



GEANIA DE SOUSA VERA

**MARCHA DE ABSORÇÃO DE NUTRIENTES E
CRESCIMENTO DO FEIJÃO-CAUPI EM SISTEMAS
CONVENCIONAL E MÍNIMO**

TERESINA – PI

2019

GEANIA DE SOUSA VERA

**MARCHA DE ABSORÇÃO DE NUTRIENTES E CRESCIMENTO DO FEIJÃO-
CAUPI EM SISTEMAS CONVENCIONAL E MÍNIMO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal do Piauí –
UFPI, como parte das exigências
do Programa de Pós-Graduação
em Agronomia - Produção
Vegetal, para obtenção do título
de Mestre em Ciências.

Orientador

Dr. Antônio Aécio de Carvalho Bezerra

Coorientador

Dr. Henrique Antunes de Souza

Dr. Kaesel Jackson Damasceno e Silva

TERESINA – PI

2019

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco
Divisão de Processos Técnicos

V473m Vera, Geanla de Sousa

Marcha de absorção de nutrientes e crescimento do feijão-caupi em sistemas convencional e mínimo. / Geanla de Sousa Vera.

164 f

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências Agrárias, Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal, Teresina, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Antônio Aécio de Carvalho Bezerra *

1. Adubação. 2. Feijão-Caupi. 3. Vigna Unguiculata. I. Título

CDD 631.8

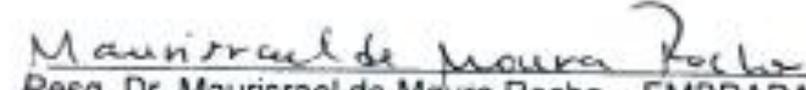
GEANIA DE SOUSA VERA

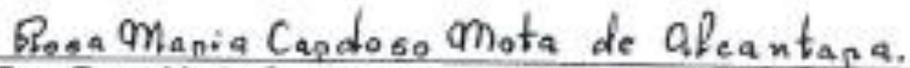
Marcha de absorção de nutrientes e crescimento do feijão-caupi em sistemas convencional e mínimo.

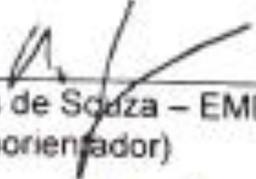
Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Agricultura Tropical, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

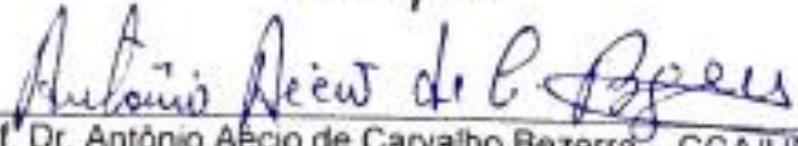
APROVADA em 18 de dezembro de 2019.

Comissão Julgadora:


Pesq. Dr. Maurisrael de Moura Rocha – EMBRAPA Meio-Norte


Pesq. Dra. Rosa Maria Cardoso Mota Alcântara – EMBRAPA Meio-Norte


Pesq. Dr. Henrique Antunes de Souza – EMBRAPA Meio-Norte
(Coorientador)


Prof. Dr. Antônio Aécio de Carvalho Bezerra – CCA/UFPI
(Orientador)

TERESINA-PI

2019

À Rosalina, minha avó (in memorian), que através dos seus conselhos me incentivou a estudar e a ir em busca dos meus sonhos.

À Generosa, minha mãe, pelo amor e incentivo, sempre a honrarei.

Aos meus irmãos, Andréia e André, pela cumplicidade e companherismo.

Aos meus queridos professores da UESPI de Picos, Dr. Reinaldo, Dr. Renato, Dr. Hermeson, Dra. Gynna e, em especial, ao Dr. Wagner Rogério, por ter me dado base e incentivo para minha entrada no mestrado.

Ao meu namorado, Wagner Mendes, pelo suporte, carinho e compreensão, a minha dedicação ao mestrado.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida e por me permitir realizar tantos sonhos nesta existência. Obrigado por me permitir errar, aprender e crescer, por sua eterna compreensão e tolerância, por seu infinito amor, pela sua voz “invisível” que não me permitiu desistir!

À Universidade Federal do Piauí – UFPI e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura Tropical, pela oportunidade de poder adquirir tanto conhecimento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa durante todo o período de realização deste mestrado, tornando possível a realização deste.

À EMBRAPA Meio-Norte, por ter me proporcionado a oportunidade de desenvolver este trabalho, com todo seu apoio técnico e financeiro.

Ao Orientador, Dr. Antônio Aécio de Carvalho Bezerra, pelo acolhimento, ensinamentos e contribuições na realização deste trabalho. Obrigada por acreditar em mim!

Ao Coorientador, Dr. Henrique Antunes de Souza, por ter depositado em mim tamanha confiança, e pela incondicional dedicação prestada, pela forma interessada, extraordinária e pertinente como acompanhou e conduziu a realização deste trabalho. As suas contribuições, as discussões e reflexões foram fundamentais ao longo de todo o percurso. Não posso esquecer a sua grande contribuição para o meu crescimento como profissional e pessoal. Lhe serei eternamente grata!

Ao Dr. Kaesel Jackson Damasceno e Silva, por todas as oportunidades e apoio ao longo do meu mestrado.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura Tropical, pelos preciosos ensinamentos.

Aos amigos Pós-graduandos Joanderson, Lorena e Bruno.

Aos Laboratoristas Afonso, Moreira e Duarte, pela paciência e amizade, pelos ensinamentos, pelo carinho e por todo suporte técnico.

À equipe Antunes: Iara, Danilo, Smaiello, Leovânio, Suzy, Jenifer, Amanda, Fátima, Gabriela e Adalisa.

Em especial, à Ane Caroline, Gabriel, Lucélia, Ivanderlete, Thaís e Daniela que me ajudaram diretamente na condução, coleta e análises químicas do experimento.

A presente dissertação de mestrado não poderia chegar ao bom porto sem o precioso apoio de todos vocês. Muito obrigada!

"Há uma força motriz mais poderosa que o vapor, a eletricidade e a energia atômica: a força de vontade."

Albert Einstein

SUMÁRIO

RESUMO.....	10
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO GERAL	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Aspectos gerais do feijão-caupi.....	14
2.2 Análise de crescimento vegetal.....	15
2.3 Desenvolvimento fenológico associado a graus-dia.....	16
2.4 Marcha de absorção de nutrientes	19
2.4.1 Macronutrientes.....	20
2.4.2 Micronutrientes.....	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

CAPÍTULO I: Crescimento, produtividade de grãos e índice de colheita do feijão-caupi em sistema de plantio convencional e mínimo **Erro! Indicador não definido.**32

RESUMO.....	32
ABSTRACT	33
INTRODUÇÃO.....	34
2 MATERIAL E MÉTODOS	38
2.1 Localização e caracterização edafoclimática da área experimental.....	38
2.2 Implantação e condução do experimento.....	39
2.3 Caracterização das cultivares utilizadas.....	40
2.3.1 BRS Imponente	40
2.3.2 BRS Itaim	40
2.3.3 BRS Novaera	40
2.3.4 BRS Tumucumaque	40
2.4 Delineamento estatístico, tratamentos e características avaliadas	41
2.5 Procedimentos estatísticos.....	43
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
3.1 Acúmulo de graus-dia.....	45
3.2 Altura de plantas	45
3.3 Diâmetro caulinar	47

3.4 Número de trifólios	49
3.5 Área foliar	50
3.6 Índice de Área Foliar (IAF)	53
3.7 Produtividade de grãos	55
4 CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

CAPÍTULO II: Acúmulo em arca de absorção de macronutrientes do feijão-caupi em sistema convencional e mínimo.....	61
---	----

RESUMO.....	61
ABSTRACT	62
Lista de Tabelas	63
Lista de Figuras.....	65
1 INTRODUÇÃO	66
2 MATERIAL E MÉTODOS	68
2.1 Localização e caracterização edafoclimática da área experimental	68
2.2 Implantação e condução do experimento.....	69
2.3 Caracterização das cultivares utilizadas.....	70
2.3.1 BRS Imponente	70
2.4.2 BRS Itaim	70
2.4.3 BRS Novaera	70
2.4.4 BRS Tumucumaque	70
2.4 Delineamento estatístico, tratamentos e características avaliadas	71
2.5 Procedimentos estatísticos.....	73
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	75
3.1 Massa Seca da parte aérea	75
3.2 Nitrogênio.....	81
3.3 Fósforo	87
3.4 Potássio.....	92
3.5 Cálcio	97
3.6 Magnésio.....	102
3.7 Enxofre	106
3.8 Extração e exportação de macronutrientes	110

4 CONCLUSÕES	114
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
CAPÍTULO III: Acúmulo e marcha de absorção de micronutrientes em sistema de plantio convencional e mínimo.....	122
ABSTRACT	122
Lista de Tabelas	123
Lista de Figuras	125
1 INTRODUÇÃO	126
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	128
2.1 Localização e caracterização edafoclimática da área experimental	128
2.2 Implantação e condução do experimento.....	129
2.3 Caracterização das cultivares utilizadas.....	129
2.3.1 BRS Imponente	130
2.3.2 BRS Itaim	130
2.3.3 BRS Novaera	130
2.3.4 BRS Tumucumaque	130
2.4 Delineamento estatístico, tratamentos e características avaliadas	130
2.5 Procedimentos estatísticos.....	133
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	135
3.1 Boro.....	135
3.2 Cobre.....	139
3.3 Ferro.....	143
3.4 Manganês.....	148
3.5 Zinco.....	152
4 Extração e exportação de micronutrientes	157
5 CONCLUSÕES	160
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	161

RESUMO

O conhecimento da marcha de absorção de nutrientes fornece informações importantes que podem auxiliar no programa de adubação da cultura, fator essencial para a qualidade da produção. Nesse contexto, objetivou-se avaliar o crescimento, absorção, extração e exportação de nutrientes por cultivares de feijão-caupi em sistema de cultivo convencional e mínimo sob condições irrigadas. O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa Meio-Norte sob o delineamento experimental em blocos casualizados, e esquema experimental de parcelas subdivididas, sendo as parcelas os manejos do solo e as subparcelas os tempos de coleta, com quatro repetições. As cultivares de feijão-caupi implantadas foram: BRS Imponente, BRS Itaim, BRS Novaera e a BRS Tumucumaque. As avaliações temporais ocorreram aos 28, 35, 49, 56, 63 e 70 DAE, coletando-se quatro plantas na área útil, e avaliadas quanto à altura, diâmetro caulinar, número de trifólios, área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF). Posteriormente as plantas foram seccionadas em folhas, caule, estruturas reprodutivas e grãos, em seguida foram lavadas, secas e moídas, e então submetidas a análise química para a determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, de porte dos teores determinou-se a absorção, extração, exportação, índice de colheita dos nutrientes e produtividade grãos. Verificou-se que as variáveis foram influenciadas pelos sistemas de manejo do solo, havendo interação significativa entre os sistemas de manejos estudados para a maioria das variáveis. O cultivo mínimo proporciona maior crescimento vegetativo nas cultivares, com influência na AF, IAF, altura, diâmetro, número de trifólios e produtividade de grãos. As maiores taxas de acúmulo de macronutrientes ocorrem entre os estádios fenológicos R3-R5, com ordem decrescente de absorção média de K (58,7) > N (49,7) > Ca (22,3) > P (7,7) > S (7,1) > Mg (6,3 kg ha⁻¹), em cultivo convencional e, em cultivo mínimo: K (107,1) > N (86,6) > Ca (32,4) > Mg (15,0) > P (13,6) > S (9,7 kg ha⁻¹) pelas cultivares de hábito de crescimento indeterminado (BRS Imponente, BRS Novaera e BRS Tumucumaque). A cultivar de hábito de crescimento determinado BRS Itaim apresentou a seguinte ordem decrescente de absorção média: K (37,2) > N (34,9) > Ca (22,1) > P (6,7) > Mg (6,1) > S (4,6 kg ha⁻¹), em cultivo convencional e, em cultivo mínimo: N (79,4) > K (68,7) > Ca (27,7) > P (12,9) > Mg (9,8) > S (6,6 kg ha⁻¹). As fertilizações com N, P, K e S devem receber mais atenção devido aos maiores índices de colheita, e podem causar uma limitação no rendimento, devido à disponibilidade inadequada durante o crescimento reprodutivo. As maiores taxas de absorção de micronutrientes ocorrem entre os estádios fenológicos R2-R4, sendo absorvido em maiores quantidades em cultivo mínimo, apresentando variação de acordo com o estágio fenológico. O Cu, Fe e Zn foram os micronutrientes com maiores índices de colheita. A adubação precisa da cultura do feijão está condicionada ao sistema de cultivo e ao estágio fenológico.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, exigência nutricional, nutrients, extração, exportação.

ABSTRACT

The knowledge of the nutrient absorption gait provides important information that can assist in the fertilization program of the crop, an essential factor for the quality of production. In this context, the objective was to evaluate the growth, absorption, extraction and export of nutrients by cowpea cultivars in a conventional and minimum cultivation system under irrigated conditions. The experiment was carried out in the experimental area of Embrapa Meio-Norte under a randomized block design, with an experimental scheme of subdivided plots, with the plots being the soil management and the subplots the collection times, with four replications. The cowpea cultivars implanted were: BRS Imponente, BRS Itaim, BRS Novaera and BRS Tumucumaque. The temporal evaluations took place at 28, 35, 49, 56, 63 and 70 DAE, collecting four plants in the useful area, and evaluated for height, stem diameter, number of trifolios, leaf area (AF) and leaf area index (IAF). Subsequently, the plants were sectioned into leaves, stems, reproductive structures and grains, then washed, dried and ground, and then subjected to chemical analysis to determine the levels of N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn, the size of the contents was determined by the absorption, extraction, exportation, nutrient harvest index and grain yield. It was found that the variables were influenced by the soil management systems, with significant interaction between the management systems studied for most of the variables. The minimum cultivation provides greater vegetative growth in the cultivars, with influence on FA, IAF, height, diameter, number of trifolios and grain yield. The highest rates of macronutrient accumulation occur between phenological stages R3-R5, with decreasing order of average absorption of K (58.7) > N (49.7) > Ca (22.3) > P (7.7) > S (7.1) > Mg (6.3 kg ha⁻¹), in conventional cultivation and, in minimum cultivation: K (107.1) > N (86.6) > Ca (32.4) > Mg (15.0) > P (13.6) > S (9.7 kg ha⁻¹) by cultivars with indeterminate growth habit (BRS Imponente, BRS Novaera and BRS Tumucumaque). The cultivar with a determined growth habit BRS Itaim presented the following decreasing order of average absorption: K (37.2) > N (34.9) > Ca (22.1) > P (6.7) > Mg (6, 1) > S (4.6 kg ha⁻¹), in conventional cultivation and, in minimum cultivation: N (79.4) > K (68.7) > Ca (27.7) > P (12.9) > Mg (9.8) > S (6.6 kg ha⁻¹). Fertilization with N, P, K and S should receive more attention due to higher harvest rates, and can cause a limitation in yield, due to inadequate availability during reproductive growth. The highest rates of absorption of micronutrients occur between the phenological stages R2-R4, being absorbed in greater quantities in minimal cultivation, varying according to the phenological stage. Cu, Fe and Zn were the micronutrients with the highest harvest rates. The precise fertilization of the bean culture depends on the cultivation system and the phenological stage.

Key-words: *Vigna unguiculata*, nutritional requirement, nutrients, extraction, export.

1 INTRODUÇÃO GERAL

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) tem sua importância pautada na relação histórica com a segurança alimentar de várias regiões tropicais e subtropicais (FREIRE FILHO et al., 2011), sendo uma das principais fontes de proteína na dieta de populações pobres, especialmente na América Latina e na África (OLIVEIRA et al., 2015). É uma das principais leguminosas cultivadas no Brasil, com ampla relevância na produção agrícola do país, sobretudo, para as regiões Norte e Nordeste (LIMA FILHO et al., 2013).

Nos últimos anos, a cultura obteve grandes avanços no contexto nacional e, principalmente, no internacional, com o aumento da produção e com a ampliação de mercado. Essa expansão ocorre, principalmente, para as áreas de cerrado das Regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste, com o uso da mesma tecnologia empregada no cultivo da soja. Esse tipo de cultivo possibilita uma produção em larga escala, com alta qualidade e regularidade. Com isso, o feijão-caupi vem sendo ofertado em maior quantidade nas Regiões Nordeste e Norte e alcançando mercados em outras regiões do país, principalmente Sudeste e Centro-Oeste e, também, no exterior (VALE, 2017).

Apesar dos avanços tecnológicos, como a geração de novas cultivares e manejos para que o feijão-caupi obtenha bons índices produtivos, a produtividade de grãos nacional ainda é baixa, com valores médios de 491 kg ha⁻¹, o que pode ser justificado devido a algumas regiões do País apresentarem rendimentos menores que a média nacional, como no Nordeste brasileiro, com valores de 378 kg ha⁻¹ (CONAB, 2019). Essa baixa produtividade está correlacionada a diversos fatores, dentre eles, o manejo inadequado de sementes, a baixa fertilidade dos solos e a adversidade climática (SOUZA et al., 2017).

A nutrição mineral apropriada é o meio mais rápido e menos dispendioso para elevar a produtividade das culturas. Altos índices de produção e ótima qualidade dos produtos são somente atingidos com o equilíbrio no fornecimento de macro e micronutrientes que atuam no metabolismo vegetal (SANTOS et al., 2007).

Assim, estudos da absorção de nutrientes durante as fases de desenvolvimento do feijoeiro podem ser utilizados como uma ferramenta indispensável para definição da adubação, uma vez que é possível definir a quantidade demandada em cada período do seu desenvolvimento (SORATTO et al., 2013; PEGORARO et al., 2014).

O crescimento vegetal e a nutrição são interdependentes, sendo que os requerimentos nutricionais das plantas variam desde a germinação à senescência. Por conseguinte, o estado nutricional de uma planta condiciona sua taxa de desenvolvimento, seu crescimento e até mesmo suas características morfológicas e fisiológicas (MALAVOLTA, 2006).

A análise de crescimento pode ser utilizada para averiguar os efeitos do sistema de manejo do solo e a habilidade de rendimento em diferentes genótipos (ALVAREZ et al., 2012). Ademais, a determinação do acúmulo de biomassa seca por planta e suas partes: caules, folhas e vagens (análise de crescimento) e o acúmulo de nutrientes em cada parte, ajudam a compreender onde esses nutrientes são mais importantes durante o desenvolvimento da planta (SANTOS et al., 2015).

A eficiência de extração de nutrientes da cultura pode ajudar a definir os melhores métodos e os tempos de aplicação para otimizar a eficiência de uso de fertilizantes (BRUULSEMA et al., 2012). As curvas de acúmulo de nutrientes retratam o que a planta absorveu sob as condições em que cresceu, isto é, o potencial de absorção de nutrientes e suas taxas são peculiaridades do genótipo, embora altamente influenciados pelo ambiente (solo, clima, práticas culturais) (MENESES, 2018).

Entretanto, é somente através da determinação da taxa de absorção de nutrientes que as informações podem ser obtidas para o período de maior demanda em diferentes estádios fenológicos, permitindo a adoção de uma abordagem eficiente do manejo nutricional (AUGOSTINHO et al., 2008).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar o crescimento, a produtividade, a marcha de absorção, a extração, a exportação e o índice de colheita de nutrientes em plantas de feijão-caupi cultivadas em sistemas convencional e mínimo, em condições irrigadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos gerais do feijão-caupi

Nos últimos anos, tem-se constatado grande expansão da área cultivada com feijão-caupi na região Centro-Oeste do Brasil, onde é cultivado por médios e grandes produtores, de base empresarial, com o uso da tecnologia empregada no cultivo da soja (FREIRE FILHO et al., 2017).

O feijão-caupi desempenha papel significativo na mitigação da desnutrição como de micronutrientes (MENSSEN et al., 2017), tornando-se cada vez mais relevante no contexto da segurança alimentar dos povos pertencentes às regiões tropicais e subtropicais, com alta instabilidade pluviométrica e baixo nível tecnológico (BEZERRA et al., 2014).

As principais características do feijão-caupi incluem uma boa qualidade de proteína (23-32%), alto valor nutricional, boa capacidade de fixação de nitrogênio atmosférico e tolerância à seca e às altas temperaturas, além de ter a capacidade de crescer em solos de baixa fertilidade, estabelecendo associações com diversos microrganismos, como bactérias do gênero rizóbio e fungos micorrízicos arbusculares (CRUZ et al., 2014; CARVALHO et al., 2017).

O porte da planta de feijão-caupi pode ser classificado em quatro tipos: ereto, semiereto, semiprostrado e prostrado; já as cultivares podem ser classificadas quanto ao ciclo de maturação da planta em seis tipos, de acordo com o período entre a emergência e a maturação fisiológica: ciclo superprecoce - maturação em até 60 dias; ciclo precoce - maturação entre 61 e 70 dias; ciclo médio - maturação entre 71 e 90 dias; ciclo médio-precoce - maturação entre 71 e 80 dias; ciclo médio-tardio - maturação entre 81 e 90 dias, e ciclo tardio - maturação acima de 90 dias (FREIRE FILHO et al., 2005).

