehlich-1) aos 6 meses (a) e 12 meses (b) em área de cultivo de *Moringa oleifera* adubada com NPK em LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd) em São João Evangelista-MG.



Fonte: o autor.

Uma vez que as adubações de K não influenciaram significativamente a produtividade de matéria fresca e seca parte aérea, em tese não haveria necessidade de se realizar adubação potássica na área de cultivo até o presente momento. Utilizando as doses de 36,3 kg ha⁻¹ de N e zero de K (doses estimadas ao atingimento da produtividade de máxima eficiência econômica de matéria seca da parte aérea nas condições experimentais) na superfície de resposta ajustada para determinar o teor de K no solo, obtém-se um teor crítico de K de 59,65 mg dm⁻³ após um ano de cultivo (12 meses).

Ressalta-se, no entanto, que os teores médios de K no solo aos 6 meses e aos 12 meses foram respectivamente 126,51 e 76,76 mg dm⁻³, o que representou uma redução de 12,15 e 46,70% em relação ao teor inicial de K no solo. Estes resultados sugerem que a extração de K por meio das colheitas sucessivas da parte aérea das plantas levarão ao longo do tempo à necessidade de reposição de K por meio da adubação potássica.

6 CONCLUSÕES

Após o primeiro ano de cultivo a produtividade da matéria seca da parte aérea acumulada de plantas de *Moringa oleifera* foi influenciada apenas pelas doses de N aplicadas.

A produtividade de máxima eficiência econômica após um ano de cultivo foi de 9.324,3 kg ha⁻¹ para matéria fresca e 1.875,6 kg ha⁻¹ para matéria seca, obtidas respectivamente com as doses de 37,6 e 36,3 kg ha⁻¹ de N.

Os níveis críticos de NPK nas folhas de *Moringa oleifera* para o primeiro ano de cultivo foram de 3,44 dag kg⁻¹ para N, 0,45 dag kg⁻¹ para P e 2,40 dag kg⁻¹ para K.

A ordem de acúmulo nutricional na parte aérea de *Moringa oleifera* após o primeiro ano de cultivo foi N > K > P, sendo verificada uma extração anual de 65,24 kg ha⁻¹ para N, 7,87 kg ha⁻¹ para P e 42,66 kg ha⁻¹ para K.

Os níveis críticos de P e K no solo pelo extrator Mehlich-1 no primeiro ano de cultivo da *Moringa oleifera* foram 15,25 mg dm⁻³ para P e 59,65 mg dm⁻³ para K.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, T. E. The use of *Moringa oleifera* in poultry diets. **Turkish Journal of veterinary and Animal Sciences**, 37, p.492-496, 2013.
- ABDULLAHI, I.N.; OCHI, K.; GWARAM, A.B. Plant population and fertilizer application effects on biomass productivity of *Moringa oleifera* in North-Central Nigeria. **Peak Journal of Agricultural Sciences**. Vol.1 (6), 94-100, November, 2013.
<http://www.peakjournals.org/sub-journals-PJAS.html>
- ADEBAYO, A.G. *et al.* Soil chemical properties and growth response of *Moringa oleifera* to diferente sources and rates of organic and NPK fertilizers. **Int J Recycl Org Waste Agricult**, 6: 281-287, 2017.
- ADLINE, J.; DEVI, A. A study on phytochemical screening and antibacterial activity of *Moringa oleifera*. **International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences**, 2(5), 169-176, 2014.
- ALHAKMANI, F.; KUMAR, S.; KHAN, S. A. Estimation of total phenolic content, in-vitro antioxidant and anti-inflammatory activity of flowers of *Moringa oleifera*. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, 3(8), 623-627, 2013.
- ALVAREZ V, V. H. *et al.* Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999, p. 25-32.
- ASIEDU-GYEKYE, I.J. *et al.* Micro and macroelemental composition and safety evaluation of the nutraceutical *Moringa oleifera* leaves. **Journal of Toxicology**, p. 1-13, 2014.
- ATTEYA, A.K.G. *et al.* Response of *Moringa oleifera* Seeds and Fixed Oil Production to Vermicompost and NPK Fertilizers under Calcareous Soil Conditions. **Plants**, 10: 1998, 2021. <https://doi.org/10.3390/plants10101998>
- ATTIA, M.F. *et al.* Effect of mineral, organic and bio-fertilization on productivity of moringa plant under saline conditions in North Sinai. **Middle East Journal of Applied Sciences**, 4(4): 825-832, 2014.
- BAKKE, I. A. *et al.* Características de crescimento e valor forrageiro da moringa (*Moringa oleifera* Lam.) submetida a diferentes adubos orgânicos e intervalos de corte. **Engenharia Ambiental**, v.7, n.2, p. 133-144, abr./jun. 2010.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; CARMO, D. N.; NEVES, J. C. L. Classificação nutricional de sítios florestais: descrição de uma metodologia. **Revista Árvore**, v. 10, n. 2, p. 112-120, 1986.
- BASHIR, S. S. *et al.* Plant drought stress tolerance: understanding its physiological, biochemical and molecular mechanisms. **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, 35: 1, 1912-1925, 2021, DOI: 10.1080/13102818.2021.2020161

