

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – FCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
TROPICAL – PPGATR

**Produção e qualidade pós-colheita de frutos de pimenta-
de-cheiro em função de doses de N, P e K em Latossolo
amarelo distrófico da Amazônia Central**

ARI BATISTA DA COSTA JÚNIOR

MANAUS, AM

2026

ARI BATISTA DA COSTA JÚNIOR

Produção e qualidade pós-colheita de frutos de pimenta-de-cheiro em função de doses de N, P e K em Latossolo amarelo distrófico da Amazônia Central

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia Tropical, área de concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Célio Maia Chaves

MANAUS, AM

2026

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

- C837p Costa Júnior, Ari Batista da
 Produção e qualidade pós-colheita de frutos de pimenta-de-cheiro
 em função de doses de N, P e K em Latossolo amarelo distrófico da
 Amazônia Central / Ari Batista da Costa Júnior. - 2026.
 84 f. : il., p&b. ; 31 cm.
- Orientador(a): Francisco Célio Maia Chaves.
 Tese (doutorado) - Universidade Federal do Amazonas,
 Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical, Manaus,
 2026.
1. Pimenta-de-cheiro. 2. Adubação mineral de hortaliças. 3.
 Nutrição mineral. 4. Solanaceae. 5. Capsicum chinense Jacquin. I.
 Chaves, Francisco Célio Maia. II. Universidade Federal do
 Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical.
 III. Título
-

ARI BATISTA DA COSTA JÚNIOR

PRODUÇÃO E QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE FRUTOS DE PIMENTA-DE-CHEIRO
EM FUNÇÃO DE DOSES DE N, P E K EM LATOSSOLO AMARELO DISTRÓFICO DA
AMAZÔNIA CENTRAL.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Agronomia Tropical – área de concentração: Produção Vegetal.

Aprovada em: 25/05/2026

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 FRANCISCO CELIO MAIA CHAVES
Data: 27/07/2026 13:42:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Francisco Célio Maia Chaves
Presidente
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Documento assinado digitalmente
 ALINE ELLEN DUARTE DE SOUSA
Data: 28/07/2026 14:42:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Aline Ellen Duarte de Sousa
Membro Titular
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Documento assinado digitalmente
 MARIA DO ROSARIO LOBATO RODRIGUES
Data: 27/07/2026 15:51:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Maria do Rosário Lobato Rodrigues
Membro Titular
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Documento assinado digitalmente
 ERNESTO OLIVEIRA SERRA PINTO
Data: 28/07/2026 20:35:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Ernesto Oliveira Serra Pinto
Membro Titular
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Documento assinado digitalmente
 JAISSON MIYOSI OKA
Data: 28/07/2026 18:15:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jaisson Miyosi Oka
Membro Titular
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

OFEREÇO

A Deus, o Grande Arquiteto do Universo .:

DEDICO

Ao meu filho, João Lucas, meu amor e melhor amigo.

Aos meus queridos e amados pais, Fátima Costa e Ari Batista, pelo amor e cuidado. Por serem meus maiores incentivadores e por todos os esforços feitos durante minha formação pessoal, acadêmica e profissional.

Aos meus irmãos, Hugo Alex, Victor Matheus, Agatha Christine e Carlos Eduardo pela ajuda e companheirismo.

Aos meus sobrinhos, Manuella e Miguel Costa.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM), ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical (PPGATR) e ao corpo docente da Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), pela oportunidade, suporte e pelo conhecimento compartilhado.

Ao Professor Dr. Francisco Célio M. Chaves, meu orientador. Mais do que orientação, agradeço pelo conhecimento compartilhado, apoio, confiança e pela motivação durante a realização deste trabalho.

À Embrapa Amazônia Ocidental pelo suporte material, técnico e humano indispensável à realização deste trabalho, em especial aos doutores André Atroch e Rodrigo Berni.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ao finalizar este trabalho, expresso minha profunda gratidão à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), pelo fundamental apoio financeiro e institucional concedido por meio da Bolsa de Doutorado.

Aos professores José Zilton Lopes e Daniel Gentil por disponibilizarem laboratórios e equipamentos para a realização das análises do experimento. Também agradeço à profa. Aline de Sousa e os colegas do Laboratório de Fisiologia Pós-Colheita de Frutas Tropicais (FisioFrut) pelo apoio durante a realização das análises.

À Agência de Fomento do Estado do Amazonas (AFEAM), em especial Shirlane Gonçalves, Simone Bentes e Rafael Santana, por toda ajuda, compreensão e apoio durante as fases mais exigentes do curso.

A minha cunhada Graciane Florêncio, meus tios e primos, em especial Pedro Vinícius, que foi fundamental durante a execução do experimento em campo. Também agradeço à engenheira agrônoma Erica Marialva pelo apoio durante o planejamento e implantação deste projeto.

Aos amigos Marcelo Tavares, Alan Lima e João Cleber, do laboratório de Nutrição de Plantas, pelo suporte durante a condução do experimento, análises laboratoriais e estatísticas.

COSTA JÚNIOR, A. B. **Produção e qualidade pós-colheita de frutos de pimenta-de-cheiro em função de doses de N, P e K em Latossolo amarelo distrófico da Amazônia Central**. 2026. 96f. Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) – Faculdade de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2026.

RESUMO

A pimenta-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) é uma espécie amplamente consumida no Brasil, destacando-se pelo sabor e aroma, sendo utilizada tanto para consumo *in natura* quanto como matéria-prima nas indústrias alimentícias, farmacêuticas e cosméticas. No entanto, para melhorar seu potencial produtivo, torna-se essencial o manejo adequado da adubação de forma racional e sustentável. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo investigar a influência de diferentes doses de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) sobre parâmetros biométricos, produtivos e pós-colheita de pimenta-de-cheiro, além de determinar as melhores doses de N, P e K para recomendação de adubação. O experimento foi conduzido em campo, utilizando a cv. Lupita, em delineamento em blocos casualizados, em arranjo fatorial fracionado $(1/5) 5^3$, totalizando 25 tratamentos com duas repetições. Cada unidade experimental foi composta por 25 plantas, sendo consideradas úteis as 9 plantas centrais. Previamente, foram realizadas análises de solo para avaliação da fertilidade, sendo os tratamentos constituídos pela combinação de cinco doses de N (0; 22; 66; 200; 600 kg ha⁻¹), cinco doses de P₂O₅ (0; 50; 100; 200; 400 kg ha⁻¹) e cinco doses de K₂O (0; 22; 66; 200; 600 kg ha⁻¹). Foram avaliados descritores quantitativos e qualitativos, como a massa seca das raízes (MSRAI), do caule (MSCAU), dos ramos (MSR) e das folhas (MSFOL). Nos frutos, foram avaliados a massa fresca (MFF), o acúmulo de macro (ACma) e micronutrientes (ACmi) na matéria seca, além de alguns parâmetros físico-químicos, como pH, acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis (SS), relação solúveis e acidez total (SS/AT), açúcares solúveis totais (AST) e vitamina C (VIT.C). Também foram estimadas as melhores doses de N, P e K para obter a produtividade máxima (PM) e a máxima eficiência econômica (MEE) de pimenta-de-cheiro. A adubação influenciou o acúmulo de biomassa em *C. chinense*, com destaque para o N na MSR, MSCAU e MSR, enquanto o K atuou positivamente na MSF. A MFF foi influenciada pela interação N vs K, indicando que a produção depende do efeito combinado desses nutrientes, evidenciando a importância do equilíbrio nutricional. Não foram observados efeitos significativos sobre o acúmulo de macro e micronutrientes nos frutos, sugerindo que a estabilidade da composição mineral dos frutos não é afetada pelas diferentes doses de N, P e K. Em contrapartida, os atributos de qualidade foram influenciados pela adubação, com destaque para o P na modulação do pH e dos SS, enquanto o K influenciou a ATT. A PM estimada foi de aproximadamente 7,8 t ha⁻¹, obtida com as DMEE de 283,16 kg ha⁻¹ de N, 251,11 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 366,83 kg ha⁻¹ de K₂O, evidenciando maior exigência em P e efeito sinérgico entre N e K, demonstrando a importância do manejo equilibrado da adubação para maximizar a produtividade e a qualidade dos frutos de pimenta-de-cheiro com eficiência no uso de nutrientes e sustentabilidade do sistema produtivo.

Palavras-chave: *Capsicum chinense* Jacquin, Adubação mineral de hortaliças, Nutrição mineral, Solanaceae.

COSTA JÚNIOR, A. B. **Production and postharvest quality of “pimenta-de-cheiro” fruits as affected by nitrogen, phosphorus, and potassium rates in a dystrophic Yellow Oxisol of the Central Amazon.** Ph.D. Dissertation. Graduate Program in Tropical Agronomy, Faculty of Agricultural Sciences, Federal University of Amazonas, Manaus, 2026.

ABSTRACT

“Pimenta-de-cheiro” (*Capsicum chinense* Jacquin) is a widely consumed species in Brazil, valued for its distinctive flavor and aroma, and used both for fresh consumption and as a raw material in the food, pharmaceutical, and cosmetic industries. However, optimizing its productive potential requires rational and sustainable fertilization management. In this context, the present study aimed to evaluate the effects of different nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) rates on biometric, yield, and post-harvest traits of *C. chinense*, as well as to determine the optimal fertilization rates for recommendation. The experiment was conducted under field conditions using the Lupita cultivar, in a randomized complete block design with a fractional factorial arrangement $(1/5) 5^3$, totaling 25 treatments with two replications. Each experimental unit consisted of 25 plants, with the 9 central plants considered for evaluation. Soil analyses were performed prior to treatment application to assess fertility. Treatments consisted of five levels of N (0, 22, 66, 200, and 600 kg ha⁻¹), P₂O₅ (0, 50, 100, 200, and 400 kg ha⁻¹), and K₂O (0, 22, 66, 200, and 600 kg ha⁻¹). Quantitative and qualitative descriptors were evaluated, including root dry mass (MSRAI), stem dry mass (MSCAU), branch dry mass (MSR), and leaf dry mass (MSFOL). In fruits, fresh fruit mass (MFF), macro (ACma) and micronutrient (ACmi) accumulation in dry matter, and physicochemical parameters such as pH, titratable acidity (ATT), soluble solids (SS), Soluble solids to titratable acidity ratio (SS/TA), total soluble sugars (AST), and vitamin C (VIT.C) content were assessed. In addition, the optimal N, P, and K rates for maximum yield (PM) and maximum economic efficiency (MEE) were estimated. Fertilization significantly influenced biomass accumulation in *C. chinense*, with N showing the greatest effects on MSR, MSCAU, and MSR, while K positively affected MSF. Fresh fruit mass was influenced by the interaction between N and K, indicating that fruit production depends on the combined effect of these nutrients and highlighting the importance of nutritional balance. No significant effects were observed on macro- and micronutrient accumulation in fruits, suggesting that the mineral composition of the fruits remained stable under different N, P, and K rates. In contrast, fruit quality attributes were affected by fertilization, with P influencing pH and SS, whereas K affected ATT. The estimated maximum yield was approximately 7.8 t ha⁻¹, obtained with economically optimal rates of 283.16 kg ha⁻¹ N, 251.11 kg ha⁻¹ P₂O₅, and 366.83 kg ha⁻¹ K₂O, indicating a higher requirement for P and a synergistic effect between N and K. These results demonstrate the importance of balanced fertilization management to maximize fruit yield and quality while improving nutrient use efficiency and the sustainability of sweet pepper production systems.

Keywords: *Capsicum chinense* Jacquin, mineral fertilization of vegetables, plant mineral nutrition, Solanaceae.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dados meteorológicos de temperatura mínima e máxima (A), umidade relativa do ar mínima e máxima (B), e pluviosidade acumulada (C) no período de outubro de 2024 a fevereiro de 2025, em Iranduba, AM. Fonte: INMET (2026).....	28
Figura 2. Valores de pH em água e em CaCl ₂ em função da aplicação de doses de calcário dolomítico em solo Latossolo Amarelo Distrófico de textura argilosa da área experimental coletado no município de Iranduba, AM.....	35
Figura 3. Variação do pH em H ₂ O e CaCl ₂ na camada de 0 a 20 cm do solo Latossolo Amarelo Distrófico da experimental, antes da aplicação do calcário e aos 25 e 50 dias após a aplicação.....	37
Figura 4. Valores de alumínio trocável (Al ³⁺) na camada de 0 a 20 cm no solo Latossolo Amarelo Distrófico da experimental, antes da aplicação do calcário e aos 25 e 50 dias após a aplicação.....	37
Figura 5. Valores de acidez potencial (H + Al) na camada de 0 a 20 cm do solo Latossolo Amarelo Distrófico da área experimental, antes da aplicação do calcário e aos 25 e 50 dias após a aplicação.....	38
Figura 6. Representação da superfície de resposta para o efeito da interação entre N, P e K na produção de massa seca de raízes de <i>C. chinense</i> cv. Lupita.....	43
Figura 7. Representação da superfície de resposta para o efeito da interação entre N, P e K na massa seca do caule de <i>C. chinense</i> cv. Lupita.....	45
Figura 8. Representação da superfície de resposta para o efeito da interação entre N, P e K na massa seca de ramos de <i>C. chinense</i> cv. Lupita.	48
Figura 9. Representação da superfície de resposta para o efeito da interação entre N, P e K na massa seca de folhas de <i>C. chinense</i> cv. Lupita.....	50
Figura 10. Representação da superfície de resposta para o efeito da interação entre N, P e K na massa fresca dos frutos de <i>C. chinense</i> cv. Lupita.....	52
Figura 11. Representação da superfície de resposta para o efeito da interação entre N, P e N vs K sobre o pH dos frutos de <i>C. chinense</i> cv. Lupita.	56
Figura 12. Representação da superfície de resposta para o efeito da interação entre N, P e K no teor de sólidos solúveis em frutos de <i>C. chinense</i> cv. Lupita.....	58
Figura 13. Representação da superfície de resposta para o efeito da interação entre N, P e K sobre a acidez total titulável de frutos de <i>C. chinense</i> cv. Lupita.....	59
Figura 14. Representação da superfície de resposta para o efeito da interação entre N, P e K no teor de açúcares solúveis totais em frutos de <i>C. chinense</i> cv.	

Lupita.....	61
Figura 15. Representação da superfície de resposta para o efeito da interação entre N, P e K na relação sólidos solúveis/acidez total em frutos de <i>C. chinense</i> cv. Lupita.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos e granulométricos do solo Latossolo Amarelo Distrófico da área experimental, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, antes da calagem e da aplicação dos tratamentos.	27
Tabela 2. Identificação dos tratamentos e suas diferentes combinações de N, P e K.	29
Tabela 3. Atributos químicos e granulométricos do solo Latossolo Amarelo Distrófico da área experimental, aos 25 e 50 dias após a aplicação do calcário.	36
Tabela 4. Resumo da análise de variância para acúmulo de macronutrientes em frutos de <i>C. chinense</i> cv. Lupita, em função das doses de N, P e K.	39
Tabela 5. Resumo da análise de variância para acúmulo de micronutrientes em frutos de <i>C. chinense</i> cv. Lupita, em função das doses de N, P e K.	39
Tabela 6. Resumo da análise de variância para massa seca das raízes (MSRAI), massa seca do caule (MSCAU), massa seca dos ramos (MSR), massa seca das folhas (MSF) e massa fresca dos frutos (MFF) de <i>C. chinense</i> cv. Lupita submetidas à adubação com diferentes combinações de N, P e K.	41
Tabela 7. Superfície de resposta à adubação com N, P e K expressa pela massa seca das raízes (MSRAI), massa seca do caule (MSCAU), massa seca dos ramos (MSR), massa seca das folhas (MSFOL) e massa fresca dos frutos (MFF) de <i>C. chinense</i> cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.	42
Tabela 8. Valores de N, P e K correspondentes a DMEF e DMEE, e estimativas de PMEE e PMEF de MSRAI de <i>C. chinense</i> cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.	44
Tabela 9. Valores de N, P e K correspondentes a DMEF e DMEE, e estimativas de PMEE e PMEF de MSCAU de <i>C. chinense</i> cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.	46
Tabela 10. Valores de N, P e K correspondentes a DMEF e DMEE, e estimativas de PMEE e PMEF da MSR de <i>C. chinense</i> cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.	49
Tabela 11. Valores de N, P e K correspondentes a DMEF e DMEE, e estimativas de PMEE e PMEF de MSFOL de <i>C. chinense</i> cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.	51
Tabela 12. Valores de N, P e K correspondentes a DMEF e DMEE, e estimativas de PMEE e PMEF da MFF de <i>C. chinense</i> cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.	53
Tabela 13. Resumo da análise de variância para o pH, sólidos solúveis (SS), acidez total titulável (ATT), açúcares solúveis totais (AST) e pela Relação Sólidos	

Solúveis e Acidez Total (SS/AT) em frutos de <i>C. chinense</i> cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.....	54
Tabela 14. Superfície de resposta à adubação com N, P e K, expressa pelo pH, sólidos solúveis (SS), acidez total titulável (ATT), açúcares solúveis totais (AST) e pela relação sólidos solúveis/acidez total (SS/AT) em frutos de <i>C. chinense</i> cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.....	55
Tabela 15. Valores de N, P e K correspondentes a DMEF e DMEE e estimativas de PMEE e PMEF de pH em frutos de <i>C. chinense</i> cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.....	57
Tabela 16. Valores de N, P e K correspondentes a DMEF e DMEE e estimativas de PMEE e PMEF de SS em frutos de <i>C. chinense</i> cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.....	58
Tabela 17. Valores de N, P e K correspondentes a DMEF e DMEE e estimativas de PMEE e PMEF de ATT em frutos de <i>C. chinense</i> cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.....	60
Tabela 18. Valores de N, P e K correspondentes a DMEF e DMEE e estimativas de PMEE e PMEF de AST em frutos de <i>C. chinense</i> cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.....	62
Tabela 19. Valores de N, P e K correspondentes a DMEF e DMEE e estimativas de PMEE e PMEF de SS/AT em frutos de <i>C. chinense</i> cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.....	63

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	3
2.1 Objetivo Geral	3
2.2 Objetivos Específicos	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1 Aspectos gerais de <i>C. chinense</i>	4
3.2 Cultivo de <i>C. chinense</i> em solos de terra firme	6
3.2.1 Influência do nitrogênio em <i>C. chinense</i>	9
3.2.2 Influência do fósforo em <i>C. chinense</i>	12
3.2.3 Influência do potássio em <i>C. chinense</i>	14
3.3 Atributos pós-colheita de frutos de <i>C. chinense</i>	16
3.3.1 Vitamina C	18
3.3.2 Sólidos Solúveis (SS), Acidez Total Titulável (ATT) e pH	20
3.3.3 Açúcares Solúveis Totais (AST)	23
3.3.4 Relação Sólidos Solúveis e Acidez Titulável (SS/AT)	24
4. MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1 Estudo de incubação	26
4.2 Caracterização da área de estudo com doses de N, P e K	27
4.3 Delineamento experimental e tratamentos	28
4.4 Instalação e condução do experimento	30
4.4.1 Obtenção das mudas	30
4.4.2 Tratamentos e aplicação	30
4.4.3 Irrigação, manejo fitossanitário e controle de plantas daninhas	31
4.5 Avaliação de compostos bioativos em frutos de <i>C. chinense</i>	32
4.5.1 Vitamina C	33
4.5.2 Sólidos Solúveis Totais (SS)	33
4.5.3 Acidez Total Titulável (ATT)	33
4.5.4 pH	34
4.5.5 Açúcares Solúveis Totais (AST)	34
4.5.6 Relação Sólidos Solúveis/Acidez Titulável (SS/AT)	34
4.6 Análise estatística	34

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
5.1 Necessidade de calagem em função da curva de incubação.....	35
5.2 Efeito das interações de N, P e K no acúmulo de macro e micronutrientes em frutos de <i>C. chinense</i>.....	38
5.3 Efeito das interações de N, P e K nos atributos biométricos e produtivos de <i>C. chinense</i>.	41
5.4 Efeito das interações de N, P e K nos atributos pós-colheita de <i>C. chinense</i>.....	54
6.0 CONCLUSÕES	66
7.0 REFERÊNCIAS.....	67

1. INTRODUÇÃO

Dentre as diversas espécies de pimentas, a pimenta-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) é uma das mais cultivadas no Brasil, especialmente na região Norte (HEINRICH *et al.*, 2015). Embora todas as espécies do gênero *Capsicum* tenham origem nas Américas, *C. chinense* é considerada a mais brasileira de todas por apresentar grande diversidade na Bacia Amazônica, seu centro de dispersão (PEREIRA-DIAS *et al.*, 2019).

Na região, é cultivada predominantemente em solos de terra firme, em geral, Argissolos e Latossolos, caracteristicamente ácidos e de baixa fertilidade natural (FALCÃO e SILVA, 2004). Possui grande relevância cultural e sua ampla aceitação no mercado faz com que o cultivo desta hortaliça seja uma alternativa promissora para agricultores familiares, contribuindo para a geração de emprego e renda (MARTINEZ *et al.*, 2021).

A produção e a qualidade de frutos nas espécies do gênero *Capsicum* são influenciadas por fatores genéticos e por práticas de manejo, destacando-se a nutrição mineral equilibrada, fundamental para evitar a expressão de distúrbios metabólicos decorrentes da insuficiência ou do excesso de nutrientes no solo, favorecendo o crescimento, a produção de frutos e a síntese de compostos bioativos nas plantas (ZLOTEK *et al.*, 2014; OKA, 2017; BRAGA NETO, 2020).

Sabe-se que, para completar seu ciclo de vida, as plantas necessitam de 17 elementos essenciais, além de carbono, hidrogênio e oxigênio, classificados conforme sua exigência (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012). Com base no requerimento das plantas, nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) estão entre os nutrientes mais exigidos, logo, também os mais suscetíveis a se tornarem deficientes devido à sua limitação natural em solos tropicais altamente intemperizados (CANTARUTTI *et al.*, 2007).

Neste contexto, Oka (2017) observou durante experimentos que a curva de acúmulo de nutrientes em *C. chinense* apresenta elevada demanda por macronutrientes primários ao longo do seu ciclo, especialmente por N e K, elementos com maior demanda em todas as fenofases analisadas. Tendo em vista que a maioria dos solos da Amazônia Central apresenta baixa capacidade

de suprimento nutricional, torna-se crucial a reposição de nutrientes a fim de atingir os números atualmente praticados em outras regiões (BENITES *et al.*, 2010). Com isso, o uso de fertilizantes minerais constitui uma estratégia eficiente para o aumento da disponibilidade de nutrientes no solo e a melhoria do rendimento das culturas (GALVÃO *et al.*, 2014).

A nutrição mineral adequada não apenas estimula o crescimento, mas também influencia a produção e os teores de compostos bioativos e fitoquímicos nas plantas (PEREIRA *et al.*, 2012). Além das propriedades sensoriais atrativas ao consumidor, as pimentas contêm substâncias com propriedades funcionais, como teor de sólidos solúveis, acidez e vitaminas, regularmente analisadas em estudos envolvendo espécies do gênero *Capsicum* devido aos seus efeitos benéficos à saúde humana (STEWART, 2001; PINTO *et al.*, 2013;).

Apesar da reconhecida influência da adubação sobre a produtividade e a qualidade da pimenta-de-cheiro, ainda há escassez de ensaios experimentais específicos que avaliem, de forma integrada, os efeitos de diferentes doses de N, P e K, bem como suas interações sobre a produção e qualidade pós-colheita de frutos de *C. chinense* em condições edafoclimáticas da Amazônia Central.

Devido à escassez de informações na literatura, as doses de fertilizantes para *C. chinense* atualmente são baseadas em boletins técnicos de outros estados, como Pará (BRASIL *et al.*, 2020), Minas Gerais (RIBEIRO *et al.*, 1999) e São Paulo (RAIJ *et al.*, 1996), ou ainda praticadas de forma empírica, sem nenhum respaldo experimental. Esta lacuna evidencia a necessidade de estudos que considerem as particularidades da espécie e da região, com o objetivo de compreender como diferentes doses de N, P e K influenciam a produção e a qualidade pós-colheita de frutos de *Capsicum chinense* Jacquin cultivados em solo de terra firme da Amazônia Central.

Com isso, ao investigar os efeitos de diferentes doses de N, P e K em *C. chinense*, o presente estudo busca respostas visando contribuir com base científica para subsidiar futura recomendação de adubação para pimenteira-de-cheiro na região, permitindo sugerir aos produtores doses adequadas de fertilizantes minerais, promovendo maior produtividade e qualidade dos frutos, aliadas à eficiência econômica e à sustentabilidade ambiental.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

- Investigar o efeito de diferentes doses de nitrogênio, fósforo e potássio no crescimento da planta, na produção e qualidade pós-colheita de frutos de pimenta-de-cheiro cv. Lupita em Latossolo Amarelo Distrófico na Amazônia Central.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar se a interação de doses de nitrogênio, fósforo e potássio interfere no crescimento, na produtividade e em atributos pós-colheita de frutos de pimenta-de-cheiro em Latossolo Amarelo Distrófico da Amazônia Central.
- Determinar a máxima eficiência física das doses de nitrogênio, fósforo e potássio que promovam os melhores parâmetros de crescimento da planta, produção de frutos e atributos pós-colheita nos frutos de pimenteira-de-cheiro em Latossolo Amarelo Distrófico da Amazônia Central.
- Estimar a produção comercial de frutos com a máxima eficiência econômica de pimenta-de-cheiro em função da combinação dos níveis de nitrogênio, fósforo e potássio em Latossolo Amarelo Distrófico da Amazônia Central.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Aspectos gerais de *C. chinense*

Registros históricos apontam as Américas Central e do Sul como centros de origem e diversificação do gênero *Capsicum*, onde explorações arqueológicas no México e no Peru sugerem que seu cultivo e consumo pelos povos originários datam de aproximadamente 9.000 anos, enfatizando sua elevada importância alimentar e cultural (NASCIMENTO *et al.*, 2007). No Brasil, registros arqueológicos indicam o uso do gênero por comunidades indígenas há cerca de 4.000 anos no estado de Roraima, com possibilidade de seu uso ser ainda mais antigo (NEITZKE *et al.*, 2014).

Dentre essas espécies, *Capsicum chinense* Jacquin destaca-se por sua expressiva variabilidade fenotípica e ampla adaptação às condições edafoclimáticas da Amazônia (SILVA *et al.*, 2022). Na região norte do Brasil, é uma das espécies do gênero *Capsicum* mais consumidas, sendo ingrediente de diversos pratos regionais, conferindo à espécie elevado potencial de exploração tanto para o consumo in natura quanto para o processamento, especialmente em mercados que valorizam seus atributos sensoriais como aroma, sabor e pungência (ALMEIDA *et al.*, 2020).

Em sua composição, apresenta elevado valor nutricional e funcional, sendo rica em compostos bioativos como vitamina C, carotenoides, flavonoides, minerais e vitaminas (PINTO *et al.*, 2013). Esses constituintes estão associados a propriedades antioxidantes e benefícios à saúde humana, o que amplia o interesse pela cultura não apenas sob a ótica produtiva, mas também nutricional e industrial (BRIDGEMOHAN *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2020).

Inicialmente, a pimenteira-de-cheiro teve seu nome científico conferido erroneamente pelo físico holandês Nikolaus von Jacquin (1727 – 1817), quando este considerava ser a China a região originária da espécie (LEAL, 2012). Do ponto de vista botânico, *C. chinense* pertence ao Reino Plantae, Divisão Magnoliophyta, Classe Magnoliopsida, Ordem Solanales, Família Solanaceae e ao gênero *Capsicum* (APG III, 2009; BROWN *et al.*, 2013).