O feijão-caupi pode ser cultivado em quase todos os tipos de solo, com melhor desenvolvimento nos Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Flúvicos (MELO et al., 2018).

Segundo Vale et al. (2017), as condições climáticas em determinados locais podem influenciar nas variações dos estádios fisiológicos do feijão-caupi. A cultura apresenta duas fases: vegetativa e reprodutiva. A fase vegetativa é composta por dez estádios e a reprodutiva por cinco. **Fase vegetativa:** V0 – Semeadura; V1 – Os cotilédones encontram-se emergidos na superfície do solo; V2 – As folhas

unifolioladas encontram-se completamente abertas, suas duas margens estão completamente separadas; V3 – A primeira folha trifoliolada encontra-se com os folíolos separados e completamente abertos; V4 - A segunda folha trifoliolada encontra-se com os folíolos separados e completamente abertos; V5 - A terceira folha trifoliolada encontra-se com os folíolos separados e completamente abertos; V6 – Os primórdios do ramo secundário surgem nas axilas das folhas unifolioladas, podendo também ser observados nas axilas das primeiras folhas trifolioladas; V7 – A primeira folha do ramo secundário encontra-se completamente aberta; V8 – A segunda folha do ramo secundário encontra-se completamente aberta; V9 – A terceira folha do ramo secundário encontra-se completamente aberta; **Fase reprodutiva:** R1 – Surgem os primórdios do primeiro botão floral no ramo principal; R2 – Antese da primeira flor, geralmente oriunda do primeiro botão floral; R3 – Início da maturidade da primeira vagem, geralmente oriunda da primeira flor. Esse estágio é caracterizado pelo início da mudança de coloração das vagens devido ao início da secagem das mesmas; R4 – Maturidade de 50% das vagens da planta; e R5 – Maturidade de 90% das vagens da planta (CAMPOS et al., 2000).

A cultura apresenta alta variabilidade genética, que está presente nos diferentes genótipos cultivados no Brasil (CORREA et al., 2015), o que acentua a grande variação nos índices produtivos. Essas características reforçam a importância do conhecimento sobre a interação entre genótipo e ambiente, verificadas por diversos autores (BARROS et al., 2013; TORRES et al., 2015; SOUSA et al., 2018).

2.2 Análise de crescimento vegetal

O crescimento vegetal consiste na produção e distribuição de carbono entre os diferentes órgãos da planta, resultante da interação entre o genótipo e o meio ambiente onde são cultivadas. Assim, a análise de crescimento é um método bastante acessível e preciso para avaliar o crescimento da planta (AUMONDE et al., 2013).

O estudo da análise de crescimento é vastamente utilizado para acompanhar o modelo de crescimento da planta ou de frações dela, permitindo inferir a contribuição dos diferentes processos fisiológicos no crescimento vegetal e contribuindo no estudo de variações entre plantas geneticamente distintas ou sob diferentes condições ambientais (BRAGANÇA et al., 2010).

Permite, também, a inferência de processos fisiológicos de crescimento sobre sistemas de produção e práticas de manejo para o desempenho da planta, tal como a descrição de condições morfofisiológicas (LOPES e LIMA, 2015). A arquitetura da planta constitui-se em um fator imanente ao genótipo e pode ser relacionada com a produtividade vegetal (MATOS FILHO et al., 2009) e com a eficiência na colheita mecanizada (SILVA et al., 2013).

A análise quantitativa do crescimento vegetal é internacionalmente considerada como o método padrão para a estimativa da produtividade primária de uma população vegetal, constituindo-se ferramenta relevante em estudos agrônômicos, pois auxiliam na compreensão dos efeitos dos diferentes tratamentos, no desenvolvimento e na produtividade das culturas; nesse seguimento, a área foliar e a massa seca são variáveis básicas nos estudos de crescimento vegetal, devendo ser obtidas em intervalos regulares de tempo (BENINCASA, 2004).

Nesta concepção, Weber et al. (2015), enfatizam que o crescimento das plantas resulta da interação entre as redes genéticas e de sinalização e as propriedades mecânicas de células e tecidos e, neste aspecto, Peixoto et al. (2011), comentam que a dinâmica do crescimento vegetal é o primeiro passo utilizado para quantificar a produção, possibilitando avaliar a contribuição dos diferentes órgãos no crescimento final das plantas.

Nesse contexto, a análise do crescimento permite gerenciar as exigências, sensibilidades e tolerâncias das culturas em função dos recursos disponíveis, tornando o processo de produção mais eficaz e oportunizando o planejamento da sua expansão, mesmo sob as limitações naturalmente impostas.

2.3 Desenvolvimento fenológico associado a graus-dia

Os vegetais demandam uma quantidade constante de energia térmica para completarem seu ciclo de desenvolvimento, sendo expressa, normalmente em graus-dia (GD). A sua aplicabilidade é adequada quando a temperatura é o fator determinante da taxa de desenvolvimento, não existindo limitações de outros fatores ambientais para esse processo (MORAIS et al., 2010).

A determinação do acúmulo de graus-dias ou unidades térmicas (UT) é uma abordagem bastante simples e presume que o desenvolvimento de uma espécie de planta está relacionado ao meio ambiente, e é controlado a partir da soma térmica

diária necessária para atingir cada estágio fenológico. Na prática, as temperaturas médias diárias são usadas para a soma do acúmulo térmico, a partir do qual a soma térmica necessária é calculada em cada fase fenológica ou no ciclo da cultura (RENATO et al., 2013).

De acordo com Conceição et al. (2017), o conceito de graus-dia é definido como a disponibilidade energética do meio e é caracterizado como o acúmulo diário de temperaturas que se situam acima da condição mínima (temperatura base inferior) e abaixo da máxima (temperatura base superior) exigida pela planta.

É considerado um dos principais indicadores de crescimento da planta, podendo se estimar os estágios de desenvolvimento da cultura. O conhecimento de graus-dia favorece a identificação de locais com temperaturas médias superiores e, portanto, permite que a colheita seja realizada com maior precocidade, como também que se avalie as condições do local em que as cultivares estão inseridas (MONACO NETO; SCARPARE FILHO, 2012).

A aplicação deste conceito tem demonstrado ótimas correlações com a duração do ciclo da cultura, ou com os estágios fenológicos de uma determinada cultivar, assumindo como uma constante, independentemente do local ou da época de semeadura (MIRANDA; CAMPELO JÚNIOR, 2010).

O método de graus-dias baseia-se na premissa de que a planta necessita de certa quantidade de energia, representada pela soma térmica acima de uma temperatura base, para completar determinada fase fenológica ou mesmo o seu ciclo total (SOUZA et al., 2011). Isto ocorre devido a temperatura ser o principal regulador das reações metabólicas nos vegetais, afetando, assim, suas fases fenológicas (SEGANTINI et al., 2014).

O requerimento térmico é distinto entre variedades de plantas (SCHÖFFEL; VOLPE, 2002), bem como os métodos de cálculo, citados na literatura (ARNOLD, 1959; OMETTO, 1981; SNYDER, 1985; DUFAULT, 1997).

Segundo Ometto (1981), existe uma temperatura mínima para acionar os dispositivos metabólicos da planta, que é denominada de temperatura basal inferior (T_b). Somente acima desta temperatura a planta pode se desenvolver. O mesmo autor ressalta, contudo, que a planta também possui uma temperatura basal superior (TB), acima da qual há um estancamento das atividades metabólicas, prejudicando seu desenvolvimento.

O método de Arnold (1959) considera somente a T_b , enquanto os métodos propostos por Ometto (1981), Snyder (1985) e Dufalt (1997) também consideram que as plantas possuem uma T_b .

O método de Arnold (1959) é o mais utilizado por ser um método simples. Os graus-dia, neste método, são calculados como a soma da diferença entre a temperatura média diária e a T_b . A grande vantagem nesse caso é a simplicidade; porém, como desvantagem, cita-se o fato de que este método não considera a T_b .

Dentre os métodos para cálculos de graus-dia, o de Ometto (1981) é o mais indicado, principalmente em cenários de mudanças climáticas que projetam maiores incrementos da temperatura do ar (RENATO et al., 2013).

Em estudos realizados por Pires e Lima (2018) com videira, o acúmulo de graus-dia mostrou-se diretamente proporcional à duração do ciclo da planta, possuindo relação com as temperaturas registradas no período: quando os ciclos fenológicos foram mais longos, o acúmulo de graus-dia foi superior.

Moura et al. (2012) fez uso do uso do GD para determinar o desenvolvimento de feijão-caupi e verificou que a cultivar BRS Guariba levou 65 dias para maturação dos grãos (estádio R5), o que correspondeu a 1.070,5 graus.

O feijão-caupi, como já citado, dispõe de características adaptativas, intrínseco à região Nordeste, como tolerância a altas temperaturas e a locais com limitações hídricas (NASCIMENTO et al., 2011). Entretanto, em circunstâncias de temperaturas muito elevadas, faz-se importante o uso de equações com limites inferiores e superiores para o desenvolvimento das plantas.

Para a cultura do feijão-caupi, normalmente se utiliza o valor de T_b de 10 °C (MOURA et al., 2012), e temperatura de 35 °C para a T_b (MIRANDA e CAMPELO JÚNIOR, 2010).

Neste sentido, o estudo do modelo de crescimento de uma cultura torna-se uma técnica que possibilita conhecer as bases fisiológicas da produção e, ainda, evidentes as influências exercidas pelas interações ambientais, genéticas e agronômicas, baseando-se na descrição das condições morfofisiológicas em função do tempo. Logo, o emprego da fenologia se mostra como um bom preditor quanto ao sucesso da lavoura e, conseqüentemente, apresenta-se como um fator decisivo para os ganhos produtivos.

2.4 Marcha de absorção de nutrientes

A produção de biomassa das culturas e a qualidade do rendimento dependem de uma absorção suficiente e equilibrada de nutrientes (REICH, 2017).

Conforme Carvalho e Nakagawa (2012), uma planta bem nutrida está em condições de produzir mais sementes bem formadas, sendo este período de formação a fase mais crítica em termos de requerimento nutricional, tendo em vista que neste estágio de desenvolvimento há translocação de uma considerável quantidade de nutrientes para as sementes.

O conhecimento da marcha de absorção permite definir a exigência dos elementos em cada estágio fenológico da cultura. Com isso, pode-se estimar a exportação pela colheita e o quanto é necessário retornar ao solo (KURTZ et al., 2016).

De acordo com Nascimento et al. (2012), o manejo adequado da adubação consiste na aplicação dos nutrientes exigidos no momento exatamente anterior às etapas do desenvolvimento da planta, onde se mensuram elevadas taxas de requerimento dos mesmos. A determinação desses dados e valores se dá pelo estudo chamado de “marcha de absorção”, no qual são estabelecidas as quantidades absorvidas de nutrientes em função do tempo/ou estágio fenológico de uma cultura (ECHER et al., 2009).

A marcha de absorção estuda a relação existente entre a quantidade de nutrientes, o acúmulo de matéria seca e a idade da planta (MARSCHNER, 2012). Assim, a definição da absorção e do acúmulo de nutrientes nas diferentes fases de desenvolvimento da planta é essencial, pois permite identificar as épocas em que os elementos são mais requeridos durante o ciclo da cultura, e a sua disposição nas diferentes estruturas da planta, propiciando um manejo satisfatório da adubação.

Ademais, deve ser levado em consideração a eficiência de utilização dos adubos aplicados e a fração de nutrientes contida no solo e que não é disponibilizado para as plantas (ROSOLEM et al., 2012).

O conhecimento das exigências nutricionais da cultura, nas diversas situações de cultivo, pode contribuir para o aprimoramento das recomendações de adubação (PEREZ et al., 2013).

A extração de nutrientes do solo não ocorre de forma contínua ao longo do ciclo da cultura; na prática, a curva de absorção de nutrientes ao longo do ciclo de cultivo

(marcha de absorção) segue a curva de crescimento da planta. É oportuno ressaltar que, embora a maioria dos trabalhos encontrados na literatura tenha estabelecido a marcha de absorção utilizando dados cronológicos (em dias), as plantas desenvolvem-se à medida que acumulam unidades termais (PRADO, 2008).

Assim, mediante o acúmulo térmico, também conhecido como graus-dia, tem-se obtido ótimas correlações com a duração do ciclo da cultura. Logo, é pertinente que novos trabalhos que abordam a marcha de absorção sejam desenvolvidos em razão dos graus-dia acumulados durante o ciclo da cultura (PRADO, 2008).

Cabe enfatizar que o requerimento nutricional das culturas é específico para a espécie e até para a cultivar/variedade de uma mesma espécie. Portanto, para se garantir a máxima eficiência da adubação, ou seja, o momento mais apropriado para a aplicação do nutriente/fertilizante, é crucial conhecer a planta, assim como os fatores ambientais relacionados ao solo (textura), à água (irrigado ou não irrigado) e aos sistemas de cultivo (convencional ou semeadura direta) (PRADO, 2008).

Isso deixa claro que o conhecimento da quantidade de nutrientes acumulados na planta fornece importantes informações que podem auxiliar no programa de adubação da cultura, fator essencial para a qualidade da produção; contudo, essas informações são escassas para todas as regiões do país, acarretando problemas nutricionais devido à falta ou excesso de fertilizantes aplicados, o que prejudica o desenvolvimento vegetal (MEDEIROS et al., 2012).

2.4.1 Macronutrientes

As plantas estão sujeitas a diferentes limitações nutricionais durante seus ciclos de vida, que podem ocorrer tanto em solos cultivados como em *habitats* naturais. O crescimento, a reprodução e o rendimento são frequentemente limitados pelos macronutrientes essenciais: fósforo, nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e enxofre (WEISSERT, 2017).

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes que mais colaboram para o metabolismo fisiológico da planta e está diretamente associado à formação de proteínas que compõem a molécula de clorofila. Participa da respiração, da multiplicação e divisão celular, beneficia o crescimento vegetativo, no incremento da área foliar e, por

consequente, na expressão do potencial produtivo da cultura (NASCIMENTO et al., 2017).

O nitrogênio, dentre os macronutrientes, é o que tem impacto mais significativo sobre o crescimento vegetal, pois possui como função básica o crescimento das plantas. É responsável pela cor verde escura das folhas, além de promover o desenvolvimento do sistema radicular e melhorar a absorção de outros nutrientes (MALAVOLTA, 2006).

O nitrogênio também é um nutriente constituidor de aminoácidos, proteínas, enzimas, coenzimas e nucleotídeos e representa de 2% a 6% da matéria seca das plantas. A maioria dos solos é deficitário nas formas absorvíveis de nitrogênio pelas plantas (nitrato e amônio). As principais fontes de nitrogênio para as plantas são a fixação industrial e a fixação biológica das leguminosas (MARSCHNER, 2012).

Apesar de parte do N ser suprida por meio da associação com bactérias do gênero *Rhizobium*, a quantidade fornecida por esse processo nem sempre é suficiente (SOUZA et al., 2011). O restante do N pode ser adquirido através da mineralização da matéria orgânica do solo e dos fertilizantes nitrogenados (BRITO et al., 2011).

O fósforo (P), depois do nitrogênio, é o elemento que mais limita o crescimento dos vegetais, especificamente devido ao suprimento insatisfatório e à elevada capacidade de fixação no solo (ARAÚJO et al., 2012). O P está envolvido em vários processos metabólicos das plantas, como a fotossíntese e a respiração, e é componente integrante de várias de suas estruturas, tais como fosfolipídios, compondo parte do material genético (TAIZ; ZEIGER, 2013). A matéria orgânica (ou outro resíduo orgânico que possa ser adicionado ao solo, a exemplo de esterco e restos de culturas) é a fonte natural de P no solo, (MALAVOLTA, 2006).

O P é um macronutriente decisivo no desenvolvimento das plantas e a sua limitação no início do ciclo vegetativo pode resultar em restrições no incremento da planta, sendo que, mesmo ampliando-se o seu suprimento a níveis adequados, a planta poderá não se recuperar. Sua aplicação exige grande investimento em razão do alto custo dos fertilizantes fosfatados e da necessidade de grandes quantidades para manter a produtividade viável (KRUSE et al., 2015).

A baixa produtividade de grãos do feijão-caupi é influenciada por vários fatores do processo produtivo, principalmente a inadequada fertilização do solo, em especial, a fosfatagem. Os solos tropicais apresentam baixos teores de P, seja em função do

material de origem ou pela ausência de adubação, o que restringe a produtividade do feijão-caupi.

Considerando-se que os solos tropicais evidenciam baixo teor de P e elevada adsorção desse nutriente (o que limita a produtividade das culturas), o manejo adequado da adubação fosfatada é primordial no cultivo do feijão-caupi, em especial quando o objetivo é o incremento de produtividade de grãos (BLANCO et al., 2011).

O potássio (K) é um macronutriente requerido em grandes quantidades para o crescimento normal e para o desenvolvimento das plantas em geral (MALAVOLTA, 2006). Este nutriente está envolvido no crescimento meristemático, uma vez que a ação dos fitohormônios de crescimento é influenciada positivamente por este nutriente (MARSCHNER, 2012).

Esse macronutriente é responsável por atuar na síntese e translocação de carboidratos, proteínas e adenosina trifosfato (ATP). Possui atuação ativa na regulação osmótica, na abertura e fechamento de estômatos, tem influência direta sobre a resistência da planta a pragas e a doenças, além de atuar na ativação de diversos sistemas enzimáticos, muitos deles associados à fotossíntese e à respiração (FAGAN et al., 2016; HAWKESFORD et al., 2017).

A oferta eficiente de K aumenta o crescimento e a produtividade das culturas, bem como promove a tolerância das culturas a situações de estresse ambiental, aumentando particularmente a tolerância à seca (JÁKLI et al., 2016).

O cálcio (Ca) é um nutriente necessário ao desenvolvimento das raízes e à translocação e armazenamento de carboidratos e proteínas. Atua na estabilização da parede celular e das membranas da célula vegetal, bem como no balanço cátion-ânion, osmorregulação e como mensageiro secundário (MARSCHNER, 2012).

Em folhas verdes, a principal e mais conhecida função do magnésio se dá pelo fato de ele ser constituinte do átomo central da molécula de clorofila, sendo que a quantidade do nutriente presente nessas estruturas depende do suprimento do mesmo, cujo valor deve estar entre 6% e 25%, via de regra, já que de 5% a 10% do Mg é componente da parede celular de pectatos, ou então precipitado em forma de sal solúvel no vacúolo, e o restante, de 60% a 90%, passível de extração por água (MENDES et al., 2018).

A planta emprega o enxofre (S) em uma variedade de compostos orgânicos essenciais para o seu crescimento, desenvolvimento e mitigação do estresse das plantas (DING et al., 2016; CAPALDI et al., 2015). Provavelmente, o macronutriente

menos empregado nas adubações, apresentando uma baixa disponibilidade na maioria dos solos brasileiros, especialmente nos mais intemperizados, como os Latossolos e Argissolos, podendo variar de 0,1% em solos minerais até 1% em solos orgânicos (PEREIRA et al., 2016).

Todas as proteínas de origem vegetal apresentam S em sua composição, tornando-se, assim, essencial para a formação das plantas, tanto das suas partes vegetativas quanto das suas sementes. Ainda, é considerado como parte vital de hormônios vegetais, aminoácidos, processos enzimáticos e reações de oxirredução, sendo de grande importância para a formação dos aminoácidos cistina, cisteína e metionina, constituindo em torno de 90% do enxofre total encontrado na planta (MALAVOLTA, 2006).

Além das suas funções específicas, verifica-se que os vegetais insuficientemente supridos com S não conseguem assimilar o nitrogênio em proteínas, resultando em acúmulos nas seguintes formas: aminas, amidas e aminoácidos solúveis (BONA et al., 2013).

2.4.2 Micronutrientes

Segundo Carmo et al. (2012), a ausência de qualquer um dos micronutrientes no solo pode restringir o crescimento e a produção das plantas. A deficiência de boro (B) nas plantas aparece primeiro como crescimento anormal dos pontos de crescimento apical, devido à baixa redistribuição na maioria das espécies e/ou como interrupção do crescimento do tubo polínico (WANG et al., 2016). Malavolta (2006) ressalta que o B aumenta o pegamento de flores e a granação em culturas, e propicia menor esterilidade masculina e chochamento de grãos.

De acordo com Malavolta (2006), o cobre é absorvido pelas plantas na forma de Cu^{+2} , e altas concentrações de P, Zn e Mo diminuem a absorção desse nutriente. O autor também afirma que várias enzimas contendo cobre catalisam reações de óxido-redução cruciais para a fotossíntese e para a respiração. A deficiência do elemento pode produzir amarelamento das folhas, com extremidades esbranquiçadas.

Dentre os micronutrientes considerados essenciais, o ferro (Fe) é o elemento exigido em maior quantidade, sendo justificado pelos vários processos importantes em que atua, incluindo a fotossíntese, a respiração e a biossíntese de clorofila (TAIZ; ZEIGER, 2013). Por não ser um elemento móvel na planta, a deficiência de Fe provoca

clorose nas folhas jovens, que se transformam completamente clorótica e necrótica, com o tempo, em condições de graves deficiências desse nutriente (DUCA, 2015; MITRA, 2015).