BICHI, M. H. A review of the applications of *Moringa oleifera* seeds extracts in water treatment. **Civil and Enviromental Research**, 3(8), p.1-11, 2013.

BIJINA, B. *et al.* Protease inhibitor from *Moringa oleifera* with potential for use as therapeutic drug and as seafood preservative. **Saudi Journal of Biological Sciences**, 18(3), p. 273-281, 2011.

BISWAS, S. K. *et al.* Pharmacological potentials of *Moringa oleifera* lam.: A review. **IJPSR**, Vol. 3(2): 305-310, 2012. DOI: [http://dx.doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.3\(2\).305-10](http://dx.doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.3(2).305-10)

CALDEIRA, M. V. W.; RONDON NETO, R. M.; SCHUMACHER, M. V. Avaliação da eficiência nutricional de três procedências australianas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Revista Árvore**, 26 (5), p. 615-620, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000500012>

CÂMARA, G.B.; LEITE, D.D.F. *Moringa oleifera*: potencial econômico. In: CONAPESC, 3, 2018, **Anais...** Campina Grande, 2018.

CARO, Y. *et al.* Harina de forraje de moringa (*Moringa oleifera*) como ingrediente en dietas para conejos de engorde. **Revista Computadorizada de Producción Porcina**, 20(4), p.218-222, 2013.

CEFALI, L. C. *et al.* Plant-based active photoprotectants for sunscreens, Review. **International Journal of Cosmetic Science**, 38, 346-353, 2016. DOI: 10.1111/ics.12316

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany** 103: 551–560, 2009. DOI:10.1093/aob/mcn125

CHRISTOPHE, H.L. *et al.* Effect of organic fertilizers rate on plant survival and mineral properties of *Moringa oleifera* under greenhouse conditions. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, 8: 123-130, 2019.

CHUANG, P. H. *et al.* Anti-fungal activity of crude extracts and essential oil of *Moringa oleifera* Lam. **Bioresource Technology**, 98, p. 232-236, 2007.

CLIMATE-DATA.ORG. **Clima: São João Evangelista/MG**. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/sao-joao-evangelista-175926/>>. Acesso em: 20 jun. 2022

CONAGIN, A.; NAGAI, V.; IGUE, T. **Delineamento (1/2)⁴ em blocos de oito unidades**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, Boletim Científico, nº 36.1997. 9p.

CORREA-ARAÚJO, L. C. *et al.* Evaluation of cytotoxic and anti-inflammatory activities of extracts and lectins from *Moringa oleifera* seeds. **Plos One**, 8(12), p. 1-15, 2013.

COSTA, J. P. V *et al.* Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.4, p.828–835, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000400007>

COSTA, J. P. V *et al.* Fluxo difusivo de potássio em solos sob diferentes níveis de umidade e de compactação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.1, p.56–62, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000100008>

DE PAULA, H. M.; DE OLIVEIRA-ILHA, M. S.; SANTOS-ANDRADE, L. Chemical coagulants and *Moringa oleifera* seed extract for treating concrete wastewater. **Acta Scientiarum Technology**, 38(1), p. 57-64, 2016.

EL OMARI, B *et al.* Resource remobilization in *Quercus ilex* L. resprouts. **Plant and Soil**, 252: 349–357, 2003.

FOIDL N., MAKKAR H.P.S., BECKER K. The potential of *Moringa oleifera* for agricultural and industrial uses. In: International Workshop What development potential for Moringa products?, 2001, Dar es Salaam. **Proceedings...** Tanzania, 2001.

GANDJI, K *et al.* *Moringa oleifera*: A review on its importance and research avenues. **Afr Crop Sci J.**, 26: 137–156, 2018.

GARCÍA, J.; MACIAS, M. Digestibilidad fecal y balance de nitrógeno en cerdos alimentados con diferentes niveles de harina de *Moringa oleifera* incluida en la dieta. **Livestock Research for Rural Development**, 26(12), 2014.