São plantas arbustivas, perenes, com raízes de formato pivotante, caule

lenhoso ou semilenhoso (eretos ou recurvados), folhas lanceoladas em diversas tonalidades de verde, apresentando flores hermafroditas, de coloração variada, podendo ultrapassar 150 cm de altura (FILGUEIRA, 2008). Além disso, o gênero *Capsicum* é considerado um grupo intermediário entre autógamas e alógamas devido à sua capacidade de se reproduzir tanto por autopolinização quanto por polinização cruzada (ALMEIDA *et al.*, 2020). Seus frutos são definidos como bagas de estrutura oca e de forma que remete a uma cápsula, podendo ser grandes e alongados ou diminutos e globulares, apresentando coloração verde ou amarela quando imaturos e cores que variam entre o vermelho e o alaranjado quando maduros (SONAWANE e SHINDE, 2021).

Sua grande demanda faz da pimenta-de-cheiro presente na vida de diversos produtores como uma importante fonte de nutrição e renda, em especial quando se agrega valor por meio do seu processamento (JESUS *et al.*, 2020; PERALTA-CRUZ *et al.*, 2021). Visando atender às exigências de um mercado cada vez mais exigente, novos produtos têm sido desenvolvidos, como molhos, conservas, pastas e páprica, agregando valor à pimenta-de-cheiro, contribuindo para a geração de empregos, especialmente no âmbito da agricultura familiar (BARBOZA *et al.*, 2019; FERNANDES e CATTELAN, 2022).

Conforme dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), a produtividade mundial de pimentas em 2022 foi de 41,9 milhões de toneladas, cultivadas em cerca de 3,7 milhões de hectares. China, México, Turquia, Indonésia, Índia, Espanha, Nigéria, Egito, EUA, Argélia e Tunísia se destacam como os principais produtores (FAOSTAT, 2022).

No Brasil, graças à sua capacidade de adaptação a diferentes condições de clima e solo, *C. chinense* se encontra distribuída em diferentes regiões, onde destacam-se os estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Ceará e Rio Grande do Sul como os principais produtores (PINTO *et al.*, 2022). No Amazonas, estima-se que, em 2024, a área cultivada com pimenta-de-cheiro ocupava cerca de 389 ha, destacando-se os municípios de Iranduba, Presidente Figueiredo, Manaus e Novo Remanso como os maiores produtores (IDAM, 2025).

Observa-se que na região Norte a produtividade média da pimenteira-de-cheiro varia entre 5 e 10 t ha⁻¹, inferior à produtividade média nacional para a

cultura, que geralmente varia entre 10 e 15 t ha⁻¹ (IBGE, 2023). Essa diferença pode ser atribuída às condições edafoclimáticas, ao nível tecnológico empregado e ao manejo nutricional adotado, evidenciando a limitação natural dos solos amazônicos e reforçando a importância da adubação para maximizar o potencial produtivo da cultura (BRASIL *et al.*, 2020; FILGUEIRA, 2020).

3.2 Cultivo de *C. chinense* em solos de terra firme

Na Amazônia Central, os solos são subdivididos em dois ambientes edáficos contrastantes: solos de várzea e solos de terra firme (DAMACENO, 2020), sendo estes últimos os mais extensos e amplamente cultivados pelos produtores locais. Nos ambientes de terra firme, predominam os Argissolos e Latossolos (QUESADA *et al.*, 2011), caracteristicamente ácidos, com elevada saturação por alumínio, além de baixo teor de fósforo (P), potássio (K), matéria orgânica e saturação por bases (BATISTA, 2014), revelando sua acentuada limitação química à produção agrícola.

Do ponto de vista mineralógico, a fração argila desses solos é predominantemente composta por minerais silicatados 1:1 (caulinita), óxidos, hidróxidos e oxidróxidos de ferro (Fe), alumínio (Al) e manganês (Mn) (CAMPOS *et al.*, 2016). Por conta dessas características mineralógicas, apresentam cargas dependentes do pH, baixa capacidade de retenção e menor reserva de nutrientes, além de alto ponto de carga zero (PCZ), elevada acidez e alta adsorção de fósforo (VAN RANST, 1995), o que limita a disponibilidade de nutrientes essenciais às plantas.

Os Latossolos são altamente intemperizados, de caráter distrófico, fortemente ácidos, com elevados teores de alumínio trocável e baixa fertilidade natural. São definidos pela presença de horizonte diagnóstico latossólico e características como: argilas com predominância de óxidos de ferro, silício, titânio e baixa saturação de bases (EMBRAPA, 2006; CHEN *et al.*, 2012). Sua textura varia de média a muito pesada, com frações de argila podendo ultrapassar 70% no perfil, com boa capacidade para retenção de água e drenagem, características físicas adequadas à agricultura (VIEIRA, 1987; TEIXEIRA *et al.*, 2010; SANTOS *et al.*, 2013). Tratando-se de *C. chinense*, essas limitações assumem papel ainda mais relevante diante da exigência nutricional

da cultura, sensível à ausência destes nutrientes.

Apesar das restrições químicas naturais, a pimenteira-de-cheiro é predominantemente cultivada pelos agricultores da região em áreas de terra firme, onde a classe dos Latossolos ocupa cerca de 26% da área total do Estado (MAIA e MARMOS, 2010; IDAM, 2022). Diante das boas propriedades físicas e do relevo plano e suavemente ondulado, os Latossolos apresentam boas condições para uso agrícola no estado do Amazonas, desde que superadas as limitações quanto à acidez e à fertilidade natural do solo por meio da adição de insumos que supram as deficiências nutricionais naturalmente encontradas nesta classe de solo (SOUZA, 2018).

3.3 Nutrição mineral em *C. chinense*

Em sistemas de produção estabelecidos em regiões tropicais, a nutrição mineral constitui um dos fatores que mais influenciam o desempenho agrônomo das principais culturas, afetando o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das plantas (EPSTEIN e BLOOM, 2006). Com o aumento da demanda por alimentos devido ao crescimento da população mundial, ampliou-se a busca por alternativas para aumentar a produção, entre as quais o uso da biotecnologia, melhoramento genético, microrganismos, além do manejo e otimização do uso de fertilizantes orgânicos e químicos como alternativas para atender a essa demanda (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012; FAO, 2017).

As pimentas do gênero *Capsicum* apresentam grande exigência quanto aos atributos químicos dos solos, demandando teores adequados de nutrientes para maximizar sua produtividade, especialmente em sistemas tropicais, onde a limitação nutricional é recorrente (TROEH e THOMPSON, 2007; CARDOSO *et al.*, 2014). A baixa fertilidade natural dos solos que predominam na região amazônica, associada ao manejo frequentemente inadequado da fertilidade do solo, evidencia a necessidade de adubação balanceada, vital para o sucesso do cultivo de pimentas (EPSTEIN e BLOOM, 2006; CUNHA *et al.*, 2014; PNF, 2021).

Nutrientes mais requeridos pela maioria das culturas, N, P e K são os mais suscetíveis a se tornarem deficientes na maioria dos solos brasileiros, por isso,

destacam-se como os nutrientes mais aplicados nas lavouras brasileiras, seja na semeadura ou em cobertura (CANTARUTTI *et al.*, 2007; VALDERRAMA *et al.*, 2011). De acordo com Oka (2017), a exigência nutricional de *C. chinense* é levada, porém varia bastante conforme a planta atinge suas fenofases, definidas em três: fenofase vegetativa (40 DAE), fenofase de florescimento (entre 40 e 60 DAE) e fenofase de produção (60 a 200 DAE). Em *C. chinense*, essa variação é particularmente relevante, uma vez que o acúmulo de biomassa e a formação dos frutos estão diretamente associados à disponibilidade desses nutrientes no solo.

Embora existam evidências consistentes sobre a importância desses nutrientes no cultivo de *C. chinense*, a falta de informações consolidadas faz com que as recomendações de adubação para pimenteira-de-cheiro na Amazônia Central sejam baseadas em informações de outras espécies do mesmo gênero ou em condições edafoclimáticas distintas, evidenciando a necessidade de estudos que sirvam de base para sugerir dados de nutrição mais específicos aos produtores locais, promovendo maior produtividade no cultivo de *C. chinense* além de mitigar impactos ambientais com o uso racional de fertilizantes.

Resultados promissores foram observados em experimentos de adubação em que espécies do gênero *Capsicum* são submetidas a diferentes doses de fertilizantes em diferentes condições de cultivo. Lorenzoni (2016), ao avaliar os efeitos de doses de N e K no crescimento e na produção da cultura do pimentão, obteve incremento em atributos biométricos e produtividade de 1.882 gramas planta⁻¹ (31,34 t ha⁻¹) para as doses de 155 kg ha⁻¹ de N e 106,7 kg ha⁻¹ de potássio.

Em experimento conduzido no Campo Experimental de Xamantún do Instituto Tecnológico de Chiná, México – MEX, Aguilar *et al.* (2024) avaliaram os efeitos de 5 formulações de N, P e K em plantas de pimenta habanero (*Capsicum chinense* Jacquin), constatando que o tratamento com a formulação 350-250-360 de N, P e K foi o que apresentou maior produtividade, com média de 41.259 kg ha⁻¹. Contudo, os resultados sugerem que o uso de doses superiores às recomendadas aumenta a produção de frutos por planta.

Liu *et al.* (2009) afirmam que a biossíntese dos carotenoides é afetada

pela espécie e pela nutrição das plantas. Nannetti (2001) verificou em ensaio com pimentão, que a adubação potássica aumentou os teores de SS em função do papel que esse nutriente desempenha na translocação de fotossintatos e na ativação de diversas enzimas. Durante ensaio com fontes e doses de adubação, Pedó *et al.* (2015) avaliaram a produtividade e a qualidade dos frutos de duas cultivares de pimenta cultivadas em casa de vegetação, observando que a adubação química interfere diretamente na síntese de carotenoides e fenóis totais.

Ao avaliar a atividade antioxidante, a atividade antimicrobiana e os compostos bioativos em pimenta fertilizada com adubação mineral, orgânica e organomineral, Quintana (2020) constatou o efeito da adição de fertilizantes no aumento da produtividade, dos teores de antioxidantes, de compostos fenólicos, de antocianinas e de vitamina C.

Neste contexto, observa-se ao longo dos anos que diversos ensaios têm sido realizados em diferentes ambientes de cultivo, avaliando doses de fertilizantes para promover o suprimento equilibrado de nutrientes às espécies do gênero *Capsicum* e gerar subsídios técnicos ao manejo nutricional em campo. Com base neste e em outros estudos conduzidos com diferentes espécies do gênero *Capsicum*, espera-se que a adequada nutrição mineral da pimenteira-de-cheiro aumente a produtividade e melhore a qualidade dos frutos nas condições edafoclimáticas da Amazônia Central.

3.2.1 Influência do nitrogênio em *C. chinense*

O N é o macronutriente aniônico mais abundante, exigido e consumido pelos vegetais, sendo responsável por diversos processos bioquímicos e fisiológicos, além de desempenhar função estrutural e constituinte de aminoácidos, proteínas, bases nitrogenadas, ácidos nucleicos e enzimas, estando diretamente relacionado à fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular (MARSCHNER, 2012). Normalmente é absorvido pelas plantas nas formas nítrica (N-NO_3^-) e amoniacal (N-NH_4^+) quando dissolvidas na solução no solo (MALAVOLTA, 2006; BRADY e WEIL, 2013).

Na ausência de fatores limitantes e quando adequadamente fornecido, o

N promove o crescimento dos órgãos vegetativos, apresentando rápido aumento da parte aérea e, conseqüentemente, maior eficiência fotossintética e produção de fotoassimilados, permitindo que a cultura expresse todo seu potencial produtivo (ALMANZA-MERCHÁN *et al.*, 2016; MOTASIM, 2024).

No gênero *Capsicum*, o N exerce influência direta sobre a síntese de compostos nitrogenados secundários, como os capsaicinoides, responsáveis pela pungência em pimentas, evidenciando que o manejo desse nutriente não afeta apenas a produtividade, mas também as características sensoriais e funcionais dos frutos (ZHANG *et al.*, 2024). Em contrapartida, altas doses de N tendem a favorecer o crescimento vegetativo em detrimento da síntese de compostos bioativos, como a vitamina C, indicando a existência de um trade-off fisiológico entre produtividade e qualidade nutricional dos frutos (LEE; KADER, 2000; BÉLANGER *et al.*, 2001).

Resultados observados em diversos ensaios com adubação nitrogenada em plantas do gênero *Capsicum* evidenciam os efeitos positivos da suplementação com este nutriente sobre atributos biométricos e bioquímicos das plantas. Aminifard *et al.* (2012), avaliaram a resposta de *Capsicum annuum* L. a diferentes doses de N e constataram efeito positivo em parâmetros como altura da planta (estádios vegetativo e reprodutivo), comprimento da haste lateral e número de folhas em plantas submetidas às maiores doses de N. Costa *et al.* (2018) ao estudarem a produção de frutos em diferentes cultivares de pimentão submetidas à diferentes doses de fertilizantes constataram aumento na produção total de frutos com a aplicação de N em todas as cultivares estudadas quando comparadas ao tratamento controle.

Silva (2019), ao testar diferentes doses de N em duas cultivares comerciais de *C. chinense*, Biquinho e Habanero, constatou que as plantas apresentaram maior biomassa quando submetidas às maiores doses de N, enquanto plantas expostas a quantidades menores produziram menor biomassa, flores e frutos. Viera *et al.* (2025) observaram que o aumento nas doses de N influenciou significativamente a melhora dos aspectos biométricos da planta (altura e diâmetro), do rendimento (peso úmido e seco dos frutos e produtividade), bem como o aumento das concentrações de N nas folhas e nos

frutos. Esta tendência foi verificada em *C. chinense* por Oka (2017), em ensaio de curva de acúmulo, onde qual o N também se mostrou o nutriente mais exigido ao longo de todo o ciclo, influenciando o crescimento das plantas e a produção de frutos.

Além de se mostrar bastante influente nos atributos fitométricos e na produtividade de plantas do gênero *Capsicum*, o N atua na biossíntese de vários compostos que conferem sabor característico aos frutos das pimenteiras (CARVALHO, 2014). A conhecida sensação de calor, ardência ou picância causada pelo consumo de pimentas pungentes está diretamente relacionada com a presença de capsaicinoides, metabólitos nitrogenados formados a partir de valina e fenilalanina nas placentas de genótipos de *Capsicum* (CORTINA e SILVA, 2024). Placentas de pimentas Habanero incorporam N inorgânico em aminoácidos necessários à produção destes compostos, destacando a importância do N (BAAS-ESPINOLA *et al.*, 2016).

Ferreira *et al.* (2006) afirmam que o N atua na biossíntese de açúcares nas folhas, que posteriormente são translocados para os frutos, elevando a concentração de sólidos solúveis. Trabalhando com frutos de tomate, pertencentes à mesma família da pimenta-de-cheiro, Ravinder *et al.* (2001) observaram que a adubação nitrogenada influencia o teor de SS e de ATT dos frutos de tomate. Ao estudar doses de N na cultura do tomate, Valencia *et al.* (2003) também constataram que o aumento nas proporções promoveu maiores teores de SS nos frutos.

O N também afeta significativamente os teores de vitamina C em plantas do gênero *Capsicum*. Ao investigar o efeito de níveis de N e K em diferentes manejos de fertirrigação para pimentão em cultivo hidropônico, Oliveira (2012) observou diferença significativa no teor de vitamina C entre os manejos nas doses de 50, 150, 200 e 300% de N e de K, com maiores teores na dose de 200%.

Entretanto, ao testar diferentes fontes e doses, Queiroga (2019) obteve valores superiores de ácido ascórbico (160 e 158 mg 100 g⁻¹) para tratamentos que receberam adubação orgânica e organomineral e menores teores para os frutos que receberam adubação mineral (149 mg 100 g⁻¹). Neste caso, a

pesquisadora atribui a boa eficiência das plantas em absorver nutrientes provenientes de fontes orgânicas e organominerais colocadas à sua disposição no momento do plantio, além do efeito adverso observado na planta, causado pelo excesso de adubação mineral quando se utilizou a fonte mineral NPK.

Diante da ausência de recomendações específicas de adubação nitrogenada para *C. chinense* no estado do Amazonas, associada às particularidades da dinâmica do N em solos tropicais e à variabilidade na eficiência de uso desse nutriente pelas plantas, constata-se a importância de estudos que permitam definir doses ótimas desse nutriente, visando futuramente subsidiar decisões técnicas baseadas em evidências científicas, considerando as especificidades edafoclimáticas da região e as exigências nutricionais da cultura.

3.2.2 Influência do fósforo em *C. chinense*

Por se tratar do elemento que mais limita o crescimento das plantas em solos tropicais, o fósforo destaca-se como um dos mais estudados e utilizados nas adubações das lavouras brasileiras (LAMBERS, 2022). Em termos de quantidade, é o menos exigido pelas culturas entre os macronutrientes (OMARI *et al.*, 2019; LAMBERS, 2022).

Em média, 85% do fósforo absorvido pelas plantas está na forma de dihidrogenofosfato ou fosfato diácido (H_2PO_4^-) e hidrogenofosfato ou fosfato ácido (HPO_4^{2-}), sendo a primeira a forma preferencial (BILYERA *et al.*, 2022). Após absorvido, o P é incorporado aos compostos orgânicos das plantas, passando a exercer funções essenciais em processos enzimáticos, como a divisão celular, respiração e a síntese de proteínas, atuando em processos fisiológicos como a fotossíntese, a respiração e a transferência de energia na forma de ADP e ATP, o que torna esse elemento crucial para a produção e a produtividade das plantas (SHABNAM e IQBAL, 2016; TAIZ e ZEIGER, 2017).

Entretanto, é comum a baixa disponibilidade de fósforo nos solos tropicais, a qual está diretamente relacionada diretamente ao material de origem e à predominância de argilominerais do tipo caulinita (NOVAIS *et al.*, 2007). A deficiência de fósforo nos Latossolos, que representam cerca de 26% dos solos

do Amazonas, está associada à forte interação desse nutriente com os componentes minerais do solo, processo conhecido como “fixação” (NUNES, 2024). Esse fenômeno é intensificado em ambientes tropicais, cujas condições específicas reduzem a disponibilidade e a eficiência de uso do fósforo, exigindo a aplicação de maiores quantidades de fertilizantes fosfatados para garantir níveis adequados à absorção pelas plantas. (SHEN *et al.*, 2011; DAMACENO, 2020).

No estado do Amazonas, que ocupa grande parte da Amazônia brasileira, acredita-se que 90% dos solos sejam deficientes em P, com teores inferiores a 5 mg dm⁻³, à exceção de solos antropicamente modificados, como as Terras Pretas de Índio, e daqueles sob influência de sedimentos dos rios de água barrenta (LIMA, 2001; FALCÃO e BORGES, 2006; MOREIRA e GONÇALVES, 2006). Essa realidade evidencia a necessidade de suplementação de P (SHEN *et al.*, 2011; FIGUEIREDO *et al.*, 2012) para a obtenção de produtividades condizentes com o potencial a maioria das culturas de interesse econômico (KARIKARI *et al.*, 2015).

Ao interagir doses de N e P e avaliar a massa média de frutos comerciais, produtividade total e comercial de pimentão ‘Atlantis’, Paulino (2016) observou que, aumentando as doses de P₂O₅, a produtividade comercial e a produtividade total também aumentaram, alcançando o máximo, respectivamente, em 14,61 t ha⁻¹ na dose de 154,99 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 15,22 t ha⁻¹ na dose de 149 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A massa média de frutos comerciais foi de 58,9 g fruto⁻¹ para as doses de P₂O₅.

Em se tratando de *C. chinense*, Souza *et al.* (2017), ao avaliarem a qualidade fisiológica de sementes de pimenta-de-cheiro em diferentes épocas de colheita dos frutos, cultivados em 6 níveis crescentes de adubação fosfatada, verificaram a influência da adubação na qualidade fisiológica das sementes em plantas cultivadas na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Estudando outra solanácea, Souza *et al.* (2018) observaram aumento na quantidade de frutos por planta com o incremento das doses de P ao avaliar o efeito da adubação fosfatada em tomate-cereja.

Em contrapartida, alguns ensaios indicam que determinados atributos

podem não ser influenciados de forma significativa por diferentes doses de P aplicadas no solo. Oke *et al.* (2005), ao estudarem os efeitos da adição de fertilizante fosfatado em tomate industrial, não verificaram influência da adubação fosfatada sobre atributos como pH e acidez titulável nos frutos. Marouelli *et al.* (2015), ao investigarem frações ótimas da dosagem total de fósforo aplicadas no pré-plantio e na fertirrigação em tomateiro, constataram ausência de efeito significativo dos tratamentos após avaliação do teor de SS.

A pequena quantidade de P exigida por *C. chinense* contrasta com seus grandes efeitos fisiológicos na cultura, tornando esse nutriente estratégico para a obtenção de maior produtividade e qualidade de frutos (SILVA, 2013; OKA, 2017). Por outro lado, adubações fosfatadas desmedidas podem causar deficiência de outros nutrientes nas plantas, como em casos de antagonismo com zinco no solo, em que o excesso de P inibe a absorção destes micronutrientes (FAGERIA, 2001; SHUKLA *et al.*, 2017).

Apesar do P ser, entre os macronutrientes, o elemento exigido em menor quantidade por *C. chinense* (OKA, 2017), constata-se a necessidade de suporte adequado a esse nutriente nos solos tropicais, visando elevar sua disponibilidade às plantas. Neste caso, considerando as circunstâncias observadas em ensaios com adubação fosfatada em plantas do gênero *Capsicum*, verifica-se que esta prática promove rápida absorção do fósforo pelas raízes da pimenteira-de-cheiro, melhorando a qualidade e aumentando a produtividade dos frutos, além de promover o uso racional dos fertilizantes minerais.

Diante de suas peculiaridades, o P exige cuidados específicos no manejo, principalmente em solos tropicais (PRADO *et al.*, 2004), a fim de evitar excessos no uso de fertilizantes, o que justifica a realização de ensaios visando determinar as melhores doses deste nutriente para *C. chinense*.

3.2.3 Influência do potássio em *C. chinense*

Em regiões tropicais, com predomínio de solos intemperizados, a reserva de K é normalmente muito baixa, sendo encontrada em frações mais finas, como argila, silte e na presença de muscovita na fração grosseira de alguns latossolos (MELO *et al.*, 2009). Na fração argila, é provável que o K esteja associado a

argilominerais 2:1, com polímeros de hidróxi-Al entre camadas, e a minerais interestratificados, como caulinita-vermiculita ou caulinita-esmectita (SILVA *et al.*, 1995). Este fato é particularmente importante, considerando que a maioria dos solos tropicais apresenta baixa fertilidade natural e reserva de K limitada, tornando necessária a adoção de adubação criteriosa com este nutriente, visando à manutenção de níveis adequados nas plantas (FARIA *et al.*, 2012).

O K desempenha papel central em processos fisiológicos da planta, como ativação enzimática, regulação estomática, síntese de proteínas, translocação e armazenamento de assimilados, além da manutenção de água nos tecidos vegetais (EPSTEIN e BLOOM, 2006; HAWKESFORD *et al.*, 2012). É absorvido na forma iônica (K^+) e não forma compostos, permanecendo livre no interior das plantas, onde apresenta grande mobilidade, o que justifica sua relativa facilidade de redistribuição de órgãos mais velhos para os mais novos (MARSCHNER, 2012; AHMAD e MAATHUIS, 2014).

A exigência das plantas quanto ao K pode variar entre e dentro de cada espécie de acordo com sua fase de crescimento, onde estima-se que o requerimento deste nutriente esteja entre 20 e 50 g kg^{-1} na matéria seca para que espécies vegetais tenham um crescimento adequado (MARSCHNER, 2012; WANG *et al.*, 2015). Em se tratando de *C. chinense*, o K é o segundo nutriente mais exigido considerando todas as fenofases da cultura, à exceção do período produtivo, quando é o mais exigido (OKA, 2017).

Plantas cultivadas em níveis adequados de K apresentam maior crescimento, produção e melhores características físico-químicas dos frutos em razão da otimização do processo de transpiração e da formação de carboidratos (MARSCHNER, 2012; TAIZ e ZEIGER, 2017; SEABRA FILHO, 2017). Ao investigarem os efeitos da adubação com K na produção e qualidade de frutos do pimentão híbrido Zarco em cultivo protegido, Melo *et al.* (2009) observaram que o uso da dose de 7,0 g de K_2O $planta^{-1}$ melhora a qualidade do fruto. Em relação à produção, os mesmos autores recomendam a dose de 10 g $planta^{-1}$ de K_2O .

Ao estudarem os efeitos da adubação potássica e as fontes de K nas variáveis de crescimento e produção do pimentão amarelo em ambiente

protegido, Cavalcante *et al.* (2021) constataram que os melhores resultados obtidos nas variáveis de crescimento e produção dos frutos de pimentão amarelo foram nas plantas que receberam 200 kg ha⁻¹ de nitrato de potássio, demonstrando a importância da adubação com este nutriente na cultura.

Em experimento com doses de K via fertirrigação na cultura da berinjela, pertencente à família Solanaceae, Mônico *et al.* (2016) observaram incrementos em características físico-químicas dos frutos de berinjela, apesar do aumento das concentrações de K propostas no experimento realizado ter causado redução na produtividade da cultura.

Segundo Prado (2008) e Chen *et al.* (2016), plantas cultivadas sob baixa disponibilidade de K apresentam desregulação osmótica em função da baixa capacidade de absorção de água, redução na ativação da enzima redutase nitrato, aumento na produção de prolina e funcionamento irregular dos estômatos (FAGERIA, 2001), comprometendo a assimilação de CO₂ e a taxa fotossintética (WANG *et al.*, 2015). As plantas manifestam os sintomas de deficiência de K na forma de clorose e posterior necrose nas margens e extremidades das folhas mais velhas (HAWKESFORD *et al.*, 2012).

Por outro lado, o excesso de K ocasiona redução na absorção de nutrientes como P, Ca, Mg e N na forma de amônio (N-NH₄⁺) dada sua alta mobilidade no solo e na planta, além de distúrbios nas variáveis fisiológicas, como queda na produção e qualidade dos frutos (MARSCHNER, 2012; EPSTEIN e BLOOM, 2006; TAIZ e ZEIGER, 2017).

Assim como para os demais macronutrientes, a adubação com fertilizantes potássicos visa cobrir a diferença entre a quantidade de K que a cultura demanda e a que o solo é capaz de fornecer, suprimindo suas necessidades nutricionais. Desta forma, verifica-se que manejar adequadamente doses de potássio para as culturas não só evita o gasto desnecessário de fertilizantes como eleva o lucro do produtor e promove um melhor desempenho da planta, proporcionando maior produtividade e qualidade dos frutos.

3.3 Atributos pós-colheita de frutos de *C. chinense*

Muito valorizados na culinária por seus aromas e sabores, os frutos da

pimenteira-de-cheiro também apresentam propriedades nutritivas essenciais à qualidade da dieta humana, como vitaminas A, E, C, ácido fólico, zinco e potássio, além de possuírem substâncias que vão além das funções nutricionais básicas, como antioxidantes e bioflavonóides, pigmentos vegetais ligados à prevenção do câncer (MACEDO, 2015). Adicionalmente, possuem potencial bioativo relevante, sendo utilizadas na medicina para o tratamento de cefaleias e artrite reumatoide, bem como na composição de emplastos para o alívio de dores musculares (KIM *et al.* 2019; XU *et al.* 2021).

Em função do grande consumo, principalmente *in natura* (ALMEIDA, 2020), o mercado de pimentas tem passado por significativa mudança, abrindo espaço para investimentos em produtos e subprodutos de maior valor agregado, como conservas, molhos, geleias e compotas exóticas, além de outras formas de processamento (RÊGO *et al.*, 2012). Essa diversificação no uso representa grande potencial para o cultivo e incentivo ao consumo de pimentas, desenvolvendo o agronegócio local e a valorização das especiarias típicas da região, além de gerar emprego e renda aos pequenos produtores rurais.