Apesar do manganês (Mn) atuar em vários processos metabólicos nas plantas, principalmente ligados à fotossíntese, a deficiência sem sintomas visuais é frequentemente encontrada nas plantas, para a qual se dá o nome de “fome oculta”, dificultando o diagnóstico e restringindo a produtividade (SCHMIDT et al., 2016).

As plantas com deficiência de Mn apresentam danos na transferência de elétrons, causando estresses oxidativos nas células e levando-as à degradação, ocasionando, também, danos no Fotossistema II e nas demais células. Com isso, as plantas diminuem a eficiência de outros recursos (MAARSCHALKERWEERD e HUSTED, 2015), como por exemplo, diminuição da eficiência no uso da água (SCHMIDT et al., 2016).

O Zn ocupa uma importante função na fotossíntese por estar presente na enzima carbohidrase, que participa na fixação de CO². Ainda, é parte de determinadas enzimas, tais como fosfatase, aldolase e carboxipeptidase, e participa na ativação de várias outras enzimas, como desidrogenases, enolase e lecitinasas (DUCA, 2015). A deficiência de zinco se acentua em função da aplicação de fósforo (MELO et al, 2018).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, R. C. F. et al. Análise de crescimento e produtividade de cultivares de arroz de terras altas dos tipos tradicional, intermediário e moderno. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 4, p. 397-406, 2012.
- ARAÚJO, E.O. et al. Eficiencia nutricional de variedades de caupi em la absorción del fósforo. **Agronomía Colombiana**. v.30, n. 3, p. 419-424, 2012.
- ARNOLD, C. Y. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, v. 74, p. 430-445, 1959.
- AUGOSTINHO, L. M. D. et al. Marcha de absorção de macro e micronutrientes em mudas de goiabeira 'Pedro Sato'. **Bragantia**, v. 67, n. 3, p. 563-568, 2008.
- AUMONDE, T. Z. et al. Análise de crescimento e partição de assimilados em plantas de maria-pretinha submetidas a níveis de sombreamento. **Planta Daninha**, v. 31, p. 99-108, 2013.
- BARROS, M.A. et al. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de feijão-caupi de porte semi prostrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 4, p. 403-410, 2013.
- BENICASA, M. M. P. **Análise de Crescimento de Plantas** (noções básicas). Jaboticabal. FUNEP. 2004. 42p.
- BEZERRA, A.A.C.; NEVES, A.C.; ALCÂNTARA, N. F., SILVA JÚNIOR, J.V. Morfofisiologia e produção de feijão-caupi, cultivar BRS Novaera, em função da densidade de plantas. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 4, p. 135-141, 2014.
- BLANCO, F. F. et al. Milho verde e feijão-caupi cultivados em consórcio sob diferentes lâminas de irrigação e doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 5, p. 524-530, 2011.
- BONA, F. D.; SCHMIDT, F.; MONTEIRO, F. A. Importance of the nitrogen source in the grass species *Brachiaria brizantha* responses to sulfur limitation. **Plant and soil**, v. 373, n. 1-2, p. 201-216, 2013.
- BRAGANÇA, S. M. et al. Acumulação de matéria seca pelo cafeeiro conilon. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 1, p. 48- 52, 2010.
- BRITO, M. M. P.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio do solo no desenvolvimento de feijão-caupi. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.1, p.206-215, 2011.
- BRUULSEMA T. W.; FIXEN, P. E.; SULEWSKI, G. D. **Plant nutrition manual: a manual for improving the management of plant nutrition, metric version**. v. 1, 2012, 122p.

- CAMPOS, F. L. et al. Ciclo fenológico em caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.): uma proposta de escala de desenvolvimento. **Revista Científica Rural**, v. 5, n. 2, p. 110-116, 2000.
- CAPALDI, F. R. et al. Sulfur metabolism and stress defense responses in plants. **Tropical Plant Biology**, v. 8, n. 3-4, p. 60-73, 2015.
- CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 590 p, 2012.
- CARVALHO, M.; LINO-NETO, T.; ROSA, E; CARNIDE, V. Cowpea: a legume crop for a challenging environment. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 97, p. 4273–4284. 2017.
- CARMO, D.L. et al. Micronutrientes em solo e folha de cafeeiro sob sistema agroflorestal no Sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, v. 7, p. 76-83, 2012.
- CORREA, A.M. et al. Variabilidade genética e correlações entre caracteres de feijão-caupi. **Revista Agro@mbienteOn-line**, vol. 9, n. 1, p. 42-47, 2015.
- CRUZ, F. J. R.; ALMEIDA, H. J.; SANTOS, D. M. M. Growth, nutritional status and nitrogen metabolism in *Vigna unguiculata* (L.) Walp is affected by aluminium. **Australian Journal of Crop Science**, v. 8, p.1132-1139, 2014.
- DING, Y.; ZHOU, X.; ZUO, L.; WANG, H.; YU, D. Identification and functional characterization of the sulfate transporter gene GmSULTR1;2b in soybean. **BMC Genomics**, Londres, v. 17, n. 1, p. 373-392, 2016.
- DUCA, M. **Plant physiology**. London: Springer. 2015. 315p.
- DUFAULT, R. J. Determining heat unit requirements for broccoli in coastal South. **Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.122, n.2, p.169-174, 1997.
- ECHER, F. R.; DOMINATO, J. C.; CRESTE, J. E. Absorção de nutrientes e distribuição da massa fresca e seca entre órgãos de batata-doce. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 2, p.176-182, 2009.
- FAGAN, E. B. et al. **Fisiologia vegetal: metabolismo e nutrição mineral**. São Paulo: Editora Andrei, 2016. 305 p.
- FREIRE FILHO, F. R. et al. (Ed.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: EMBRAPA, cap. 13. p. 487-497. 2005.
- FREIRE FILHO, F. R. et al. **Produção, melhoramento genético e potencialidades do feijão-caupi no Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 84p. Socioeconômicos. In: Vale, J.C do; Bertini, C. & Borém, A. (Eds.) - *Feijão-Caupi do plantio à colheita*. Viçosa, MG; UFV, cap. 1, p. 9-34.

FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V.Q.; RODRIGUES, J.E.L.F. & VIEIRA, P.F. de M.J. A Cultura: Aspectos Socioeconômicos. *In: Vale, J.C do; Bertini, C. & Borém, A. (Eds.) - Feijão-Caupi do plantio à colheita*. Viçosa, MG; UFV, cap. 1, p. 9-34, 2017.

HAWKESFORD, M. et al. Potassium-induced freezing tolerance is associated with endogenous abscisic acid, polyamines and soluble sugars changes in grapevine. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 215, p. 184-194, 2017.

JÁKLI B.; TAVAKOL E.; TRÄNKNER M.; SENBAYRAM M.; DITTERT K. Quantitative limitations to photosynthesis in K deficient sunflower and their implications on water-use efficiency. **Journal of Plant Physiology**, v. 209, p. 20–30, 2017.

KRUSE J. A. M, et al. Innovative methods in soil phosphorus research: a review. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 178,p. 43-88, 2015.

KURTZ C et al. Crescimento e absorção de nutrientes pela cultivar de cebola Bola Precoce. **Horticultura Brasileira**, v. 34, p. 279-288. 2016.

LIMA FILHO, A. F.; COELHO FILHO, M. A.; HEINEMANN, A. B. Determinação de épocas de semeadura do feijão-caupi no Recôncavo Baiano através do modelo CROPGRO. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.12, p.1294-1300, 2013.

LOPES, N.F., LIMA, M.G.S. **Fisiologia da produção**. Viçosa, Minas Gerais, UFV, 2015, 492 p.

MAARSCHALKERWEERD V. H; HUSTED S. Desenvolvimentos recentes em espectroscopia rápida para análise de minerais vegetais. **Fronteiras em Ciência das Plantas**, v. 6, 2015, 169p.

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

MATOS FILHO, C.H.A. et al. Potencial produtivo de progênies de feijão-caupi com arquitetura ereta de planta. **Ciência Rural**, v. 39, n. 2, p. 348- 354, 2009.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. Austrália: Elsevier, 2012. 651 p.

MEDEIROS, P. R. F.; DUARTE, S. N.; SILVA, E. F. F. Eficiência do uso da água e de fertilizantes no manejo de fertirrigação no cultivo do tomateiro sob condições de salinidade do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, p. 344-351, 2012.

MELO, B. F. et al. Resposta do feijão-caupi à aplicação de fósforo e zinco. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 240-245, 2018.

MENESES, N.B., et al. Accumulation of dry matter and nutrients by super sweetcorn. **Agrociencia Uruguay**, Montevideo, v. 22, n.1, p. 53-62, 2018.

MENDES, A. L. A.; SENÔ, K. C. A.; OLIVEIRA, R. C. Influência do complexo bacteriano em tratamento de sementes no desempenho agrônômico da soja (*Glycine max*) em condições de campo. **Nucleus**, Ituverava, v. 15, n. 1, p. 533-538, 2018.

MENSSENA, M.; LINDEB M.; OMONDIA E. O.; ONYANGOC M. A. Fekadu Fufa DINSSAD, F. F; WINKELMANNA T. Genetic and morphological diversity of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) entries from East Africa. **Scientia Horticulturae**, v. 226, p. 268–276, 2017.

MIRANDA, M. N.; CAMPELO JÚNIOR, J. H. Soma térmica para o subperíodo semeadura-maturação de feijão cv. Carioca em Colorado do Oeste, Rondônia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 180-185, 2010.

MITRA, G. N.; **Regulation of nutrient uptake by plants: a biochemical and molecular approach**. Springer: Índia, 2015, 195p.

MORAIS, E. R. C. de. et al. Crescimento e produtividade do meloeiro Torreon influenciado pela cobertura do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 32, n. 2, p. 301-308, 2010.

MONACO NETO; L. C.; SCARPARE FILHO, J. A. Desenvolvimento de videira “Niágara Rosada” podada em diferentes épocas. **Revista de Agricultura**. v. 87, p. 165- 171, 2012.

MOURA J.Z.; PÁDUA L.E.M.; MOURA S.G.; TORRES J.S.; SILVA P.R.R. Escala de desenvolvimento fenológico e exigência térmica associada a graus-dia do feijão-caupi. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 3, p. 66-71, 2012.

NASCIMENTO, M. V. et al. Manejo da adubação nitrogenada nas culturas de alface, repolho e salsa. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 4, n. 1, p. 65–71, 2017.

NASCIMENTO, M. S. et al. Nutrient extraction and exportation by castor bean hybrid Iyra. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p.113-124, 2012.

NASCIMENTO S.P. et al. Tolerância à deficiência de água de genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**. v. 15, n. 8, p. 853–860, 2011.

OLIVEIRA, R. L. L.; MOREIRA, A. R.; COSTA, A. V. A.; SOUZA, L. C. S.; LIMA, L. G. S.; SILVA, T. L. Modelos de determinação não destrutiva de área foliar de feijão

caupi *Vigna unguiculata* (L.). **Global Science and Technology**, v. 8, n. 2, p. 17-27, 2015.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres 1981. 440p.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 407 p.

PEGORARO, R.F. et al. Partição de biomassa e absorção de nutrientes pelo feijoeiro comum. **Revista Caatinga**, v.27, n.3, p.41-52, 2014.

PEIXOTO, C.C.; CRUZ, T.V.; PEIXOTO, M.F.S.P. Análise quantitativa do crescimento de plantas: Conceitos e prática. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.7, n.13, p.51-76, 2011.

PEREZ, A. A. G. et al. Extração e exportação de nutrientes pelo feijoeiro adubado com nitrogênio, em diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 1276-1287, 2013.

PEREIRA, C. S.; DE FREITAS, A. A.; CHAPLA, M. V.; LANGE, A. Doses de potássio com a presença de enxofre na cultura da soja. **Global Science and Technology**, v.09, n.01, p.22-32, 2016.

PIRES, A.; LIMA, C. S. M. Fenologia e exigência térmica de videiras “Niágara Rosada” e “Branca” na região de Laranjeiras do Sul, PR. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. v. 17, n. 3, p.336-343, 2018.

REICH, M. The significance of nutrient interactions for crop yield and nutrient use efficiency. In: **Plant Macronutrient Use Efficiency**, p. 65–82, 2017.

RENATO, N. S.; SILVA, J. B. L.; SEDIYAMA, G. C.; PEREIRA, E. G. Influência dos métodos para cálculo de graus-dia em condições de aumento de temperatura para as culturas de milho e feijão. **Revista Brasileira de Meteorologia**. São Paulo, v. 28, n. 4, p. 382-388, 2013.

ROSOLEM, C. A.; ECHER, F. R.; LISBOA, I. P.; BARBOSA, T. S. Acúmulo de Nitrogênio, fósforo e potássio pelo Algodoeiro sob irrigação cultivado em sistemas convencional e adensado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p.457-466, 2012.

SANTOS, J. F. et al. Produtividade do feijão vigna utilizando biofertilizante e uréia. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.1, p.25-29, 2007.

SANTOS, A. et al. Adaptability and stability of cowpea genotypes to Brazil Midwest. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 41, p. 3901-3908, 2015.

SCHMIDT, S. B.; JENSEN, P. E.; HUSTED, S. Manganese Deficiency in Plants: The Impact on Photosystem. II. **Trends in Plant Science**, v. 21, n. 7, p. 2016

SEGANTINI, D.M. et al. Exigência térmica e produtividade da amoreira-preta em função das épocas de poda. **Revista Brasileira de Fruticultura**, vol. 36, n. 3, p. 568-575, 2014.

SNYDER, R. L. Hand calculating degree days. **Agriculture and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 35, n. 1-4, p.353-358, 1985.

SCHÖFFEL, E. R.; VOLPE, C. A. Relação entre a soma térmica efetiva e o crescimento da soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.1, p.89-96, 2002.

SORATTO, R.P.; FERNANDES, A.M.; SANTOS, L.A. & JOB, A.L.G. Extração e exportação de nutrientes em cultivares de feijoeiro sob níveis de adubação: I - Macronutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p.1027-1042, 2013.

SOUSA, M.B.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; ROCHA, M. M.; MENEZES-JÚNIOR, J.A.N.; LIMA, L.R.L. . Genotype by environment interaction in cowpea lines using gge biplot method. **Revista Caatinga**, v. 31, p. 64-71, 2018.

SOUZA, E. F. C.; SORATTO, R. P.; PAGANI, F. A. Aplicação de nitrogênio e inoculação com rizóbio em feijoeiro cultivado após milho consorciado com braquiária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 4, p. 370-377, 2011.

SOUZA, T. T. de et al. Regime de acoplamento planta-atmosfera em lavouras de milho cultivadas em duas épocas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, p. 1134–1142, 2017.

SILVA, R.P. et al. Qualidade da colheita mecanizada de feijão (*Phaseolus vulgaris*) em dois sistemas de preparo do solo. **Revista Ciência Agronômica**, vol. 44, n. 1, p. 61-69, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artemed, 2013. 954p.

TORRES, F.E.; TEODORO, P.E.; SAGRILO, E.; CECCON, G., CORREA, A.M. Interação genótipo x ambiente em genótipos de feijão-caupi semiprostrado via modelos mistos. **Bragantia**, vol. 74, n. 3, p. 255-260, 2015.

VALE, J. C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. **Feijão-caupi do plantio à colheita**. 1 ed. Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa. 2017.

WANG, N.; WEI, Q.; YAN, T.; PAN, Z.; LIU, Y. Improving the boron uptake of boron-deficient navel orange plants under low boron conditions by inarching boron-efficient rootstock. **Scientia Horticulturae**, Kentucky, v. 199, p. 49-55, 2016.

WEBER, A. et al. Measuring the mechanical properties of plant cells by combining micro-indentation with osmotic treatments. **Journal of Experimental Botany**, Gent, v.66, p.3229- 3241, 2015.

WEISSERT, C.; KEHR, J. Macronutrient sensing and signaling in plants. In: **Plant Macronutrient Use Efficiency**, p. 45–64, 2017.

CAPÍTULO I

CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI EM SISTEMAS CONVENCIONAL E MÍNIMO

RESUMO

O baixo rendimento de grãos de feijão-caupi é influenciado por vários fatores de produção, principalmente a fertilização inadequada do solo. O objetivo desse trabalho foi verificar o crescimento e a produtividade de cultivares de feijão-caupi em sistemas de plantio convencional e mínimo sob condições irrigadas. O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa Meio-Norte sob o delineamento experimental em blocos casualizados, e esquema experimental de parcelas subdivididas, sendo as parcelas os manejos do solo e, as subparcelas, os tempos de coleta, com quatro repetições. As cultivares de feijão-caupi implantadas foram: BRS Imponente, BRS Itaim, BRS Novaera e a BRS Tumucumaque. As avaliações temporais ocorreram aos 28, 35, 49, 56, 63 e 70 dias após a emergência (DAE), coletando-se quatro plantas na área útil, onde foram mensuradas as seguintes variáveis: altura das plantas, diâmetro caulinar, número de trifólios, área foliar, índice de área foliar e produtividade. Houve diferença estatística entre cultivares de feijão-caupi dentro dos sistemas de manejo para os componentes de crescimento avaliados, com superioridade para o cultivo mínimo. O cultivo mínimo proporciona maior crescimento vegetativo nas cultivares de hábito de crescimento indeterminado BRS Imponente, BRS Novaera e BRS Tumucumaque, com influência na área foliar, índice de área foliar (IAF), altura de planta, diâmetro e número de trifólios. As cultivares de porte indeterminado BRS Imponente, BRS Novaera e BRS Tumucumaque não apresentam alteração na produtividade dentro dos sistemas de manejo do solo. Já a cv. BRS Itaim, com hábito de crescimento determinado, apresenta superioridade em produtividade em sistema de cultivo mínimo, exibindo incremento de 57% em produtividade.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, rendimento, graus-dia, manejo do solo.

CAPÍTULO I

GROWTH AND GRAINS TIELD OF COWPEA CULTIVARS IN CONVENTIONAL AND TILLAGE SYSTEMS

ABSTRACT

The low yield of cowpea beans is influenced by several factors of production, mainly the inadequate fertilization of the soil. The objective of this work was to verify the growth and yield of cowpea cultivars in conventional and minimum tillage systems under irrigated conditions. The experiment was conducted in the experimental area of Embrapa Meio-Norte under a randomized block experimental design and a split-plot experimental scheme, with the plots being the soil management and the subplots the collection times, with four replications. The cowpea cultivars evaluate were: BRS Imponente, BRS Itaim, BRS Novaera and BRS Tumucumaque. The temporal evaluations took place at 28, 35, 49, 56, 63 and 70 DAE, collecting four plants in the useful area of the plants, where the following variables were measured: height, stem diameter, number of trifolium, leaf area, leaf area index and yield. There was a statistical difference of cowpea cultivars within the management systems for the growth components evaluated with superiority for the minimum cultivaion. The tillage cultivation provides greater vegetative growth in cultivars with indeterminate growth habits BRS Imponente, BRS Novaera and BRS Tumucumaque, with influence on leaf area, leaf area index (IAF), height, diameter and number of trifolium. The cv. BRS Itaim, with a determined growth habit, has superior yield in the tillage cultivation system, showing an increase of 57% in yield.

Key words: *Vigna unguiculata*, yield, degree days, soil management.

Lista de Tabelas

Tabela 1. Caracterização química do solo das áreas experimentais, obtidos a partir das profundidades de 0,0-2, e 0,2-0,4 m. Teresina-PI,2019.....	36
Tabela 2. Descrição do ciclo fenológico das cultivares de feijão-caupi durante as coletas temporais adotando a escala proposta por Campos et al. (2000).....	39
Tabela 3. Acúmulo de graus-dia durante o ciclo de cultivares de feijão-caupi. Teresina-PI, 2019.....	44
Tabela 4. Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para altura, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.....	46
Tabela 5. Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o diâmetro do caule, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.....	48
Tabela 6. Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o número de trifólios, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.....	49
Tabela 7. Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para a área foliar, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.....	52
Tabela 8. Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para a índice de área foliar IAF), ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.....	55

Lista de Figuras

- Figura 1.** Variação dos parâmetros climáticos, graus-dia acumulados, durante a condução do experimento, em Teresina-PI.....35
- Figura 2.** Estádios fenológicos e dias após a emergência (DAE) correspondente as coletas da cv. BRS Itaim.....38
- Figura 3.** Estádios fenológicos e dias após a emergência (DAE) correspondente as coletas das cvs. BRS Imponente, BRS Novaera e BRS Tumucumaque.....39
- Figura 4.** Altura de cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional e mínimo ao longo do seu ciclo.....46
- Figura 5.** Diâmetro do caule das cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional e mínimo ao longo do seu ciclo.....48
- Figura 6.** Número de trifólios de cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional e mínimo ao longo do seu ciclo.....49
- Figura 7.** Área foliar das cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional e mínimo ao longo do seu ciclo.....52
- Figura 8.** Índice de área foliar (IC) em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional e mínimo ao longo do seu ciclo.....54
- Figura 9.** Produtividade de cultivares de feijão-caupi em sistema de cultivo convencional e mínimo.....56

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi é cultivado em diferentes condições edafoclimáticas, consistindo-se uma das principais culturas utilizadas como fonte de proteína no mundo (FREITAS et al., 2017). Em 2016, o principal país produtor foi a Nigéria, responsável por 54% da produção mundial. Em seguida, vem o Níger, com 21% do volume total médio e, em terceiro, Burkina Faso, com 8%. As três nações assumem 83% da produção mundial de grãos seco do feijão-caupi, cerca de 7,32 milhões de toneladas (FAO, 2019).