GARCIA, M. G. *Moringa oleifera*: **Árbol multiusos de interés forestal para el sur de la península ibérica**. Madri: Cajamar, 2016. 12 p. (Fichas de Transferencia, 20).

GODINO, M. *et al.* Estudio de la incidencia de los factores ecológicos abióticos (temperatura y humedad) em la germinación y desarrollo de la *Moringa oleifera* Lam. In: Congresso Forestal Espanol, 6, 2013, Vitoria-Gasteiz. **Proceedings...** Vitoria-Gasteiz: Sociedad Espanola de Ciências Forestales, 2013.

GOMASHE, A. V. *et al.* Antimicrobial activity of Indian medicinal plants: *Moringa oleifera* and *Saraca indica*. **International Journal of Current Microbiology and Applied Science**, 3(6), p. 161-169, 2014.

HASSAN, F. A. G.; IBRAHIM, M. A. *Moringa oleifera*: Nature is most nutritious and multipurpose tree. **International Journal of Scientific and Research Publications**, v. 3, n. 1, p. 01–05, 2013.

HE, Q. *et al.* Biomass production of *Moringa oleifera* as affected by N, P, and K fertilization. **Journal of Plant Nutrition**, 2020, DOI: 10.1080/01904167.2020.1739305

HERNÁNDEZ, E. *et al.* Diluted sulphuric acid pretreatment and enzymatic hydrolysis of *Moringa oleifera* empty pods. **Industrial Crops and Products**, 44, p.227-231, 2013.

KABEYA, D.; SAKAI, S. The relative importance of carbohydrate and nitrogen for the resprouting ability of *Quercus crispula* seedlings. **Annals of Botany**, 96: 479–488, 2005. DOI:10.1093/aob/mci200

KANA, J. R. *et al.* Effects of substituting soybean with *Moringa oleifera* meal in diets on laying and eggs quality characteristics of kabir chickens. **Journal of Animal Nutrition**, 1(14), p.1-6, 2015.

KUMAR, B.; KUMAR, S.; KUMAR-SINGH, A. Ayurvedic Medicine: A review on medicinal importance of shigru (*Moringa oleifera* Lam.) in Samhitas. **Indian Journal of Agriculture and Allied Science**, 1(3), p. 127-137, 2015.

LAFETÁ, B. O. *et al.* D. S. Biomassa e coeficiente de utilização biológico de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* × *E. camaldulensis* em diferentes espaçamentos de plantio. **Scientia Forestalis**, 49(129), e3378, 2021. <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n129.13>

LIJESH, K. P.; MALHOTRA, R. Reduction of turbidity of water using *Moringa oleifera*. **International Journal of Applied Engineering Research**, 11(2), p.1414-1423, 2016.

LIM, T.M. Moringa. In: **Edible medicinal plants and non-medicinal plants 3 (fruits)**, p.453-485, 2012.

LORENZI, H; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais do Brasil: nativas e exótica cultivadas**, Nova Odessa, SP:Instituto Plantarum, 2002.

LUQMAN, S. *et al.* Experimental assessment of *Moringa oleifera* leaf and fruit for its antistress, antioxidant, and scavenging potential using in vitro and in vivo assays. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, 1-13, 2012.

LY, J. *et al.* Balance de nitrógeno (n) en cerdos alimentados con harina de follaje de *Moringa oleifera*. **Revista de BioCiencias**, 3(4), p.349-358, 2016

MAHMOOD, K. T.; MUGAL, T.; HAQ, I. U. *Moringa oleifera*: a natural gift-A review. **Journal of Pharmaceutical Sciences & Research**, 2(11), p.775-781, 2010.

MASHAMAITE, C. V. *et al.* *Moringa oleifera* in South Africa: A review on its production, growing conditions and consumption as a food source. **South African Journal of Science**, [S. l.], v. 117, n. 3/4, 2021. DOI: 10.17159/sajs.2021/8689. Disponível em: <https://sajs.co.za/article/view/8689>. Acesso em: 5 aug. 2022.

MCKNIGHT, M. *et al.* Moringa tea blocks acute lung inflammation induced by swine confinement dust through a mechanism involving TNF- α expression, C-Jun N-Terminal kinase activation and neutrophil regulation. **American Journal of Immunology**, 10(2), p. 73-87, 2014.

MELESSE, A. *et al.* Effect of feeding graded levels of moringa stenopetala leaf meal on growth performance, carcass traits and some serum biochemical parameters of Koekoek chickens. **Livestock Science**, 157, p.498-505, 2013.