Contudo, o beneficiamento de pimentas requer a utilização de matérias-primas selecionadas, tratamento térmico e condições adequadas de processamento, além do conhecimento de características físico-químicas, coloração, aroma, vitaminas, teor de sólidos solúveis, acidez, entre outros fatores que são determinantes para a aceitação sensorial e a estabilidade desses produtos (TORÁN-PEREG *et al.*, 2023). Entretanto, a expressão desses atributos não depende exclusivamente do genótipo, sendo fortemente influenciada pelas condições edafoclimáticas e pelo manejo nutricional adotado durante o cultivo (COSTA *et al.*, 2008).

Sabe-se que atributos físico-químicos como teor de ácido ascórbico, pH, acidez titulável, teor de sólidos solúveis e a relação entre sólidos solúveis e acidez titulável (SS/AT) são alguns dos parâmetros amplamente empregados na avaliação pós-colheita e tecnológica de frutos de pimenta (TORÁN-PEREG *et al.*, 2023). Em função disso, pesquisas vêm sendo desenvolvidas buscando investigar a influência da nutrição mineral sobre atributos bioquímicos em diversas culturas (COSTA *et al.*, 2008), incluindo as pimentas, uma vez que as

condições de cultivo são determinantes para a produção e o teor desses compostos, refletindo na quantidade e na qualidade dessas substâncias na planta (CARVALHO *et al.*, 2009; DOMENICO *et al.*, 2012).

Com isso, pode-se inferir que o consumo de pimentas *in natura* ou processadas é importante para a ingestão de substâncias potencialmente nutricionais e antioxidantes que reconhecidamente atuam de forma benéfica para a saúde humana, reforçando a importância de se investigar e conhecer como doses de N, P e K podem influenciar os atributos físico-químicos da pimenta-de-cheiro.

3.3.1 Vitamina C

As pimentas do gênero *Capsicum* são consideradas boas fontes de ácido ascórbico, também conhecido como vitamina C, composto orgânico que atua no organismo como cofator enzimático e antioxidante, participando de processos de biossíntese de colágeno, aminoácidos e alguns hormônios peptídicos, exercendo, nos seres humanos, a melhora do funcionamento do sistema nervoso e imunológico (REIFSCHNEIDER, 2000; STRAATEN *et al.*, 2014; ALBERTS *et al.*, 2025).

De acordo com Lutz e Freitas (2008), observa-se que as pimentas apresentam grande potencial para inserir na dieta humana teores significativos de vitamina C, uma vez que o teor médio de ácido ascórbico encontrado nas pimentas brasileiras é de 52-134 mg 100 g⁻¹. Tratando-se de *C. chinense*, os mesmos autores verificaram teor médio de 99 mg 100 g⁻¹ de fruto fresco. Em experimento que avaliou armazenabilidade de pimentão em pó, Arlindo (2005) observou teor de 120 mg 100⁻¹ g de vitamina C. Esses valores superam a recomendação diária de 45 mg de ácido ascórbico para adultos, indicada pelo Ministério da Saúde para a prevenção do escorbuto (BRASIL, 2005; TURECK *et al.*, 2017).

Considerando a boa disponibilidade de vitamina C em diferentes espécies de *Capsicum*, as pimentas apresentam grande potencial para aplicação em produtos como conservas, molhos, geleias, doces e outros (RÊGO *et al.*, 2012). Neste caso, a vitamina C presente nos frutos impede a oxidação de constituintes

sensíveis, além de proporcionar efeito antimicrobiano e estabilizante, atuando sobre a cor, sabor e o aroma, além de contribuir para a qualidade funcional destes alimentos (VARVARA *et al.*, 2016). Além do uso como conservante, também é empregado no enriquecimento ou na recomposição do valor nutricional decorrente do processamento, sendo considerado indicador de qualidade em produtos vegetais industrializados (CHITARRA e CHITARRA, 2005; BERNARDO *et al.*, 2015; SANTOS *et al.*, 2019).

Entretanto, a concentração de vitamina C em frutos de *Capsicum* não é constante, variando em função de fatores genéticos, fisiológicos e ambientais (CHAVES e FURTADO, 2017; QUINTANA, 2020). Wahyuni *et al.* (2011), ao avaliarem compostos bioquímicos de 32 acessos de *Capsicum* spp., observaram em *C. baccatum* e *C. annuum*, respectivamente, teores de 20,45 mg 100 g⁻¹ e 205,94 mg 100 g⁻¹ para vitamina C. Maragon (2016), ao avaliar a composição físico-química de pimenta olho-de-peixe (*Capsicum chinense* Jacq) constatou teor de vitamina C inferior ao comumente encontrado na literatura. Nessas circunstâncias, observa-se variação dos teores de vitamina C em função das diferentes condições de manejo ou variedades cultivadas.

O estágio de maturação também influencia sobre o acúmulo de vitamina C em *C. chinense*. Carvalho *et al.* (2014), ao estudarem frutos imaturos e maduros de genótipos de *Capsicum*, observaram que frutos maduros apresentaram maiores concentrações de vitamina C, alcançando 36,70 mg 100 g⁻¹, sendo possível afirmar que a maturação promove alterações metabólicas que elevam o valor nutricional de frutos colhidos em estádios avançados.

Quanto ao manejo de nutrientes, observa-se que a adubação constitui fator estratégico na maximização da síntese de vitamina C. Quintana (2020), ao avaliar diferentes fontes de adubação em pimenta Cayenne (*Capsicum annuum*), verificou que plantas submetidas à adubação com NPK apresentaram teor de 351,75 mg 100 g⁻¹ de vitamina C, superior aos tratamentos orgânico e organomineral. Considerando que a nutrição influencia processos fotossintéticos, enzimáticos de metabolismo secundário, pode-se inferir que programas adequados de adubação podem elevar, simultaneamente, a produtividade e a qualidade dos frutos de *C. chinense*.

3.3.2 Sólidos Solúveis (SS), Acidez Total Titulável (ATT) e pH

Os atributos físico-químicos sólidos solúveis, pH e acidez total titulável são amplamente utilizados na avaliação pós-colheita de frutas e hortaliças por estarem diretamente relacionados ao sabor, odor, textura e valor nutritivo, além da estabilidade durante o armazenamento e processamento, influenciando a comercialização e a elaboração de produtos industrializados (COSTA *et al.*, 2018).

Durante a maturação, o acúmulo de açúcares e outras substâncias na polpa é uma das principais alterações fisiológicas observadas, associado ao acúmulo de reservas e ao avanço do metabolismo respiratório (CHITARRA e CHITARRA, 2005). O teor de sólidos solúveis (SS), expresso em °Brix, representa a concentração de compostos solúveis presentes na polpa dos frutos, como vitaminas, ácidos, aminoácidos, pectinas e açúcares, especialmente glicose, sacarose e frutose, sendo frequentemente utilizado como indicador indireto de doçura e qualidade sensorial dos frutos (NASCIMENTO, 2023). Contudo, seu teor pode variar de acordo com a genética, nutrição, manejo da cultura, condições ambientais, irrigação, estágio de maturação dos frutos, entre outras variáveis (BRAGA *et al.*, 2012; QUEIROZ, 2021).

Koetz *et al.* (2010), trabalhando com tomateiro irrigado por gotejamento para processamento industrial, observaram redução dos SS de 6,57 para 6,00 °Brix com o aumento da lâmina de irrigação de 50 para 125%, evidenciando efeito diluidor do excesso hídrico. Em pimentão, Sousa (2022) observou média geral dos SS em cerca de 4,18 °Brix, sugerindo que restrições moderadas de água podem favorecer maior concentração de solutos nos frutos. Estes comportamentos permitem inferir que o excesso de irrigação prejudica o acúmulo de SS nos frutos e que, em condições de estresse hídrico, o pimentão aumenta os níveis de SS nos frutos, qualidade importante tanto para o consumo *in natura* quanto para o processamento industrial.

Além da irrigação, o manejo nutricional também pode alterar o teor de SS. Batista (2019), ao avaliar a qualidade pós-colheita em frutos de tomateiro industrial adubados com doses de N, P e K, concluiu que as doses dos

fertilizantes não alteraram o teor de SS nos frutos. Silva (2021), por outro lado, avaliando aplicações foliares de sacarose associadas ao biofertilizante Microgeo®, verificou que duas pulverizações com sacarose a 5% combinadas com 3% do biofertilizante proporcionaram maiores teores de SS em pimentão, sugerindo influência da nutrição no aumento dos níveis de °Brix nos frutos. Resultado semelhante foi relatado por Guedes *et al.* (2021), que não identificaram diferenças na qualidade de frutos de tomate italiano em função de distintas fontes potássicas permitidas na agricultura orgânica.

Atuando diretamente no sabor e na percepção de frescor dos frutos, a acidez total titulável (ATT) expressa a quantidade de ácidos orgânicos e pode, de forma inversa, indicar a adstringência do fruto (NASCIMENTO *et al.*, 2013). Nas hortaliças, a ATT decorre principalmente de ácidos orgânicos que se encontram dissolvidos nos vacúolos das células, tanto na forma livre como combinada com sais, ésteres, glicosídeos etc. (CHITARRA e CHITARRA, 2005; SILVA, 2017). A ATT também exerce influência na conservação de alimentos, uma vez que valores dentro de níveis adequados reduzem a susceptibilidade à deterioração microbiológica e a reações químicas indesejáveis (OLIVEIRA *et al.*, 2003; REIS *et al.*, 2015; QUEIROZ, 2021).

Com o avanço do processo de amadurecimento dos frutos, a ATT decresce, devido à oxidação dos ácidos orgânicos consequente da respiração dos frutos e da conversão destes ácidos em açúcares (CHITARRA e CHITARRA, 2005). Assim, frutos com elevado teor de SS e baixa ATT tendem a apresentar sabor mais suave e agradável, enquanto frutos com alta ATT e baixo teor de SS são percebidos como mais ácidos, observando-se a necessidade de buscar a adequada proporção entre estes dois parâmetros, permitindo usá-los como indicadores de maturação dos frutos (CADES *et al.*, 2014).

Em trabalho conduzido por Pedó e colaboradores (2014), verificou-se influência da adubação orgânica e mineral nos níveis de ATT em cultivares de pimenta. Quando submetida à adubação 100% mineral, a cultivar Doce apresentou os maiores teores de ATT, enquanto na cultivar Vulcão, o maior valor ocorreu sob a aplicação exclusiva de húmus, sem diferir estatisticamente do tratamento mineral. Silva (2021) também observou aumento gradual da ATT ao

longo das colheitas de pimentão submetido à fertirrigação padrão combinada com adubação foliar mineral. Em tomateiro industrial, Sousa (2023) constatou ganho de rendimento e qualidade do tomateiro para processamento industrial Heinz HZ9553, verificando os maiores valores da ATT em plantas submetidas ao tratamento com 100% da fonte potássica como K_2SO_4 .

Em espécies do gênero *Capsicum*, assim como os SS e a ATT, o potencial hidrogeniônico (pH) é utilizado como parâmetro de maturação e qualidade dos frutos, pois valores mais elevados tendem a favorecer a aceitação para consumo *in natura*, além de ser um importante indicador do potencial de deterioração do produto (SILVA *et al.*, 2005; BRAGA *et al.*, 2013). Também é utilizado como parâmetro de qualidade para a produção de conservas, molhos e condimentos, nos quais a acidez influencia diretamente a estabilidade do produto final (RÊGO *et al.*, 2012).

Durante o processo de amadurecimento, alterações metabólicas relacionadas à respiração e à degradação de ácidos orgânicos tendem a elevar gradativamente o pH, enquanto estádios menos maduros normalmente apresentam valores mais baixos (CHITARRA; CHITARRA, 2005; NEVES, 2009).

Segundo Moreno *et al.* (2002) e Boiteux *et al.* (2016), o pH dos frutos é uma característica genética de alta estabilidade, com baixa influência de agentes externos, como a adubação. Em pimentão vermelho, cv. Melina, Silva (2017) verificou a ausência de efeitos significativos de diferentes coberturas de solo e proporções de adubação orgânica e mineral sobre o pH dos frutos. Por outro lado, Batista (2019) observou influência de doses de N e P no pH dos frutos de tomateiro industrial, apresentando valor de 4,17 com doses de 25 kg ha⁻¹ de N e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, sem resposta significativa ao K.

Considerando que produtores de *C. chinense* na Amazônia não utilizam estratégias de adubação aferidas para sua realidade, torna-se relevante investigar como o manejo de N, P e K afeta os teores de SS, ATT e o pH dos frutos. Esses atributos são determinantes para o sabor dos frutos e sua aceitação pelo consumidor, assim como para o rendimento industrial e a estabilidade de produtos processados, justificando sua inclusão em estudos de nutrição e

qualidade pós-colheita da cultura.

3.3.3. Açúcares Solúveis Totais (AST)

A quantificação dos açúcares solúveis totais (AST), açúcares não redutores (sacarose) e açúcares redutores (glicose e frutose) também é critério para avaliar e monitorar a qualidade pós-colheita por estar diretamente relacionada ao sabor de frutas e hortaliças (NEVES, 2009). Quando se busca avaliar o grau de doçura desses produtos, identificar o teor individual desses carboidratos é relevante dado o poder adoçante desses compostos (LUTZ e FREITAS, 2008; CHITARRA e CHITARRA, 2005).

Nas plantas, os AST resultam principalmente da atividade fotossintética e do subsequente transporte de fotoassimilados das folhas para órgãos de reserva ou crescimento, como frutos e sementes (TAIZ et al., 2017; MARSCHNER, 2012). Seus teores podem variar de acordo com a espécie, a cultivar, o estágio de maturação, clima e práticas de manejo, incluindo a adubação (PINTO *et al.*, 2013).

Entre os fatores nutricionais, o K destaca-se como nutriente fortemente associado ao acúmulo de açúcares nos frutos em função de sua atuação na translocação dos produtos da fotossíntese e na ativação enzimática, de modo que sua deficiência no solo pode reduzir a atividade fotossintética das plantas e resultar em frutos de baixa qualidade, com menor teor de açúcares (LOPES, 1995; CHITARRA e CHITARRA, 2005; EPSTEIN e BLOOM, 2006).

Mesmo com a reconhecida importância da nutrição mineral, os resultados experimentais nem sempre revelam respostas consistentes dos açúcares à adubação. Araújo (2011), ao avaliar cultivares de tomate sob condições com e sem cobertura do solo, não verificou alterações significativas nos teores de AST. Resultados semelhantes foram relatados por Cardoso (2017), que, ao estudar batata cv. Ágata sob diferentes doses e parcelamentos de N e K, não constatou mudanças significativas nos AST, embora tenha registrado redução dos açúcares redutores em parte dos tratamentos.

Por outro lado, em pimentão, Silva (2021) avaliou o efeito da aplicação foliar de solução de sacarose combinada a biofertilizante e verificou que duas

pulverizações com sacarose a 5%, associadas a 3% de biofertilizante, promoveram aumento da produtividade, elevação dos açúcares redutores e maiores concentrações de N, K, B, Cu e Zn nos frutos, indicando que o metabolismo de carboidratos pode responder não apenas à disponibilidade mineral no solo, mas também ao manejo foliar e ao estímulo fisiológico proporcionado por compostos orgânicos.

3.3.4 Relação Sólidos Solúveis e Acidez Titulável (SS/AT)

A relação SS/AT destaca-se como indicador integrado da qualidade sensorial de frutas e hortaliças por expressar o equilíbrio entre compostos responsáveis pela doçura e pela acidez (GUIMARÃES *et al.*, 2008; SOARES *et al.*, 2012). Quando comparado à avaliação isolada de SS ou ATT, esse índice apresenta maior capacidade de predizer a aceitabilidade sensorial e o estágio de maturação comercial dos frutos (KADER, 2008).

Em espécies hortícolas, valores mais elevados de SS/AT normalmente indicam frutos mais doces e agradáveis ao paladar, enquanto valores reduzidos tendem a estar associados a maior acidez e menor aceitação para consumo *in natura* (FERREIRA *et al.*, 2010; SOARES *et al.*, 2012). A relação SS/AT também possui relevância para a indústria de alimentos, especialmente em produtos processados como molhos, conservas e polpas vegetais, uma vez que frutos com menor relação SS/AT apresentam maior teor relativo de ácidos orgânicos, condição desejável em determinados segmentos industriais por favorecer estabilidade microbiológica e reduzir a intensidade de tratamentos térmicos necessários à conservação (CHITARRA e CHITARRA, 2005; BOITEUX *et al.*, 2016).

Devido à sua influência em processos bioquímicos e fisiológicos, como a atividade fotossintética e a translocação de fotoassimilados, a nutrição mineral pode afetar a produção de SS, AT e outros compostos orgânicos, de modo que variações nos teores de nutrientes podem impactar diretamente a qualidade dos produtos obtidos (BOARETTO e MORAES, 2010; ATHERTON e RUDICH, 2013). Em trabalho com a cultura do tomate, Santos Neto *et al.* (2016) observaram nos frutos relação SS/AT superior nos tratamentos orgânicos em

detrimento dos frutos sob manejo convencional. Silva (2021), ao avaliar atributos qualitativos de pimentão, observou diferença significativa entre as adubações para a relação SS/AT, com médias variando entre 40,87 e 47,37.

Por outro lado, Lacerda *et al.* (2016), ao avaliarem características físico-químicas de tomates orgânicos utilizando diferentes compostos, obtiveram médias entre 15,70 e 17,27 da relação SS/AT não diferindo entre si. Martins *et al.* (2018) aplicaram doses de P durante a fase de mudas de tomateiro e não constataram mudanças significativas nas características físico-químicas dos frutos, embora na média tenha sido observado aumento na relação SS/AT com o avanço das colheitas.

Atributos qualitativos como cor, aroma, sabor e textura, bem como o teor de compostos bioativos, podem ser influenciados por fatores genéticos, ambientais e de manejo, especialmente pela nutrição mineral. Diante das expressivas variações bioquímicas e nutricionais dentro das espécies do gênero *Capsicum* e da necessidade de adubações equilibradas, estudos voltados à definição de estratégias nutricionais que promovam frutos com qualidade compatível com as exigências do mercado tornam-se fundamentais, tanto para produtores quanto para consumidores.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Estudo de incubação

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Engenharia Agrícola e Solos da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Foram utilizadas amostras de Latossolo Amarelo Distrófico coletadas no município de Iranduba – AM (03° 14' 03,2" Sul e 60° 12' 14,8" Oeste), em área adjacente ao local de execução do experimento, na camada de 0 a 20 cm, sob vegetação nativa, sem histórico recente de cultivo. Este ensaio preliminar objetivou determinar a dose de calcário necessária para elevar o pH do solo da área experimental à faixa entre 5,5 e 6,5 e a saturação por bases (V) a 70%, valores considerados ideais para o desenvolvimento das culturas (RAIJ, 1997)

Foram utilizadas amostras de solo previamente secas ao ar, homogeneizadas e passadas em peneira de 4 mm. Em seguida, o solo foi acondicionado em vasos de polietileno com capacidade de 1 dm³, sem orifícios de drenagem. As doses de calcário dolomítico foram incorporadas ao solo com auxílio de sacos plásticos (capacidade de 5 kg), promovendo-se a mistura gradual e contínua por aproximadamente dois minutos, a fim de garantir a homogeneização adequada. Após essa etapa, as amostras foram novamente acondicionadas nos vasos e o solo umedecido com água deionizada até atingir 70% da capacidade de campo (DUNN, 1943).

O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos por seis doses de calcário: 0; 2; 4; 6; 8, e 10 t ha⁻¹, definidas com base em dados preliminares de Cardoso *et al.* (2014), ao testarem doses de calcário em *C. chinense* na região. O calcário utilizado foi do tipo dolomítico, obtido no mercado local, apresentando as seguintes características químicas, de acordo com o fabricante: Reatividade: 80,3%; Poder de neutralização: 108,0%, Poder Relativo de Neutralização Total: 86,7%; Óxido de Cálcio: 32,7% e Óxido de Magnésio: 21,4%.

O teor de água no solo foi mantido durante todo o período de incubação por meio de pesagens diárias dos recipientes, conforme metodologia descrita por Dunn (1943). A estabilidade foi determinada por meio de análises semanais,

em que 50 g de solo foram coletados para análise de pH em H₂O e CaCl₂ em todas as unidades experimentais, até atingir o pH de equilíbrio. Os valores finais de pH em H₂O e CaCl₂ foram plotados em contraste com doses de calcário e ajustados a modelos de regressão escolhidos pela significância (5% pelo teste F) e maior coeficiente de determinação, com o objetivo de estimar a quantidade de corretivo necessária para atingir os valores de pH 5,5; 6,1 e 6,5 para o experimento de campo.

4.2 Caracterização da área de estudo com doses de N, P e K

O experimento foi conduzido na propriedade Vivenda Vô Poró, localizada na AM 070, km 13, Estrada do Caldeirão, Ramal do Incra. A área experimental apresenta relevo plano e solo classificado como Latossolo Amarelo, conforme critérios estabelecidos pela EMBRAPA (2006), coberta por vegetação espontânea e sem histórico de cultivo nos últimos 15 anos.

Os atributos físico-químicos do solo foram obtidos antes da instalação do estudo de incubação e do experimento com doses de N, P e K por meio de análise de solo, com as amostras coletadas nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm no local do experimento (Tabela 1). Após a coleta, as amostras de solo foram destorroadas, homogeneizadas, secas à sombra e enviadas ao laboratório para análise química e granulométrica, de acordo com a metodologia proposta por Teixeira *et al.* (2017).

Tabela 1. Atributos químicos e granulométricos do solo Latossolo Amarelo Distrófico da área experimental, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, antes da calagem e da aplicação dos tratamentos.

Análise Química													
Camada	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	P mg kg ⁻¹	K -----	Ca	Mg	Al ³⁺ cmolc dm ³ -----	H+Al	t	T	V	m	MO g kg ⁻¹
0 – 20	4,4	4,0	4,1	0,2	0,54	0,3	0,59	7,20	1,66	8,27	13	36	1,5
20 – 40	4,1	3,8	4,0	0,16	0,49	0,19	0,64	7,61	1,55	5,82	11	41	0,8
Análise Textural													
Areia				Silte				Argila					
%													
50,5				7,5				42,0					

pH em água (SCHOFIELD e TAYLOR, 1955); pH CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ na relação solo:água 1:2,5 (EMBRAPA, 2009); P - Fósforo (extrator resina); K – Potássio (extrator Mehlich⁻¹); Ca²⁺ - Cálcio, Mg²⁺ - Magnésio e Al³⁺ - Alumínio - (extrator KCl - 1 mol L⁻¹); H + Al - Acidez potencial (extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ - pH 7,0); Soma de bases (SB); Capacidade efetiva de troca de

cátions (t); Capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T); Índice de saturação de bases (V); Índice de saturação por alumínio (m) e Matéria orgânica (M.O.).

O experimento teve início no mês de outubro de 2024 e foi concluído em fevereiro de 2025, período que corresponde à transição entre parte da estação seca e parte da estação chuvosa na região da Amazônia Central. Baseado em Alvares *et al.* (2013), o clima da região é do tipo Af (tropical sem estação seca) de acordo com a classificação de Köppen. Os dados meteorológicos mensais referentes à temperatura mínima e máxima, umidade relativa do ar mínima e máxima, bem como a precipitação acumulada durante a execução do experimento encontram-se apresentados na Figura 1.

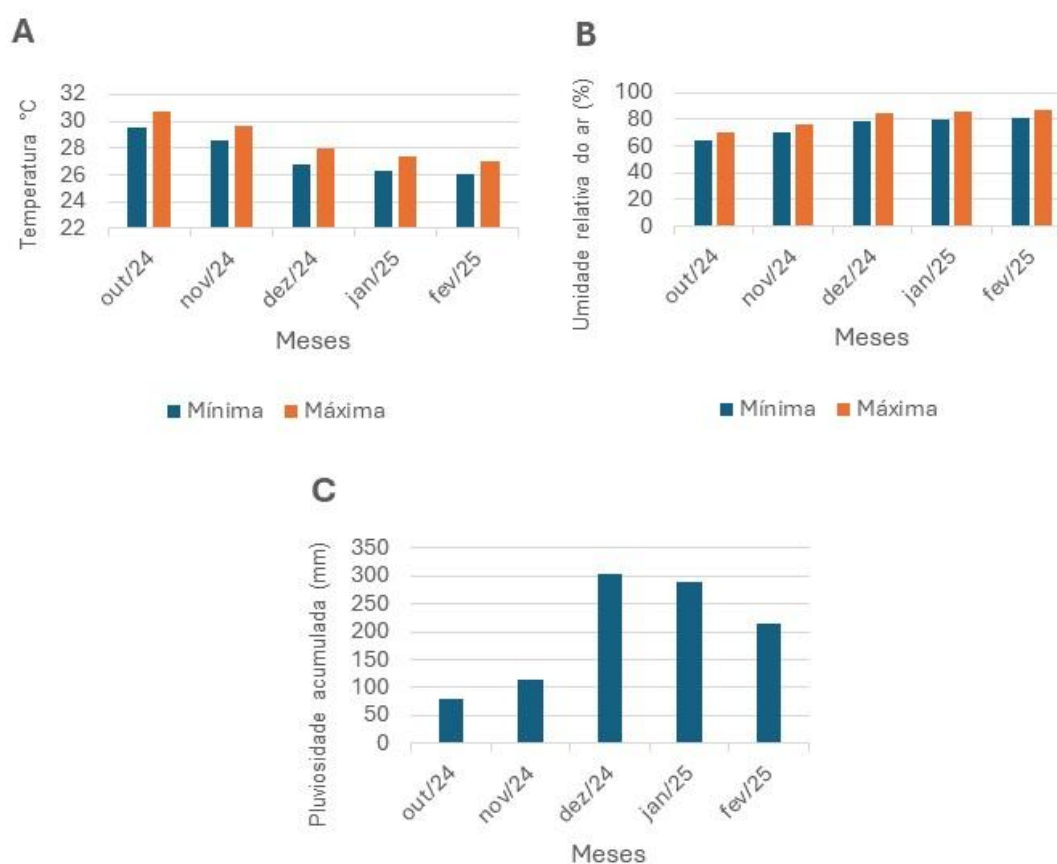


Figura 1. Dados meteorológicos de temperatura mínima e máxima (A), umidade relativa do ar mínima e máxima (B), e pluviosidade acumulada (C) no período de outubro de 2024 a fevereiro de 2025, em Iranduba, AM. Fonte: INMET (2026).

4.3 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento de campo foi conduzido em blocos ao acaso, adotando-se um esquema fatorial fracionado 5^3 (1/5), conforme metodologia proposta por Conagin e Jorge (1982). Esse arranjo experimental permitiu a avaliação simultânea de três fatores - N, P e K, cada um estudado em cinco níveis de dose

(Tabela 2), permitindo investigar efeitos isolados e interações entre nutrientes com redução no número total de tratamentos quando comparado a um fatorial completo.

Tabela 2. Identificação dos tratamentos e suas diferentes combinações de N, P e K.

Tratamentos	Combinação*	Doses dos nutrientes		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	111	0	0	0
2	222	22	50	22
3	333	66	100	66
4	444	200	200	200
5	555	600	400	600
6	245	22	200	600
7	351	66	400	0
8	412	200	0	22
9	523	600	50	66
10	134	0	100	200
11	324	66	50	200
12	435	200	100	600
13	541	600	200	0
14	152	0	400	22
15	213	22	0	66
16	453	200	400	66
17	514	600	0	200
18	125	0	50	600
19	231	22	100	0
20	342	66	200	22
21	532	600	100	22
22	143	0	200	66
23	254	22	400	200
24	315	66	0	600
25	421	200	50	0

*Doses de N – 0 (1); 22 (2); 66 (3); 200 (4) e 600 (5) kg ha⁻¹ (Ureia); Doses de P₂O₅ – 0 (1); 50 (2); 100 (3); 200 (4) e 400 (5) kg ha⁻¹ (Superfosfato simples); Doses de K₂O – 0 (1); 22 (2); 66 (3); 200 (4) e 600 (5) kg ha⁻¹ (Sulfato de potássio).