O Brasil, quarto maior produtor mundial, nos últimos anos tem obtido grandes progressos no contexto nacional com a elevação da produção e a expansão do mercado (VALE, 2017). Atualmente, o país apresenta uma produtividade média de 491 kg ha⁻¹, com destaque para região Centro-Oeste, que supera a produtividade média do país (1.111 kg ha⁻¹). A região Nordeste, mesmo com a maior área plantada de feijão-caupi é responsável pela menor produtividade média com 378 kg ha⁻¹ (CONAB, 2019).

O baixo rendimento de grãos de feijão-caupi é influenciado por vários fatores de produção, principalmente a fertilização inadequada do solo (MELO et al., 2018). Os fatores genéticos afetam o rendimento do feijoeiro e, portanto, o teor e a exigência de nutrientes. A influência direta desses fatores depende das condições ambientais, especialmente precipitação e temperatura, e dos fatores edáficos, como a fertilidade do solo (HOSSAIN et al., 2017).

O sistema de manejo sem o revolvimento do solo pode ser uma alternativa ao sistema convencional de preparo do solo, contribuindo para a sustentabilidade de sistemas agrícolas intensivos, por manter o solo coberto por restos culturais o ano inteiro, minimizando os efeitos da erosão (COSTA et al., 2009).

Nesse sentido destaca-se que sistemas que visem o manejo mínimo do solo é considerado promissor para a cultura do feijão-caupi, por utilizar resíduos de cultura para cobertura do solo com a finalidade de manter a umidade, podendo ser uma alternativa na mitigação do risco da cultura ao estresse hídrico. Uma outra vantagem é a diminuição da temperatura do solo com a proteção dos restos vegetais contra os raios solares (SIMIDU et al., 2010).

O sistema de plantio direto, em sistema de produção de feijão-caupi, em solo de terra firme no Amazonas, demonstrou-se tecnicamente viável, permitindo a

produtividade de grãos compatíveis com o sistema de manejo convencional do solo recomendado para a região (ROCHA et al., 2013).

Nesse contexto, a análise do crescimento possibilita gerenciar as exigências, as sensibilidades e as tolerâncias da cultura em função dos recursos disponíveis, tornando o processo de produção mais eficaz e oportunizando o planejamento da sua expansão, mesmo sob as limitações naturalmente impostas.

Do exposto, o objetivo deste trabalho foi verificar o crescimento e a produtividade de cultivares de feijão-caupi em sistemas de plantio convencional e mínimo, sob condições irrigadas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização edafoclimática da área experimental

A pesquisa foi conduzida na área experimental da Embrapa Meio-Norte, localizada no município de Teresina-PI, em um Neossolo Fluvico Ta eutrófico (MELO et al., 2014); o clima, de acordo com a classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955) é C1 sA'a', caracterizado como subúmido seco, megatérmico, com excedente hídrico moderado no verão (ANDRADE JÚNIOR et al., 2005).

As condições ambientais de distribuição de chuva (precipitação pluvial) e temperatura do ar (máximas, mínimas e médias), assim como o acúmulo de graus-dia durante o período de condução do experimento, são apresentadas na Figura 1.

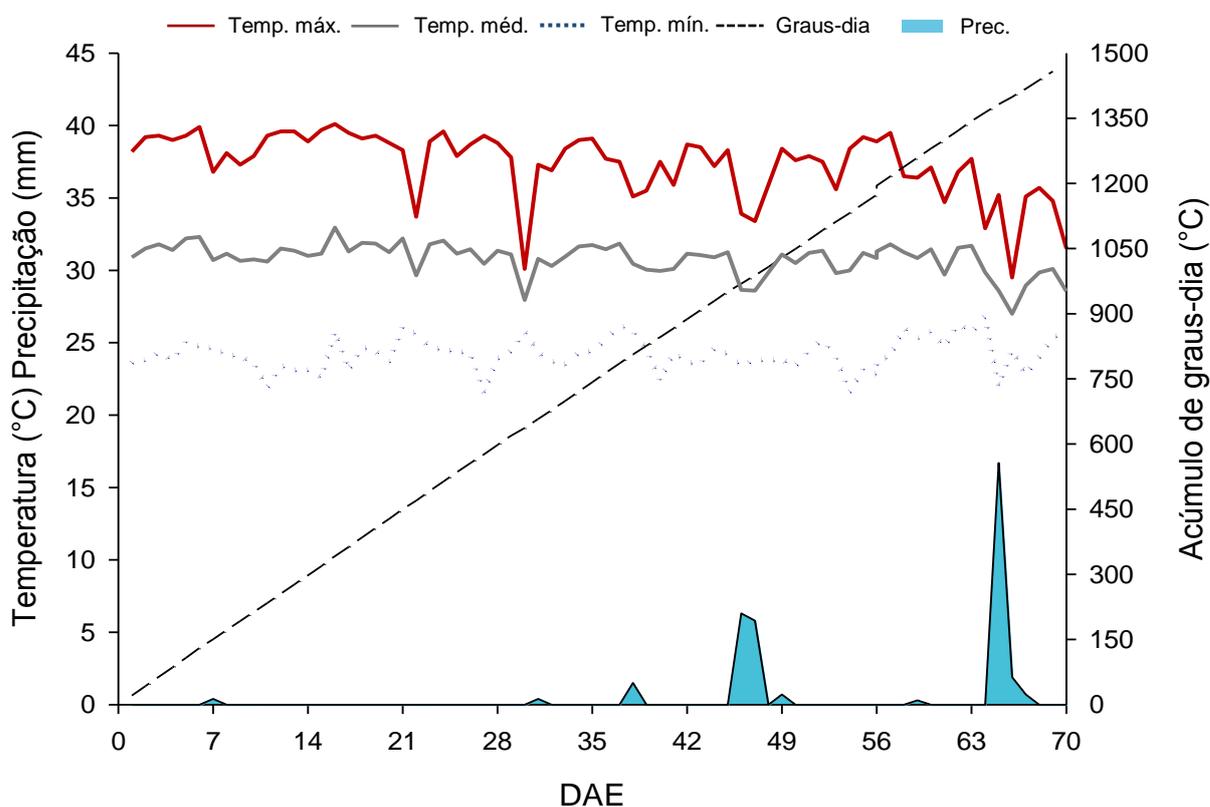


Figura 1. Variação dos parâmetros climáticos, graus-dia acumulados, durante a condução do experimento com início em 05/10 (plantio) e finalização em 19/12/2017 (colheita), em Teresina, PI.

O trabalho constou de experimento em campo, cuja área apresentava sistema de irrigação por aspersão móvel, conduzido em sistema de plantio convencional e mínimo. Antes da montagem dos experimentos, amostras de solo foram retiradas da camada superior (0,0-0,2 e 0,2-0,4 m) para fins de caracterização químicas e físicas,

realizada de acordo com Teixeira et al. (2017), cujo resultado encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo da área experimental, obtidas a partir das profundidades de 0,0-0,2 e 0,2-0,4 m. Teresina, PI, 2019.

Camadas	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CT C	N	M.O	V
		mgdm ⁻³	cmolc dm ⁻³							dag kg ⁻¹	%		
0,0-0,2 m	5,9	70,8	0,17	0,04	2,37	1,31	0,02	1,59	3,39	5,48	0,06	1,1	70,9
0,2-0,4 m	6,0	44,2	0,12	0,26	2,87	1,59	0,03	1,52	4,84	6,36	0,05	1,1	76,1
Camadas	Areia	Silte	Argila	Classe Textural									
	%												
0,0-0,2 m	40,7	13,9	45,3	Franca									
0,2-0,4 m	44,3	15,4	40,3	Franca									

M.O. – Walkey e Black (oxidação via úmida); P; K; Na – Melich1 ou duplo ácido; Ca, Mg e Al – KCl; H+Al – Acetato de Ca; S-SO₄²⁻ - Turbidimetria/Cloreto de Bário; Areia, silta, argila – método da pipeta.

2.2 Implantação e condução do experimento

No cultivo mínimo, o ensaio foi instalado sob palhada, estimada em 2.243 kg ha⁻¹ por meio de três amostragens, utilizando-se molduras metálicas com área de 0,25 m². Anteriormente, a área havia recebido cultivos sucessivos do feijão-caupi. A dessecação foi realizada quinze dias antes do plantio, com o herbicida glifosato (N-(fosfometil) glicina), não-seletivo, sistêmico, pós-emergente.

No cultivo convencional, o preparo do solo constou de uma aração a uma profundidade 20 cm e três gradagens. Posteriormente, instalou-se nas áreas um sistema de irrigação por aspersão móvel, estruturada por canos de engate rápido, com as medições de 6 metros de comprimento com 50 milímetros de espessura, e aspersores com o espaçamento de 12 metros entre um e outro, aplicando-se uma lâmina aproximada de 7 mm diários de água.

A adubação de fundação de ambas as áreas ocorreu um dia antes do plantio, de acordo com a análise de solo e conforme recomendações de Melo e Cardoso (2018), e atendendo às recomendações para a cultura com 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples) e 30 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio). As parcelas foram compostas por 4 linhas espaçadas em 0,5 m com 5 m de comprimento, e estande esperado de 12 plantas por m² (240 mil plantas ha⁻¹). O plantio foi realizado no dia 05/10/2017 e, no dia seguinte, aplicou-se os herbicidas Dual Gold (pré-emergente) e Gramoxone (dessecante). Uma semana após a emergência, realizou-se o replantio

da área do sistema de cultivo convencional, pois o mesmo apresentou falhas. Após 15 DAE, realizou-se uma aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N, em cobertura.

2.3 Caracterização das cultivares utilizadas

As cultivares foram obtidas através do Programa de Melhoramento Genético do Feijão-caupi, coordenado pela Embrapa Meio-Norte, em Teresina-Piauí.

2.3.1 BRS Imponente

A cultivar BRS Imponente foi lançada em 2016, indicada para cultivo na região Norte (no estado do Pará), na região Nordeste (nos estados do Piauí e Maranhão) e na região Centro-Oeste (no Mato Grosso). Apresenta hábito de crescimento indeterminado, porte semiereto, com ramos laterais curtos, ciclo de maturação precoce (65 a 70 dias) e inserção das vagens acima do nível da folhagem, o que lhe confere uma boa resistência ao acamamento (EMBRAPA, 2016).

2.3.2 BRS Itaim

A cultivar BRS Itaim foi lançada em 2009, e possui hábito de crescimento determinado, porte ereto, e exibe alta resistência ao acamamento. É recomendada, principalmente, para o cultivo em regime de sequeiro. Esta cultivar apresenta florescimento médio de 35 dias e ciclo maturação superprecoce de 60 a 65 dias (FREIRE FILHO et al., 2009).

2.3.3 BRS Novaera

A cultivar BRS Novaera foi lançada em 2007, apresenta ciclo precoce de 65 a 70 dias e florescimento médio em torno de 45 dias. É uma planta de porte semiereto e moderadamente resistente ao vírus do mosaico dourado do feijão-caupi e altamente resistente à mancha-café, doença vastamente disseminada por todas as regiões produtoras do Brasil. Por possuir porte semiereto, a planta permite a colheita totalmente mecanizada dos grãos (FREIRE FILHO et al., 2008).

2.3.4 BRS Tumucumaque

A cultivar BRS Tumucumaque foi lançada em 2009, apresenta hábito de crescimento indeterminado, porte semiereto, com florescimento médio em torno de 39

a 42 dias e ciclo precoce de 65 a 70 dias (VILARINHO et al., 2008). Essa cultivar apresenta altos teores de ferro e zinco, estando inserida como cultivar biofortificada.

2.4 Delineamento estatístico, tratamentos e características avaliadas

Adotou-se o delineamento experimental em blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições.

Para as avaliações temporais do crescimento, coletou-se quatro plantas na área útil (10 metros lineares), ou seja, nas duas linhas centrais, evitando-se 0,5 m de cada extremidade das parcelas e coletando-se de acordo como demonstrado nas Figuras 2 e 3, cujo estádios fenológicos são apresentados na Tabela 2.

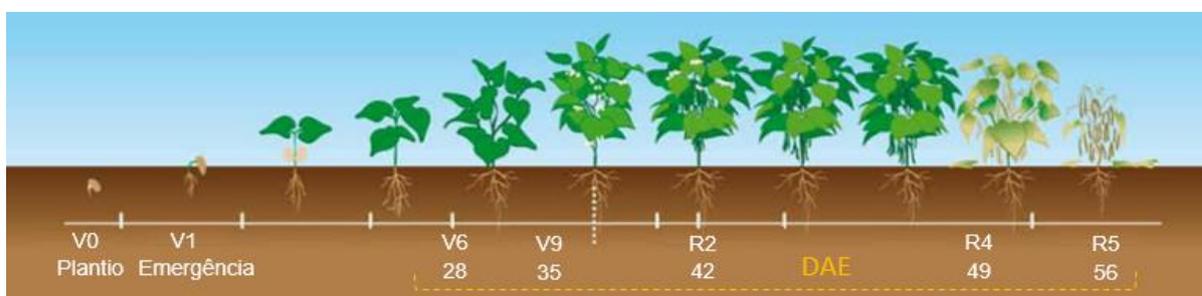


Figura 2. Estádios fenológicos e dias após a emergência (DAE) correspondente às coletas da cv. BRS Itaim.

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2018).

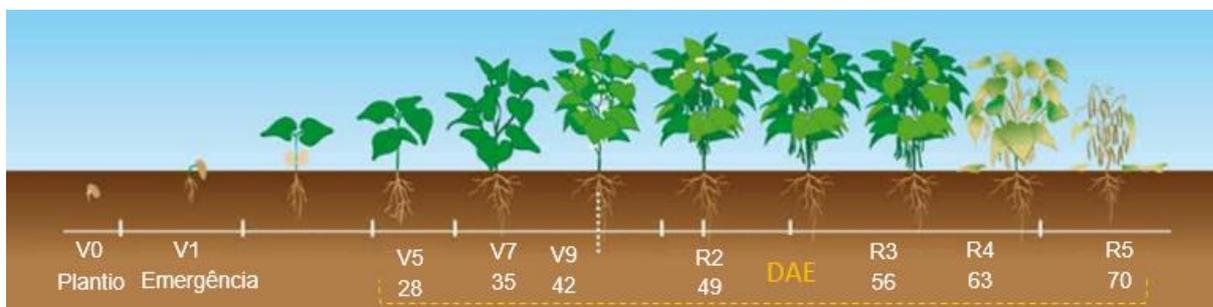


Figura 3. Estádios fenológicos e dias após a emergência (DAE) correspondente as coletas das cvs. BRS Imponente, BRS Novaera e BRS Tumucumaque.

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2018).

Tabela 2. Descrição do ciclo fenológico das cultivares de feijão-caupi durante as coletas temporais adotando a escala proposta por Campos et al. (2000).

Estádios fenológico	
V0	Plantio;
V1	Emergência;
V5	A terceira folha trifoliolada encontra-se com os folíolos separados e completamente abertos;
V6	Os primórdios do ramo secundário surgem nas axilas das folhas unifolioladas;
V7	A primeira folha do ramo secundário encontra-se completamente aberta;

V9	A terceira folha do ramo secundário encontra-se completamente aberta;
R2	Antese da primeira flor, geralmente oriunda do primeiro botão floral;
R3	Início da maturidade da primeira vagem, geralmente oriunda da primeira flor;
R4	Maturidade de 50% das vagens da planta;
R5	Maturidade de 90% das vagens da planta.

Os dias após a emergência foram transformados em graus-dia, através do método proposto por Omoto (1981). O acúmulo de graus-dia (°C) durante o ciclo da cultura foi calculado utilizando-se os dados de temperatura máxima e mínima no período da emergência à colheita (70 DAE), obtidos através do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e coletados por uma estação meteorológica automática localizada na Embrapa Meio-Norte em Teresina-PI.

O método aplicado, além de considerar a temperatura basal inferior (tb), considera também a temperatura basal superior (TB), e foi indicado por Renato et al. (2013) ao avaliar diferentes métodos para o cálculo de graus-dia em condições de temperaturas elevadas. O valor da Tb adotado foi de 10 °C (MOURA et al., 2012), e a temperatura de 35 °C para a TB (MIRANDA e CAMPELO JÚNIOR, 2010).

Neste método, a soma térmica apresenta cinco condicionantes, cada uma com determinada equação (Equações 1 a 5) para cálculo de GD:

$$TB > TM > Tm > Tb \quad GD = \frac{TM + Tm}{2} + Tm - Tb \quad (1)$$

$$TB > TM > Tb > Tm \quad GD = \frac{(TM - Tb)^2}{2(TM - Tm)} \quad (2)$$

$$TB > Tb > TM > Tm \quad GD = 0 \quad (3)$$

$$TM > TB > Tm > Tb \quad GD = \frac{2(TM - Tm) + (Tm - Tb) + (TM - Tm)^2 - (TM - TB)}{2(TM - Tm)} \quad (4)$$

$$TM > TB > Tb > Tm \quad GD = \frac{1}{2} \frac{(TM - Tb)^2 - (TM - TB)^2}{TM - Tm} \quad (5)$$

Em que:

GD: Graus-dia;

TB: temperatura basal superior (35°C);

Tb: temperatura basal inferior (10°C);

TM: temperatura máxima;

Tm: temperatura mínima.

De posse das plantas, foram mensuradas em laboratório as seguintes variáveis:

- Altura da planta (cm) – medida do colo até a inserção da última folha trifoliada completamente expandida;
- Diâmetro caulinar (mm) – mensurado a partir de 5 cm do colo da planta com a ajuda de um paquímetro;
- Número de folhas - contagem do número de folhas totais;
- Área foliar (cm²) – determinada pelo medidor de área Licor modelo LI-3100;
- Índice de área foliar (IAF) - com base na área foliar de acordo com as sugestões de Benincasa (2003) - relação da área foliar total da planta (m²), por unidade de terreno (m²) disponível para a planta, por meio da equação 6:

$$IAF = \frac{AF}{S} \quad (6)$$

Em que:

IAF: Índice de área foliar;

AF: Área foliar total;

S: espaço disponível para a planta.

Após as mensurações, as amostras foram lavadas, colocadas em sacos de papel e secas em estufa de ar forçado a 65°C (até peso constante). Em seguida, foram pesadas determinando-se, então, o peso da massa seca da planta e, posteriormente, por hectare ao longo do ciclo da cultura.

- Produtividade de grãos (PG) - realizada manualmente em duas fileiras de 5 m da área útil de cada parcela experimental. Após a colheita, realizou-se a debulha manual dos grãos e posterior pesagem, transformando-se a massa de grãos para kg ha⁻¹ a 13% de umidade (base úmida).

2.5 Procedimentos estatísticos

Os dados apresentaram distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilke foram submetidos à análise de variância por meio do *software* de análise estatística Sisvar®

(FERREIRA, 2011). Quando significativo, procedeu-se o teste t ($p < 0,05$) para os manejos e análise de regressão para os tempos de coleta.

Empregou-se a análise de regressão não linear, com parâmetros do modelo estimados, usando a função de ajuste com curva dinâmica no programa SigmaPlot versão 12.5 (Systat Software, San Jose, CA); em seguida, foi escolhido o modelo que expressou significância estatística e maior coeficiente de determinação (R^2).

O modelo gaussiano de três parâmetros escolhido com curva de pico está descrito na equação 7:

$$y = ae^{[-0,5\left(\frac{x-x_0}{b}\right)^2]} \quad (7)$$

Em que:

y: variável de crescimento;

a: valor máximo da variável;

x_0 : valor de x no DAE que fornece o máximo valor;

b: amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo.

A partir do modelo ajustado, foi possível determinar, com precisão, o valor do ponto de inflexão (PI) na curva de acordo com a equação 8:

$$PI = x_0 - b \quad (8)$$

Matematicamente, o PI corresponde ao valor de x, no qual a curvatura do modelo ajustado muda de sinal; na prática, isso corresponde ao valor de x em DAE, no qual a taxa de acúmulo máximo diário, embora positivo, diminui.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Acúmulo de graus-dia

Em razão do seu ciclo superprecoce (56 dias), a cultivar BRS Itaim, com hábito de crescimento determinado, apresentou menor exigência térmica que as demais cultivares para atingir todos os estádios fenológicos, com o acúmulo de 742 graus-dia durante o estágio vegetativo, e um acúmulo total de 1.174 graus-dia em todo seu ciclo. Por outro lado, as cultivares precoces (70 dias) BRS Imponente, BRS Novaera e BRS Tumucumaque, de hábito indeterminado, necessitaram de um acúmulo termal na fase vegetativa de 888 graus-dia e acúmulo total de 1.458 graus-dias (Tabela 3).