MENDIETA, A. B. *et al.* Moringa (*Moringa oleifera*) leaf meal as a source of protein in locally produces concentrates for dairy cow fed low protein diets in tropical areas. **Livestock Science**, 137, p.10-17, 2011.

- MOFIJUR, M. *et al.* Comparative evaluation of performance and emission characteristics of *Moringa oleifera* and Palm oil based biodiesel in a diesel engine. **Industrial Crops and Products**, 53, 78-84, 2014.
- MOYO, B. *et al.* Poliphenolic content and antioxidant properties of *Moringa oleifera* leaf extracts and enzymatic activity of liver from goats supplemented with *Moringa oleifera* leaves/sunflower seed cake. **Meat Science**, 91, p. 441-447, 2012.
- MUHL, Q. E. *et al.* Bud development, flowering and fruit set of *Moringa oleifera* Lam. (Horseradish Tree) as affected by various irrigation levels. **J Agr Rur Dev Trop Subtrop**. 2013; 114(2): 79–87.
- MUTHUKUMAR, N. *et al.* Effect of incorporation of *Moringa oleifera* leaves extract on quality of ground pork patties. **Journal of Food Science & Technology**, 51(11), p.3172-3180, 2014.
- NKUKWANA, T. T. *et al.* Effect of *Moringa oleifera* leaf meal on growth performance, apparent digestibility, digestive organ size and carcass yield in broiled chickens. **Livestock Science**, 161, p.139-146, 2014
- NOUMAN, W. *et al.* Potential of *Moringa oleifera* L. as livestock fodder crop: a review. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v.38, p. 1-14, 2014.
- OJIAKO, E. N. Phytochemical analysis and antimicrobial screening of *Moringa oleifera* extract. **The International Journal of Engineering and science**, 3(3), p. 32-35, 2014.
- OYEYINKA, A. T.; OYEYINKA, S. A. *Moringa oleifera* as a food fortificant: Recent trends and prospects. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, 2016.
- PADILLA, C., FRAGA, N., SUÁREZ, M. Effect of the soaking time of moringa (*Moringa oleifera*) seeds on the germination and growth indicators of the plant. **Cuban Journal of Agricultural Science**, 46(4), 419- 421, 2012.
- PALIWAL, R., SHARMA, V., PRACHETA. A review on Horse radish tree (*Moringa oleifera*): A multipurpose tree with high economic and commercial importance. **Asian Journal of Biotechnology**, 3(4), 317-328, 2011.
- PONTUAL, E. V. *et al.* Caseinolytic and milk-clotting activities from *Moringa oleifera* flowers. **Food Chemistry**, 135(3), p. 1848-1854, 2012.
- POPOOLA, J.O.; OBEME, O.O. Local knowledge, use pattern and geographical distribution of *Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae) in Nigeria. **Journal of Ethnopharmacology**, 150, p.682-691, 2013.
- PRABHU, K., *et al.* Larvicidal and repellent potential of *Moringa oleifera* against malarial vector, *Anopheles stephensi* Liston (Insecta: Diptera: Culicidae). **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, p. 124-129, 2011.

RAHMAN, M. *et al.* Performance and emission analysis of *Jatropha curcas* and *Moringa oleifera* methyl ester fuel blends in a multi-cylinder diesel engine. **Journal of Clean Production**, 65, p. 304-310, 2014.

RAJA, R.R. *et al.* *Moringa Oleifera*-An Overview. **RA Journal of Applied Research**. vol. 2, n. 9, p. 620-624, 2016.

SANJAY, P.; DWIVEDI, K. N. Shingru (*Moringa oleifera* Lam.): A critical review. **International Journal of Ayurveda and Pharmaceutical Chemistry**, 3(1), p. 217-227, 2015.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 447-457, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000400007>

SANTOS, C. A.; MOURA, F. B. P.; LIMA, L. N. Potencialidades e uso da moringa (*Moringa oleifera* Lam.) In: NOGUEIRA, E.M.S.; ANDRADE, M.J.G.; MOURA, G.J.B.; SANTOS, C.A.B. (orgs.) **Conservação dos recursos naturais**. Paulo Afonso: SABEH, 2016. Cap. 1, p. 12-42.

SARWAR, M.; PATRA, J.K.; JIHUI, B. Comparative effects on compost and NPK fertilizer on vegetative growth, protein, and carbohydrate of *Moringa oleifera* Lam hybrid PKM-1. **Journal of Plant Nutrition**, 41(12), p.1587-1596, 2018.