Por meio da fração 1/5, foi possível avaliar 25 combinações experimentais, mantendo-se a capacidade analítica do modelo para estimativa dos principais efeitos lineares, quadráticos e de suas interações, com menor número de parcelas experimentais e maior eficiência estatística. Trata-se de abordagem amplamente empregada em experimentos de adubação quando se busca modelar superfícies de resposta e estimar doses ótimas de nutrientes com maior viabilidade operacional em condições de campo (CONAGIN e JORGE, 1982).

O experimento foi composto por três blocos, cada um contendo 25 parcelas, compostas por 25 plantas, em que foram consideradas como úteis as

9 centrais, submetidas às combinações previamente definidas entre os níveis de N, P_2O_5 e K_2O . Cada tratamento foi identificado por um código numérico de três dígitos, no qual cada algarismo representa uma dose aplicada de N, P_2O_5 ou K_2O , respectivamente.

4.4 Instalação e condução do experimento

4.4.1 Obtenção das mudas

As mudas de pimenteira-de-cheiro cv. Lupita foram produzidas em ambiente protegido, em viveiro coberto com filme plástico transparente, visando proporcionar condições adequadas de temperatura, umidade e proteção contra intempéries durante a fase inicial de desenvolvimento. A semeadura foi realizada em bandejas de poliestireno expandido com 128 células, utilizando-se substrato comercial Tropstrato®, amplamente empregado na produção de mudas hortícolas por apresentar adequada aeração, retenção hídrica e uniformidade física. Em cada célula foi depositada uma semente, a aproximadamente 1 cm de profundidade.

Durante o período de viveiro, a irrigação foi realizada diariamente, de modo a manter a umidade do substrato próxima à capacidade de retenção, favorecendo a germinação uniforme e o crescimento inicial das plântulas. Paralelamente, procedeu-se ao monitoramento contínuo da ocorrência de pragas e doenças, adotando-se medidas preventivas sempre que necessárias.

Aos 40 dias após a semeadura, quando as plantas apresentavam entre dois e três pares de folhas definitivas, foram selecionadas mudas uniformes quanto ao vigor, porte e estado fitossanitário. Em seguida, realizou-se o transplântio para o campo, respeitando o espaçamento de um metro entre linhas e de um metro entre plantas, com densidade de 10.000 plantas por hectare.

4.4.2 Tratamentos e aplicação

Os tratamentos foram constituídos por cinco doses de N (0; 22; 66; 200, 600 kg ha⁻¹, na fonte ureia [CO(NH₂)₂] – 45% de N), cinco doses de P_2O_5 (0; 50; 100; 200; 400 kg ha⁻¹) na fonte superfosfato simples (Ca(H₂PO₄)₂+CaSO₄.2H₂O)

– 18% de P_2O_5) e cinco doses de K_2O (0; 22; 66; 200, 600 $kg\ ha^{-1}$, na fonte sulfato de potássio (K_2SO_4) – 58% de K_2O).

No momento do transplântio, foi aplicada a totalidade das doses de P_2O_5 junto de 10% das doses de N e K_2O , posicionadas próximas a zona radicular. O restante das doses de N e K_2O foi parcelado e aplicado aos 30, 60 e 90 dias após o transplântio, em raio aproximado de 0,15 m da base das plantas, visando maior eficiência na utilização dos fertilizantes. Os micronutrientes, manganês (Mn), zinco (Zn), boro (B), cobre (Cu) e molibdênio (Mo), foram fornecidos no momento do plantio através da fonte Fritted Trace Elements (FTE-BR12), na dose equivalente a 15 g por planta, conforme recomendação de Brasil *et al.* (2020).

4.4.3 Irrigação, manejo fitossanitário e controle de plantas daninhas

A irrigação, do tipo localizada, foi realizada utilizando fitas gotejadoras instaladas ao longo da linha de plantio, com vazão de 1,6 $L\ h^{-1}$ por emissor espaçados a cada 20 cm. O manejo hídrico foi realizado sempre que necessário, visando manter a umidade do solo em condições adequadas, evitando déficits hídricos ou excessos de água.

O controle de pragas e doenças durante o experimento foi realizado periodicamente ao longo de todo o ciclo da cultura com base no monitoramento fitossanitário, adotando-se medidas de controle sempre que foram observados sintomas, níveis de infestação ou injúrias compatíveis com doenças ou pragas típicas de *C. chinense*. O controle de plantas daninhas foi realizado por meio de capinas manuais, conforme a necessidade, visando minimizar a competição por água, luz e nutrientes com a pimenteira-de-cheiro.

4.4.4 Avaliação de atributos biométricos e produtivos

Após o transplântio, as plantas permaneceram em cultivo por aproximadamente 150 dias, período no qual receberam os tratamentos com fertilizantes minerais, tratos culturais e avaliações previamente estabelecidas.

A colheita dos frutos iniciou aproximadamente aos sessenta dias após o

transplântio, e se repetiu a cada decêndio durante 90 dias. Os dados de acúmulo de macronutrientes (ACMa), acúmulo de micronutrientes (ACMi), massa seca do caule (MSCAU), massa seca dos ramos (MSR), massa seca das folhas (MSF), massa seca das raízes (MSRAI), massa fresca de frutos (MFF) e estimativa da produtividade comercial (EPC), foram obtidos da seguinte forma:

- *Acúmulo de macro (ACMa) e micronutrientes (ACMi)*: os frutos colhidos foram separados de acordo com os tratamentos e levados ao Laboratório de Análise de Solos e Plantas da Embrapa para análise química de acordo com a metodologia da Embrapa (2009), para obtenção dos teores de macro e micronutrientes (mg planta⁻¹).
- *Massa seca do caule (MSCAU), massa seca dos ramos (MSR), massa seca das folhas (MSF) e massa seca das raízes (MSRAI)*: por tratar-se de uma análise destrutiva, esta avaliação foi realizada ao final dos 150 dias previstos para condução do experimento e obtida pelo método convencional, onde a planta foi separada em raízes, caule, ramos, e folhas, e posteriormente colocadas em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura média de 70°C, até atingir massa constante. Os valores (em g planta⁻¹) foram obtidos após pesagem do material seco em balança analítica.
- *Massa fresca dos frutos (MFF)*: peso médio (em g planta⁻¹) dos frutos colhidos em cada decêndio.
- *Estimativa da produtividade comercial (EPC)*: determinada a partir da massa fresca acumulada dos frutos comercializáveis, multiplicada pela população de 10.000 plantas ha⁻¹ (estimada em função do espaçamento adotado no experimento). Os resultados foram expressos em g planta ha⁻¹, posteriormente convertidos para t ha⁻¹.

4.5 Avaliação de atributos pós-colheita em frutos de *C. chinense*

As análises de compostos bioativos foram realizadas em frutos colhidos no estágio de maturação comercial, no qual foi observado o completo desenvolvimento do fruto, firmeza e coloração verde brilhante, provenientes das

parcelas experimentais submetidas aos diferentes tratamentos. Após a colheita, os frutos foram selecionados quanto à integridade física, ausência de injúrias mecânicas e uniformidade de coloração, sendo posteriormente acondicionados e encaminhados ao Laboratório de Fisiologia de Frutos Tropicais (Fisiofrut), da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), onde permaneceram armazenados sob congelamento até o momento das análises, visando preservar suas características químicas.

4.5.1 Vitamina C

O teor de vitamina C foi obtido através do método titulométrico de Tillman, considerado um método oficial da Association of Official Analytical Chemists – (AOAC). Após o descongelamento e processamento dos frutos, foi retirada alíquota de 1,0 g de polpa fresca para preparo do extrato. Em seguida, procedeu-se a titulação com a solução de Tillman até a amostra apresentar a cor rósea claro, indicativa do ponto final da reação. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g de polpa fresca.

4.5.2 Sólidos Solúveis Totais (SS)

O teor dos sólidos solúveis foi determinado por leitura direta em refratômetro digital, conforme metodologia descrita pela AOAC (2005). Para análise, uma ou duas gotas do extrato obtido da polpa fresca foram depositadas no equipamento. Os resultados foram expressos em graus Brix (°Brix), que correspondem à porcentagem aproximada de sólidos solúveis, principalmente açúcares, presentes na amostra.

4.5.3 Acidez Total Titulável (ATT)

A acidez total titulável foi determinada por titulação com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 N, conforme metodologia descrita pela AOAC (2005). Utilizou-se 1,0 g de amostra, previamente homogeneizada, para o preparo do extrato. Em seguida, adicionaram-se duas gotas da solução de fenolftaleína 1% como indicador ácido-base. A titulação foi conduzida até o aparecimento da coloração rósea clara, caracterizando o ponto de neutralização. Os resultados foram expressos em porcentagem de ácido cítrico.

4.5.4 pH

O pH da polpa foi determinado por leitura direta em pHmetro digital diretamente no extrato da polpa fresca dos frutos, após processados e homogeneizados.

4.5.5 Açúcares Solúveis Totais (AST)

Os açúcares solúveis totais foram determinados pelo método colorimétrico da antrona, conforme descrito por Yemn e Willis (1954). Para análise, foram utilizados 0,2 g de polpa fresca, submetidas à extração apropriada. Posteriormente, adicionou-se o reagente antrona, promovendo reação colorimétrica proporcional à concentração de açúcares solúveis presentes. A leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 620 nm, sendo os resultados expressos em mg g^{-1} de massa fresca.

4.5.6 Relação Sólidos Solúveis/Acidez Titulável (SS/AT)

A relação entre sólidos solúveis e acidez titulável (SS/ATT) foi obtida pelo quociente entre os valores de sólidos solúveis totais (°Brix) e acidez total titulável (%).

4.6 Análise estatística

Os dados foram ainda submetidos à análise de regressão (ANOVA) visando à adequação de modelos matemáticos para explicar a relação entre as doses de N, P e K e as características biométricas, produtivas e pós-colheita estudadas. Para as variáveis com resposta significativa em função dos fatores estudados, foram ajustados modelos de regressão polinomial múltipla e superfícies de resposta, segundo a equação $Y = b_0 + b_1N + b_2P + b_3K + b_4N^2 + b_5P^2 + b_6K^2 + b_7NP + b_8NK + b_9PK$, onde Y é a variável resposta, b_0 o intercepto e de b_1 a b_9 os coeficientes de regressão estimados de N, P e K. As análises estatísticas e representações gráficas foram realizadas no software R (R CORE TEAM, 2025).

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Calagem em função da curva de incubação

Os resultados evidenciaram efeito significativo dos tratamentos sobre o pH (H₂O e CaCl₂) do solo, indicando que as diferentes doses de calcário promoveram alterações expressivas na reação do solo. A resposta do pH do solo às doses aplicadas apresentou comportamento não linear (Figura 2), caracterizado por incremento acentuado nas menores doses e tendência à estabilidade quando em níveis mais elevados de calcário.

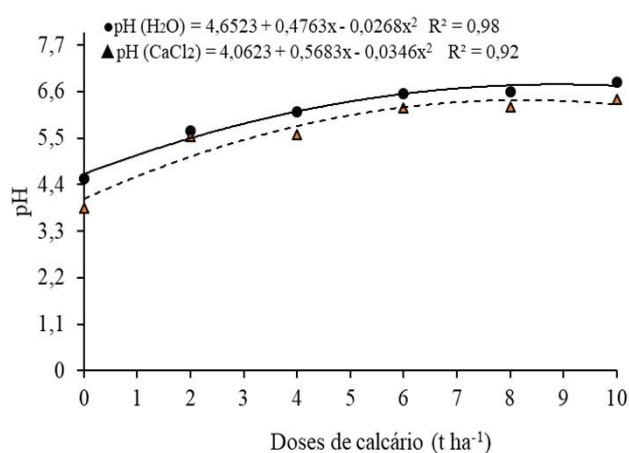


Figura 2. Valores de pH em água e em CaCl₂ em função da aplicação de doses de calcário dolomítico em solo Latossolo Amarelo Distrófico de textura argilosa da área experimental coletado no município de Iranduba, AM.

Com base no ajuste das equações de regressão, estimou-se que doses de calcário necessárias para atingir os valores de pH 5,5; 6,1 e 6,5 corresponderam a 2,0; 3,89 e 5,72 t ha⁻¹, respectivamente. Em estudo conduzido por Batista (2014), intitulado *Recomendação de Calagem para Alguns Solos do Estado do Amazonas*, verificou-se, aos 56 dias após a incubação, que a necessidade de calcário para solos argilosos na região de Manaus, AM, foi de aproximadamente 2,6; 4,4 e 6,1 t ha⁻¹ para atingir pH 5,5; 6,0 e 6,5, respectivamente, resultados similares aos obtidos neste estudo.

Em condições de campo, a calagem pelo método da curva de incubação mostrou-se bastante eficiente, fato constatado após a aplicação do calcário e posterior amostragem na camada de 0 a 20 cm, aos 25 e 50 dias. Observou-se resposta rápida das doses de calcário dolomítico aplicadas sobre os valores de

pH, alumínio trocável (Al^{3+}) e acidez potencial ($\text{H}+\text{Al}$) no solo da área experimental, comportamento amplamente descrito na literatura e atribuído à reação do calcário com os íons H^+ e Al^{3+} presentes no complexo de troca, promovendo o aumento do pH e precipitação do Al^{3+} (KINRAID, 1991).

Após 50 dias da aplicação de $3,89 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário, dose estimada para atingir pH 6,1, observou-se pH em H_2O de 5,7 (Tabela 3), valor próximo ao previsto e situado na faixa de pH considerada adequada para a maioria das culturas agrícolas (MALAVOLTA, 1989; RAIJ, 1997).

Tabela 3. Atributos químicos do solo Latossolo Amarelo Distrófico da área experimental, aos 25 e 50 dias após a aplicação do calcário.

Período	pH (H_2O)	pH (CaCl_2)	P mg kg^{-1}	K ----- cmolc dm^{-3}	Ca	Mg	Al^{3+} ----- cmolc dm^{-3}	H+Al ----- cmolc dm^{-3}	t	T	V %	m	MO g kg^{-1}
25 dias	5,0	4,7	5,4	0,14	1,70	1,1	0,11	3,90	3,01	6,80	43	4	2,1
50 dias	5,7	4,9	3,6	0,13	2,43	1,7	0,02	2,80	4,28	8,06	63	0	2,2

pH em água (SCHOFIELD e TAYLOR, 1955); pH CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ na relação solo:água 1:2,5 (EMBRAPA, 2009); P - Fósforo (extrator resina); K – Potássio (extrator Mehlich⁻¹); Ca^{2+} - Cálcio, Mg^{2+} - Magnésio e Al^{3+} - Alumínio - (extrator KCl - 1 mol L^{-1}); H + Al - Acidez potencial (extrator Acetato de Cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ - pH 7,0); Soma de bases (SB); Capacidade efetiva de troca de cátions (t); Capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T); Índice de saturação de bases (V); Índice de saturação de Alumínio (m) e Matéria orgânica (M.O.).

A calagem aumentou progressivamente o pH do solo na camada de 0 a 20 cm, sobretudo nos primeiros 25 dias após a aplicação (Figura 3). Aos 50 dias, embora em menor intensidade, o aumento do pH permaneceu crescente ao longo do período de incubação em campo, evidenciando a continuidade das reações de neutralização e eficiência da calagem. Estes resultados estão alinhados com os encontrados por Da Costa (2016), Chapla (2017) e Gomes (2023), que também relataram aumento do pH após aplicação superficial de calcário.

Também foi constatada redução expressiva nos teores de Al^{3+} no solo após aplicação do calcário (Figura 4). Aos 25 dias, o decréscimo foi de 0,59 para $0,11 \text{ cmolc dm}^{-3}$, redução de aproximadamente 81%, indicando rápida neutralização do alumínio em condições favoráveis de umidade e reatividade do calcário. Aos 50 dias, os teores atingiram $0,02 \text{ cmolc dm}^{-3}$, redução de 97% em relação à condição inicial, evidenciando consolidação a das reações químicas no solo ao longo do tempo.

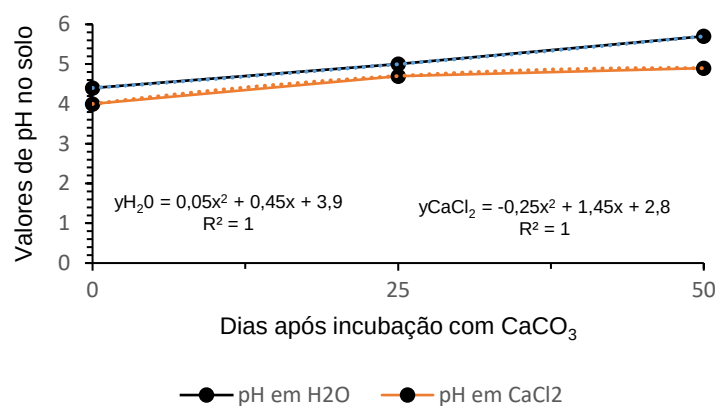


Figura 3. Variação do pH em H_2O e CaCl_2 na camada de 0 a 20 cm do solo Latossolo Amarelo Distrófico da experimental, antes da aplicação do calcário e aos 25 e 50 dias após a aplicação.

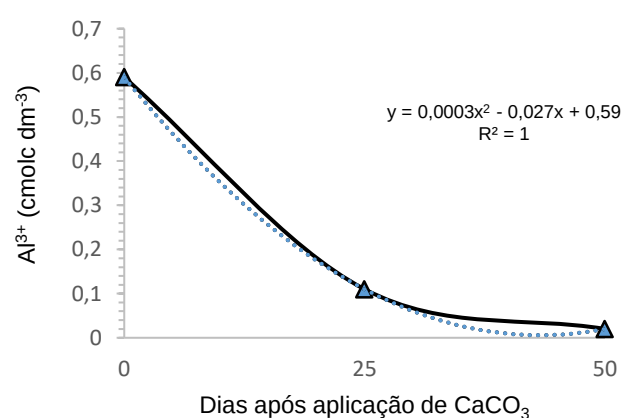


Figura 4. Valores de alumínio trocável (Al^{3+}) na camada de 0 a 20 cm no solo Latossolo Amarelo Distrófico da experimental, antes da aplicação do calcário e aos 25 e 50 dias após a aplicação.

Resultados similares foram relatados por Abreu Jr. *et al.* (2003), que verificaram redução no teor de Al^{3+} com o aumento do pH ao estudarem os componentes da acidez e suas relações com atributos químicos de 26 solos brasileiros. A redução do Al^{3+} diminui a formação de fosfatos de alumínio pouco solúveis e reduz a adsorção específica de P nos colóides do solo, elevando sua disponibilidade na solução. Além disso, a mitigação da toxidez do Al^{3+} às plantas favorece a absorção de fósforo, nutriente essencial ao crescimento radicular e ao metabolismo energético vegetal, reforçando a função estratégica da calagem em solos tropicais.

De forma semelhante ao observado para o Al^{3+} , verificou-se expressiva redução dos valores de H^+Al após a aplicação do calcário na área experimental. Aos 25 dias, os valores diminuíram de 7,2 para 3,9 cmolc dm^{-3} , redução de

aproximadamente 46%. Aos 50 dias, observou-se novo decréscimo após aplicação do calcário para $2,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, valor 61% inferior ao inicial, indicando a continuidade nas reações corretivas, embora em menor intensidade ao longo do tempo (Figura 5).

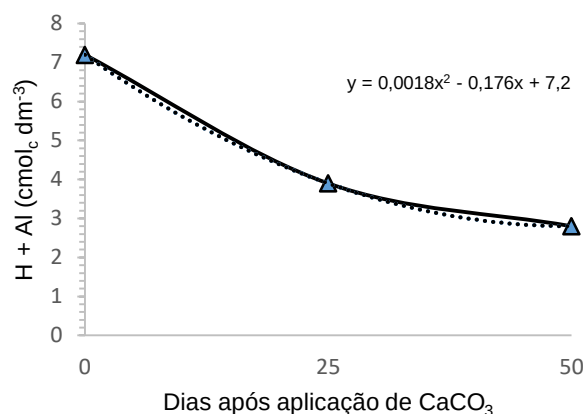


Figura 5. Valores de acidez potencial (H + Al) na camada de 0 a 20 cm do solo Latossolo Amarelo Distrófico da área experimental, antes da aplicação do calcário e aos 25 e 50 dias após a aplicação.

Em geral, a calagem com base na metodologia da curva de incubação mostrou-se eficiente para a definição da dose mais adequada de calcário considerando as condições edafoclimáticas da área experimental. Após aplicação do corretivo, os dados obtidos evidenciaram redução significativa dos teores de Al^{3+} e H+Al, associados ao aumento progressivo do pH do solo, confirmando a efetividade da calagem na melhoria das condições químicas do solo antes da implantação do experimento.

Esse comportamento assume especial relevância em solos tropicais altamente intemperizados da Amazônia Central, nos quais a elevada acidez e a presença de alumínio trocável constituem importantes limitações ao crescimento radicular, à absorção de nutrientes e ao potencial produtivo das culturas.

5.2 Efeito das interações de N, P e K no acúmulo de macro e micronutrientes em frutos de *C. chinense*

Os resultados obtidos a partir da análise de variância demonstram ausência de efeito significativo das doses de N, P e K sobre o acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) nos frutos de *C. chinense*. Da mesma forma, não houve ajuste a modelos de

regressão, tampouco respostas significativas decorrentes das interações entre os nutrientes avaliados (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4. Resumo da análise de variância para acúmulo de macronutrientes em frutos de *C. chinense* cv. Lupita, em função das doses de N, P e K.

FV	Quadrados médios						
	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
N	1	0,625 ^{ns}	0,008 ^{ns}	0,6265 ^{ns}	0,0044 ^{ns}	0,010 ^{ns}	0,009 ^{ns}
P	1	1,228 ^{ns}	0,016 ^{ns}	0,8130 ^{ns}	0,0047 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,016 ^{ns}
K	1	0,897 ^{ns}	0,020 ^{ns}	2,5569 ^{ns}	0,0088 ^{ns}	0,009 ^{ns}	0,029 ^{ns}
N ²	1	0,250 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,5336 ^{ns}	0,0016 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,011 ^{ns}
P ²	1	0,172 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,0523 ^{ns}	0,0024 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,005 ^{ns}
K ²	1	2,200 ^{ns}	0,018 ^{ns}	1,8608 ^{ns}	0,0111 ^{ns}	0,015 ^{ns}	0,030 ^{ns}
N vs. P	1	5,807 ^{ns}	0,078 ^{ns}	5,8920 ^{ns}	0,0182 ^{ns}	0,039 ^{ns}	0,081 ^{ns}
N vs. K	1	1,591 ^{ns}	0,020 ^{ns}	1,7146 ^{ns}	0,0077 ^{ns}	0,018 ^{ns}	0,029 ^{ns}
P vs. K	1	0,599 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,6446 ^{ns}	0,0066 ^{ns}	0,006 ^{ns}	0,007 ^{ns}

FV: Fator de variação, GL: Grau de liberdade, N: Dose de nitrogênio, P: Dose de fósforo, K: Dose de potássio, ns: não significativo, ‘***’: significativo a 0.001, ‘**’: significativo a 0.01, ‘*’: significativo a 0.05, ‘.’: significativo a 0.1 e ‘.’ 1 pelo teste “F”.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para acúmulo de micronutrientes em frutos de *C. chinense* cv. Lupita, em função das doses de N, P e K.

FV	Quadrados médios					
	GL	B	Cu	Fe	Mn	Zn
N	1	0,715 ^{ns}	0,197 ^{ns}	10,909 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,269 ^{ns}
P	1	0,574 ^{ns}	0,027 ^{ns}	16,545 ^{ns}	0,012 ^{ns}	0,357 ^{ns}
K	1	0,975 ^{ns}	0,146 ^{ns}	48,860 ^{ns}	0,022 ^{ns}	0,984 ^{ns}
N ²	1	0,007 ^{ns}	0,128 ^{ns}	8,881 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,425 ^{ns}
P ²	1	0,011 ^{ns}	0,055 ^{ns}	10,365 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,120 ^{ns}
K ²	1	1,379 ^{ns}	0,212 ^{ns}	8,762 ^{ns}	0,007 ^{ns}	1,423 ^{ns}
N vs. P	1	1,295 ^{ns}	0,749 ^{ns}	35,470 ^{ns}	0,074 ^{ns}	2,342 ^{ns}
N vs. K	1	0,579 ^{ns}	0,329 ^{ns}	42,859 ^{ns}	0,037 ^{ns}	0,880 ^{ns}
P vs. K	1	0,976 ^{ns}	0,004 ^{ns}	28,026 ^{ns}	0,009 ^{ns}	0,285 ^{ns}

FV: Fator de variação, GL: Grau de liberdade, N: Dose de nitrogênio, P: Dose de fósforo, K: Dose de potássio, ns: não significativo, ‘***’: significativo a 0.001, ‘**’: significativo a 0.01, ‘*’: significativo a 0.05, ‘.’: significativo a 0.1 e ‘.’ 1 pelo teste “F”.

O padrão de resposta foi consistente para todos os fatores avaliados, incluindo os efeitos lineares (N, P e K), quadráticos (N², P² e K²) e as interações entre os nutrientes (N vs P, N vs K e P vs K), indicando que as diferentes combinações de adubação testadas não promoveram alterações detectáveis no estado nutricional dos frutos nas condições experimentais estabelecidas.

A ausência de resposta significativa pode ser inicialmente interpretada à luz das condições edáficas do ambiente experimental. Considerando que o estudo foi conduzido em solo da região amazônica, é plausível inferir que o sistema apresentava níveis adequados de matéria orgânica do solo, disponibilizando nutrientes para as plantas, a partir do processo de mineralização da matéria orgânica do solo, ou elevada capacidade tampão,

característica comum de solos tropicais intemperizados, especialmente aqueles ricos em óxidos de Fe e Al (LANGE *et al.*, 2024).

Nesses solos, a dinâmica de nutrientes como P é fortemente influenciada por processos de adsorção específica, enquanto o K pode apresentar equilíbrio entre formas trocáveis e não trocáveis, e o N é amplamente regulado pela ciclagem da matéria orgânica (KAUR, 2019; YANG *et al.*, 2019). Dessa forma, mesmo com a aplicação de doses crescentes de fertilizantes, a disponibilidade efetiva de nutrientes na solução do solo pode ter permanecido relativamente estável, limitando a resposta das plantas (DALY *et al.*, 2021).

Além dos fatores edáficos, deve-se considerar o papel da fisiologia vegetal na regulação do estado nutricional, especialmente no que se refere ao fenômeno de homeostase nutricional (LIU *et al.*, 2024). As plantas dispõem de mecanismos que controlam a absorção, o transporte e a redistribuição de nutrientes, de forma a manter concentrações relativamente constantes nos tecidos, sobretudo em órgãos reprodutivos como os frutos (RADDATZ *et al.*, 2020).

Nesse contexto, ainda que ocorram variações na disponibilidade de nutrientes no solo, a composição mineral dos frutos tende a apresentar menor variabilidade, uma vez que esses órgãos são prioritários para a perpetuação da espécie. Soma-se a isso o chamado efeito de diluição, no qual eventuais incrementos no crescimento não se refletem proporcionalmente na concentração de nutrientes, contribuindo para a ausência de diferenças detectáveis entre os tratamentos (JARRELL e BEVERLY, 1981; KASPARI e WELTI, 2024).

Outro aspecto relevante refere-se à amplitude das doses utilizadas no experimento. Embora o delineamento experimental tenha contemplado uma ampla faixa de aplicação de N, P_2O_5 e K_2O , é possível que as doses intermediárias já tenham sido suficientes para atender plenamente à demanda nutricional da cultura, levando a um estado de saturação da resposta. Em tais condições, incrementos adicionais na adubação não resultam em alterações no acúmulo de nutrientes, pois outros fatores passam a limitar o desempenho da planta, como condições climáticas, disponibilidade hídrica ou características genéticas da espécie (UÇGUN e ALTINDAL, 2021).