Resultados similares também foram observados por Moura et al. (2012), em que a cultivar BR 17 – Gurguéia (ciclo 60 dias) necessitou de 818,2 graus-dia, desde a semeadura até o início da fase reprodutiva, e de 1.103,5 graus-dia da semeadura até o fim do ciclo reprodutivo. Assim, ficou evidenciado que os distintos hábitos de crescimento e ciclo das cultivares são responsáveis pela diferença de necessidade térmica entre seus estádios fenológicos, e que o feijão-caupi apresenta maior necessidade térmica para o desenvolvimento da fase vegetativa em relação à fase reprodutiva, característica geralmente observada em cultivares de crescimento indeterminado.

Cultivares de ciclos mais longos da cultura da soja tendem a apresentar maior altura, número de vagens e de grãos, e tendem a resultar em maiores produções de biomassa (BENDER et al., 2015).

Tabela 3. Acúmulo de graus-dia durante o ciclo de cultivares de feijão-caupi. Teresina-PI, 2019.

Cultivar	Estádio vegetativo	Estádio reprodutivo	Total
BRS Imponente	888	570	1.458
BRS Itaim	742	432	1.174
BRS Novaera	888	570	1.458
BRS Tumucumaque	888	570	1.458

3.2 Altura de plantas

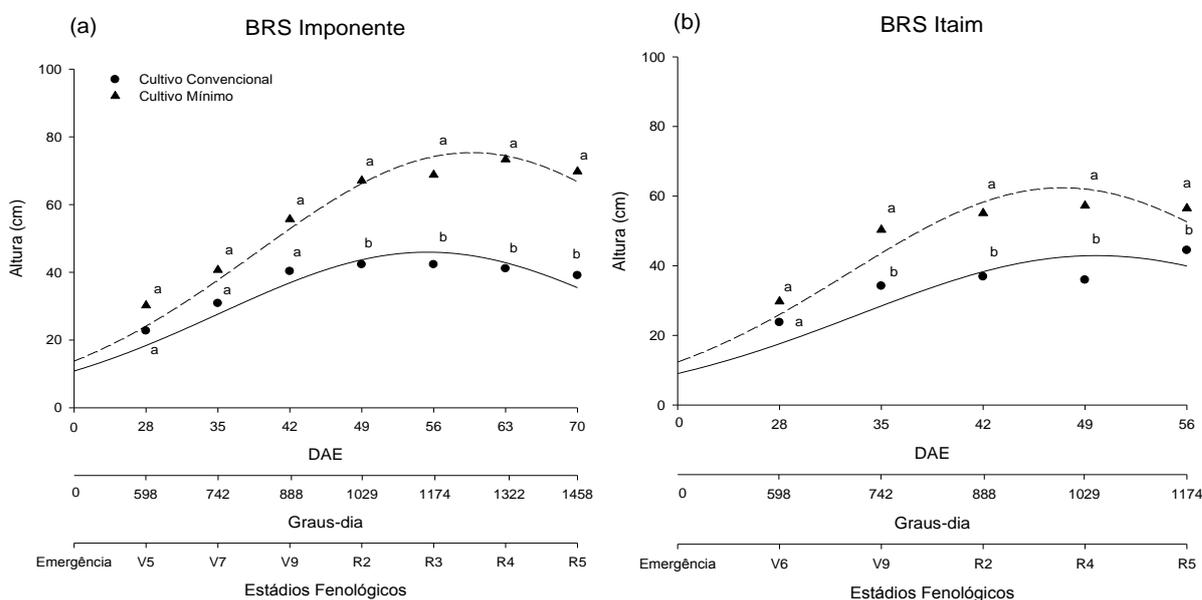
Para a característica de crescimento/altura da planta, verificou-se efeito significativo ($p \leq 0,05$) dos manejos do solo sobre a altura das cultivares de feijão-caupi avaliadas. De acordo com as curvas de crescimento apresentadas (Figura 4), a cultura

obteve maior incremento em altura quando conduzida em sistema de cultivo mínimo. A altura das cultivares variou significativamente nos ambientes de cultivo no estágio reprodutivo V9, correspondente ao acúmulo térmico de 742 graus-dia e ao R5, equivalente ao acúmulo termal de 1.458 graus-dia (Figura 4a, 4b, 4c e 4d).

De acordo com a máxima altura expressa pelas cultivares, constata-se que a BRS Imponente atingiu 75,3 cm aos 60 DAE e a BRS Itaim, 62,4 cm aos 47 DAE, enquanto que a BRS Novaera apresentou altura máxima de 64,0 cm aos 57 DAE e a BRS Tumucumaque, aos 55 DAE, atingiu 95,0 cm em cultivo mínimo. Em cultivo convencional, as cultivares exibiram os valores de 46,0, 42,0, 46,0 e 61,5 cm aos 55, 50, 59 e 56 DAE para a BRS Imponente, BRS Itaim, BRS Novaera e BRS Tumucumaque, respectivamente. Dentre as cultivares, a BRS Tumucumaque foi a que demonstrou maior variação máxima em altura, do sistema convencional para o mínimo, com uma diferença de 33,5 cm (Tabela 4).

Reforçando tais resultados, Vieira et al. (2008) relata que a altura das plantas são influenciadas pelos sistemas de plantio e pela interação cultivares x sistemas. Os autores, ao avaliarem o crescimento do feijoeiro comum em plantio direto e convencional, constataram que a planta obteve um maior incremento em altura no sistema que houve menor revolvimento do solo.

Essas observações são reforçadas pelos registros de Machado et al. (2008), ao identificar diferenças na arquitetura e crescimento de genótipos de feijão-caupi. Para Teixeira et al. (2007), embora a genética tenha mais influência nas características de crescimento do feijão-caupi, este também é influenciado pelas características fenotípicas e pelo ambiente, como identificado neste trabalho.



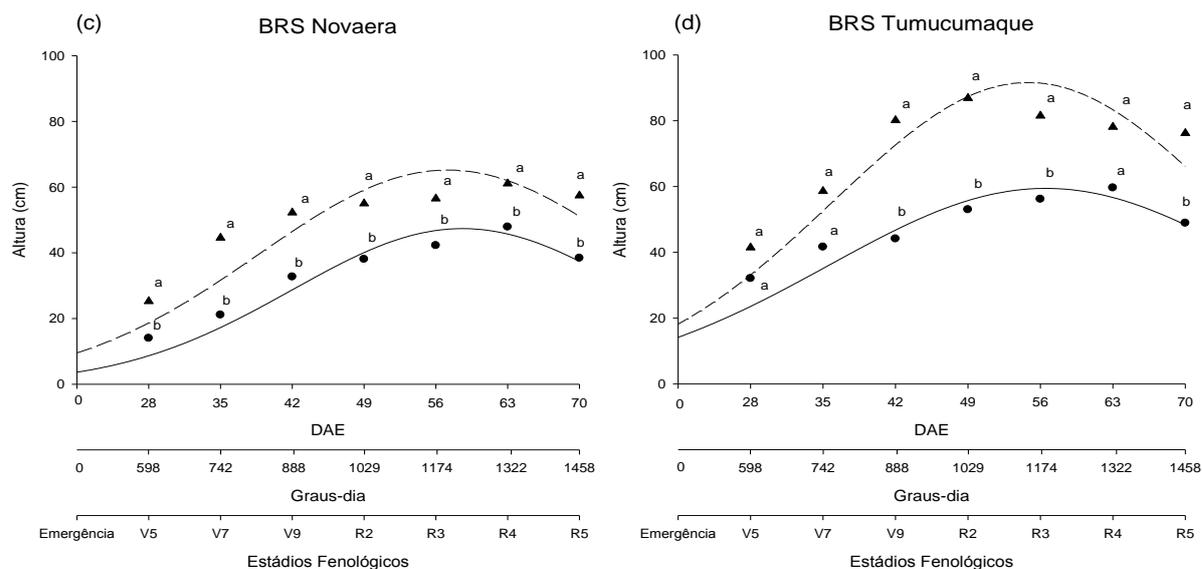


Figura 4. Altura de plantas de cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional e mínimo ao longo do seu ciclo.

Tabela 4. Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para a altura de planta, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina, PI, 2019

Manejo	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2
	$a^{(2)}$	$b^{(3)}$	$x_0^{(4)}$			$a^{(2)}$	$b^{(3)}$	$x_0^{(4)}$		
	cm	-----DAE-----			cm	-----DAE-----				
	BRS Iponente					BRS Itaim				
CC	46,0*	20*	55*	35	0,93	42,9*	16*	50*	34	0,95
CM	75,3*	21*	60*	39	0,96	62,4*	15*	47*	32	0,98
	BRS Novaera					BRS Tumucumaque				
CC	46,0*	17*	59*	42	0,75	61,5*	18*	56*	38	0,92
CM	64,0*	20*	57*	37	0,93	95,0*	18*	55*	37	0,94

(1) Valores representam a média das avaliações biométricas das cultivares.

(2) Valor máximo observado.

(3) Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo.

(4) Dias após a emergência (DAE) que forneceu os maiores valores.

* e ns: significativo e não significativo pelo teste t ($p < 0,05$), respectivamente.

3.3 Diâmetro caulinar

Em relação ao diâmetro do caule no decorrer do ciclo da cultura, os maiores valores foram expressos pelas cultivares no sistema de cultivo mínimo. As médias de diâmetro do caule, exibidas pelas cultivares nos manejos de solo, apresentaram efeito significativo a partir do estágio reprodutivo R2, exceto a cv. BRS Tumucumaque, que mostrou diferença significativa nos estádios vegetativos (Figura 5a, 5b, 5c e 5d).

As cultivares apresentaram ponto máximo em diâmetro caulinar com valores de 9,5 mm (58 DAE) e 7,2 mm (53 DAE) para a BRS Imponente; para a BRS Itaim, 8,0 mm (44 DAE) e 6,3 mm (42 DAE); para a BRS Novaera, 8,3 mm (52 DAE) e 6,1 mm (50 DAE) e para a BRS Tumucumaque, 9,0 mm e 7,0 mm (54 DAE) no sistema de manejo do solo convencional e mínimo, respectivamente (Tabela 5).

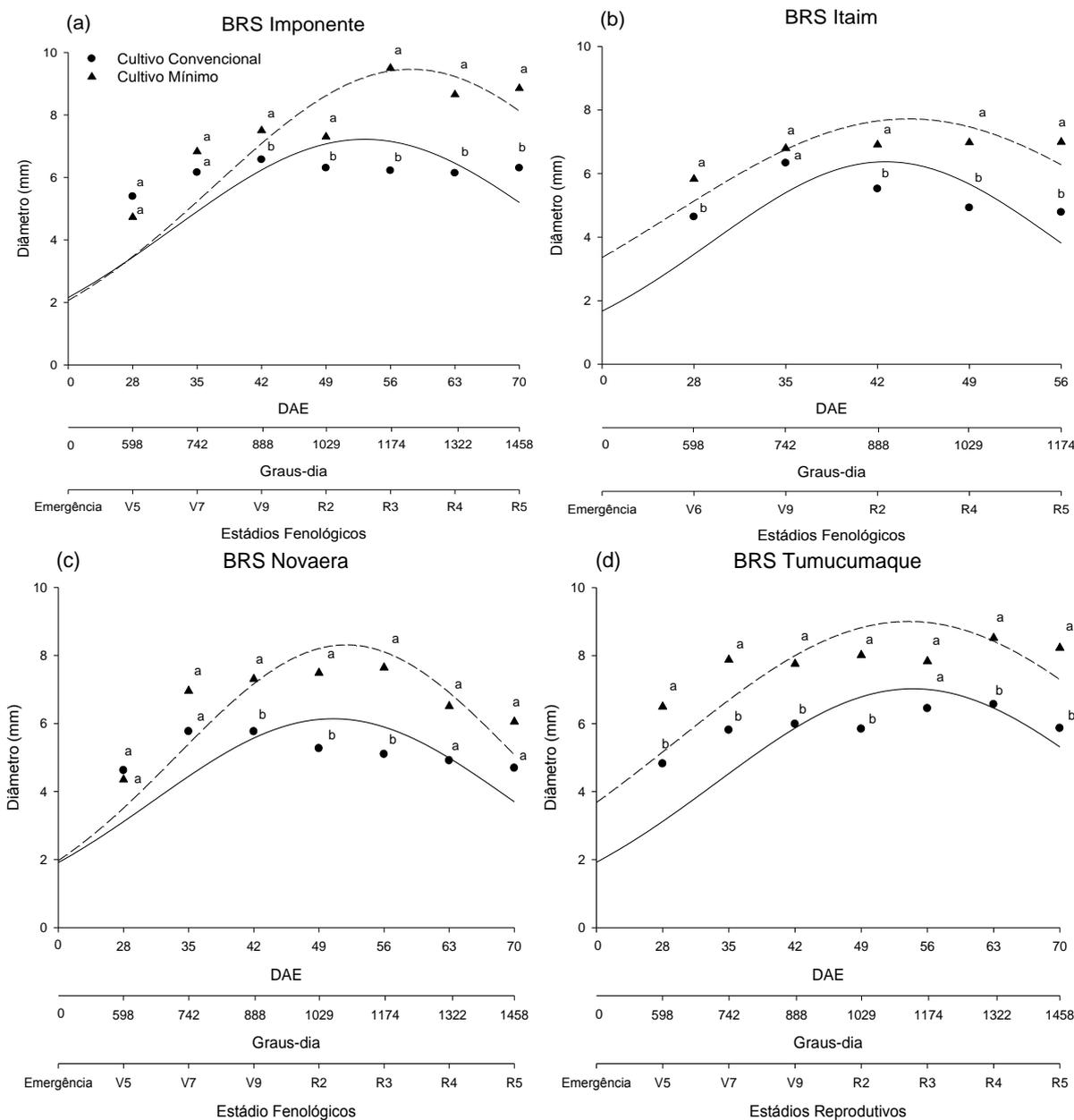


Figura 5. Diâmetro caulinar das cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional e mínimo ao longo do seu ciclo.

Tabela 5. Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o diâmetro caulinar, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina, PI, 2019

Manejo	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2
	$a^{(2)}$	$b^{(3)}$	$x_0^{(4)}$			$a^{(2)}$	$b^{(3)}$	$x_0^{(4)}$		

	mm	-----DAE-----				mm	-----DAE-----			
		BRS Imponente					BRS Itaim			
CC	7,2*	21*	53*	32	0,90	6,3*	13*	42*	29	0,92
CM	9,5*	21*	58*	37	0,95	8,0*	18*	44*	26	0,92
		BRS Novaera					BRS Tumucumaque			
CC	6,1*	19*	50*	31	0,89	7,0*	21*	54*	33	0,92
CM	8,3*	18*	52*	34	0,94	9,0*	24*	54*	30	0,91

(1) Valores representam a média das avaliações biométricas das cultivares.

(2) Valor máximo observado.

(3) Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo.

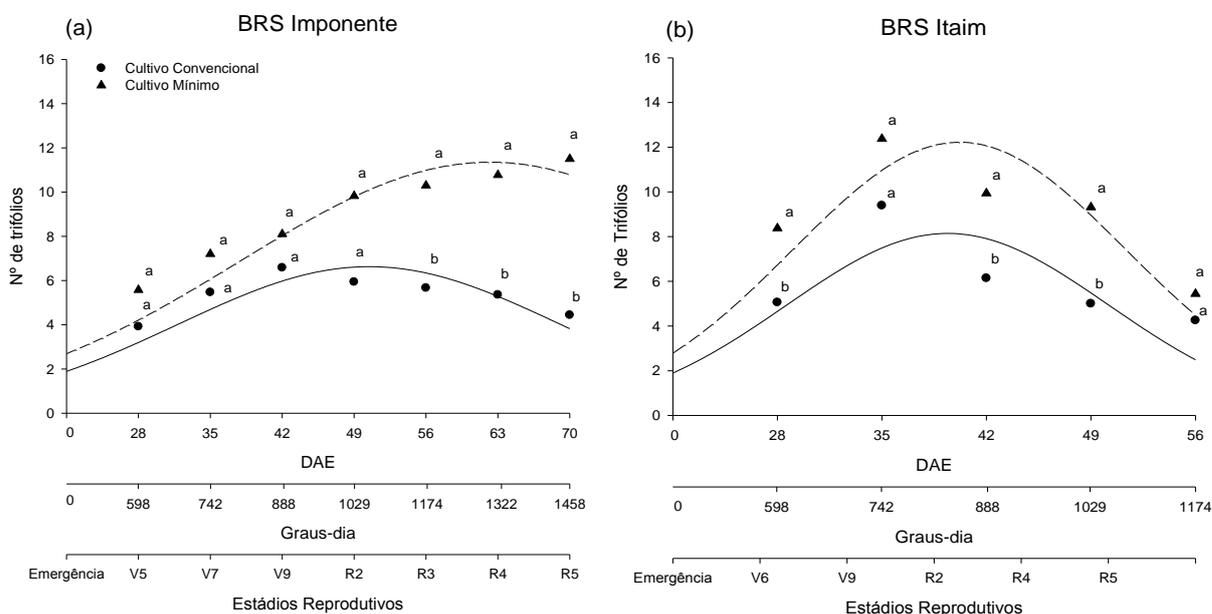
(4) Dias após a emergência (DAE) que forneceu os maiores valores.

* e ns: significativo 5% e não significativo pelo teste t ($p < 0,05$), respectivamente.

3.4 Número de trifólios

Quando se observa a variável número de trifólios, as cultivares apresentaram maior desempenho no cultivo mínimo em relação ao cultivo convencional. Conforme os dados apresentados na tabela 9, houve diferença significativa para o número de trifólios nos estádios fenológicos durante o ciclo das cultivares BRS Imponente (56, 63 e 70 DAE) e BRS Itaim (42 e 49 DAE) nos estádios reprodutivos. Já nas cultivares BRS Novaera (28, 35, 42 e 49 DAE) e BRS Tumucumaque (35 e 42 DAE), foram exibidos nos estádios vegetativos (Figuras 6).

O número máximo de trifólios encontrados nas cultivares em cultivo mínimo foi: na BRS Imponente, 6,6 (50 DAE) e 11,0 (62 DAE); na BRS Itaim, 8,1 (39 DAE) e 12,0 (40 DAE); na BRS Novaera, 9,7 (42 DAE) e 14,0 (40 DAE), e na BRS Tumucumaque, 7,2 (50 DAE) e 8,7 (48 DAE) nos sistemas de plantio convencional e mínimo, respectivamente (Tabela 6).



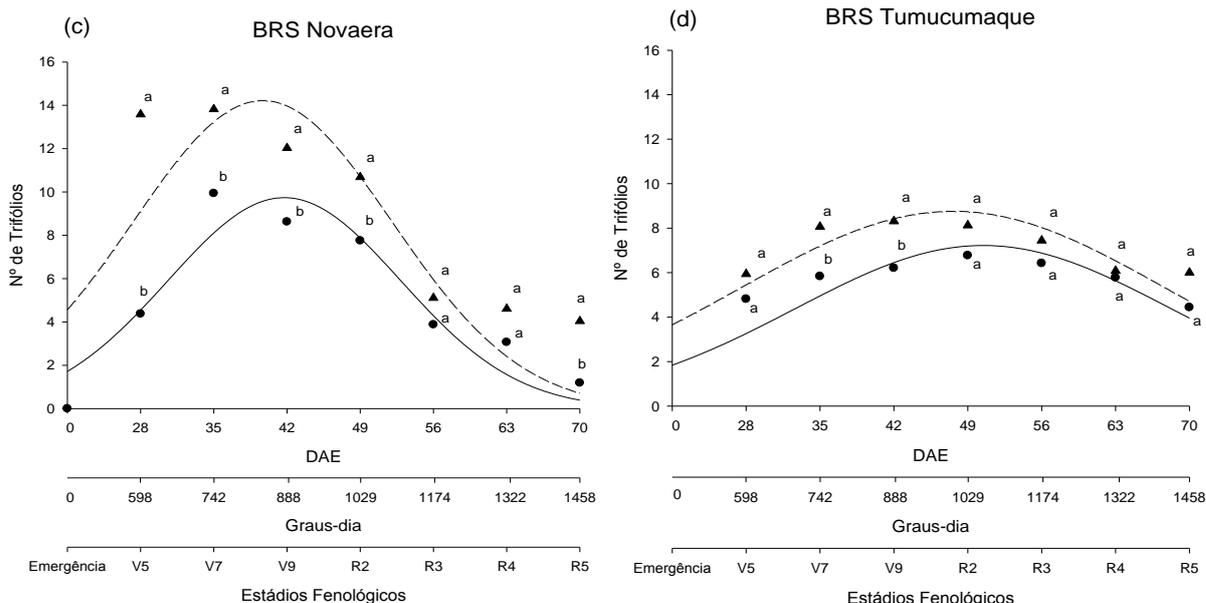


Figura 6. Número de trifólios de cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional e mínimo ao longo do seu ciclo.