SHAHZAD, U. *et al.* Genetic diversity and population structure of *Moringa oleifera*. **Conservation Genetics**, 14:1161-1172, 2013. DOI 10.1007/s10592-013-0503-x.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ª ed. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2009.

SILVA, N. F. *et al.* Yield and Nutrient Demand and Efficiency of *Eucalyptus* under Coppicing Regime. **Forests**, 11(8), 852, 2020. DOI:10.3390/f11080852

SILVA, T. C. S. *et al.* A. M. Utilização de sementes de *Moringa oleifera* Lam. como alternativa para produção de biodiesel. **Gestão, Inovação e Tecnologias**. vol. 3, n. 2, p. 12-25, 2013.

SOLIVA *et al.* Feeding value of whole and extracted *Moringa oleifera* leaves for ruminants and their effects on ruminal fermentation in vitro. **Animal Feed Science and Technology**, 118(1-2), 47-62, 2005.

SUHARTINI, S.; HIDAYAT, N.; ROSALIANA, E. Influence of powdered *Moringa oleifera* seeds and natural filter media on the characteristics of tapioca starch wastewater. **International Journal Of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, 2(12), 11, 2013.

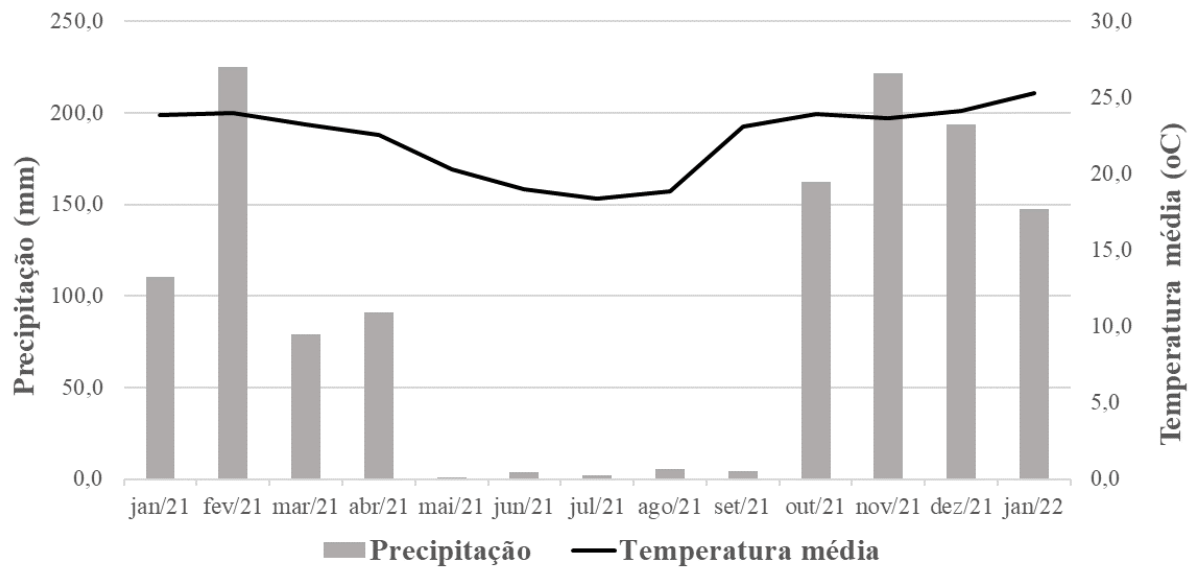
TORRES, A.W. *et al.* Medicinal plant knowledge in Caribbean Basin: a comparative study of Afrocaribbean, Ameridian and Mestizo communities. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, 11(18), 2015.

URMI, K. F. *et al.* Comparative anti-microbial activity and brine shrimp lethality bioassays of different parts of the plant *Moringa oleifera* Lam. **Journal of Applied Pharmaceutical Science**, 2(2), p. 085-088, 2012.

VELÁZQUEZ-ZAVALA, M. *et al.* Moringa (*Moringa oleifera* Lam.): potential uses in agriculture, industry and medicine. **Revista Chapingo Serie Horticultura**, 22(2), p. 95-116, 2016.

VIEIRA, H.; CHAVES, L.H.G.; VIÉGAS, R.A. Crescimento inicial de moringa (*Moringa oleifera* Lam) sob omissão de nutrientes. **Revista Caatinga**, v.21, n.4, pp. 51-56, 2008

ANEXO A - Distribuição mensal da precipitação pluviométrica e temperatura média durante o período experimental na área de cultivo de *Moringa oleifera*, em São João Evangelista-MG.



Fonte: o autor; Dados da Estação Meteorológica do Viveiro IFMG-SJE (2022).