Em termos práticos, a não observância de diferenças significativas no acúmulo de macro e micronutrientes deve ser interpretada como resultado da interação entre fatores edáficos e fisiológicos que conferem estabilidade ao estado nutricional dos frutos de *C. chinense*. Neste caso, os resultados sugerem que, nas condições avaliadas, a cultura apresenta baixa sensibilidade às variações nas doses de N, P e K quanto à composição mineral dos frutos, indicando potencial para otimização do manejo da adubação, especialmente no que se refere à racionalização do uso de insumos, sem comprometer a qualidade nutricional do produto final.

5.3 Efeito das interações de N, P e K nos atributos biométricos e produtivos de *C. chinense*.

Os resultados da análise de variância para os atributos biométricos de *C. chinense* evidenciam respostas diferenciadas da cultura às doses de N, P e K, tanto em efeitos isolados quanto em interações (Tabela 6), refletindo a complexidade dos mecanismos de crescimento e alocação de biomassa sob diferentes regimes nutricionais.

Tabela 6. Resumo da análise de variância para massa seca das raízes (MSRAI), massa seca do caule (MSCAU), massa seca dos ramos (MSR), massa seca das folhas (MSFOL) e massa fresca dos frutos (MFF) de *C. chinense* cv. Lupita submetidas à adubação com diferentes combinações de N, P e K.

FV	Quadrados médios					
	GL	MSRAI	MSCAU	MSR	MSFOL	MFF
Bloco	2	94,28 ns	364,9 ns	12,6 ns	33,14 ns	0,122 ns
N	1	1999,15 **	2789,3 *	12293,7 **	143,36 .	6,076 ns
P	1	2554,48 ***	5660,7 **	9463,6 *	61,40 ns	24,351 .
K	1	517,70 ns	518,4 ns	5758,3 .	332,47 *	14,512 ns
N ²	1	131,48 ns	67,8 ns	1972,0 ns	340,81 **	9,105 ns
P ²	1	51,21 ns	180,8 ns	263,1 ns	96,01 ns	14,619 ns
K ²	1	1739,95 **	3106,1 *	15747,0 **	857,64 ***	17,150 ns
N vs. P	1	1481,02 **	1457,9 .	8284,0 *	321,96 *	10,177 ns
N vs. K	1	193,86 ns	209,3 ns	1111,6 ns	8,51 ns	30,626 *
P vs. K	1	2036,74 *	1279,2 ns	12046,7 **	296,11 *	5,626 ns

FV: Fator de variação, GL: Grau de liberdade, N: Dose de nitrogênio, P: Dose de fósforo, K: Dose de potássio, ns: não significativo, '***': significativo a 0.001, '**': significativo a 0.01, '*': significativo a 0.05, '.': significativo a 0.1 e ' ' 1 pelo teste "F".

Os modelos de superfície de resposta para massa seca das raízes (MSRAI), massa seca do caule (MSCAU), massa seca dos ramos (MSR), massa seca das folhas (MSFOL) e massa fresca dos frutos (MFF) em função das combinações de N, P e K descrevem, a partir das equações obtidas, efeitos

lineares, quadráticos e de interação entre os nutrientes sobre as variáveis avaliadas, permitindo identificar a magnitude das respostas, estimar pontos de máxima eficiência produtiva e econômica, além de compreender a influência das combinações no crescimento e na produção de *C. chinense* (Tabela 7).

Tabela 7. Superfície de resposta à adubação com N, P e K expressa pela massa seca das raízes (MSRAI), massa seca do caule (MSCAU), massa seca dos ramos (MSR), massa seca das folhas (MSFOL) e massa fresca dos frutos (MFF) de *C. chinense* cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.

Variáveis	Superfície de resposta	R ²	CV(%)
MSRAI	$\hat{Y}_{MSRAI} = 4,413 - 4,6916.10^{-2}N^* - 2,8473.10^{-2}P^* + 1,1277.10^{-1}K^* + 7,1995.10^{-6}N^2 + 8,1678.10^{-4}P^2 - 2,0788.10^{-4}K^{2*} + 1,1942.10^{-4}NP^* - 4,9660.10^{-6}NK + 1,656.10^{-4}PK^*$	0,47	31,5
MSCAU	$\hat{Y}_{MSCAU} = 5,3407 - 9,7647.10^{-3}N^* - 2,1090.10^{-2}P^* + 1,4916.10^{-1}K^* - 6,2802.10^{-5}N^2 + 6,2449.10^{-5}P^2 - 2,5708.10^{-4}K^{2*} + 1,1234.10^{-4}NP^{**} + 7,2722.10^{-6}NK + 1,3125.10^{-4}PK^*$	0,34	41,2
MSR	$\hat{Y}_{MSR} = 8,6709 + 6,2042.10^{-2}N^* + 6,4190.10^{-3}P^* + 3,5032.10^{-1}K^{**} - 2,7092.10^{-4}N^2 - 2,1365.10^{-4}P^2 - 5,9816.10^{-4}K^{2*} + 2,8226.10^{-4}NP^* - 1,3781.10^{-5}NK + 4,0277.10^{-4}PK^*$	0,41	44,4
MSFOL	$\hat{Y}_{MSFOL} = 9,8771 + 3,9613.10^{-2}N^{**} + 9,1586.10^{-3}P + 8,8368.10^{-1}K^* - 8,8386.10^{-5}N^2 - 7,8274.10^{-5}P^2 - 1,3926.10^{-4}K^{2*} + 6,6823.10^{-5}NP^* - 9,7041.10^{-6}NK + 6,3147.10^{-5}PK^*$	0,45	69,9
MFF	$\hat{Y}_{MFF} = 4,7982 + 2,2474.10^{-3}N - 5,9684.10^{-6}N^2 + 2,2445.10^{-2}P^{**} - 6,1691.10^{-5}P^2 + 1,6162.10^{-3}K - 4,9462.10^{-6}K^2 - 8,3412.10^{-7}NP + 2,0723.10^{-5}NK^* - 8,7048.10^{-6}PK$	0,22	56,1

***: significativo a 0.001, **: significativo a 0.01, *: significativo a 0.05, .: significativo a 0.1 e ' 1 pelo teste "F".

Com base nas equações de superfície de resposta ajustadas para os atributos biométricos e produtivos de *C. chinense*, foram determinadas as doses de máxima eficiência física (DMEF) e de máxima eficiência econômica (DMEE) para N, P e K, bem como a produção na máxima eficiência física (PMEF) e a produção na máxima eficiência econômica (PMEE) dos atributos biométricos e produtivos em função das doses ótimas de N, P e K. A obtenção dos valores máximos estimados pelos modelos, possibilitou a caracterização da resposta da cv. Lupita a adubação mineral nesses atributos.

A DMEE para N, P e K e a PMEE para os atributos biométricos e produtivos foram obtidas adotando-se 90% da DMEF e da PMEF, respectivamente. Este critério operacional foi adotado com base no princípio dos rendimentos marginais decrescentes: nas proximidades do ponto de máxima resposta, incrementos sucessivos na dose do fertilizante resultam em acréscimos progressivamente menores no rendimento, de modo que a aplicação integral da DMEF tende a gerar retorno marginal economicamente ineficiente, o que não justifica o custo adicional do insumo.

Para MSRAI, observou-se efeito linear significativo para N e P, além de efeito quadrático para K, com interações significativas entre N $\times$ P e P $\times$ K (Figura 6). É possível verificar maior incremento de MSRAI quando a planta é submetida a doses moderadas de N e P (Figura 6A), sugerindo estímulo ao crescimento do sistema radicular em resposta à maior disponibilidade adequada de nutrientes (LAMBERS *et al.*, 2008), com tendência à redução em níveis excessivos. Neste caso, é possível inferir que condições moderadas, associadas à demanda por absorção e suporte ao crescimento da parte aérea, estimulam o sistema radicular para uma exploração eficiente do solo (PUTRA *et al.*, 2021).

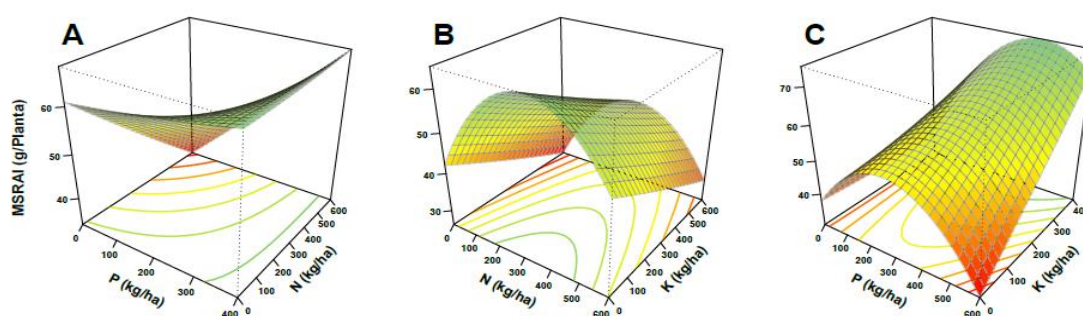


Figura 6. Representação da superfície de resposta para o efeito da interação entre N, P e K na produção de massa seca de raízes de *C. chinense* cv. Lupita.

A interação N vs K indica aumento da MSRAI com a elevação dos níveis dos dois nutrientes, principalmente nas doses intermediárias (Figura 6B). Quando se observa a interação P vs K, verifica-se que a maior produção de MSRAI também ocorreu na faixa intermediária, com redução drástica nas maiores doses (Figura 6C).

Neste caso, o modelo quadrático do K indica que teores adequados deste nutriente estimulam o crescimento radicular, mas doses excessivas podem causar desequilíbrios osmóticos ou competitividade iônica (ISTIQUOMAH *et al.*, 2021). As interações observadas para MSRAI reforçam o papel do P como elemento central no desenvolvimento radicular, modulando a eficiência de utilização de N e K, especialmente em solos tropicais onde sua disponibilidade é um fator limitante (TIMILSINA *et al.*, 2025).

Não foi possível estimar as DMEF, DMEE, PMEF e PMEE para N e P, sendo os ajustes obtidos apenas para o K (Tabela 8). Para MSRAI de *C.*

chinense cv. Lupita, apenas o K apresentou equação de superfície de resposta ajustada, com DMEF estimada em 271,24 kg ha⁻¹ de K₂O, correspondendo a PMEF de 19,71 g planta⁻¹, enquanto a DMEE, fixada em 90% da DMEF, foi de 173,87 kg ha⁻¹, com PMEE de 17,74 g planta⁻¹.

Tabela 8. Valores de N, P e K correspondentes a DMEF e DMEE, e estimativas de PMEE e PMEF de MSRAI de *C. chinense* cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.

Variável	Nutriente	DMEF (t ha ⁻¹)	DMEE (t ha ⁻¹)	PEMF (g planta ⁻¹)	PMEE (g planta ⁻¹)
MSRAI	N	-	-	-	-
	P	-	-	-	-
	K	271,24	244,11	19,71	17,74

DMEF: dose na máxima eficiência física, DMEE: dose na máxima eficiência econômica, PMEF: produção na máxima eficiência física, PMEE: produção na máxima eficiência econômica.

A DMEF obtida para a MSRAI neste estudo é superior às doses praticadas em experimentos com pimentão (*Capsicum annuum* L.) em ambiente protegido no Brasil, nos quais doses entre 213,4 e 247,0 kg ha⁻¹ de K foram suficientes para maximizar o acúmulo de matéria seca da planta, incluindo raízes (MARCUSSE *et al.*, 2004; SOUSA *et al.*, 2011), evidenciando a importância do K nos processos fisiológicos relacionados ao crescimento e acúmulo de biomassa (ALUKO *et al.*, 2022).

Lorenzoni *et al.* (2018), avaliando o acúmulo de MSRAI em pimentão (*C. annuum* L.) híbrido Magali R fertirrigado com N e K em ambiente protegido, verificaram interação significativa entre as doses de N (0; 73,4; 146,8 e 293,6 kg ha⁻¹) e K (0; 53,3; 106,7 e 213,4 kg ha⁻¹), sendo a MSRAI a variável que melhor expressou essa interação.

Lorenzoni *et al.* (2018) verificaram que, em *C. annuum* fertirrigado com diferentes combinações de N e K em ambiente protegido, a MSRAI foi a variável que melhor expressou a interação entre os dois nutrientes, sendo observados incrementos significativos com doses de K de até 213,4 kg ha⁻¹ — valor inferior à DMEE de K obtida no presente estudo.

Quanto a MSCAU, os resultados indicaram efeitos lineares para N e P, além de efeito quadrático para K e interação significativa entre N × P (Figura 7). O modelo linear para N e P sugere que o caule atua como um importante compartimento estrutural de crescimento contínuo sob maior disponibilidade

desses nutrientes, refletindo o aumento da atividade meristemática e da deposição de compostos estruturais (YANG *et al.*, 2021).

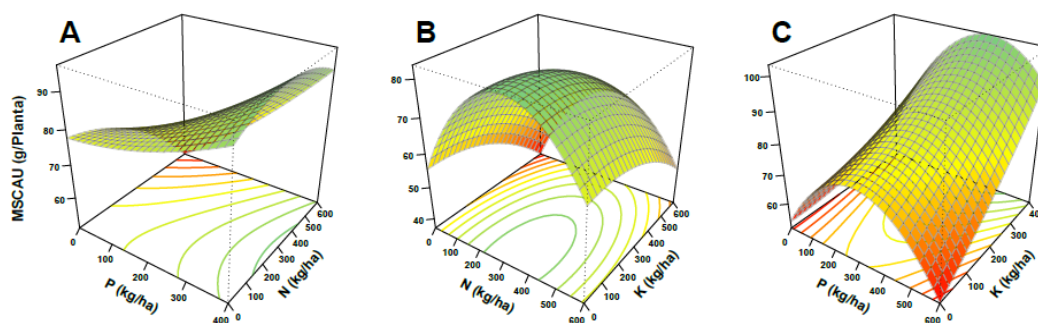


Figura 7. Representação da superfície de resposta para o efeito da interação entre N, P e K na massa seca do caule de *C. chinense* cv. Lupita.

O efeito quadrático do K indica a existência de um nível ótimo para maximização do crescimento, possivelmente relacionado à sua função na regulação hídrica e na manutenção do turgor celular (ASSIS *et al.*, 2025). Na interação N vs P observa-se propensão ao crescimento linear para os dois nutrientes (Figura 7A).

O incremento nas doses de P, associado a doses elevadas de N, favoreceu o acúmulo de MSCAU, sugerindo efeito sinérgico dos nutrientes, uma vez que o P é essencial para o fornecimento de energia necessária à assimilação do N (ALVARADO-CAMARILLO *et al.*, 2018). A superfície de resposta também indica que dentro do intervalo testado não foi possível atingir o ponto de saturação ou declínio, indicando que doses maiores de N e P poderiam resultar em maior acúmulo de MSCAU.

Além disso, a baixa dose necessária para atingir a produtividade máxima sugere elevada eficiência de utilização do K pela cultura para essa variável, indicando que incrementos adicionais na adubação potássica não resultaram em ganhos expressivos na produção de biomassa caulinar. Esse padrão de resposta evidencia a ocorrência de resposta limitada ao nutriente após determinado ponto crítico, característica frequentemente observada em variáveis estruturais com menor demanda relativa por K (LIU *et al.*, 2014).

De forma contrária ao observado anteriormente, a superfície de resposta

da interação N vs K apresenta comportamento quadrático bem definido, com existência de um ponto máximo na faixa intermediária dos nutrientes (Figura 7B). Neste caso, as doses excessivas de K em função de baixos níveis de N resultaram em menor acúmulo de MSCAU, fenômeno atribuído ao desequilíbrio osmótico ou ao desbalanço na relação N:K (SILVA *et al.*, 2019; MAGALHÃES *et al.*, 2023).

A interação P vs K demonstra que o K exerce maior influência sobre a MSCAU que o P e que, dentro dos intervalos testados, é o nutriente limitante (Figura 7C). Também é possível inferir que, em função de sua resposta linear, *C. chinense* ainda não atingiu o valor máximo de K para o acúmulo de MSCAU ou que o P não é o principal fator limitante quando o K está em níveis adequados.

É possível verificar na Tabela 9 os valores de N, P e K correspondentes à DMEF e DMEE, bem como as estimativas de PMEF e PMEE para MSCAU de *C. chinense* cv. Lupita. O N não apresentou equação de superfície de resposta ajustada para essa variável, enquanto P e K responderam de forma significativa, com modelos que permitiram determinar as doses ótimas e os valores máximos estimados de MSCAU (Tabela 9).

Tabela 9. Valores de N, P e K correspondentes a DMEF e DMEE, e estimativas de PMEF e PMEE de MSCAU de *C. chinense* cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.

Variável	Nutriente	DMEF (t ha ⁻¹)	DMEE (t ha ⁻¹)	PMEF (g planta ⁻¹)	PMEE (g planta ⁻¹)
MSCAU	N	-	-	-	-
	P	168,8	151,92	55,56	5,01
	K	290,1	261,09	47,74	42,97

DMEF: dose na máxima eficiência física, DMEE: dose na máxima eficiência econômica, PMEF: produção na máxima eficiência física, PMEE: produção na máxima eficiência econômica.

A ausência de ajuste de equação de superfície de resposta para o N na MSCAU indica que, nas condições do presente experimento, esse nutriente não exerceu efeito significativo e independente sobre o acúmulo de biomassa caulinar de *C. chinense* cv. Lupita. Entretanto, esse resultado não implica afirmar que N seja dispensável ao crescimento vegetativo da espécie, mas sugere que, nas doses avaliadas e nas condições locais do experimento, o suprimento de N pelo solo ou a interação com os demais nutrientes pode ter mascarado o efeito isolado desse elemento sobre a MSCAU.

Para a MSCAU, a DMEF de P foi estimada em 168,8 kg ha⁻¹, com valor máximo previsto de 55,56 g planta⁻¹ (PMEF), enquanto a DMEE correspondeu a 151,92 kg ha⁻¹, com PMEE de 50,01 g planta⁻¹. Fontes *et al.* (2005a), caracterizando a dinâmica do crescimento e a distribuição de matéria seca em pimentão (*C. annuum*) híbrido Elisa submetido a adubação com 2,0 t ha⁻¹ de superfosfato simples, registraram valor máximo de MSCAU de 79 g planta⁻¹, valor superior ao PMEF de 55,56 g planta⁻¹ obtido no presente estudo com *C. chinense* cv. Lupita.

O K foi o nutriente de maior influência sobre a MSCAU de *C. chinense* cv. Lupita, com DMEF estimada em 290,1 kg ha⁻¹ de K₂O e PMEF de 47,74 g planta⁻¹, enquanto a DMEE correspondeu a 261,09 kg ha⁻¹, com PMEE de 42,97 g planta⁻¹, evidenciando a influência do K sobre os demais nutrientes produção de MSCAU de *C. chinense* cv. Lupita. Considerando a DMEF de K₂O alcançada neste trabalho, observa-se valor superior às doses de 232 kg ha⁻¹ de K₂O aplicadas via fertirrigação por Fontes *et al.* (2005b) em *C. annuum* em estufa. Em *C. annuum* cv. 'Rodo', Alabi e Ayodele (2021) avaliaram doses de 0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹ de K₂O e observaram que a maior dose proporcionou os maiores valores de MSCAU, cerca de 5,32 g planta⁻¹, valor inferior ao estimado neste estudo.

Para MSR, verificou-se efeito altamente significativo para o N, além de efeitos significativos para P e tendência para K, com ajuste quadrático significativo para K. Adicionalmente, foram observadas interações significativas entre N × P e P × K. O leve declínio no acúmulo de ramos observado em sequencia pode indicar que o excesso de P e N pode levar a uma condição de toxicidade devido o aumento da salinidade da solução do solo, inibindo a absorção de água e outros nutrientes (BRITTO e KRONZUCKER, 2002), prejudicando o acúmulo de MSR.

Na Figura 8, observa-se que a interação N vs P indica que, dentro da faixa estudada, o aumento das doses desses nutrientes promove incremento contínuo no acúmulo da MSR (Figura 8A), refletindo o papel estrutural do N na formação de proteínas e clorofila, e do P na divisão celular e no metabolismo energético (MARSCHNER, 2012).

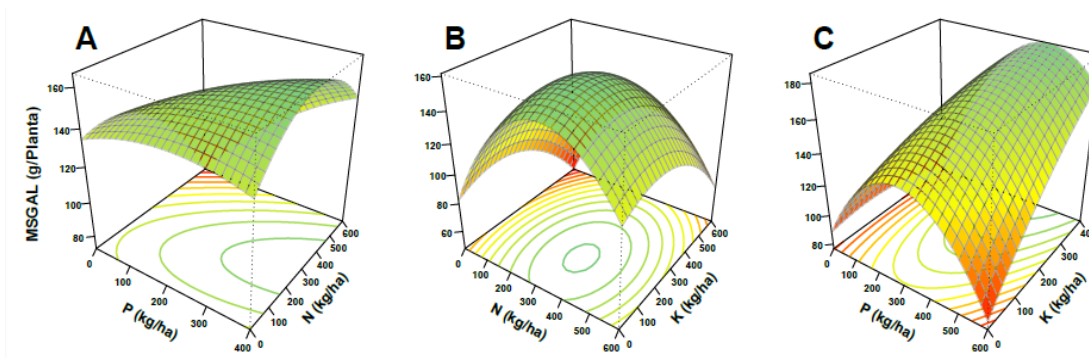


Figura 8. Representação da superfície de resposta para o efeito da interação entre N, P e K na massa seca de ramos (MSR) de *C. chinense* cv. Lupita.

Por outro lado, o ajuste quadrático para K (Figura 8B) se caracteriza como resposta condizente com a existência de um ponto ótimo do ponto de vista agrônômico dentro da faixa estudada. Desta forma, observa-se que o aumento das doses favoreceu o acúmulo da MSR, permitindo concluir que este nutriente apresenta um ponto ótimo de atuação. Por outro lado, o excesso de K pode induzir o antagonismo competitivo com Ca^{2+} e Mg^{2+} , além de aumentar a salinidade do solo (MARSCHNER, 2012), não sendo possível observar resposta no acúmulo de MSR em doses de K acima do ponto ótimo.

Ao analisar a interação entre P vs K (Figura 8C), observa-se resposta as doses iniciais e intermediárias para ambos os nutrientes, indicando complementaridade entre P e K. As interações observadas reforçam a ideia de que o crescimento vegetativo é altamente dependente da integração e do sinergismo entre os nutrientes, uma vez que plantas deficientes em P apresentam menor crescimento inicial, enquanto baixa disponibilidade de K reduz a taxa fotossintética e translocação de açúcares (MALAVOLTA, 2006).

Para MSR na cv. Lupita, observam-se na Tabela 10 as doses de N, P e K correspondentes a DMEF e DMEE, bem como as estimativas de PMEF e PMEE. Neste caso, três nutrientes avaliados apresentaram equações de superfície de resposta ajustadas para produção de ramos da cv. Lupita.

Tabela 10. Valores de N, P e K correspondentes a DMEF e DMEE, e estimativas de PMEE e PMEF da MSR de *C. chinense* cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.

Variável	Nutriente	DMEF (t ha ⁻¹)	DMEE (t ha ⁻¹)	PMEF (g planta ⁻¹)	PMEE (g planta ⁻¹)
MSR	N	114,5	103,05	12,22	11,01
	P	150,2	135,18	8,72	7,85
	K	292,8	263,52	16,53	14,87

DMEF: dose na máxima eficiência física, DMEE: dose na máxima eficiência econômica, PMEF: produção na máxima eficiência física, PMEE: produção na máxima eficiência econômica.

Verifica-se que a DMEE de N para a MSR de *C. chinense* cv. Lupita foi estimada em 103,05 kg ha⁻¹, resultando em PMEE de 11,01 g planta⁻¹. Em *C. annuum* cv. 'Rodo', Ayodele *et al.* (2015) avaliaram doses de 0, 25, 50 e 75 kg ha⁻¹ de N e observaram incremento progressivo na MSR com o aumento da adubação nitrogenada. Os autores reportaram que a maior dose de N promoveu os maiores valores, atingindo aproximadamente 5,4 g planta⁻¹, valor inferior à PMEE obtida neste estudo.

A DMEE de P para a MSR foi estimada em 135,18 kg ha⁻¹ de P₂O₅, com PMEE de 7,85 g planta⁻¹. Ao avaliar pimenta habanero em dois diferentes locais experimentais, Alabi e Ayodele (2018) observaram que a aplicação de P₂O₅ até 90 kg ha⁻¹ elevou MSR para 3,18 g planta⁻¹ em Bagauda e 6,30 g planta⁻¹ em Samaru. Esses valores foram inferiores à PMEE observada para MSR obtida em *C. chinense* cv. Lupita neste trabalho.

Para a MSR, a DMEE de K foi estimada em 263,52 kg ha⁻¹ de K₂O, com PMEE de 14,87 g planta⁻¹, resultando no maior valor de produtividade ótima entre os três nutrientes avaliados para essa variável, o que posiciona o K como o nutriente de maior influência sobre o acúmulo de biomassa radicular de *C. chinense* cv. Lupita. Em *C. annuum* 'Rodo', Alabi e Ayodele (2021) avaliaram doses de 0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹ de K₂O e observaram incremento linear da MSR com o aumento das doses de K, atingindo 5,32 g planta⁻¹, valor inferior à PMEE estimada neste estudo para *C. chinense* cv. Lupita, indicando maior MSR sob as condições experimentais avaliadas.

Para MSFOL, constatou-se efeito significativo de N e K, bem como de seus termos quadráticos (N² e K²), além de interações significativas entre N vs P e P vs K para MSFOL (Figura 9). Na Figura 9A (interação N × P) é possível verificar que a MSFOL é bastante influenciada pelo N, onde o P atua como catalisador

nesse processo. Esse fenômeno pode ser atribuído ao papel do P no metabolismo energético (ATP), essencial para a assimilação do N (SHABNAM e IQBAL, 2016; TAIZ e ZEIGER, 2017). O ponto de máximo acúmulo de MSFOL ocorre em níveis elevados de N, reforçando o papel deste nutriente na síntese de proteínas e clorofila, essenciais para o processo fotossintético (TAIZ e ZEIGER, 2017).

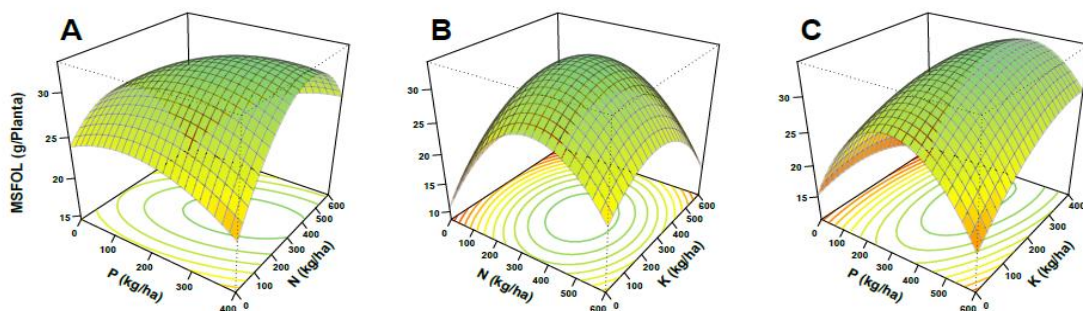


Figura 9. Representação da superfície de resposta para o efeito da interação entre N, P e K na massa seca de folhas de *C. chinense* cv. Lupita.

A significância do modelo quadrático para N e K indica resposta quadrática da MSFOL, apresentando um ponto ótimo de máxima eficiência fisiológica nas doses intermediárias (Figura 9B). Em níveis baixos, o incremento desses nutrientes promove aumento na síntese e acúmulo de matéria seca, enquanto em doses elevadas, pode incorrer na saturação ou até mesmo desbalanço nutricional, reduzindo a eficiência metabólica (REHMAN *et al.*, 2011).