Tabela 6. Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o número de trifólios, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina, PI, 2019

Manejo	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2
	$a^{(2)}$	$b^{(3)}$	$x_0^{(4)}$			$a^{(2)}$	$b^{(3)}$	$x_0^{(4)}$		
	-----DAE-----					-----DAE-----				
	BRS Imponente					BRS Itaim				
CC	6,6*	18*	50*	32	0,88	8,1*	11*	39*	28	0,91
CM	11,0*	24*	62*	38	0,93	12,0*	11*	40*	29	0,94
	BRS Novaera					BRS Tumucumaque				
CC	9,7*	11*	42*	31	0,95	7,2*	18*	50*	32	0,94
CM	14,0*	13*	40*	27	0,86	8,7*	20*	48*	28	0,93

⁽¹⁾ Valores representam a média das avaliações biométricas das cultivares.

⁽²⁾ Valor máximo observado.

⁽³⁾ Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo.

⁽⁴⁾ Dias após a emergência (DAE) que forneceu os maiores valores.

* e ns: significativo e não significativo pelo teste t ($p < 0,05$), respectivamente.

3.5 Área foliar

Observa-se que a cv. BRS Imponente manteve suas folhas por mais tempo em cultivo mínimo, apresentando seu ápice em área foliar 15 dias após o ponto de máxima área foliar no cultivo convencional (Figuras 7a). Observando a área foliar das cultivares, a BRS Itaim (Figura 7b), a BRS Novaera (Figura 7c) e a BRS Tumucumaque (Figura 7d) exibiram superioridade em sistema de plantio mínimo

quando comparada ao sistema de cultivo convencional. Logo, nota-se que a área foliar não se mantém constante e apresenta declínio com o início do estágio reprodutivo. A BRS Novaera apresentou um comportamento peculiar, por não manter as folhas com início do estágio reprodutivo (Figura 7c).

No decorrer do ciclo, as cultivares apresentaram diferença significativa dentro dos sistemas de cultivo, onde a BRS Itaim e a BRS Tumucumaque obtiveram maiores médias nos estádios vegetativos; a BRS Novaera apenas no estágio V9 e a BRS Imponente nos estádios reprodutivos em sistema de cultivo mínimo (Figura 7a, 7b, 7c, 7d).

O ponto máximo de área foliar obtido pelas cultivares foram expostos no final do estágio vegetativo (V9) e início do estágio reprodutivo (R2). A cv. BRS Itaim, dentre as cultivares, apresentou maior influência do sistema de manejo do solo, obtendo o dobro de área foliar quando cultivada em cultivo mínimo (1.095,0 cm²) em relação ao cultivo convencional (547,4 cm²) aos 38 DAE (Tabela 7).

As demais cultivares apresentaram, em cultivo convencional, os seguintes valores: a BRS Imponente, 800,1 cm²; a BRS Novaera, 677,4 cm², e BRS Tumucumaque, 764,9 cm². Em cultivo mínimo, as cultivares apresentaram 1.022,2 cm² para a BRS Imponente, 1.072,9 cm² para a BRS Novaera, e 1.051,5 cm² para a BRS Tumucumaque (Tabela 7).

Nota-se que as cultivares obtiveram o ponto de máxima área foliar antes do estágio reprodutivo em ambos os sistemas, com exceção da BRS Imponente, cujo ponto de máxima área foliar em sistema de cultivo mínimo foi apresentado no estágio reprodutivo (R3-R4), apresentando-se como a cv. mais tardia em relação as demais (Tabela 7).

As cultivares que apresentam mais folhas tendem a apresentar maior biomassa em função de a translocação dos nutrientes serem provenientes das folhas para os grãos; desta maneira, incrementando o seu peso (BENDER et al., 2015).

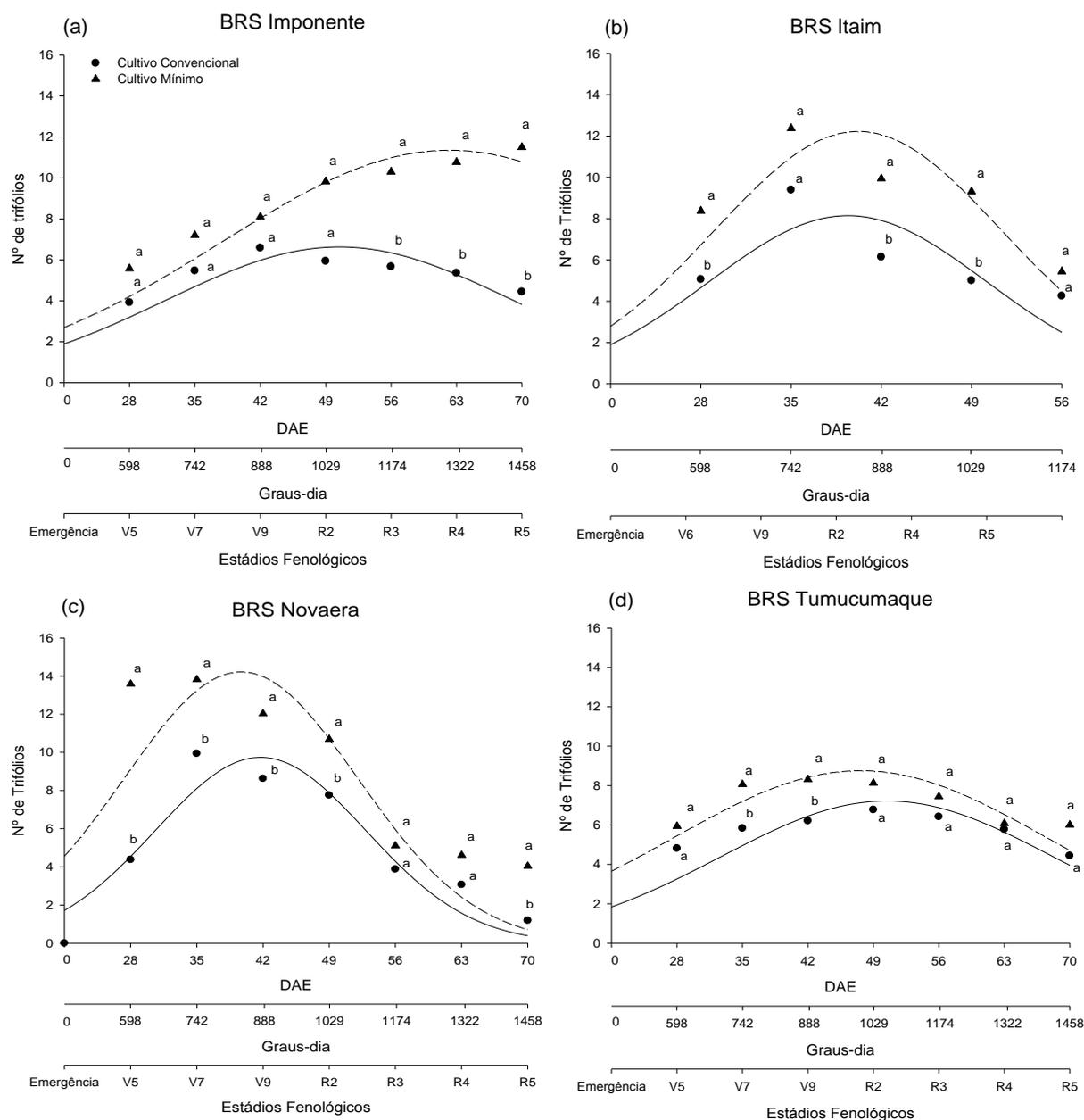


Figura 7. Área foliar das cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional e mínimo ao longo do seu ciclo.

Tabela 7. Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para a área foliar, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina, PI, 2019

Manejo	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2
	a ⁽²⁾	b ⁽³⁾	x ₀ ⁽⁴⁾			a ⁽²⁾	b ⁽³⁾	x ₀ ⁽⁴⁾		
	cm ²	-----DAE-----			cm ²	-----DAE-----				
	BRS Imponente					BRS Itaim				
CC	800,1*	19*	40*	39	0,89	547,4*	10*	38*	28	0,82
CM	1022,2*	26*	55*	29	0,75	1095,0*	10*	38*	28	0,93
	BRS Novaera					BRS Tumucumaque				
CC	677,4*	13*	43*	30	0,86	764,9*	17*	50*	33	0,91

CM	1072,9*	13*	42*	29	0,83	1051,5*	20*	48*	28	0,69
----	---------	-----	-----	----	------	---------	-----	-----	----	------

(1) Valores representam a média das avaliações biométricas das cultivares.

(2) Valor máximo observado.

(3) Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo.

(4) Dias após a emergência (DAE) que forneceu os maiores valores.

* e ^{ns}: significativo e não significativo pelo teste t ($p < 0,05$), respectivamente.

3.6 Índice de Área Foliar (IAF)

A evolução do índice de área foliar (IAF), no tempo, seguiu o padrão característico de plantas anuais, apresentando comportamento conforme a área foliar.

A cultivar BRS Imponente apresentou índice de área foliar máximo (2,1), concomitantemente ao acúmulo termal de 888 graus-dia (42 DAE), (Figura 8a e Tabela 8) ao atingir o estágio fenológico V9, em sistema de cultivo convencional; já em cultivo mínimo, exibiu seu ponto máximo de IAF (1,9) ao atingir o acúmulo térmico de 1174 (56 DAE) no início do estágio R3. Para a cultivar BRS Itaim, o maior valor de índice de área foliar em sistema de cultivo mínimo foi de 1,8, com acúmulo termal de 826 graus-dia (42 DAE) entre os estádios V7 e V9. Em cultivo convencional, a BRS Itaim obteve o ponto máximo de IAF (1,3) aos 37 DAE, equivalente térmico de 806 graus-dia entre os estádios fenológicos V9 e R2 (Tabela 8 e Figura 8b).

Na Tabela 8 e Figura 8c, nota-se que, em cultivo mínimo, a cv. BRS Novaera exibiu maior IAF (2,0), com acúmulo térmico de 866 (41 DAE) entre os estádios V7 e V9. A mesma cultivar, em cultivo convencional, demonstrou seu maior IAF aos 42 DAE (estádio fenológico V9) equivalente ao acúmulo de 888 graus-dia com valor de 1,6.

A BRS Tumucumaque obteve maior índice de IAF (2,0) ao atingir o acúmulo de 1.029 graus-dia (49 DAE) entre os estádios V9 e R2, em cultivo mínimo; já no cultivo convencional, a cultivar apresentou máximo IAF aos 49 DAE, proporcional ao acúmulo de 1.029 graus-dia com valor de 1,8 no estágio fenológico R2. Classificada como de crescimento determinado, a cultivar obteve o maior valor para o índice de área foliar após o estágio R1, demonstrando que ela continua emitindo folhas nos ramos laterais após o florescimento (Tabela 8 e Figura 8d).

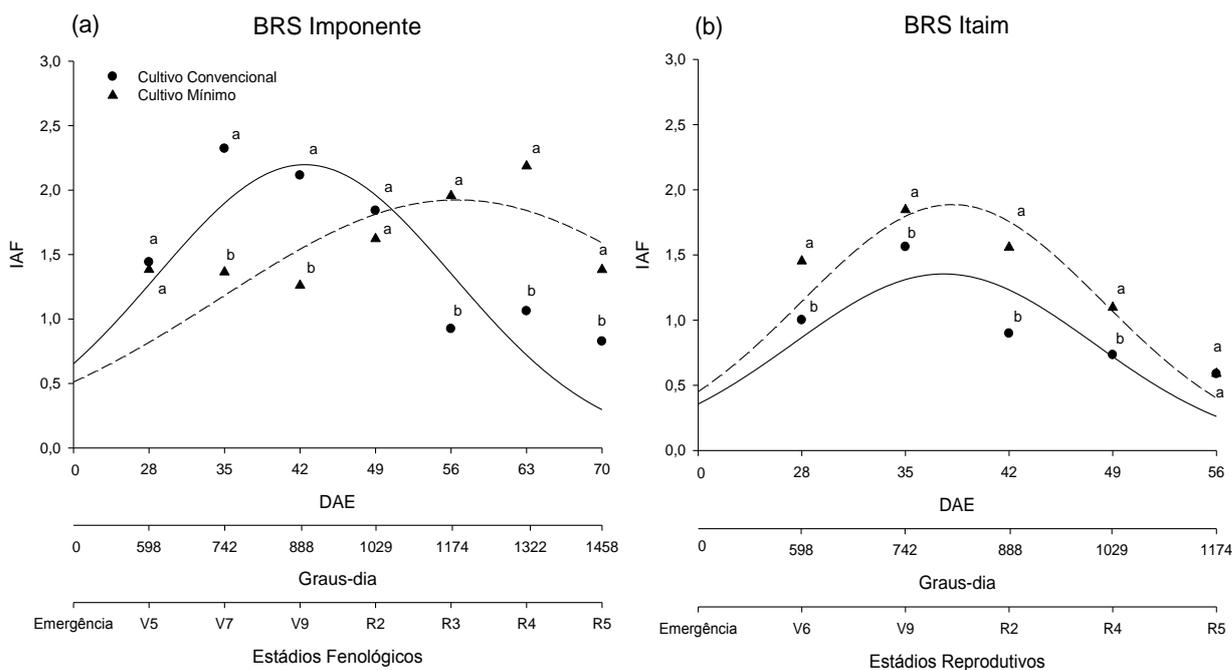
Verifica-se que o IAF das cultivares foi significativamente influenciado pelos sistemas de cultivo, com maiores valores apresentados em cultivo mínimo. A cv. BRS Imponente expressou diferença significativa (Figura 8a) a partir dos 35 DAE, estágio fenológico V7 (Figura 8a).

Durante o seu desenvolvimento, a BRS Itaim mostrou superioridade no IAF 28 aos 49 DAE, não divergindo significativamente dos valores ao final do ciclo (56 DAE).

O IAF exposto pela cv. BRS Novaera, ao longo do ciclo, demonstrou significância aos 42 e 70 DAE. Os valores obtidos pela cv. BRS Tumucumaque apresentam diferenças significativas nos estádios vegetativos (28, 42, 56 e 70 DAE), (8b, 8c, 8d,).

Kerbauy (2008) afirma que o IAF ótimo para determinada população de plantas depende do ângulo de inserção das folhas em relação ao caule, sendo também influenciado pelo tamanho e forma das folhas. Segundo o autor, dosséis com folhas tipicamente horizontais apresentam IAF ótimo em torno de 2. Bastos et al. (2002) encontrou valores máximos de IAF variando de 2,8 a 4,3 para a cultura do feijão-caupi. Um IAF acima de 3 representa para o feijão-caupi máximo desenvolvimento do dossel, possibilitando uma maior interceptação de luz solar e resultando em maior taxa fotossintética líquida.

Considerando-se que as condições edafoclimáticas foram distintas nos sistemas de cultivo, pode-se afirmar que a diferença entre estádios para atingir o índice de área foliar máximo foi devido, não apenas a fatores genotípicos, mas aos inúmeros benefícios nos atributos físico-químicos e biológicos presentes no cultivo mínimo. O IAF é importante por indicar o quanto da radiação incidente é absorvida pela cultura e, posteriormente, transformada em energia consumida pela planta. Portanto, um IAF superior de uma cultivar em relação à outra pode resultar em maior massa seca total e maior energia disponível para os grãos formados (TAIZ; ZEIGER, 2013).



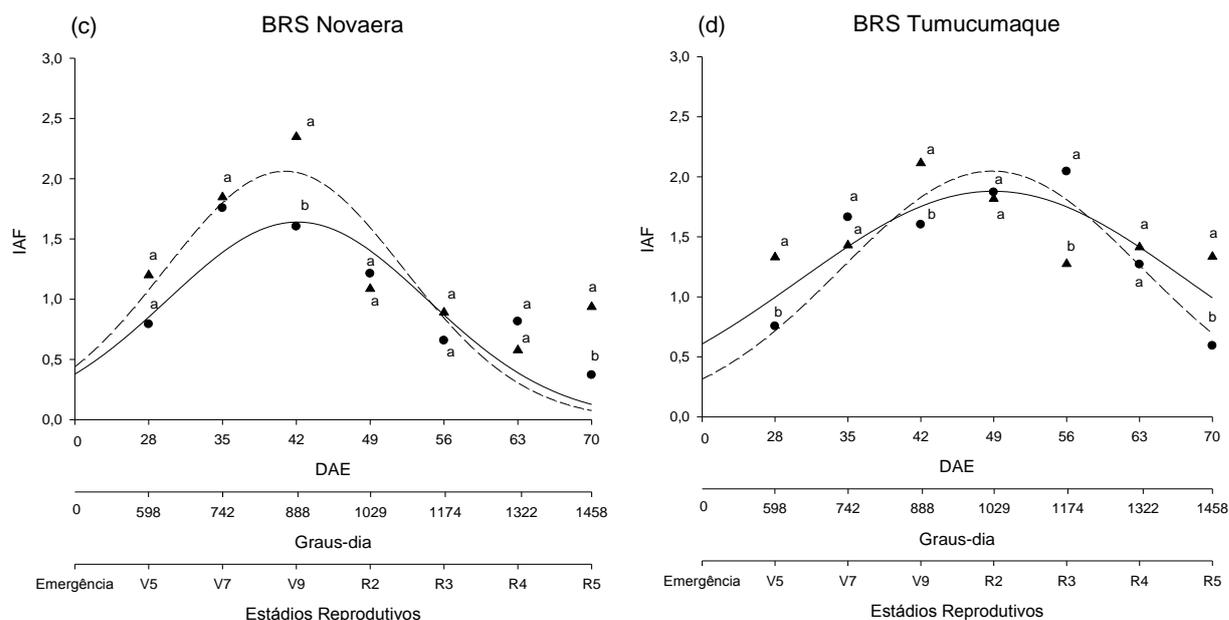


Figura 8. Índice de área foliar (IAF) em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional e mínimo ao longo do seu ciclo.

Tabela 8. Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para a índice de área foliar (IAF), ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina, PI, 2019

Manejo	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2
	a ⁽²⁾	b ⁽³⁾	x ₀ ⁽⁴⁾			a ⁽²⁾	b ⁽³⁾	x ₀ ⁽⁴⁾		
	-----DAE-----					-----DAE-----				

	BRS Imponente					BRS Itaim				
CC	2,1*	13*	42*	29	0,83	1,3*	10*	37*	27	0,82
CM	1,9*	22*	56*	34	0,83	1,8*	10*	38*	28	0,91
	BRS Novaera					BRS Tumucumaque				
CC	1,6*	12*	42*	30	0,87	2,0*	14*	49*	35	0,94
CM	2,0*	11*	41*	30	0,79	1,8*	17*	49*	32	0,79

⁽¹⁾ Valores representam a média das avaliações biométricas das cultivares.

⁽²⁾ Valor máximo observado.

⁽³⁾ Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo.

⁽⁴⁾ Dias após a emergência (DAE) que forneceu os maiores valores.

* e ^{ns}: significativo e não significativo pelo teste t ($p < 0,05$), respectivamente.

3.7 Produtividade de grãos

As médias de produtividade de grãos obtidas pelas cultivares nos sistemas avaliados são apresentadas na Figura 9. Verifica-se que houve diferença significativa da produtividade das cultivares dentro dos sistemas apenas para a cultivar de hábito de crescimento determinado BRS Itaim, com superioridade em cultivo mínimo. A

cultivar BRS Imponente exibiu a produtividade de 752,7 e 869,2 kg ha⁻¹; a BRS Itaim, 683,4 e 1.200,5 kg ha⁻¹; a BRS Novaera, 915,4 e 1.039,1 kg ha⁻¹, e a BRS Tumucumaque, 843,1 e 1.129,5 kg ha⁻¹, respectivamente, em sistema de cultivo convencional e mínimo. Tais resultados corroboram com os do trabalho de Galvão (2013), no qual a cultivar BRS Guaribas é mais produtiva em manejo sem o revolvimento do solo.

Os resultados encontrados neste trabalho divergem dos obtidos por Cardoso et al. (2017), no qual o rendimento da cultivar BRS Itaim, em sistema de plantio convencional, atingiu 1.244 kg ha⁻¹ e, no sistema mínimo, 1.015 kg ha⁻¹, também em Teresina, PI. De acordo com Loss et al. (2015), o não revolvimento do solo mantém as suas condições físicas e conserva as suas condições biológicas e microbiológicas. Esses impactos positivos, que podem contribuir para o aumento da produção, podem ser observados com maior nitidez na camada 0,0-0,05 m.