A interação $P \times K$ (Figura 9C) evidenciou incremento da MSFOL entre a faixa intermediária e alta, acompanhado por um decréscimo nas extremidades, indicando correlação fisiológica entre os dois nutrientes na translocação de assimilados e na formação de tecidos de reserva (LIU *et al.*, 2010). Dessa forma, observa-se que o equilíbrio nutricional tem maior influência no acúmulo de MSFOL quando comparado à disponibilidade isolada de nutrientes.

Com base nas equações, determinou-se a DMEF e DMEE de N, P e K para a MSFOL de *C. chinense* cv. Lupita, bem como a PMEF e PMEE, (Tabela 11).

Tabela 11. Valores de N, P e K correspondentes a DMEF e DMEE, e estimativas de PMEE e PMEF de MSFOL de *C. chinense* cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.

Variável	Nutriente	DMEF (t ha ⁻¹)	DMEE (t ha ⁻¹)	PMEF (g planta ⁻¹)	PMEE (g planta ⁻¹)
MSFOL	N	224,1	201,69	14,32	12,88
	P	58,5	52,65	10,15	9,13
	K	317,3	285,57	31,83	28,65

DMEF: dose na máxima eficiência física, DMEE: dose na máxima eficiência econômica, PMEF: produção na máxima eficiência física, PMEE: produção na máxima eficiência econômica.

A DMEE de N para a MSFOL de *C. chinense* cv. Lupita em 201,69 kg ha⁻¹, com PMEE estimada em 12,88 g planta⁻¹. Fontes *et al.* (2005), ao caracterizar a dinâmica de crescimento e a partição de matéria seca de pimentão (*C. annuum*) híbrido Elisa em ambiente protegido obteve, sob fertirrigação com 312 kg ha⁻¹ de N, valores de MSFOL de 109 g planta⁻¹, superior aos obtidos neste trabalho.

Para o P, a estimativa sugere menor sensibilidade da MSFOL às doses aplicadas, embora a produção máxima obtida confirme a participação desse nutriente nos processos metabólicos ligados à transferência de energia, divisão celular e desenvolvimento foliar (TIMILSINA *et al.*, 2024). A DMEE de P para a MSFOL foi de 52,65 kg ha⁻¹, com PMEE de 9,13 g planta⁻¹, representando a menor DMEE entre os três macronutrientes avaliados para a biomassa foliar de *C. chinense* cv. Lupita. Fontes *et al.* (2005), em trabalho com *C. annuum* em estufa, aplicaram 2.000 kg ha⁻¹ de superfosfato simples no plantio, observando que MSFOL atingiu 109 g planta⁻¹, valor superior ao encontrado neste estudo. Este padrão evidencia o P como macronutriente de menor exigência pelas folhas em proporção aos demais macronutrientes primários em plantas do gênero *Capsicum*.

Para o K, a DMEE foi de 285,57 kg ha⁻¹ de K₂O, com PMEE de 28,65 g planta⁻¹, representando o maior acúmulo foliar entre os nutrientes avaliados. Entre os nutrientes, o K proporcionou os maiores valores de produção de MSFOL, evidenciando sua elevada contribuição para o acúmulo de biomassa foliar, padrão de resposta que pode ser atribuído à sua atuação em processos essenciais para a manutenção da atividade fotossintética e expansão dos tecidos vegetais (SINGH *et al.*, 2023). Em pimentão, Lorenzoni *et al.* (2018) ao avaliarem doses de K associadas a N observaram maior MSFOL estimada em

34,15 g planta⁻¹ utilizando 106,7 kg ha⁻¹ de K, valor 19,2% superior ao obtido neste experimento para *C. chinense* cv. Lupita. Entretanto, os autores destacaram que o efeito do K sobre a massa seca foliar dependeu da interação com N, e que doses de K nem sempre aumentaram linearmente a MSFOL, especialmente em solos com teor inicial elevado do nutriente.

Tratando-se de MFF, as superfícies de resposta obtidas para MFF indicaram que a este atributo foi influenciado pelas interações entre N, P e K (Figura 10). A interação entre N vs P (10A) promoveu aumento simultâneo da MFF até a região ótima, demonstrando que o rendimento máximo obtido ocorre em faixa nutricional intermediária e balanceada, enquanto excessos causaram redução na produção. Além disso, verifica-se que a MFF não depende isoladamente desses nutrientes, mas da sinergia entre N e P no sistema solo-planta, resposta típica de sistemas nutricionais interdependentes (PRECIADO-RANGEL *et al.*, 2020).

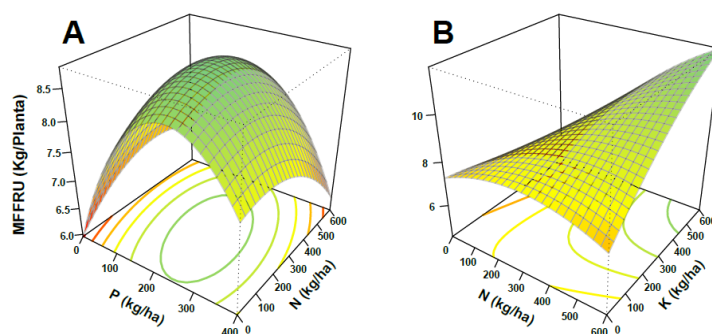


Figura 10. Representação da superfície de resposta para o efeito da interação entre N, P e K na massa fresca dos frutos de *C. chinense* cv. Lupita.

Na Figura 10B, observa-se comportamento crescente da MFF a medida que aumentam as doses de N e K. Neste caso, o ponto máximo encontra-se próximo ao limite da faixa experimental. Esse padrão de resposta pode ser explicado pela complementaridade funcional entre os nutrientes, uma vez que o N amplia a capacidade fotossintética da planta enquanto o K exerce papel decisivo no enchimento dos frutos, transporte de açúcares, eficiência no uso da água, entre outros (MARSCHNER, 2012; NAKRO *et al.*, 2023).

Com base nas equações de superfície de resposta ajustadas para a produção de frutos de *C. chinense* cv. Lupita, foram estimadas as DMEF e DMEE

para N, P e K, além da PMEF e PMEE, bem como os valores máximos previstos (Tabela 12).

Tabela 12. Valores de N, P e K correspondentes a DMEF e DMEE, e estimativas de PMEE e PMEF da MFF de *C. chinense* cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.

Variável	Nutriente	DMEF (t ha ⁻¹)	DMEE (t ha ⁻¹)	PMEF (g planta ⁻¹)	PMEE (g planta ⁻¹)
MFF	N	283,16	254,84	642,22	578,01
	P	251,11	226,01	381,65	343,49
	K	366,83	330,15	887,03	660,63

DMEF: dose na máxima eficiência física, DMEE: dose na máxima eficiência econômica, PMEF: produtividade na máxima eficiência física, PMEE: produtividade na máxima eficiência econômica.

A DMEE de N para a MFF de *C. chinense* cv. Lupita correspondeu a 254,84 kg ha⁻¹, resultando em uma PMEE de 578,01 g planta ha⁻¹. Lorenzoni (2016), ao investigar os efeitos das doses de N e K sobre o crescimento e a produção de pimentão, verificou PMEE nas DMEE 155 kg ha⁻¹ de N de 1,882 kg planta⁻¹, valores superiores às PMEE as observadas neste trabalho. Em pimentão, Javeed *et al.* (2023) observaram maior produção de frutos com 120 kg ha⁻¹ de N, obtendo 0,64 kg planta⁻¹ ou 640 g planta⁻¹, valor ligeiramente superior ao estimado para *C. chinense* cv. Lupita.

A DMEE de fósforo estimada para MFF foi de 226,01 kg ha⁻¹ de P₂O₅, com PMEE correspondente de 343,49 g planta⁻¹. Em pimenta habanero (*C. chinense*), Alabi (2018) verificou que a aplicação de P influenciou MFF, com maior valor médio de 168,13 g planta⁻¹ em Bagauda com 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 280,21 g planta⁻¹ em Samaru com 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Assim, a PMEE obtida para 'Lupita' foi 104,3% superior ao maior valor de Bagauda e 22,6% superior ao maior valor de Samaru, indicando maior eficiência produtiva ou maior potencial genético nas condições deste ensaio.

O K foi o nutriente que proporcionou a maior produtividade de MFF na cv. Lupita, com DMEE de 330,15 kg ha⁻¹ de K₂O e PMEE de 660,63 g planta⁻¹. Lorenzoni (2016), ao investigar os efeitos das doses de N e K sobre o crescimento e a produção de pimentão, verificou produtividade de 1,882 kg planta⁻¹ (31,34 t ha⁻¹) nas doses de 155 kg ha⁻¹ de N e 106,7 kg ha⁻¹ de K₂O, valores superiores às doses de máxima eficiência observadas neste trabalho. Em *C. annuum* cv. 'Rodo', Alabi e Ayodele (2021) observaram resposta linear da produtividade até 90 kg ha⁻¹ de K₂O, com rendimento de 14,24 t ha⁻¹ em 2014 e

14,94 t ha⁻¹ em 2015. Embora os autores expressem a produção em área, e não em g planta⁻¹, o resultado confirma a forte participação do K na produção de frutos.

5.4 Efeito das interações de N, P e K nos atributos pós-colheita de *C. chinense*

A análise de variância dos atributos pós-colheita de frutos de *C. chinense* (Tabela 13) evidenciou respostas diferenciadas em função das doses de N, P e K, com efeitos isolados e interações que refletem a complexidade dos processos bioquímicos associados à qualidade dos frutos.

Tabela 13. Resumo da análise de variância para o pH, sólidos solúveis (SS), acidez total titulável (ATT), açúcares solúveis totais (AST) e pela Relação Sólidos Solúveis e Acidez Total (SS/AT) em frutos de *C. chinense* cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.

FV	Quadrados médios						
	GL	Vit. C	pH	SS	ATT	AST	SS/AT
Bloco	2	15,53 ^{ns}	0,0004 ^{ns}	0,024 ^{ns}	10,00.10 ⁻⁶ ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,079 ^{ns}
N	1	4,59 ^{ns}	0,149 [*]	0,065 ^{ns}	4,95.10 ⁻³ [.]	0,03 ^{ns}	23,056 ^{**}
P	1	0,11 ^{ns}	0,345 ^{***}	1,488 ^{**}	7,00.10 ⁻⁷ ^{ns}	3,43 [*]	7,890 ^{ns}
K	1	0,99 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,001 ^{ns}	5,83.10 ⁻³ [*]	0,51 ^{ns}	1,288 ^{ns}
N ²	1	1,16 ^{ns}	0,003 ^{ns}	2,506 ^{***}	3,29.10 ⁻³ ^{ns}	16,15 ^{***}	8,456 ^{ns}
P ²	1	1,91 ^{ns}	0,074 ^{ns}	0,275 ^{ns}	4,53.10 ⁻³ [.]	3,33 [*]	0,051 ^{ns}
K ²	1	0,61 ^{ns}	0,0007 ^{ns}	0,024 ^{ns}	5,33.10 ⁻⁴ ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,300 ^{ns}
N vs. P	1	7,33 ^{ns}	0,003 ^{ns}	1,264 [*]	5,80.10 ⁻⁶ ^{ns}	4,83 [*]	3,409 ^{ns}
N vs. K	1	0,12 ^{ns}	0,122 [*]	1,135 [*]	2,72.10 ⁻³ ^{ns}	3,42 [*]	0,371 ^{ns}
P vs. K	1	2,02 ^{ns}	0,069 ^{ns}	0,599 [.]	9,35.10 ⁻³ [*]	0,42 ^{ns}	13,937 [*]

FV: Fator de variação, GL: Grau de liberdade, N: Dose de nitrogênio, P: Dose de fósforo, K: Dose de potássio, ns: não significativo, '***': significativo a 0.001, '**': significativo a 0.01, '*': significativo a 0.05, '.' : significativo a 0.1 e '.' 1 pelo teste "F".

Para o teor de vitamina C, não foram observados efeitos significativos dos tratamentos (Tabela 9), indicando que a biossíntese de ácido ascórbico não foi influenciada pelas variações nas doses de N, P e K. Esse resultado sugere que a concentração de vitamina C é predominantemente controlada por fatores genéticos e condições ambientais, como radiação e temperatura, sendo pouco responsiva à adubação mineral nas condições experimentais (ADEKIYA *et al.*, 2019). Além disso, a estabilidade desse composto pode estar associada a mecanismos metabólicos regulatórios que mantêm sua concentração relativamente constante nos frutos, independentemente da disponibilidade nutricional (PORTELA *et al.*, 2012).

Já os modelos de superfície de resposta ajustados para as variáveis pH,

sólidos solúveis (SS), acidez total titulável (ATT), açúcares solúveis totais (AST) e relação sólidos solúveis e acidez titulável (SS/AT) dos frutos de pimenteira-de-cheiro permitiram, identificar os efeitos lineares, quadráticos e de interação entre os nutrientes sobre os atributos de qualidade dos frutos (Tabela 14).

Tabela 14. Superfície de resposta à adubação com N, P e K, expressa pelo pH, sólidos solúveis (SS), acidez total titulável (ATT), açúcares solúveis totais (AST) e pela relação sólidos solúveis/acidez total (SS/AT) em frutos de *C. chinense* cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.

Variáveis	Superfície de resposta	R ²	CV(%)
pH	$\hat{Y}_{ph} = 5,5068 - 1,5284.10^{-4}N^* - 5,1535.10^{-4}P^* - 3,0500.10^{-4}K + 2,8103.10^{-7}N^2 + 1,4335.10^{-6}P^2 + 5,0510.10^{-7}K^2 - 1,1229.10^{-6}NP + 3,5395.10^{-6}NK^* - 8,7777.10^{-7}PK$	0,29	3,10
SS	$\hat{Y}_{SS} = 5,0504 - 5,6367.10^{-3}N - 1,1725.10^{-3}P^* - 4,5870.10^{-4}K + 7,6227.10^{-6}N^{2*} + 1,3001.10^{-6}P^2 + 2,1327.10^{-7}K^2 + 2,4658.10^{-7}NP^* + 4,3458.10^{-6}NK^* - 2,8422.10^{-6}PK^{**}$	0,37	8,76
ATT	$\hat{Y}_{ATT} = 3,6472 - 2,5631.10^{-4}N^{**} + 3,5445.10^{-7}N^2 - 5,2671.10^{-5}P + 6,7839.10^{-7}P^{2**} - 9,0192.10^{-5}K^* + 1,1458.10^{-7}K^2 - 2,3680.10^{-7}NP + 2,7844.10^{-7}NK - 3,5491.10^{-7}PK^*$	0,25	10,33
AST	$\hat{Y}_{AST} = 5,8523 - 8,5032.10^{-3}N - 3,1119.10^{-3}P^* - 4,3912.10^{-3}K + 1,5674.10^{-5}N^{2*} + 7,9112.10^{-6}P^{2*} + 4,6811.10^{-6}K^2 - 1,4904.10^{-5}NP^* + 5,3140.10^{-6}NK^* + 2,3887.10^{-6}PK$	40,62	14,81
SS/AT	$\hat{Y}_{SS/AT} = 1,390 - 2,8552.10^{-3}N^* - 7,9368.10^{-3}P + 2,1025.10^{-3}K + 7,0358.10^{-6}N^2 + 2,4567.10^{-6}P^2 - 7,0565.10^{-6}K^2 + 1,0960.10^{-5}NP - 6,1625.10^{-6}NK + 1,3700.10^{-5}PK^*$	0,22	12,89

***: significativo a 0.001, **: significativo a 0.01, *: significativo a 0.05, .: significativo a 0.1 e ' 1 pelo teste "F".

Assim como para atributos biométricos e produtivos, a dose na máxima eficiência física (DMEF) e a dose na máxima eficiência econômica (DMEE) para N, P e K, bem como a produção na máxima eficiência física (PMEF) e a produção na máxima eficiência econômica (PMEE) para os atributos pós-colheita foram obtidas com base nas equações de superfície de resposta ajustadas para cada atributo, permitindo a caracterização da resposta da cv. Lupita a adubação mineral nesses atributos.

Tratando-se do pH, a análise de regressão mostrou efeito significativo dos fatores lineares N e P, bem como da interação N vs K sobre este atributo, indicando influência da interação entre N vs K, além da ação isolada de N e P (Figura 11). Os demais termos da regressão não apresentaram significância, permitindo inferir que o pH não responde ao incremento isolado de nutrientes, mas à ação conjunta no metabolismo da planta e posterior composição dos frutos.

Neste caso, o aumento linear do pH com as doses de N e P pode estar

associado à redução relativa da acidez orgânica nos frutos, uma vez que o N favorece a síntese de compostos nitrogenados em detrimento de ácidos orgânicos, enquanto o P atua no metabolismo energético, promovendo eficiência na utilização de carboidratos e redução da acumulação de ácidos (NASUTION, 2024).

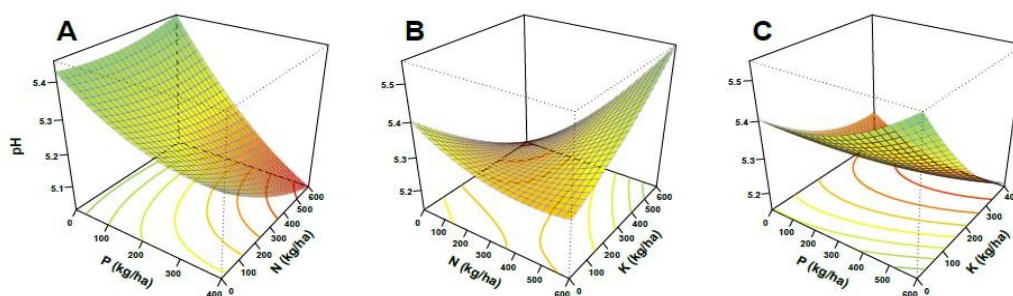


Figura 11. Representação da superfície de resposta para o efeito da interação entre N, P e N vs K sobre o pH dos frutos de *C. chinense* cv. Lupita.

Na interação N vs K (Figura 11B) é possível verificar uma região de menor pH nas doses intermediárias dos nutrientes, seguida de aumento nos valores em condições submetidas às maiores doses da combinação, permitindo inferir que o efeito do N sobre o pH depende dos teores de K no sistema solo-planta. Desta forma, verifica-se que a interação N vs K indica que o equilíbrio nutricional foi determinante para a composição química dos frutos e para a manutenção deste atributo pós-colheita. De acordo com Juventino *et al.* (2021), o ajuste do pH resulta de uma interação entre processos de síntese, degradação e redistribuição de compostos orgânicos, o que reforça a importância do equilíbrio nutricional.

A Tabela 15 apresenta as doses estimadas para DMEF e DMEE de N, P e K para a obtenção da PMEF e PMEE do pH dos frutos de *C. chinense* cv. Lupita em resposta à adubação com N, P e K. Para este atributo, verifica-se que os valores para DMEF do pH foram 271,93 kg ha⁻¹ de N, 179,75 kg ha⁻¹ de P e 301,92 kg ha⁻¹ de K, com a PMEF de 5,59, 5,57 e 4,61, respectivamente, indicando que o pH dos frutos de *C. chinense* cv. Lupita respondeu de forma distinta aos nutrientes, com maiores valores associados principalmente ao N e ao P.

Tabela 15. Valores de N, P e K correspondentes a DMEF e DMEE e estimativas de PMEE e PMEF de pH em frutos de *C. chinense* cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.

Variável	Nutriente	DMEF (t ha ⁻¹)	DMEE (t ha ⁻¹)	PMEF	PMEE
pH	N	271,93	244,73	5,59	5,03
	P	179,75	161,77	5,57	5,01
	K	301,92	271,72	4,61	4,15

DMEF: dose na máxima eficiência física, DMEE: dose na máxima eficiência econômica, PMEF: produção na máxima eficiência física, PMEE: produção na máxima eficiência econômica.

Em pimenta habanero (*C. chinense*), Núñez-Ramírez *et al.* (2011) observaram pH entre 5,72 e 6,41 sob doses de 32 a 320 kg ha⁻¹ de N. Assim, os valores obtidos neste estudo para N e P, próximos a 5,6, estão abaixo da faixa relatada para pimenta habanero pelos autores. Em *C. annuum*, Nahida *et al.* (2024) verificaram aumento do pH dos frutos com a elevação das doses de N, variando de 5,19 no tratamento sem N para 6,29 com 145 kg ha⁻¹ de N, indicando que a resposta do pH pode estar relacionada ao genótipo, espécie, ambiente de cultivo e interação com P e K.

Para o K, a DMEF estimada foi 301,92 kg ha⁻¹, com pH de 4,61, inferior ao observado para N e P, sugerindo que o K de forma isolada não favoreceu a elevação do pH, embora seja reconhecido como nutriente importante para a qualidade e composição química dos frutos (MARSCHNER, 1995).

Em tomateiro industrial (*S. lycopersicum*), Fanasca *et al.* (2006) verificaram que maiores concentrações potássicas na solução nutritiva reduziram levemente o pH dos frutos, mantendo valores entre 4,2 e 4,5, faixa típica para tomate industrial, levemente abaixo do obtido neste trabalho. Aminifard *et al.* (2012), avaliando doses de K em pimentão cultivado em ambiente protegido, não observaram incrementos expressivos no pH, que permaneceu próximo de 4,7 a 5,0 entre os tratamentos, comportamento atribuído pelos autores à maior translocação de açúcares e ao metabolismo dos ácidos orgânicos induzido pelo K.

Para os SS, observou-se efeito linear significativo do P e efeito quadrático do N, além de interações significativas entre N vs P e N vs K. O incremento linear de SS com o aumento das doses de P pode ser explicado pelo papel desse nutriente na produção e translocação de fotoassimilados, especialmente açúcares, que constituem a principal fração dos sólidos solúveis (AHAMED *et*

al., 2019).

O padrão de resposta quadrático do N (Figura 12) indica que há um ponto ótimo de concentração, no qual a síntese de açúcares é maximizada; acima desse nível, o excesso de N pode direcionar o metabolismo para crescimento vegetativo, reduzindo a acumulação de carboidratos nos frutos (SAN-MARTÍN-HERNÁNDEZ *et al.*, 2022). As interações N vs P e N vs K evidenciam que o acúmulo de açúcares depende do balanço entre síntese (associada ao N), energia metabólica (P) e transporte de assimilados (K), reforçando a natureza integrada do metabolismo de carboidratos (ZHANG *et al.*, 2023).

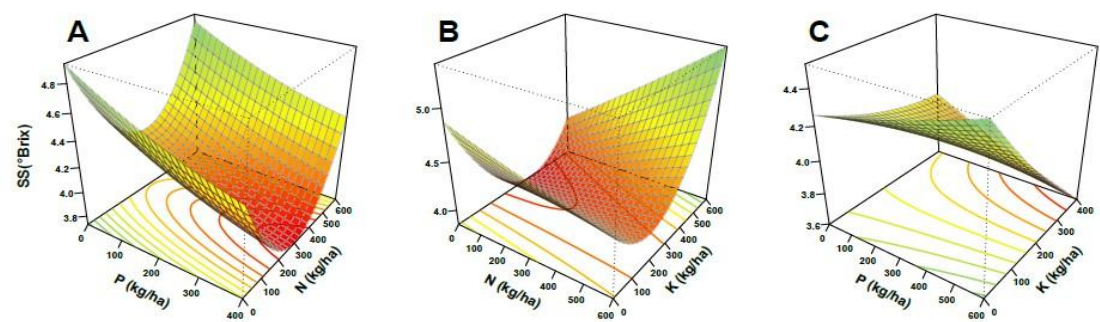


Figura 12. Representação da superfície de resposta para o efeito da interação entre N, P e K no teor de sólidos solúveis em frutos de *C. chinense* cv. Lupita.

Os SS dos frutos de *C. chinense* cv. Lupita responderam de forma diferenciada à adubação com N, P e K. A maior resposta foi em função da adubação potássica, cuja DMEF correspondeu a 456,05 kg ha⁻¹, resultando em PMEF de 4,79 °Brix de SS. Em seguida, destacaram-se as doses de N e P, com DMEF de 369,73 e 254,88 kg ha⁻¹, com SS estimados em 4,38 e 4,06 °Brix, respectivamente (Tabela 16). Esses resultados indicam que, nas condições do experimento, o K foi o nutriente com maior contribuição estimada para o SS nos frutos, coerente com sua função no transporte de fotoassimilados e no enchimento de frutos (MARSHNER, 1995).

Tabela 16. Valores de N, P e K correspondentes a DMEF e DMEE e estimativas de PMEE e PMEF de SS em frutos de *C. chinense* cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.

Variável	Nutriente	DMEF	DMEE	PMEF (°Brix)	PMEE (°Brix)
SS	N	369,73	332,75	4,38	3,94
	P	254,88	229,39	4,06	3,65
	K	456,05	410,85	4,79	4,31

DMEF: dose na máxima eficiência física, DMEE: dose na máxima eficiência econômica, PMEF: produção na máxima eficiência física, PMEE: produção na máxima eficiência econômica.

Em tomateiro, Leogrande *et al.* (2014) relataram valor máximo de 6,5 °Brix sob manejo com irrigação e fertilização orgânica, superior aos valores observados na cv. Lupita. Essa diferença é esperada, pois o tomate possui maior acúmulo natural de açúcares solúveis em comparação a muitas pimentas. Em trabalho com *Capsicum*, Paulus *et al.* (2017), avaliando pimenta em diferentes épocas de colheita, observaram valor máximo de 9,92 °Brix, superior ao obtido neste experimento para a cv. Lupita, indicando que o teor de SS é dependente do genótipo e do estágio de maturação.

Ao estudar germoplasma de berinjela, Kadoglidou *et al.* (2022) encontraram média de 2,31 °Brix, com variação de 1,25 a 4,65 °Brix, valores próximos aos obtidos neste ensaio para *C. chinense* cv. Lupita, especialmente para N e P, sugerindo que os SS estimados neste trabalho estão em faixa agronomicamente plausível para frutos de solanáceas não doces. Rufa'i *et al.* (2025), em estudo com *C. annuum*, verificaram que a adubação potássica elevou os SS de 1,22 para 3,76 °Brix, valor inferior ao máximo estimado para K neste experimento.

A ATT apresentou efeito linear significativo para N e K e efeito quadrático para P, além de interação significativa entre $P \times K$ (Figura 13). O aumento linear da acidez com N pode estar relacionado à intensificação do metabolismo respiratório e à maior produção de ácidos orgânicos intermediários, enquanto o efeito do K pode ser associado à sua função na regulação osmótica e no acúmulo de solutos orgânicos (SAKIYAMA, 1965).

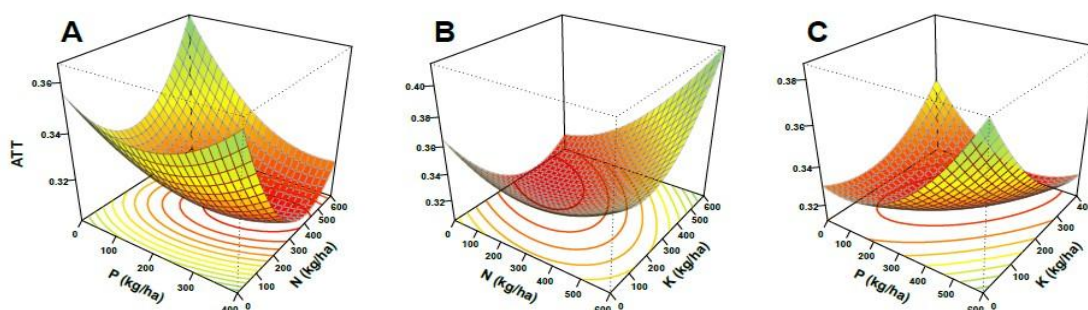


Figura 13. Representação da superfície de resposta para o efeito da interação entre N, P e K sobre a acidez total titulável de frutos de *C. chinense* cv. Lupita.

O comportamento quadrático do P indica que há um nível ótimo para a

síntese e acúmulo de ácidos, acima dos quais ocorre redução, possivelmente devido ao redirecionamento metabólico para outras vias bioquímicas (DAVIES, 1964). A interação $P \times K$ sugere que o efeito do P na acidez é condicionado pela disponibilidade de K, especialmente no que se refere ao transporte e armazenamento de ácidos orgânicos nos vacúolos celulares (DAVIES, 1964; SAKIYAMA, 1965).

Os resultados observados na Tabela 13 demonstram que os valores obtidos para ATT em frutos de *C. chinense* cv. Lupita variaram entre 0,32 e 0,36% de ácido cítrico e ocorreram sob as doses mais elevadas de N, P e K, com DMEF variando de 361,56 a 393,58 kg ha⁻¹. Entre os nutrientes avaliados, o N promoveu os maiores percentuais de ATT nos frutos de *C. chinense*, sugerindo que acúmulo de ácidos orgânicos responde à maior disponibilidade de N.

Tabela 17. Valores de N, P e K correspondentes a DMEF e DMEE e estimativas de PMEE e PMEF de ATT em frutos de *C. chinense* cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.

Variável	Nutriente	DMEF	DMEE	PMEF (% de ácido cítrico)	PMEE (% de ácido cítrico)
ATT	N	361,56	325,41	0,36	0,32
	P	388,24	349,41	0,34	0,30
	K	393,58	354,22	0,32	0,28

DMEF: dose na máxima eficiência física, DMEE: dose na máxima eficiência econômica, PMEF: produção na máxima eficiência física, PMEE: produção na máxima eficiência econômica.

Em habanero (*C. chinense*), Núñez-Ramírez *et al.* (2011) também verificaram aumento da ATT em função da adubação com N, registrando valores de 0,1170 g de ácido cítrico 100 g⁻¹ de polpa sob 32 kg ha⁻¹ de N e 0,2285 g de ácido cítrico 100 g⁻¹ de polpa sob 320 kg ha⁻¹ de N, resultados inferiores aos observados neste estudo. Santana *et al.* (2020), avaliando germoplasma amazônico da espécie, encontraram ATT variando entre 0,1 e 0,5 g de ácido cítrico 100 g⁻¹ de polpa, com média próxima de 0,20 g de ácido cítrico 100 g⁻¹ de polpa, média inferior à encontrada neste ensaio.

Oliveira *et al.* (2015) verificaram em trabalho com *C. annuum* que diferentes manejos de fertirrigação com N e K resultaram em ATT média próxima de 0,33%, valor semelhante ao observado neste experimento. Em tomateiro (*S. lycopersicum*), Fanasca *et al.* (2006) também observaram aumento da ATT em resposta a adubação com K, com valores entre 0,31 e 0,45% de ácido cítrico, dentro da faixa obtida neste estudo, corroborando a hipótese de que espécies

da família Solanaceae apresentam respostas semelhantes quanto à influência da adubação mineral sobre a ATT dos frutos, demonstrando coerência entre resultados obtidos neste trabalho e a literatura.

Para açúcares solúveis totais (AST), verificaram-se efeitos quadráticos significativos para N e P, além de interações significativas entre $N \times P$ e $P \times K$ (Figura 14). O comportamento quadrático indica a existência de níveis ótimos desses nutrientes para maximização da síntese e acúmulo de açúcares, sendo que tanto a deficiência quanto o excesso podem comprometer a eficiência metabólica (WU *et al.*, 2021).

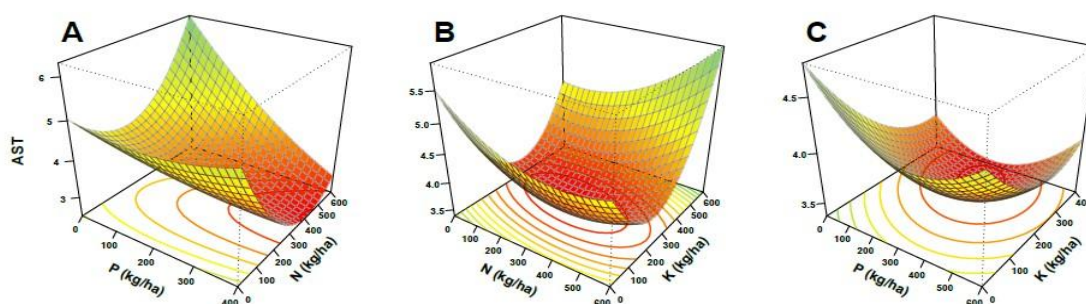


Figura 14. Representação da superfície de resposta para o efeito da interação entre N, P e K no teor de açúcares solúveis totais em frutos de *C. chinense* cv. Lupita.

O N, em níveis moderados, favorece a atividade fotossintética, enquanto o P assegura o suprimento energético necessário para a síntese de carboidratos (LI *et al.*, 2023). As interações observadas indicam que o equilíbrio entre esses nutrientes é essencial para a regulação da partição de assimilados, enquanto o K atua na translocação e no armazenamento desses compostos (SHABBIR *et al.*, 2015).

Verifica-se que os maiores valores observados para AST nos frutos de *C. chinense* ocorreram sob adubação potássica na DMEF de 469,04 kg ha⁻¹ de K, com PMEFA de AST de 4,75 g 100 g⁻¹ em frutos de *C. chinense*. Também é possível valor PMEFA de 4,21 e 3,55 g 100 g⁻¹ nos mesmos frutos sob as DMEF de 271,25 kg ha⁻¹ de N e 196,68 kg ha⁻¹ de P, respectivamente (Tabela 18).

Tabela 18. Valores de N, P e K correspondentes a DMEF e DMEE e estimativas de PMEE e PMEF de AST em frutos de *C. chinense* cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.

Variável	Nutriente	DMEF	DMEE	PMEF (g 100 g ⁻¹)	PMEE (g 100 g ⁻¹)
AST	N	271,25	244,12	4,21	3,78
	P	196,68	177,12	3,55	3,19
	K	469,04	468,14	4,75	4,27

DMEF: dose na máxima eficiência física, DMEE: dose na máxima eficiência econômica, PMEF: produção na máxima eficiência física, PMEE: produção na máxima eficiência econômica.

Os valores obtidos neste experimento utilizando a cv. Lupita são superiores aos descritos por Jarret *et al.* (2009), que avaliaram 216 acessos de *C. chinense* e observaram AST entre 198 e 1543 mg 100 g⁻¹ de massa fresca, equivalente a aproximadamente 0,20 a 1,54% de AST, indicando que a cv. Lupita apresentou maior acúmulo de açúcares, especialmente sob adubação potássica, o que pode estar associado ao papel do K na translocação de fotoassimilados e no carregamento de açúcares para os frutos (MARSHNER, 1995).

Em tomateiro, Wu *et al.* (2023) verificaram que a aplicação de K aumentou o percentual de AST, atribuindo o efeito ao maior metabolismo e transporte de sacarose para os frutos, o que sustenta a maior AST observada sob K na cv. Lupita. Em berinjela, Oliveira *et al.* (2019) não avaliaram AST diretamente, mas reportaram SS médios de 5,5 °Brix, variável correlata ao conteúdo de açúcares, indicando que frutos de solanáceas tendem a apresentar acúmulo moderado de solutos, próximo ao observado para a cv. Lupita.

A relação SS/AT, indicador importante do equilíbrio entre doçura e acidez dos frutos, apresentou efeito linear significativo para o N e interação significativa entre P × K (Figura 15).

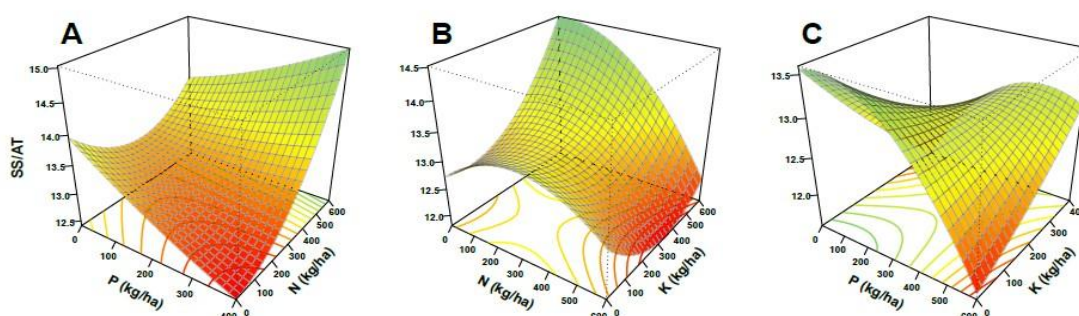


Figura 15. Representação da superfície de resposta para o efeito da interação entre N, P e K na relação sólidos solúveis/acidez total em frutos de *C. chinense* cv. Lupita.

O aumento linear da relação SS/AT com N sugere que esse nutriente favorece a predominância de compostos solúveis em relação aos ácidos orgânicos. A interação entre P e K indica que o balanço entre açúcares e ácidos depende da atuação conjunta desses nutrientes.

Neste contexto, verifica-se que o efeito do K sobre a relação SS/AT aumenta à medida que o P se encontra em níveis adequados (Figura 15). De acordo com Aluko *et al.* (2022), níveis adequados de P favorecem a geração de energia metabólica, enquanto o K regula o transporte e o acúmulo de solutos nos frutos. Desta forma, observa-se o sinergismo nutricional entre P e K no incremento da relação SS/AT, permitindo afirmar que frutos mais doces tendem a ser obtidos sob adubação equilibrada, e não apenas pelo incremento das doses de K.

Observa-se que os maiores valores para a relação SS/AT foram obtidos com N e K, cujas DMEF corresponderam a 202,91 e 259,15 kg ha⁻¹, resultando na PMEF da relação SS/AT de 4,10 e 4,26, respectivamente (Tabela 19). Em contrapartida, o P apresentou DMEF de 614,62 kg ha⁻¹, porém, com relação SS/AT de 1,95, valor inferior ao obtido por N e K, indicando que doses elevadas de P favoreceram proporcionalmente o aumento da acidez em relação ao acúmulo de sólidos solúveis.

Tabela 19. Valores de N, P e K correspondentes a DMEF e DMEE e estimativas de PMEE e PMEF de SS/AT em frutos de *C. chinense* cv. Lupita submetidos à adubação com diferentes combinações de N, P e K.

Variável	Nutriente	DMEF	DMEE	PMEF	PMEE
SS/AT	N	202,91	182,61	4,10	3,69
	P	614,62	553,15	1,95	1,76
	K	259,15	233,23	4,26	3,83

DMEF: dose na máxima eficiência física, DMEE: dose na máxima eficiência econômica, PMEF: produção na máxima eficiência física, PMEE: produção na máxima eficiência econômica.

Fanasca *et al.* (2006) também relataram que o incremento de K elevou SS, aumentando a qualidade sensorial dos frutos de tomate industrial. Esses resultados corroboram o comportamento observado neste estudo, especialmente para o K, que proporcionou a maior relação SS/AT de 4,26. Em *C. annuum*, Oliveira *et al.* (2015) observaram que o aumento das doses de N e K alterou significativamente os SS e a ATT dos frutos, influenciando diretamente a relação SS/AT. Os autores verificaram SS entre 4,9 e 6,3 °Brix e ATT próxima

de 0,33%, resultando em relações SS/AT estimadas entre 14 e 19, superiores às observadas para a cv. Lupita.

Reis *et al.* (2022), trabalhando com pimentas comercializadas na Amazônia, relataram SS próximos de 5,2 °Brix e ATT média de 0,24%, indicando relação SS/AT estimada superior a 20, valores superiores aos obtidos neste estudo foram menores, sugerindo que a *C. chinense* cv. Lupita apresentou maior predominância relativa da acidez sobre os sólidos solúveis, especialmente sob elevadas doses de P.

De forma integrada, os resultados demonstram que os atributos pós-colheita de *C. chinense* são fortemente influenciados pelo equilíbrio nutricional de N e P e por respostas quadráticas frequentemente relacionadas ao K e ao N. As interações significativas evidenciam que a qualidade dos frutos não é determinada por efeitos isolados de nutrientes, mas sim por uma rede de processos metabólicos interdependentes, envolvendo síntese, transporte e armazenamento de compostos orgânicos.

Esses achados reforçam a necessidade de estratégias de manejo nutricional baseadas no balanço entre nutrientes, especialmente em sistemas tropicais, onde a dinâmica do solo e a eficiência de uso de nutrientes desempenham papel determinante na qualidade final da produção.

Por fim, conclui-se que *C. chinense* cv. Lupita cultivada em Latossolo Amarelo Distrófico da Amazônia Central apresenta respostas à adubação com N, P e K fortemente dependentes do equilíbrio nutricional entre os nutrientes, com destaque para a interação N vs K na produção de MFF.

Não houve efeito das doses sobre o ACma e ACmi nos frutos, indicando estabilidade na composição mineral. Com isso, pode-se inferir que os níveis de fertilidade originalmente presentes no solo, somados às doses fornecidas, foram suficientes para suprir a demanda metabólica da cultura, sem provocar alterações expressivas na composição mineral dos frutos, impactando mais intensamente atributos produtivos do que os teores de macro e micronutrientes na pimenta-de-cheiro.

Em contrapartida, os atributos biométricos e produtivos foram sensíveis às doses e, principalmente, às interações entre N, P e K, evidenciando que o crescimento e a produção resultam de processos metabólicos integrados. Destaca-se o papel do N e do P com respostas predominantemente lineares, enquanto o potássio apresentou comportamento quadrático, indicando faixas ótimas de atuação.

Para os atributos pós-colheita, observou-se influência significativa da adubação sobre variáveis relacionadas ao metabolismo de carbono, com destaque para pH, sólidos solúveis, acidez e açúcares, enquanto a vitamina C manteve-se estável. Assim, o manejo nutricional da cultura deve priorizar o equilíbrio entre N, P e K, visando maximizar a produtividade e a qualidade dos frutos, com potencial para a otimização do uso de fertilizantes em condições tropicais.

6.0 CONCLUSÕES

- Em atributos pós-colheita, o fósforo interferiu no pH e nos sólidos solúveis, ao passo que o potássio influenciou a acidez total titulável.
- Não houve efeito significativo das diferentes combinações de nitrogênio, fósforo e potássio sobre o acúmulo de macro e micronutrientes nos frutos de *C. chinense* cv. Lupita.
- As doses ótimas de nitrogênio, fósforo e potássio na máxima eficiência econômica para massa fresca de frutos em *C. chinense* cv. Lupita são: 283,16 kg de N ha⁻¹, 251,11 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e 366,83 kg de K₂O ha⁻¹.
- A produtividade de massa fresca de frutos na máxima eficiência econômica obtida com as doses ótimas de nitrogênio, fósforo e potássio é de 578,01 g planta⁻¹, 343,49 g planta⁻¹ e 660,63 g planta⁻¹, respectivamente.

7.0 REFERÊNCIAS

- ABREU JUNIOR, C. H. et al. Relationship between acidity and chemical properties of Brazilian soils. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 2, p. 337-343, 2003.
- ADEKIYA, A. O. et al. Green manures and NPK fertilizer effects on soil properties, growth, yield, mineral and vitamin C composition of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, Riyadh, v. 18, n. 2, p. 218-223, 2019.
- AGUILAR, C. C. C. et al. Rendimiento de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con el uso de diferentes niveles de NPK: niveles de fertilización en chile habanero. **Revista Bio Ciencias**, Tepic, v. 11, 2024.
- AHAMED, A. A.; ABDALLA, A. M. S. Effect of salinity and NPK fertilizer on the total soluble solids (TSS) and N, P and K in tomato plants (*Lycopersicon esculentum* L.). **International Journal of Academic Multidisciplinary Research (IJAMR)**, v. 3, n. 2, p. 38-42, 2019.
- AHMAD, I.; MAATHUIS, F. J. M. Cellular and tissue distribution of potassium: physiological relevance, mechanisms and regulation. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 171, n. 9, p. 708-714, 2014.
- ALABI, E. O. **Effect of phosphorus and poultry manure rate on the growth and yield of habanero pepper (*Capsicum chinense* L.)**. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculty of Agriculture, Department of Agronomy, Ahmadu Bello University, Zaria, 2018.
- ALABI, E. O.; AYODELE, O. J. Growth and fruit yield responses and proximate composition of hot pepper (*Capsicum annum* L.; Rodo variety) to potassium fertilizer application at Ado-Ekiti, Nigeria. **Journal of Experimental Agriculture International**, 2021.
- ALBERTS, A. et al. M. Vitamin C: a comprehensive review of its role in health, disease prevention, and therapeutic potential. **Molecules**, Basel, v. 30, n. 3, p. 748, 2025.
- ALMANZA-MERCHÁN, P. J. et al. Fruit growth characterization of the tomato (*Solanum lycopersicum* L.) hybrid 'Ichiban' grown under cover. **Agronomía Colombiana**, Bogotá, v. 34, p. 155-162, 2016.
- ALMEIDA, B. M. et al. Pimentas *Capsicum* L.: aspectos botânicos, centro de origem, diversificação e domesticação, importância socioeconômica e propriedades terapêuticas (Parte I). In: MATOS, R. R. S. da S.; LEITE, M. R. L.; MACHADO, N. A. F. (org.). **As vicissitudes da pesquisa e da teoria nas ciências agrárias**. 1. ed. Ponta Grossa: Atena, 2020. p. 33-47.
- ALUKO, O. O. et al. Differential effects of ammonium (NH₄⁺) and potassium (K⁺) nutrition on photoassimilate partitioning and growth of tobacco seedlings. **Plants**, Basel, v. 11, n. 23, p. 3295, 2022.

ALVARADO-CAMARILLO, D. et al. Balance and concentration of nitrogen and potassium affect growth and nutrient status in soilless cultivated lisianthus. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science**, London, v. 68, n. 6, p. 496-504, 2018.

AMINIFARD, M. H. et al. Effect of nitrogen fertilizer on vegetative and reproductive growth of pepper plants under field conditions. **Journal of Plant Nutrition**, London, v. 35, n. 2, p. 235-242, 2012 (a).

AMINIFARD, M. H. et al. Effect of plant density and nitrogen fertilizer on growth, yield and fruit quality of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). **African Journal of Agricultural Research**, v. 7, n. 6, p. 859-866, 2012 (b).

ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP - APG III. An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 161, n. 2, p. 105-121, 2009.

ARAÚJO, A. P. de. **Produção, qualidade e efeitos microclimáticos no cultivo de tomate industrial em diferentes coberturas do solo no município de Baraúna, RN**. 2011. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2011.

ARLINDO, D. M. **Armazenabilidade de pimentão em pó**. 2005. 89 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2005.

ASSIS, R. B. D. et al. Responses of sunflower biomass subjected to different water replacements and NPK sources. **Cerrado: Agricultural and Biological Research**, v. 2, n. 3, p. 1-8, 2025.

ATHERTON, J. G.; RUDICH, J. **The tomato crop: a scientific basis for improvement**. New York: Springer, 2013.

AYODELE, O. J.; ALABI, E. O.; ALUKO, M. Nitrogen fertilizer effects on growth, yield and chemical composition of hot pepper (Rodo). **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v. 8, n. 5, p. 666-673, 2015.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis of AOAC International**. 21. ed. Rockville: AOAC International, 2019.

BAAS-ESPINOLA, F. M. et al. Capsaicin synthesis requires in situ phenylalanine and valine formation in vitro maintained placentas from *Capsicum chinense*. **Molecules**, Basel, v. 21, n. 6, p. 799, 2016.

BARBOZA, G. E. et al. Four new species of *Capsicum* (Solanaceae) from the tropical Andes and an update on the phylogeny of the genus. **PLOS ONE**, San Francisco, v. 14, n. 1, e0209792, 2019.

BATISTA, C. M. **Rendimento agronômico e qualidade pós-colheita de tomate industrial fertilizado com doses de nitrogênio, fósforo e potássio**. 2019. 61 f.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2019.

BATISTA, I. M. P. **Recomendação de calagem para alguns solos do Estado do Amazonas**. 2014. 37 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2014.

BÉLANGER, G. et al. Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for potato in eastern Canada. **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 78, p. 355-364, 2001.

BENITES, V. M. et al. Potássio, cálcio e magnésio. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 2010. p. 137-191.

BERNARDO, C. O. et al. Desenvolvimento de extrato de pimenta-biquinho como forma de conservação pós-colheita. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa, v. 5, n. 2, p. 29-37, 2015.

BILYERA, N. et al. Co-localised phosphorus mobilization processes in the rhizosphere of field-grown maize jointly contribute to plant nutrition. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 165, 2022.

BOARETTO, A. E.; MORAES, M. F. Contribuição da nutrição adequada para qualidade dos alimentos. In: PRADO, R. M. et al. (ed.). **Nutrição de plantas: diagnose foliar em hortaliças**. Jaboticabal: FCAV/CAPES/FAPESP/CNPq, 2010. p. 9-44.

BOITEUX, L. S.; FONSECA, M. E. N.; GONZÁLEZ-ARCOS, M. Melhoramento de tomate para processamento industrial. In: NICK, C.; BORÉM, A. (ed.). **Melhoramento de hortaliças**. Viçosa: UFV, 2016. p. 432-464.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BRAGA NETO, R. **Nutrição mineral em hortaliças: fundamentos e aplicações**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2020.

BRAGA, T. R. et al. Caracterização físico-química de progênies de pimentas (*Capsicum frutescens* L.). **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata, v. 112, p. 6-10, 2013.

BRAGA, T. R. et al. Caracterização físico-química de progênies de pimentas cultivadas em Sobral-CE. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 30, p. S6068-S6074, 2012.

BRASIL, E. C.; CRAVO, M. S.; VIÉGAS, I. J. **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará**. 2. ed. Brasília: Embrapa Amazônia Oriental, 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Fertilizantes 2050**. Brasília, DF, 2021. 195 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005**. Regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais. Brasília, 2005.

BRIDGEMOHAN, P.; MAHAMMED, M.; BRIDGEMOHAN, R. S. H. Capsicums. In: YAHIA, E. M. **Fruit and vegetable phytochemicals: chemistry and human health**. 2. ed. Querétaro: Wiley Blackwell, 2018.

BRITTO, D. T.; KRONZUCKER, H. J. NH_4^+ toxicity in higher plants: a critical review. **Journal of plant physiology**, v. 159, n. 6, p. 567-584, 2002.

BROWN, C. H.; CLEMENT, C. R.; EPPS, P.; LUEDELING, E.; WICHMANN, S. The paleobiolinguistics of domesticated chili pepper. **Ethnobiology Letters**, v. 4, n 1, p. 1-11, 2013.

CADES, M.; ANDRADE NETO, R. C.; ALMEIDA, U. O.; MAIA, E.; BARBOSA, A. Sólidos solúveis e acidez titulável de frutos de abacaxizeiro induzido aos 8 e 10 meses após o plantio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 23., 2014, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2014.

CAMPOS, M.; ANTONANGELO, J. A.; ALLEONI, L. R. F. Phosphorus sorption index in humid tropical soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 156, p. 110-118, mar. 2016.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. de; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 13, p. 769-850.

CANUTO, G. A. B.; XAVIER, A. A. O.; NEVES, L. C.; BENASSI, M. T. Caracterização físico-química de polpas de frutos da Amazônia e sua correlação com a atividade antirradical livre. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 1196-1205, dez. 2010.

CARDOSO, A. A. S. et al. Acúmulo de nutrientes e crescimento da pimenta-de-cheiro em função de doses de calcário. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 8, n. 2, p. [s.p.], 2014.

CARDOSO, A. D. et al. Características físico-químicas de batata em função de doses e fracionamentos de nitrogênio e potássio. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 40, n. 3, p. 567-575, 2017.

CARVALHO, A. V. et al. Mudanças nos compostos bioativos e atividade antioxidante de pimentas da região amazônica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, p. 399-408, 2014.

CARVALHO, S. I. C. et al. BRS Mari: nova cultivar de pimenta dedo-de-moça para processamento. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 4, p. 571-573, out./dez. 2009.

CAVALCANTE, R. A. et al. Crescimento e produção do pimentão amarelo com doses e fontes de potássio cultivado em ambiente protegido. **Pesquisa Agrária e Ambiental**, v. 7, p. 94-103, 2021.

CHAPLA, M. E. **Calagem superficial em área de plantio direto**. 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2017.

CHAVES, A. A. C.; FURTADO, S. C. Análise físico-química da pimenta-de-cheiro mantida em temperatura ambiente. **Nutrição Brasil**, v. 16, n. 4, p. 194-203, 2017.

CHEN, D. et al. Silicon moderated the K deficiency by improving the plant-water status in sorghum. **Scientific Reports**, London, v. 6, art. 22882, 2016.

CHEN, R. F. et al. Aluminium-phosphorus interactions in plants growing on acid soils: does phosphorus always alleviate aluminium toxicity? **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 92, n. 5, p. 995-1000, 2012.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005.

CORTINA, J. P.; SILVA, V. N. Cultivo de pimenta malagueta em vasos em ambiente protegido com diferentes fontes de nitrogênio. **Scientia Naturalis**, Rio Branco, v. 6, n. 1, 2024.

COSTA, C. A. et al. Produção e qualidade de frutos de pimenta em função de doses de nutrientes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 226-233, 2008.

COSTA, E. S. P. et al. Caracterização física, físico-química e morfoagronômica de acessos de tomate cereja sob cultivo orgânico. **Revista de Ciências Agrárias: Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Belém, v. 61, p. 1-7, 2018.

COSTA, F. S. et al. Fruit production and SPAD index of pepper (*Capsicum annuum* L.) under nitrogen fertilizer doses. **Australian Journal of Crop Science**, Brisbane, v. 12, n. 1, p. 11-15, 2018.

COSTA, L. C. B. et al. Efeito da adubação química e orgânica na produção de biomassa e óleo essencial em capim-limão [*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf.]. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Botucatu, v. 10, n. 1, p. 16-20, 2008.

CUNHA, J. F. et al. **Balanço de nutrientes na agricultura brasileira – 2009 a 2012**. Piracicaba: IPNI, 2014. (*Informações Agronômicas*, n. 145).

DA COSTA, C. H. M.; CRUSCIOL, C. A. C. Long-term effects of lime and phosphogypsum application on tropical no-till soybean–oat–sorghum rotation and soil chemical properties. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 74, p. 119-132, 2016.

DALY, A. B. et al. A holistic framework integrating plant-microbe-mineral regulation of soil bioavailable nitrogen. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 154, n. 2, p. 211-229, 2021.

DAMACENO, J. B. D. **Adsorção, cinética e disponibilidade de fósforo em Latossolo Amarelo e Gleissolo Háplico na Amazônia Central**. 2020. 94 f. Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2020.

DAVIES, J. N. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilisers on the non-volatile organic acids of tomato fruit. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 15, n. 10, p. 665-673, 1964.

DOMENICO, C. I. et al. Caracterização agronômica e pungência em pimenta-de-cheiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 3, p. 466-472, 2012.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006.

FAGERIA, V. D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 24, n. 8, p. 1269-1290, 2001.

FALCÃO, M. A.; SILVA, J. R. A. **Cultivo de pimenta na Amazônia**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2004.

FALCÃO, N. P. S.; BORGES, L. F. Efeito da fertilidade de terra preta de índio da Amazônia Central no estado nutricional e na produtividade do mamão havaí (*Carica papaya* L.). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 36, p. 401-406, 2006.

FANASCA, S. et al. Effect of nutrient concentration on tomato quality in soilless culture. **European Journal of Horticultural Science**, v. 71, n. 3, p. 118-122, 2006.

FAO. **The future of food and agriculture: trends and challenges**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017.

FAOSTAT. **Crops and livestock products: chillies and peppers, dry, raw**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022.