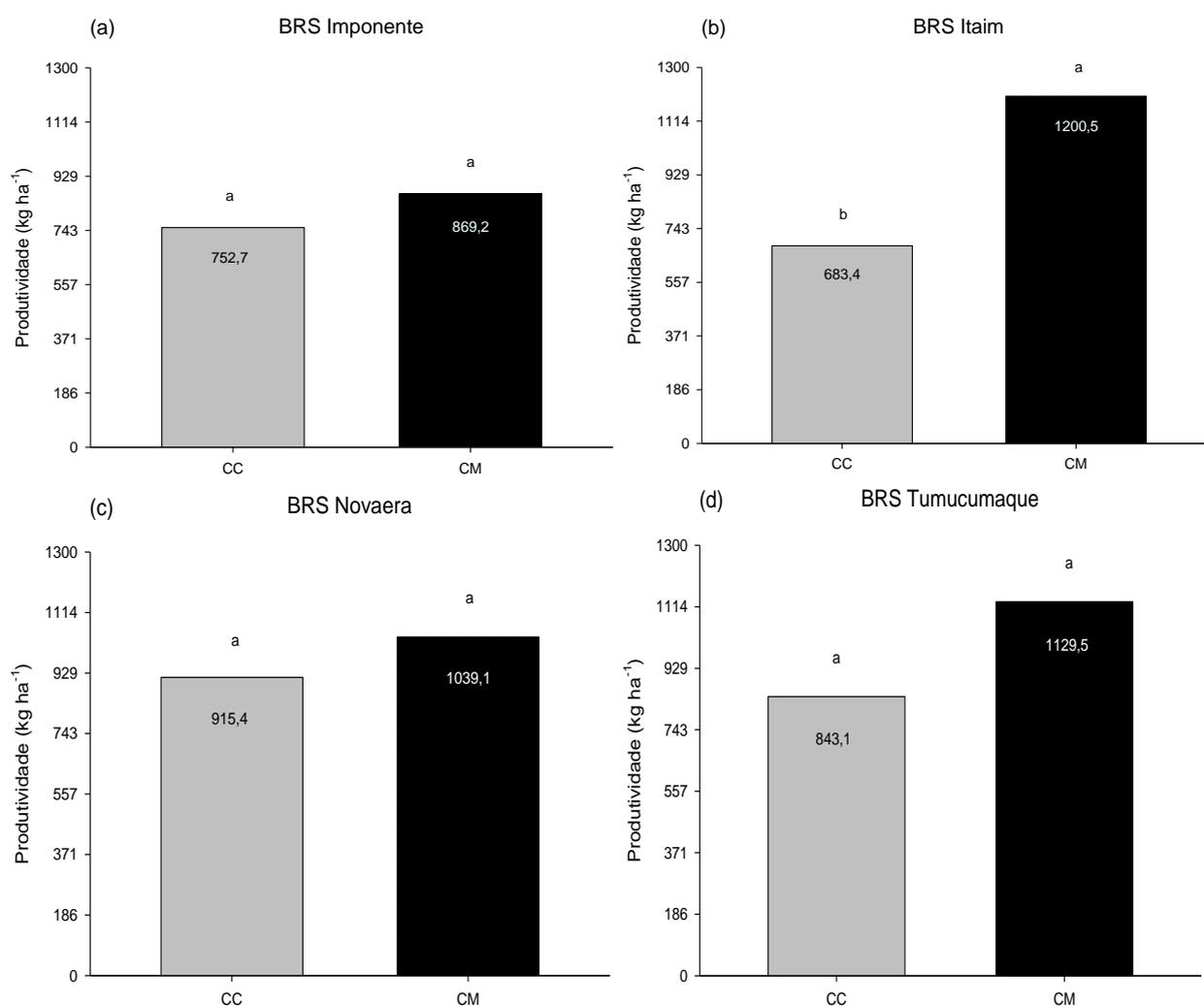


Figura 9. Produtividade de grãos de cultivares de feijão-caupi em sistema de cultivo convencional e mínimo.

4 CONCLUSÕES

As cultivares de feijão-caupi apresentam superioridade para os componentes de crescimento no cultivo de sistema mínimo.

O cultivo mínimo proporciona maior crescimento vegetativo nas cultivares de feijão-caupi de crescimento indeterminado BRS Imponente, BRS Novaera e BRS Tumucumaque, com influência na área foliar, índice de área foliar (IAF), altura, diâmetro e número de trifólios.

As produtividades de grãos das cultivares de feijão-caupi de crescimento indeterminado BRS Imponente, BRS Novaera e BRS Tumucumaque não apresentam diferença significativa, mas foram influenciadas pelos sistemas de manejo do solo.

A BRS Itaim, com crescimento determinado, é mais produtiva no sistema de cultivo mínimo, exibindo incremento de 57% em produtividade em comparação com cultivo convencional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE JÚNIOR, A. S. et al. Classificação climática e regionalização do semiárido do Estado do Piauí sob cenários pluviométricos distintos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 36, n. 2, p. 143-151, 2005.

BASTOS, E. A. et al. Parâmetros de crescimento do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 43-50, 2002.

BENDER, R. R., HAEGELE, J. W., & BELOW, F. E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern soybean varieties. **Agronomy Journal**, v. 107, p 563-573, 2015.

BENINCASA M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP. 42 p, 2003.

CARDOSO, M. J. et al. Agronomic performance of 'BRS' Itaim cowpea beans at different planting densities under no-tillage and conventional systems. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 5spe, p. 856-861, 2017.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Safra Brasileira de Grãos**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos>>. Acesso em 15 de set. 2019.

EMPRESA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, **BRS IMPONENTE: Cultivo precoce e mecanizado e grãos extragrandes são diferenciais da cultivar**. Disponível em <[file:///C:/Users/Andre/Downloads/FeijaoCaupiBRSlmponente2016%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Andre/Downloads/FeijaoCaupiBRSlmponente2016%20(1).pdf)>. Acesso em set. 2019.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Crops: cow peas, dry. Disponível em:<www.fao.org>. Acesso em: 55 set. 2019.

FREIRE FILHO, F. R. et al. **BRS Novaera: Cultivar de feijão-caupi de Porte Semi-Ereto**. Comunicado Técnico 215. 2008. Disponível em:<<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/408906/brs-novaera-cultivar-de-feijao-caupi-de-porte-semi-ereto>>. Acesso em set. 2019.

FREIRE FILHO et al., **BRS Itaim: Cultivar de feijão-caupi com grãos tipo fradinho**. 2009. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/BRSItaim_000g1gd4thi02wx5ok00gmbp494j8jhx.pdf>. Acesso em: set. 2019.
FREITAS, R.M.O. et al. Respostas fisiológicas de feijão-caupi sob estresse hídrico e Reidratação em plantio direto e convencional. **Rev. Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 3, p. 559-567, 2017.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

GALVÃO, J. R. et al. Sistemas de manejo e efeito residual do potássio na produtividade e nutrição do feijão-caupi. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.26, n.2, p.41-49, 2013.

HOSSAIN, Z. et al. Biological nitrogen fixation by pulse crops on semiarid Canadian prairies. **Canadian Journal of Plant Science**. V. 97, P. 119- 131, 2017.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A., 2008. 431 p.

LOSS, A., BASSO, A. et al. Total Organic Carbon and Soil Aggregation in Conventional Agroecological and Onion No-Tillage System. **Brazilian Journal of Soil Science**, v. 39, p.1212-1224, 2015.

MACHADO, C de F. et al. Identificação de genótipos de feijão-caupi quanto à precocidade, arquitetura da planta e produtividade de grãos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 114-123, 2008.

MELO, F.B.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; PESSOA, B. L. O. **Levantamento, zoneamento e mapeamento pedológico detalhado da área experimental da Embrapa Meio-Norte em Teresina, PI**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2014. 47p.

MELO, F. de B.; CARDOSO, M. J. Solos e adubação. In: BASTOS, E. A. (Ed.). **Cultivo de Feijão-Caupi**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1071735/1/SistemaProducaoCaupiCapituloSolosAdubacao.pdf>>. Acesso em set 2019.

MOURA J.Z. et al. Escala de desenvolvimento fenológico e exigência térmica associada a graus-dia do feijão-caupi. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 3, p. 66-71, 2012.

MIRANDA, M. N.; CAMPELO JÚNIOR, J. H. Soma térmica para o subperíodo semeadura-maturação de feijão cv. Carioca em Colorado do Oeste, Rondônia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 180-185, 2010.

OLIVEIRA, M. G. de C. et al. **Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres 1981. 440p.

RENATO, N. S.; SILVA, J. B. L.; SEDIYAMA, G. C.; PEREIRA, E. G. Influência dos métodos para cálculo de graus-dia em condições de aumento de temperatura para as culturas de milho e feijão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 382-388, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artemed, 2013. 954p.

TEIXEIRA, N.J.P. et al. Produção, componentes de produção e suas inter-relações em genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) de porte ereto. **Revista Ceres**, v.54, p.374-382, 2007.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 575p.

THORNTHWAITE C.W., MATHER J.R., **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology; 1955, 104p.

VALE, J. C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. **Feijão-caupi do plantio à colheita**. 1 ed. Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa. 2017.

VIEIRA, N. M. B. et al. Altura de planta e acúmulo de matéria seca do feijoeiro cvs. BRS MG Talismã e Ouro Negro em plantio direto e convencional. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1687-1693, 2008.

VILARINHO, A. A. et al. **Cultivar de Feijão-caupi BRS Tumucumaque: Nova Cultivar para Roraima**. 2008. Disponível em:<
http://www.cpafr.embrapa.br/embrapa/attachments/283_cot192008_tumucumaque_aloisio.pdf>. Acesso em: set. 2019.

CAPÍTULO II

ACÚMULO E MARCHA DE ABSORÇÃO DE MACRONUTRIENTES NO FEIJÃO-CAUPI EM SISTEMAS CONVENCIONAL E MÍNIMO

RESUMO

A baixa fertilidade aliada ao manejo do solo inadequado, constitui um dos principais fatores limitantes da produção do feijão-caupi. Nesse sentido, objetivou-se, caracterizar a absorção, a extração e a exportação de macronutrientes por cultivares de feijão-caupi, sob sistema de cultivo convencional e mínimo em condições irrigadas. O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa Meio-Norte, sob o delineamento experimental em blocos casualizados e esquema experimental de parcelas subdivididas, sendo as parcelas os manejos do solo e, as subparcelas, os tempos de coleta, com quatro repetições. As cultivares de feijão-caupi avaliadas foram: BRS Imponente, BRS Itaim, BRS Novaera e BRS Tumucumaque. As avaliações temporais ocorreram aos 28, 35, 49, 56, 63 e 70 dias após a emergência (DAE), coletando-se quatro plantas na área útil, que, posteriormente, foram seccionadas em folhas, caule, órgãos reprodutivos e grãos; em seguida, foram lavadas, secas e moídas, e então submetidas a análises químicas para a determinação da massa seca e dos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S). O acúmulo de massa seca e macronutrientes em cada compartimento da planta foi calculado multiplicando-se o teor de nutrientes do respectivo tecido vegetal pelo equivalente peso da massa seca. Verificou-se que as variáveis foram influenciadas pelos sistemas de manejo do solo, havendo interação significativa entre os sistemas de manejos estudados para a maioria das variáveis. As maiores taxas de acúmulo de macronutrientes ocorrem entre os estádios fenológicos R3-R5, com a seguinte ordem decrescente de absorção média: K (58,7) > N (49,7) > Ca (22,3) > P (7,7) > S (7,1) > Mg (6,3 kg ha⁻¹), em cultivo convencional e, em cultivo mínimo: K (107,1) > N (86,6) > Ca (32,4) > Mg (15,0) > P (13,6) > S (9,7 kg ha⁻¹) pelas cultivares de hábito de crescimento indeterminado (BRS Imponente, BRS Novaera e BRS Tumucumaque). A cultivar de hábito de crescimento determinado BRS Itaim apresentou a seguinte ordem decrescente de absorção média: K (37,2) > N (34,9) > Ca (22,1) > P (6,7) > Mg (6,1) > S (4,6 kg ha⁻¹), em cultivo convencional e, em cultivo mínimo: N (79,4) > K (68,7) > Ca (27,7) > P (12,9) > Mg (9,8) > S (6,6 kg ha⁻¹). As fertilizações com N, P, K, Mg e S devem receber maior atenção devido aos maiores índices de colheita com a exportação de nutrientes no grão e podem causar limitação no rendimento, devido à disponibilidade inadequada durante o crescimento reprodutivo.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, nutrientes, extração, exportação.

ABSTRACT

MACRONUTRIENT UPTAKE AND GAIT ABSORPTION OF COWPEA CULTIVRS IN CONVENTIONAL AND TILLAGE SYSTEMS

Low fertility combined with inadequate soil management is one of the main limiting factors for cowpea production. The objective was to characterize the absorption, extraction and exportation of macronutrients by cowpea cultivars under conventional and minimum cultivation systems under irrigated conditions. The experiment was conducted in the experimental area of Embrapa Meio-Norte under a randomized block experimental design and a split-plot experimental scheme, with the plots being the soil management and the subplots the collection times, with four replications. The cowpea cultivars implanted were: BRS Imponente, BRS Itaim, BRS Novaera and BRS Tumucumaque. The temporal evaluations occurred at 28, 35, 49, 56, 63 and 70 DAE, collecting four plants in the useful area, which were later cut into leaves, stem, reproductive organs and grains, then washed, dried and ground, and then submitted to chemical analysis to determine macronutrient levels (N, P, K, Ca, Mg and S). Dry matter and macronutrient accumulation in each plant compartment were calculated by multiplying the nutrient content of the respective plant tissue by the equivalent dry mass weight. It was found that the variables were influenced by soil management systems, with significant interaction between the soil management systems studied for most variables. The highest macronutrient accumulation rates occur among the R3-R5 phenological stages, with the following decreasing order of mean absorption: K (58,7) > N (49,7) > Ca (22,3) > P (7,7) > S (7,1) > Mg (6,3 kg ha⁻¹) in conventional and tillage systems: K (107,1) > N (86,6) > Ca (32,4) > Mg (15,0) > P (13,6) > S (9,7 kg ha⁻¹) in by undetermined growth cultivars (BRS Imponente, BRS Novaera and BRS Tumucumaque). The determined cultivar (BRS Itaim) presented following decreasing order of mean absorption: K (37,2) > N (34,9) > Ca (22,1) > P (6,7) > Mg (6,1) > S (4,6 kg ha⁻¹) in conventional and tillage systems N (79,4) > K (68,7) > Ca (27,7) > P (12,9) > Mg (9,8) > S (6,6 kg ha⁻¹). Fertilization with N, P, K, Mg and S should receive greater attention due to higher harvest index with nutrient exportation in the grain, and may cause yield limitation due to inadequate availability during reproductive growth.

Keywords: *Vigna unguiculata*, nutrient, extraction, exportation.

Lista de Tabelas

- Tabela 1.** Caracterização química do solo das áreas experimentais, obtidos a partir das profundidades de 0,0-2, e 0,2-0,4 m. Teresina-PI, 2019.....71
- Tabela 2.** Descrição do ciclo fenológico das cultivares de feijão-caupi durante as coletas temporais adotando a escala proposta por Campos et al. (2000).....74
- Tabela 3.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo massa seca, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.....81
- Tabela 4.** Acúmulo da massa seca em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina, 2019.....81
- Tabela 5.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo do nitrogênio, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.....87
- Tabela 6.** Acúmulo do nitrogênio em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina, 2019.....88
- Tabela 7.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo do fósforo, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.....92
- Tabela 8.** Acúmulo do fósforo em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina, 2019.....93
- Tabela 9.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo do potássio, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.....97
- Tabela 10.** Acúmulo do fósforo em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina, 2019.....98
- Tabela 11.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo do cálcio, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.....102
- Tabela 12.** Acúmulo do cálcio em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina, 2019.....103

Tabela 13. Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo do magnésio, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2017.....107

Tabela 14. Acúmulo do magnésio em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina, 2019.....108

Tabela 15. Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo do enxofre, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.....111

Tabela 16. Acúmulo do enxofre em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina, 2019.....112

Tabela 17. Extração e exportação e índice de colheita (IC) de macronutrientes em cultivares de feijão-caupi sob sistemas de cultivo convencional e mínimo.....115

Lista de Figuras

- Figura 1.** Variação dos parâmetros climáticos, graus-dia acumulados, durante a condução do experimento, em Teresina-PI.....70
- Figura 2.** Estádios fenológicos e dias após a emergência (DAE) correspondente as coletas da cv. BRS Itaim.....73
- Figura 3.** Estádios fenológicos e dias após a emergência (DAE) correspondente as coletas das cvs. BRS Imponente, BRS Novaera e BRS Tumucumaque.....74
- Figura 4.** Acúmulo e partição de massa seca em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e cultivo mínimo (CM) ao longo do seu ciclo...80
- Figura 5.** Acúmulo e partição do nitrogênio em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e cultivo mínimo (CM) ao longo do seu ciclo.....87
- Figura 6.** Acúmulo e partição do fósforo em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e cultivo mínimo (CM) ao longo do seu ciclo.....91
- Figura 7.** Acúmulo e partição do potássio em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e cultivo mínimo (CM) ao longo do seu ciclo.....96
- Figura 8.** Acúmulo e partição do cálcio em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e cultivo mínimo (CM) ao longo do seu ciclo.....101
- Figura 9.** Acúmulo e partição do magnésio em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e cultivo mínimo (CM) ao longo do seu ciclo.....105
- Figura 10.** Acúmulo e partição do enxofre em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e cultivo mínimo (CM) ao longo do seu ciclo.....110

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi é uma leguminosa de grande importância para diversos países, com notável tolerância à seca, mas com necessidade de irrigação para obtenção de patamares compensatórios (RIVAS et al., 2016). No entanto, é frequentemente cultivado em solos sem a devida fertilização, levando a cultura a baixos níveis de subsistência (KYEI-BOAHEN et al., 2017).

Estudos sobre a quantificação do crescimento das plantas e acúmulo de nutrientes são a base para melhorar a eficiência da fertilidade do solo, otimizar o rendimento e reduzir o impacto ambiental causado pelo excesso de fertilizantes (CORTEZ et al., 2013).

Todavia, sabe-se que os requerimentos por nutrientes aumentam à medida que níveis crescentes de produtividade são alcançados. Entretanto, há uma necessidade de avaliar e comparar a disponibilidade de nutrientes com o tempo, e a quantidade e método de fornecimento, o que mais beneficia a produção sustentável sem agredir o meio ambiente (BENDER et al., 2013).

As quantidades de nutrientes absorvidas não são constantes, podendo variar de acordo com a cultivar, com as condições climáticas, com o tipo de manejo, com as tecnologias empregadas e com o nível de fertilidade do solo (RESENDE et al., 2012).

Bender et al. (2015), ao avaliar a absorção, particionamento e remobilização de nutrientes em variedades atuais de soja nos modernos sistemas de produção verificaram que quatro nutrientes apresentaram valores de índice de colheita > 60%, sendo fósforo, 81%; nitrogênio, 73%; cobre, 62% e enxofre, 61%, e que podem causar uma limitação de rendimento, devido à disponibilidade inadequada à planta durante o crescimento reprodutivo.

Para isso, as curvas de acúmulo de nutrientes devem ser determinadas para que seja possível identificar o tempo em que os nutrientes são mais necessários, bem como para planejar métodos de cultivo mais racionais e otimizar a dose e o tempo recomendados para a aplicação de fertilizantes (BENDER et al., 2015).

É de fundamental importância saber como os nutrientes, especialmente o N e P, são particionados nos diversos compartimentos da planta para avaliar melhor como o conteúdo de nutrientes removidos do grão e como os componentes restantes afetarão as lavouras após a colheita (XIE et al., 2018).

No entanto, a maioria das pesquisas relacionadas à eficiência e resposta de nutrientes pelas linhas de uso do feijão comum, em detrimento dos genótipos cultivados comercialmente (FAGERIA et al., 2013; SILVA et al., 2016).

Considerando os valores obtidos nos anos de 2004 a 2017, os aumentos na eficiência do uso de fertilizantes foram de 51%, 37,9% e 19,6% para as culturas de milho, soja e feijão, respectivamente (ANDA, 2005, 2017). Esse levantamento estatístico reforça que os sistemas agrícolas que produzem feijão precisam de avanços na eficiência do uso de nutrientes, os quais devem ser baseados no conhecimento da eficiência e resposta pelas cultivares.

Diante do exposto, o objetivo da pesquisa descrita neste capítulo foi fornecer novas informações sobre absorção, particionamento, extração e exportação de N, P, K, Ca, Mg e S pelas cultivares de feijão-caupi em sistema de cultivo convencional e mínimo, sob condições irrigadas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização edafoclimática da área experimental

A pesquisa foi conduzida em área experimental da Embrapa Meio-Norte, localizada no município de Teresina-PI, em um Neossolo Fluvico Ta eutrófico (MELO et al., 2014), no segundo semestre de 2017. O clima, de acordo com a classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955), é C1 sA'a', caracterizado como subúmido seco, megatérmico, com excedente hídrico moderado no verão (ANDRADE JÚNIOR et al., 2005).

As condições ambientais de distribuição de chuva (precipitação pluvial) e temperatura do ar (máximas, mínimas e médias), assim como o acúmulo de graus-dia durante o período de condução do experimento, apresentam-se na Figura 1.