FARIA, A. F. et al. Capacidade de suprimento de potássio em solos de Minas Gerais – Brasil. **Spanish Journal of Soil Science**, Madrid, v. 2, n. 1, p. 26-37, 2012.

FERNANDES, L. A.; CATTELAN, M. G. Uso de ferramentas estatísticas para solucionar problemas na industrialização de molho de pimenta. **Revista Científica Unilago**, v. 1, n. 1, 2022.

FERREIRA, M. M. M. et al. Qualidade do tomate em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica em duas estações. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, p. 141-145, 2006.

FERREIRA, M. M. M.; OLIVEIRA, A. H. C. de; SANTOS, N. S. dos. Flavonas e flavonóis: novas descobertas sobre sua estrutura química e função biológica. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 2, n. 2, p. 57-60, 2010.

FIGUEIREDO, C. C. de; BARBOSA, D. V.; OLIVEIRA, S. A. de; FAGIOLI, M.; SATO, J. H. Adubo fosfatado revestido com polímero e calagem na produção e parâmetros morfológicos de milho. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 3, p. 446-452, 2012.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 4. ed. Viçosa, MG: UFV, 2020. 421 p.

FONTES, P. C. R.; DIAS, E. N.; GRAÇA, R. N. Acúmulo de nutrientes e método para estimar doses de nitrogênio e de potássio na fertirrigação do pimentão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, p. 275–280, abr./jun. 2005b.

FONTES, P. C. R.; DIAS, E. N.; SILVA, D. J. H. da. Dinâmica do crescimento, distribuição de matéria seca e produção de pimentão em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 94-99, jan./mar. 2005.

FONTES, P. C. R.; DIAS, E. N.; SILVA, D. J. H. Dinâmica do crescimento, distribuição de matéria seca e produção de pimentão em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, v. 23, n. 1, p. 94–99, 2005a.

FRAIFE FILHO, G. A. **Pimenta**. 1. ed. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 2010.

GALVÃO, J. C. C. et al. **Adubação e manejo de nutrientes em hortaliças**. Viçosa, MG: UFV, 2014.

GOMES, A. R. M. G. **Efeito de curto prazo do calcário incorporado ou aplicado em superfície associado a superfosfato simples**. 2023. 46 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia) – Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2023.

GOUTHAMI, B. et al. Growth parameters of *Capsicum* (*Capsicum annuum* var. *grossum* L.) as influenced by different nitrogen and potassium fertigation levels under poly house. **Bioscience, Farming and International Journal**, v. 14, n. 2, p. 1–8, 2019.

GUEDES, E. et al. Fontes de potássio para produção e qualidade de tomate cultivado em sistema orgânico em ambiente protegido. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 14, 2021.

GUIMARÃES, M. A. et al. Produtividade e sabor dos frutos de tomate do grupo salada em função de podas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, p. 32-38, 2008.

HAWKESFORD, M. et al. Functions of macronutrients: potassium. In: MARSCHNER, P. (ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012. p. 178-189.

HEINRICH, A. G. et al. Diversidade genética de *Capsicum chinense* na Amazônia. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 45, n. 2, p. 123-132, 2015.

IDAM – INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO AGROPECUÁRIO E FLORESTAL SUSTENTÁVEL DO ESTADO DO AMAZONAS. **Relatório de atividades**. Manaus, 2022. 57 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

ISTIQOMAH, N.; FIDIYAWATI, E.; PRAYITNO, A. Total root dry weight per soil volume in maize by application of organic fertilizer reducing use of N, P and K fertilizer on terraced land. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, Bristol, p. 012189, 2021.

JARRELL, W. M. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 34, p. 197-224, 1981.

JARRET, R. L.; BERKE, T.; BALDWIN, E. A.; ANTONIOUS, G. Variability for free sugars and organic acids in *Capsicum chinense*. **Chemistry & Biodiversity**, Zürich, v. 6, n. 2, p. 138-145, 2009.

JESUS, G. C. R. et al. Qualidade e produtividade de variedades botânicas de pimenta (*Capsicum chinense*) fora da região Amazônica, seu centro de diversificação. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 5, p. 32378-32389, 2020.

KARIKARI, B.; ARKORFUL, E.; ADDY, S. Growth, nodulation and yield response of cowpea to phosphorus fertilizer application in Ghana. **Journal of Agronomy**, v. 14, n. 4, p. 234-240, 2015.

KASPARI, M.; WELTI, E. A. R. Nutrient dilution and the future of herbivore populations. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 39, n. 9, p. 809-820, 2024.

KAUR, H. Forms of potassium in soil and their relationship with soil properties: a review. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 8, n. 10, p. 1580-1586, 2019.

KIM, E. H. et al. A comparison of the nutrient composition and statistical profile in red pepper fruits (*Capsicum annuum* L.) based on genetic and environmental factors. **Applied Biological Chemistry**, v. 62, p. 48, 2019.

KINRAIDE, T. B. Identity of the rhizotoxic aluminum species. **Plant and Soil**, v. 134, p. 167-178, 1991.

KOETZ, M. et al. Caracterização agrônômica e o °Brix em frutos de tomate industrial sob irrigação por gotejamento no sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 4, n. 1, p. 14-22, 2010.

LACERDA, M. N. et al. Caracterização física e físico-química de tomates orgânicos utilizando diferentes compostos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 24, p. 240-249, 2016.

LAMBERS, H. Aquisição e utilização do fósforo nas plantas. **Annual Review of Plant Biology**, v. 73, p. 17-42, 2022.

LANGE, D. F. Cycling of dissolved organic nutrients and indications for nutrient limitations in contrasting Amazon rainforest ecosystems. **Biogeochemistry**, v. 167, p. 1567-1588, 2024.

LEAL, A. P. F. **Avaliação das propriedades farmacológicas dos extratos brutos de duas variedades de *Capsicum chinense* Jacq.** 2012. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2012.

LEE, S. K.; KADER, A. A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biology and Technology**, v. 20, n. 3, p. 207-220, 2000.

LI, S. et al. Using mathematical models to study the influences of different ratios of chemical nitrogen, phosphorus, and potassium on the content of soluble protein, vitamin C, and soluble sugar in melon. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 20, n. 1, p. 283, 2022.

LIMA, H. N. **Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental.** 2001. 176 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

LIU, J. Y. et al. Nutrient allocation patterns in different aboveground organs at different reproductive stages of four introduced *Calligonum* species in a common garden in northwestern China. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, p. 1504216, 2024.

LIU, K. et al. Nitrogen, phosphorus, and potassium nutrient effects on grain filling and yield of high-yielding summer corn. **Journal of Plant Nutrition**, v. 34, n. 10, p. 1516-1531, 2011.

LIU, L. H. et al. Effects of UV-C, red light and sunlight on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during post-harvest storage. **Food Chemistry**, v. 115, p. 495-500, 2009.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo.** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1995. 177 p.

LORENZONI, M. Z. et al. Gas exchange, leaf and root dry mass in bell pepper under fertigation with nitrogen and potassium. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n. 2, p. 511-520, 2018.

LORENZONI, M. Z. **Resposta da cultura do pimentão fertirrigado no sistema de gotejamento com doses de nitrogênio e potássio em ambiente protegido.** 2016. 54 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016.

LORENZONI, M. Z. et al. Gas exchange, leaf and root dry mass in Bell Pepper under fertigation with nitrogen and potassium. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n. 2, p. 511–520, mar./abr. 2018

LUTZ, D. L.; FREITAS, S. C. Valor nutricional. In: RIBEIRO, C. S. C. et al. **Pimentas *Capsicum***. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2008. cap. 4, p. 31-38.

MACEDO, A. *Pimentas *Capsicum*: uma história de sucesso na cadeia produtiva de*

hortaliças. **Hortaliças em Revista**, Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, ano 4, n. 18, p. 1-8, out./dez. 2015.

MAGALHÃES, D. S. et al. Deficiencies of nitrogen, calcium, and micronutrients are the most limiting factors for growth and yield of smell pepper plants. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 70, n. 3, p. 125-135, 2023.

MAIA, M. A. M.; MARMO, J. L. **Geodiversidade do estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2010. 275 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MARANGON, C. et al. **Perfil químico, análise físico-química e atividade antioxidante de *Capsicum chinense* Jacq. (Solanaceae) cultivada na cidade de Boa Vista, Roraima**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2016.

MARQUELLI, W. A. et al. Frações ótimas da adubação com fósforo no pré-plantio e na fertirrigação por gotejamento de tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 10, p. 949-957, 2015.

MÁRQUEZ-GUERRERO, S. Y. et al. Leaf nutrient concentrations and dry biomass of fig plants as modified by the application of NPK: a preliminary study. **Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research**, v. 7, n. 4, p. 30-41, 2021.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012.

MARTINEZ, M. et al. Agronomic, physical-chemical and sensory evaluation of pepper hybrids (*Capsicum chinense* Jacquin). **Scientia Horticulturae**, v. 277, p. 109819, 2021.

MARTINEZ, R. A. et al. Produção e mercado de pimentas no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 59, n. 1, p. 1-15, 2021.

MARTINS, B. N. M. et al. Características físico-químicas de frutos de tomateiro em função de doses de fósforo na fase de mudas. **Revista Mirante**, v. 11, n. 7, p. 224-239, 2018.

MELO, A. S. et al. Produção e qualidade do pimentão amarelo sob níveis de potássio em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, p. 17-21, 2009.

MELO, V. F.; CASSOL, R. M. V.; PINTO, L. F. S. Reserva mineral do solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (org.). **Química e mineralogia do solo: parte 1**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 251-332.

MONACO, K. D. A. et al. Crescimento, produção e composição química de berinjela 'Ciça' sob fertirrigação potássica. **Horticultura Brasileira**, Botucatu, v. 21, n. 2, p. 1-8, maio/ago. 2016.

MOREIRA, A. et al. **Fertilizantes e corretivos de acidez do solo em pimenta-de-cheiro (*Capsicum chinense*) cultivada no estado do Amazonas (1ª aproximação)**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2010. 18 p.

MOREIRA, A.; GONÇALVES, J. R. P. Available phosphorus and potassium status of soils of Amazonas State. **Better Crops with Plant Food**, v. 90, p. 30-32, 2006.

MOREIRA, M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: UFLA, 2008.

MORENO-MALDONADO, M. et al. Varianza aditiva, heredabilidad y correlaciones en la variedad M1-Fitotecnia de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). **Revista Fitotecnia Mexicana**, v. 25, n. 3, p. 231-237, 2002.

MOTASIM, A. Md et al. Urea application in soil: processes, losses, and alternatives—A review. **Discover Agriculture**, v. 2, n. 1, p. 42, 2024.

NAHIDA, N. et al. Plant growth, fruit yield, and quality of capsicum (*Capsicum annuum* L.) as affected by nitrogen levels in the coastal soil of Bangladesh. **Khulna University Studies**, v. 21, n. 1, 2024.

NAKRO, A. et al. The effect of potassium–nitrogen balance on the yield and quality of strawberries grown under soilless conditions. **Horticulturae**, v. 9, n. 3, p. 304, 2023.

NANNETTI, D. C. **Nitrogênio e potássio aplicados via fertirrigação na produção, nutrição e pós-colheita do pimentão**. 2001. 184 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

NASCIMENTO, A. R. et al. Qualidade de tomates de mesa cultivados em sistema orgânico e convencional no estado de Goiás. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 4, p. 628-635, 2013.

NASCIMENTO, T. R. et al. Aceitabilidade e características físico-químicas de geleia de pimenta “dedo de moça” (*Capsicum baccatum*). **Revista Eletrônica Multidisciplinar de Investigação Científica**, Brasil, v. 2, n. 12, 2023.

NASCIMENTO, W. M. et al. Pimentas do gênero *Capsicum* no Brasil: diversidade e potencial. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 2, p. 123-130, 2007.

NASUTION, Y. Kajian pH tanah terhadap N, P, K buah salak Padangsidempuan (*Salacca sumatrana* Becc.) di Angkola Barat. **Jurnal AGROHITA: Jurnal Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Tapanuli Selatan**, v. 9, n. 2, p. 160, 2024.

NEITZKE, R. S. et al. Pimentas do gênero *Capsicum*: importância econômica e caracterização. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 20, n. 1, p. 1-10, 2014.

NEVES, L. C. (org.). **Manual pós-colheita da fruticultura brasileira**. 1. ed. Londrina: EDUEL, 2009. 494 p.

NEVES, L. C. et al. Bioactive compounds and descriptors analysis of six cultivars of *Capsicum* spp. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 15, 2021.

NOVAIS, R. F. et al. (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.

NUNES, M. T. **Capacidade máxima de adsorção, dessorção e frações inorgânicas de fósforo em solos do Amazonas**. 2024. 76 f. Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2024.

NÚÑEZ-RAMÍREZ, F. et al. Nitrogen fertilization effect on antioxidants compounds in fruits of habanero chili pepper. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 13, n. 5, p. 827-830, 2011.

OKA, J. M. **Crescimento e acúmulo de nutrientes em pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita, em Manaus, AM**. 2017. 113 f. Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.

OKE, M.; AHN, T.; SCHOFIELD, A.; PALIYATH, G. Effects of phosphorus fertilizer supplementation on processing quality and functional food ingredients in tomato. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 1531-1538, 2005.

OLIVEIRA, A. L. et al. Caracterização tecnológica de jabuticabas ‘Sabará’ provenientes de diferentes regiões de cultivo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 3, p. 397-400, 2003.

OLIVEIRA, F. A. **Cultivo de pimentão em ambiente protegido utilizando diferentes manejos de fertirrigação**. 2012. 222 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

OLIVEIRA, F. A. et al. Quality in the pepper under different fertigation managements and levels of nitrogen and potassium. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 4, p. 764-773, 2015.

OLIVEIRA, L. A. et al. Phosphate and potassium fertilization on agronomic and physico-chemical characteristics of eggplant fruits. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n. 4, p. 291-296, 2019.

OMARI, H. et al. Study of the phosphorus adsorption on the sediments. **Journal of Chemistry**, v. 1, p. 1-10, 2019.

PAULINO, R. D. C. **Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em pimentão adubado com doses de nitrogênio e fósforo**. 2016. 52 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016.

PEDÓ, T. A. et al. Produtividade e caracterização físico-química de pimentas submetidas a diferentes fontes e doses de adubação orgânica. **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata, v. 113, n. 2, p. 134-139, 2015.

PERALTA-CRUZ, C. et al. Modeling consumer satisfaction to identify drivers for liking: an online survey based on images of Habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). **Journal of Sensory Studies**, v. 36, n. 6, 2021.

PEREIRA, G. M. et al. Qualidade pós-colheita de pimentas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 3, p. 456-462, 2012.

PEREIRA-DIAS, L. et al. Genetic diversity and origin of *Capsicum chinense*. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 246, p. 107-118, 2019.

PÉREZ-ROMERO, J. et al. Effect of NPK fertilization on the chemical properties and bioactive compounds of the Cabezona pineapple fruit. **Agro Productividad**, 2021.

PINTO, C. M. F. et al. Qualidade e composição de pimentas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 2, p. 302-308, 2013.

PINTO, C. M. F.; PINTO, C. L. O.; DONZELES, S. M. L. *Capsicum*: propriedades químicas, nutricionais, farmacológicas e medicinais e seu potencial para o agronegócio. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 3, n. 2, p. 108-120, 2013.

PINTO, C. M. F. et al. **Cultivo de pimenta *Capsicum***. Viçosa: EPAMIG Sudeste, 2022. 24 p.

PORTELA, I. P.; PEIL, R. M.; ROMBALDI, C. V. Efeito da concentração de nutrientes no crescimento, produtividade e qualidade de morangos em hidroponia. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 266-273, 2012.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: UNESP, 2008.

PRADO, R. M.; NATALE, W.; CORRÊA, M. C. M.; BRAGHIROLI, L. F. Efeitos da aplicação de calcário no desenvolvimento, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 145-149, 2004.

PRECIADO-RANGEL, P. et al. Interactive effects of the potassium and nitrogen relationship on yield and quality of strawberry grown under soilless conditions. **Plants**, v. 9, n. 4, p. 441, 2020.

PUTRA, F. P.; ISMOYOJATI, R. Monitoring of maize root growth on N, P, and K fertilization using rhizotron. **Jurnal Ilmiah Pertanian**, v. 17, n. 2, p. 74-79, 2021.

QUEIROGA, T. B. et al. **Fisiologia do cultivo e da qualidade de pimentão vermelho submetido a lâminas de irrigação e adubações**. 2019. 87 f. Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2019.

QUEIROZ, A. G. **Revestimento à base de própolis no controle da antracnose (*Colletotrichum* sp.) em pós-colheita de frutos de pimentão (*Capsicum annuum* L.).** 2021. 78 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

QUESADA, C. A. et al. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. **Biogeosciences**, v. 8, n. 6, p. 1415-1440, 2011.

QUINTANA, R. C. **Influência da adubação no crescimento e desenvolvimento, potencial antioxidante e antimicrobiano em pimenta ‘Cayenne’ (*Capsicum annuum*).** 2020. 66 f. Dissertação (Mestrado em Olericultura) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Morrinhos, Morrinhos, 2020.

R CORE, TEAM. **R: A language and environment for statistical computing.** Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2025.

RADDATZ, N. et al. Coordinated transport of nitrate, potassium, and sodium. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 247, 2020.

RAIJ, B. Van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996.

RAVINDER, S. et al. Tomato fruit quality as influenced by different nutrient regimes. **Himachal Journal of Agricultural Research**, v. 25, p. 37-42, 2001.

RÊGO, E. R.; FINGER, F. L.; RÊGO, M. M. Consumption of pepper in Brazil and its implications on nutrition and health of humans and animals. In: SALAZAR, M. A.; ORTEGA, L. M. (ed.). **Peppers: nutrition, consumption and health.** New York: Nova Science Publishers, 2012. p. 159-170.

REHMAN, A. et al. Grain quality, nutrient use efficiency, and bioeconomics of maize under different sowing methods and NPK levels. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 71, n. 4, p. 586-593, 2011.

REIFSCHNEIDER, F. J. B. **Capsicum: pimentas e pimentões no Brasil.** Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Embrapa Hortaliças, 2000.

REIS, D. R. et al. Caracterização biométrica e físico-química de pimenta variedade biquinho. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 21, p. 454-461, 2015.

REIS, L. C. R. et al. Caracterização físico-química de pimentas do gênero *Capsicum* comercializadas na Amazônia. **Scientia Plena**, Aracaju, v. 18, n. 1, p. 1-10, 2022.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação.** Viçosa: CFSEMG, 1999.

SAN-MARTÍN-HERNÁNDEZ, C. et al. Tomato fruit quality between clusters is differentially affected by nitrogen and potassium supply. **Revista Fitotecnia Mexicana**, v. 45, n. 2, p. 183, 2022.

SANTANA, J. G. et al. Normas DRIS para interpretação de análises de folha e solo em laranja pêra na região central de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 2, p. 109-117, jun. 2004.

SANTANA, S. R. et al. Genetic diversity among *Capsicum chinense* Jacq. accessions from the Brazilian Amazon. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, Cluj-Napoca, v. 48, n. 4, p. 2198-2214, 2020.

SANTOS NETO, J. et al. Qualidade de frutos de tomateiro cultivado em sistema de produção orgânico e tratados com subprodutos de capim-limão. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 4, p. 633-642, out./dez. 2016.

SANTOS, B. C. et al. Estabilidade de pimentas malagueta (*Capsicum frutescens*) em conserva durante armazenamento à temperatura ambiente. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 56214-56231, 2020.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

SANTOS, M. L. A.; GONZALEZ, J.; VICENZI, R. Evaluation of antioxidant potential of organic vegetable during cold storage. **Brazilian Journal of Management**, v. 12, n. 1, p. 1145-1154, 2019.

SEABRA FILHO, M. **Manejo da supressão e das frequências de irrigação e da fertirrigação nitrogenada na cultura do girassol**. 2017. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

SHABBIR, R. N. et al. Supplemental exogenous NPK application alters biochemical processes to improve yield and drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 3, p. 2651-2662, 2016.

SHABNAM, R.; IQBAL, M. T. Understanding phosphorus dynamics on wheat plant under split-root system in alkaline soil. **Brazilian Journal of Science and Technology**, v. 3, n. 19, p. 1-16, 2016.

SHEN, J. B. et al. Phosphorus dynamics: from soil to plant. **Plant Physiology**, v. 156, n. 3, p. 997-1005, 2011.

SHUKLA, D.; RINEHART, C. A.; SAHI, S. V. Comprehensive study of excess phosphate response reveals ethylene mediated signaling that negatively regulates plant growth and development. **Scientific Reports**, v. 7, p. 3074, 2017.

SILVA, A. Z. **Sintomas de deficiências de macronutrientes em pimentão**. 2013. 53 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

SILVA, D. N. et al. M. Mineralogia e formas de potássio em dois latossolos do Estado do Paraná e suas relações com a disponibilidade para as plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 433-439, 1995.

SILVA, E. C.; ALVARENGA, P. P. M.; MACIEL, G. M. Avaliações físico-químicas de frutos de tomateiro em função de doses de potássio e nitrogênio. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 6, p. 1788-1795, nov./dez. 2013.

SILVA, E. S. et al. Variabilidade fenotípica em acessos de pimenta-de-cheiro (*Capsicum chinense*) na Amazônia Central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 57, e02813, 2022.

SILVA, J. D. **Produtividade e características físico-químicas de frutos de pimentões submetidos à aplicação de sacarose e biofertilizante**. 2021. 66 f. Tese (Doutorado em Horticultura) – Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, Botucatu, 2021.

SILVA, J. S. dos. **Qualidade pós-colheita do pimentão vermelho “Melina” sob cobertura de solo, adubação orgânica e mineral**. 2017. 52 f. Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

SILVA, L. Á. et al. Nitrogen differentially modulates photosynthesis, carbon allocation and yield related traits in two contrasting *Capsicum chinense* cultivars. **Plant Science**, Amsterdam, v. 283, p. 224-237, 2019.

SILVA, L. A. **Mudanças fisiológicas e metabólicas associadas a parâmetros relacionados à produtividade em pimenta (*Capsicum chinense*) influenciadas pelo suprimento de nitrogênio**. 2019. 176 f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

SINGH, R. et al. Nitrogen, phosphorus, and potassium uptake in rain-fed corn as affected by NPK fertilization. **Agronomy**, v. 13, n. 7, p. 1913, 2023.

SOARES, D. S. et al. Amadurecimento natural e artificial da banana da prata (*Musa* sp.). **Journal of Education, Science and Health**, v. 2, n. 4, p. 1-11, 2022.

SONAWANE, V. B.; SHINDE, H. P. Anthracnose disease of *Capsicum annuum* L. and its biocontrol management: a review. **Applied Ecology and Environmental Sciences**, v. 9, n. 2, p. 172-176, 2021.

SOUSA, A. M. **Manejo da irrigação e da adubação nitrogenada para produção da cultura do pimentão**. 2022. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

SOUSA, C. V. **Efeito da proporção de K₂SO₄ e KCl nos componentes da produção do tomateiro para processamento industrial na região do Cerrado**. 2023. 41 f. Dissertação (Mestrado em Olericultura) – Instituto Federal Goiano, Campus Morrinhos, Morrinhos, 2023.

SOUZA, A. C. G. et al. Épocas de colheita e doses de fósforo na germinação de sementes de pimenta-de-cheiro. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES**, 20., 2017, Foz do Iguaçu. *Informativo Abrates*, Londrina, v. 27, n. 2, p. 162, 2017.

SOUZA, C. P. et al. Produtividade e características organolépticas do tomate cereja com o efeito da adubação fosfatada e potássica. In: **REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO**, 12., 2018, Xanxerê. *Anais...* Xanxerê: SBCS, 2018.

SOUZA, L. C. R. **Resistência de genótipos de pimenta-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacq.) à antracnose (*Colletotrichum brevisporum*)**. 2018. 55 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2018.

STEWART, C. JR. et al. Carotenoids and capsaicinoids in peppers. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 49, p. 497-502, 2001.

STRAATEN, H. M. et al. Vitamin C revisited. **Critical Care**, v. 18, n. 460, p. 1-13, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TEIXEIRA, W. G. et al. Solos do estado do Amazonas. In: MAIA, M. A. M.; MARMOS, J. L. **Geodiversidade do Estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2010. p. 71-86.

TIMILSINA, N.; ZHOU, Q.; SIMPSON, E. Root characteristics response to N, P, and K fertilization in creeping bentgrass. **International Turfgrass Society Research Journal**, v. 15, n. 1, p. 292-299, 2025.

TORÁN-PEREG, P. et al. Physicochemical and sensory evaluation data to drive the development of a green chili pepper hot sauce from unexploited raw materials. **Foods**, v. 12, n. 19, p. 3536, 2023.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Solos e fertilidade do solo**. 6. ed. São Paulo: Andrei, 2007. 718 p.

TURECK, C. et al. Avaliação da ingestão de nutrientes antioxidantes pela população brasileira e sua relação com o estado nutricional. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 20, p. 30-42, 2017.

UÇGUN, K.; ALTINDAL, M. Effects of increasing doses of nitrogen, phosphorus, and potassium on the uptake of other nutrients in sweet cherry trees. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 52, n. 11, p. 1248-1255, 2021.

VALDERRAMA, M. et al. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 254-263, 2011.

VALENCIA, J.; BIECHE, B.; BRANTHOME, X. Effect of fertilizers on fruit quality of processing tomatoes. **Acta Horticulturae**, v. 613, p. 89-93, 2003.

VAN RANST, E. Rational soil management in the humid tropics. **Bulletin des Séances de l'Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer**, v. 40, p. 209-233, 1995.

VARVARA, M. et al. The use of ascorbic acid as a food additive: technical-legal issues. **Italian Journal of Food Safety**, v. 5, n. 1, p. 1-4, 2016.

VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. **Amazônia: seus solos e outros recursos naturais**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1987. 416 p.

VIEIRA, M. A.; CAMPOS, R. P. de; MOTA, E. P. da. Adubação nitrogenada no desenvolvimento da pimenta malagueta (*Capsicum frutescens*). **Revista Delos**, v. 18, n. 66, p. 4748-4748, 2025.

WAHYUNI, Y. et al. Metabolite biodiversity in pepper (*Capsicum*) fruits of thirty-two diverse accessions: variation in health-related compounds and implications for breeding. **Phytochemistry**, v. 72, n. 11-12, p. 1358-1370, ago. 2011.

WANG, X. G. et al. Effects of potassium deficiency on photosynthesis and photoprotection mechanisms in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). **Journal of Integrative Agriculture**, v. 14, n. 5, p. 856-863, 2015.

WU, K. et al. Comparative effects of different potassium sources on soluble sugars and organic acids in tomato. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 308, art. 111601, 2023.

WU, S. et al. Effects of potassium on fruit soluble sugar and citrate accumulations in Cara Cara navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck). **Scientia Horticulturae**, v. 283, p. 110057, 2021.

XU, X. et al. Shifts in autochthonous microbial diversity and volatile metabolites during the fermentation of chilli pepper (*Capsicum frutescens* L.). **Food Chemistry**, v. 335, p. 127512, 2021.

YANG, X. et al. Effect of organic matter on phosphorus adsorption and desorption in a black soil from Northeast China. **Soil and Tillage Research**, v. 187, p. 85-91, 2019.

YANG, Z. J. et al. Fertilization regulates accumulation and allocation of biomass and nutrients in *Phoebe bournei* seedlings. **Agriculture**, v. 11, n. 12, p. 1187, 2021.

ZHANG, C. et al. Effect of nitrogen fertilizer on capsaicinoids and related metabolic substances of dried chili pepper fruit. **Horticulturae**, v. 10, n. 8, p. 831, 2024.

ZHANG, X. et al. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium formula fertilization on the yield and berry quality of blueberry. **PLOS ONE**, v. 18, n. 3, p. e0283137, 2023.

ZŁOTEK, U. et al. Influence of abiotic factors on bioactive compounds in peppers. **Food Chemistry**, London, v. 160, p. 148-155, 2014.