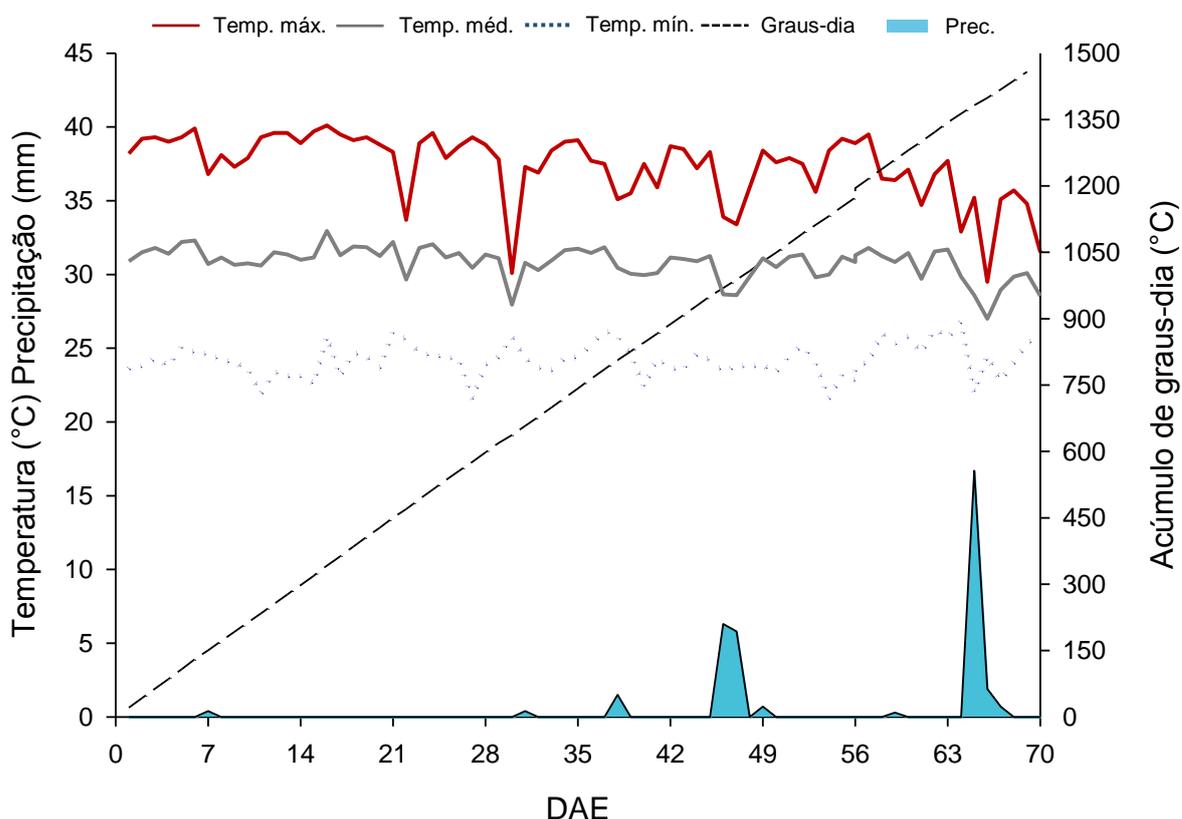


Figura 1. Variação dos parâmetros climáticos, graus-dia acumulados, durante a condução do experimento com início em 05/10 (plantio) e finalização em 19/12/2017 (colheita), em Teresina, PI.

O trabalho constou de experimento em campo, cuja área apresentava sistema de irrigação por aspersão móvel, conduzido em sistema de plantio convencional e mínimo. Antes da montagem dos experimentos, amostras de solo foram retiradas da

camada superior (0,0-0,2 e 0,2-0,4 m) para fins de caracterização química, realizada de acordo com Teixeira et al. (2017), cujo resultado encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do solo das áreas experimentais, obtidos a partir das profundidades de 0,0-2, e 0,2-0,4 m. Teresina-PI, 2019.

Camadas	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CT C	N	M.O	V
		mg/dm ³	cmolc/dm ³							dag/kg	%		
0,0-0,2 m	5,9	70,8	0,17	0,04	2,37	1,31	0,02	1,59	3,39	5,48	0,06	1,1	70,9
0,2-0,4 m	6,0	44,2	0,12	0,26	2,87	1,59	0,03	1,52	4,84	6,36	0,05	1,1	76,1
Camadas	Areia Silte Argila			Classe Textural									
	%												
0,0-0,2 m	40,7	13,9	45,3	Franca									
0,2-0,4 m	44,3	15,4	40,3	Franca									

M.O. – Walkey e Black (oxidação via úmida); P; K; Na – Melich1 ou duplo ácido; Ca, Mg e Al – KCl; H+Al – Acetato de Ca; S-SO₄²⁻ - Turbidimetria/Cloreto de Bário; Areia, silte, argila – método da pipeta.

2.2 Implantação e condução do experimento

No cultivo mínimo, o ensaio foi instalado sob palhada estimada em 2243 kg ha⁻¹, por meio de três amostragens, utilizando-se molduras metálicas com área de 0,25 m². Anteriormente, a área havia recebido cultivos sucessivos do feijão-caupi. A dessecação foi realizada quinze dias antes do plantio com o herbicida glifosato (N-(fosfonometil) glicina), não-seletivo, sistêmico e pós-emergente.

No cultivo convencional, o preparo do solo constou de uma aração e três gradagens. Posteriormente, instalou-se nas áreas um sistema de irrigação por aspersão móvel, estruturada por canos de engate rápido, com as medições de 6 metros de comprimento com 50 milímetros de espessura e aspersores com o espaçamento de 12 metros entre um e outro, aplicando-se uma lâmina aproximada de 7 mm diários de água.

A adubação de fundação de ambas as áreas ocorreu um dia antes do plantio, de acordo com a análise de solo e conforme recomendações de Melo e Cardoso (2017), atendendo às recomendações para a cultura com 40 kg/ha de P₂O₅ (superfosfato simples) e 30 kg/ha de K₂O (cloreto de potássio). O plantio foi realizado no dia 05/10/17 e, no dia seguinte, aplicou-se os herbicidas Dual Gold (pré-emergente) e Gramoxone (dessecante).

2.3 Caracterização das cultivares utilizadas

As cultivares foram obtidas através do Programa de Melhoramento Genético do Feijão-caupi, coordenado pela Embrapa Meio-Norte, em Teresina-Piauí.

2.3.1 BRS Imponente

A cultivar BRS Imponente foi lançada em 2016, indicada para cultivo na região Norte (no estado do Pará), na região Nordeste (nos estados do Piauí e Maranhão) e na região Centro-Oeste (no Mato Grosso). Apresenta hábito de crescimento indeterminado, porte semiereto, com ramos laterais curtos, ciclo de maturação precoce (65 a 70 dias) e inserção das vagens acima do nível da folhagem, o que lhe confere uma boa resistência ao acamamento (EMBRAPA, 2016).

2.4.2 BRS Itaim

A cultivar BRS Itaim foi lançada em 2009, e possui hábito de crescimento determinado, porte ereto, e exibe alta resistência ao acamamento. É recomendada, principalmente, para o cultivo em regime de sequeiro. Esta cultivar apresenta florescimento médio de 35 dias e ciclo maturação superprecoce de 60 a 65 dias (FREIRE FILHO et al., 2009).

2.4.3 BRS Novaera

A cultivar BRS Novaera foi lançada em 2007, apresenta ciclo precoce de 65 a 70 dias e florescimento médio em torno de 45 dias. É uma planta de porte semiereto e moderadamente resistente ao vírus do mosaico dourado do feijão-caupi e altamente resistente à mancha-café, doença vastamente disseminada por todas as regiões produtoras do Brasil. Por possuir porte semiereto, a planta permite a colheita totalmente mecanizada dos grãos (FREIRE FILHO et al., 2008).

2.4.4 BRS Tumucumaque

A cultivar BRS Tumucumaque foi lançada em 2009, apresenta hábito de crescimento indeterminado, porte semiereto, com florescimento médio em torno de 39 a 42 dias e ciclo precoce de 65 a 70 dias (VILARINHO et al., 2008). Essa cultivar apresenta altos teores de ferro e zinco, estando inserida como cultivar biofortificada.

2.4 Delineamento estatístico, tratamentos e características avaliadas

Adotou-se o delineamento experimental, em blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições compostas por 4 linhas espaçadas em 0,5 m com 5 m de comprimento, e estande esperado de 12 plantas por m² (240 mil plantas ha⁻¹). As cultivares de feijão-caupi foram obtidas junto ao banco de germoplasma da Embrapa Meio-Norte, sendo os sistemas de manejo do solo (convencional e mínimo) as parcelas, e as sete épocas de coleta de plantas representaram as subparcelas.

Para as avaliações temporais do acúmulo, coletou-se quatro plantas na área útil (10 metros lineares), ou seja, nas duas linhas centrais, evitando-se 0,5 m de cada extremidade das parcelas, coletando-se de acordo como demonstrado nas Figuras 2 e 3.

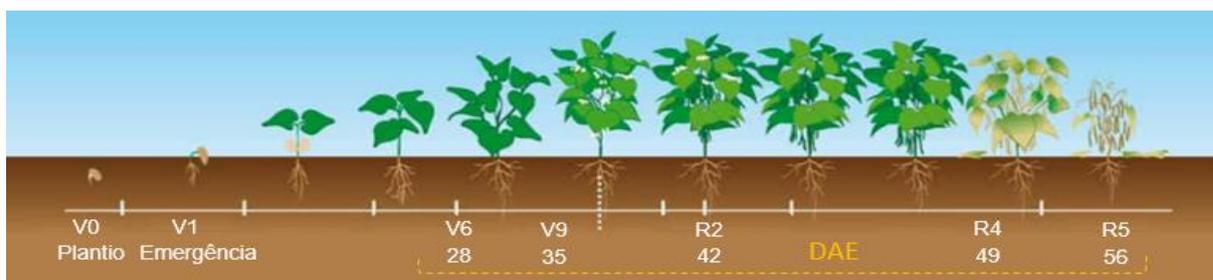


Figura 2. Estádios fenológicos e dias após a emergência (DAE) correspondente as coletas da cv. BRS Itaim. Fonte: Adaptado de Oliveira (2018).

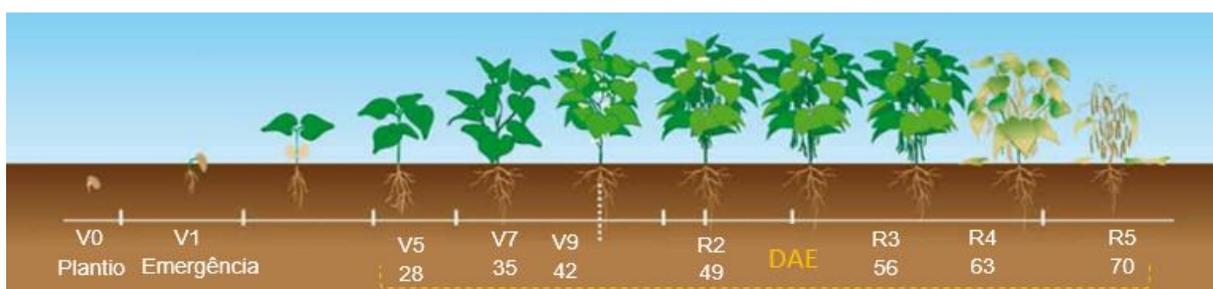


Figura 3. Estádios fenológicos e dias após a emergência (DAE) correspondente as coletas das cvs. BRS Imponente, BRS Novaera e BRS Tumucumaque. Fonte: Adaptado de Oliveira (2018).

Tabela 2. Descrição do ciclo fenológico das cultivares de feijão-caupi durante as coletas temporais adotando a escala proposta por Campos et al. (2000)

Estádios Fenológico	
V0	Plantio;
V1	Emergência;
V5	A terceira folha trifoliolada encontra-se com os folíolos separados e completamente abertos;

V6	Os primórdios do ramo secundário surgem nas axilas das folhas unifolioladas;
V7	A primeira folha do ramo secundário encontra-se completamente aberta;
V9	A terceira folha do ramo secundário encontra-se completamente aberta;
R2	Antese da primeira flor, geralmente oriunda do primeiro botão floral;
R3	Início da maturidade da primeira vagem, geralmente oriunda da primeira flor;
R4	Maturidade de 50% das vagens da planta;
R5	Maturidade de 90% das vagens da planta.

Os dias após a emergência foram transformados em graus-dia através do método proposto por Ometo (1981).

O acúmulo de graus-dia (°C) durante o ciclo da cultura foram calculados utilizando-se os dados de temperatura máxima e mínima, no período de 10/10/2017 (emergência) a 19/12/2017 (colheita), obtidos através do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e coletados por uma estação meteorológica automática em Teresina-PI (localizada na Embrapa Meio-Norte).

O método aplicado, além de considerar a temperatura basal inferior, considera também a temperatura basal superior (TB). O mesmo é indicado por Renato (2013), ao avaliar diferentes métodos para o cálculo de graus-dia em condições de temperaturas elevadas. O valor da temperatura basal inferior (Tb) adotada foi de 10 °C (MOURA et al., 2012), e a temperatura foi de 35 °C para a basal superior (TB) (MIRANDA e CAMPELO JÚNIOR, 2010).

Neste método, a soma térmica apresenta cinco condicionantes, cada uma com determinada equação (Equações 1 a 5) para cálculo de GD:

$$TB > TM > Tm > Tb \quad GD = \frac{TM + Tm}{2} + Tm - Tb \quad (1)$$

$$TB > TM > Tb > Tm \quad GD = \frac{(TM - Tb)^2}{2(TM - Tm)} \quad (2)$$

$$TB > Tb > TM > Tm \quad GD = 0 \quad (3)$$

$$TM > TB > Tm > Tb \quad GD = \frac{2(TM - Tm) + (Tm - Tb) + (TM - Tm)^2 - (TM - TB)}{2(TM - Tm)} \quad (4)$$

$$TM > TB > Tb > Tm \quad GD = \frac{1}{2} \frac{(TM - Tb)^2 - (TM - TB)^2}{TM - Tm} \quad (5)$$

Em que:

TB: temperatura basal superior (35°C);

Tb: temperatura basal inferior (10°C);

TM: temperatura máxima;

Tm: temperatura mínima.

De posse das plantas, as amostras foram separadas em folhas, caules e estruturas reprodutivas (flor + vagens) e grãos e, posteriormente lavadas, colocadas em sacos de papel e secas em estufa de ar forçado a 65°C (até peso constante). Em seguida, foram pesadas separadamente determinando-se, então, o peso da massa seca da planta e, posteriormente, por hectare ao longo do ciclo da cultura.

Após a secagem, as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley e submetidas a análises químicas para a determinação dos teores de macronutrientes contidos na parte aérea das plantas e seus respectivos órgãos.

O teor de N foi determinado pelo método Kjeldahl. Os nutrientes P, K, Ca, Mg e S foram mineralizados por digestão nitroperclórica: o teor de P foi determinado por colorimetria, o de K por fotometria de chama, o de S por turbidimetria e o de Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica, cujos métodos foram procedidos de acordo com Malavolta et al. (1997).

O acúmulo de massa seca e de macronutrientes em cada compartimento da planta foi calculado multiplicando-se o teor de nutrientes do respectivo tecido vegetal pelo equivalente peso da massa seca.

2.5 Procedimentos estatísticos

Os dados apresentaram distribuição normal e foram submetidos à análise de variância por meio do *software* de análise estatística Sisvar® (FERREIRA, 2011). Quando significativo, procedeu-se teste t ($p < 0,05$) para os manejos e análise de regressão para os tempos de coleta.

Ainda, empregou-se a análise de regressão não linear, com parâmetros do modelo estimados usando a função de ajuste com curva dinâmica no programa SigmaPlot versão 12.5 (Systat Software, San Jose, CA), em que se escolheu o modelo que expressou significância estatística e maior coeficiente de determinação (R^2).

O modelo gaussiano de três parâmetros escolhido com curva de pico, está descrito na equação 6:

$$y = ae^{[-0,5\left(\frac{x-x_0}{b}\right)^2]} \quad (6)$$

Em que:

y: variável de crescimento;

a: valor máximo da variável;

x_0 : valor de x no DAE que fornece o máximo valor;

b: amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo.

A partir do modelo ajustado, foi possível determinar, com precisão, o valor do ponto de inflexão na curva (PI) de acordo com a equação 7:

$$PI = x_0 - b \quad (7)$$

Matematicamente, o PI corresponde ao valor de x no qual a curvatura do modelo ajustado muda de sinal; na prática, isso corresponde ao valor de x em DAE no qual a taxa de acúmulo máximo diário, embora positivo, diminui.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Massa Seca da parte aérea

O acúmulo de massa seca na parte aérea e suas partições foram influenciadas pelos sistemas de plantio, havendo interação destes com o rendimento da massa seca pelas cultivares (Tabela 4).

De modo geral, as cultivares apresentaram maior acúmulo de massa seca total no sistema de cultivo mínimo. Contudo, em relação ao acúmulo nos compartimentos da planta de feijão-caupi, observa-se que folhas e caule respondem por 100% do acúmulo relativo de biomassa até os 35 DAE. Com o início da fase reprodutiva e até o final do cultivo, o acúmulo relativo em folhas e caule são reduzidos. Logo, uma quantidade crescente é alocada para as hastes; eventualmente, para as vagens em R1-R2 e para os grãos em R3-R4 (Figura 4).

Os estádios de crescimento R2-R3 para as cultivares BRS Imponente, BRS Itaim e BRS Tumucumaque (Figuras 4a, 4b, 4c, 4d, 4g e 4h), e V9-R2 para a cultivar BRS Novaera (figuras 4e e 4f) foram os pontos, no tempo, em que a alocação ao tecido vegetativo (caules e folhas) cessou para o acúmulo de massa seca, e o acúmulo adicional foi direcionado para vagens e grãos em conjunto com a aparente remobilização de carboidratos do tecido vegetativo.

Nas cultivares BRS Imponente, BRS Itaim e BRS Tumucumaque, as folhas mantiveram níveis constantes de MS (Figura 4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f, 4g e 4h), o que, teoricamente, poderia suportar uma duração fotossintética prolongada e, portanto, um maior suprimento geral de fotossintato aos grãos, conforme mencionado em Bender et al. (2015), para a cultura da soja.

Para as cultivares BRS Imponente, BRS Itaim, BRS Novaera e BRS Tumucumaque, no CC, o acúmulo de biomassa no fim do estágio vegetativo (V9) representava 65%, 65%, 80% e 75%, respectivamente. No entanto, para o CM, as porcentagens de participação de biomassa acumulada eram de 60%, 40%, 55% e 60% para as BRS Imponente, BRS Itaim, BRS Novaera e BRS Tumucumaque, respectivamente. Ou seja, no CC há maior remobilização de biomassa acumulada em relação ao CM. Bender et al. (2015) reforçam, ainda, que hastes (colmo) e folhas são órgãos de reserva para remobilização.

Estes resultados são importantes para maior e melhor entendimento da remobilização de nutrientes e de seus particionamentos, considerando os diferentes níveis de produtividade e os manejos que são adotados (Gaspar et al., 2017).

Em destaque, as cultivares BRS Itaim (hábito de crescimento determinado) e a BRS Novaera (hábito de crescimento indeterminado) apresentaram maior alocação do tecido vegetativo para os grãos no sistema de cultivo mínimo (60% e 40%); assim, podemos inferir que, neste sistema, essas cultivares exibiram maior eficiência na conversão de biomassa de folhas e caules para grãos, do que em cultivo convencional (Figuras 4d e 4f).

O acúmulo máximo de matéria seca da parte aérea foi maior no sistema de cultivo mínimo. Os picos de máximo acúmulo total da massa seca nas folhas, nos caules, nos órgãos reprodutivos e nos grãos foram obtidos em dias diferentes, sendo que, no cultivo convencional, as plantas exibiram picos de acúmulo antecipadamente com menor número de DAE, quando comparado ao cultivo mínimo (Tabela 3).

O ponto de máximo acúmulo de massa seca (MS) pelas cultivares está apresentado na Tabela 3. Nota-se que o ponto de máximo acúmulo ocorreu na BRS Imponente, com 2.185,7 (70 DAE) e 4.104,9 kg MS ha⁻¹ (59 DAE); na BRS Itaim, com 1.377,9 (52 DAE) e 3.131,1 kg MS ha⁻¹ (56 DAE); na BRS Novaera, com 1.822,4 (52 DAE) e 3.844,6 kg MS ha⁻¹ (65 DAE) e na BRS Tumucumaque, com 2.062,0 (57 DAE) e 3.609,8 (57 DAE) kg MS ha⁻¹, nos sistemas convencional e mínimo, respectivamente.

Quando se analisa o rendimento total de matéria seca da parte aérea da planta, bem como suas partições, por época de coleta, constata-se diferença significativa entre os sistemas de manejo do solo, com aumento do acúmulo total de massa seca no cultivo mínimo (Tabela 4).

O feijão-caupi apresenta comportamento de particionamento de massa seca similar ao demonstrado em estudos recentes com a soja e com o milho, exibindo grande parte do percentual de acúmulo de massa seca até o florescimento, assim como a redistribuição da massa seca para os grãos (BENDER, 2013; BENDER, 2015).

Gomes et al. (2000) acrescenta que o período em que há maiores aumentos no acúmulo de matéria seca do feijoeiro varia entre 40 e 70-80 DAS (dias após a semeadura) em cultivares com o ciclo mais tardio e que, em genótipos superprecoce, o acúmulo de biomassa é antecipado devido ao seu ciclo de vida mais curto, sendo que o PI máximo nas folhas ocorre entre 27 a 41 DAS, e nas hastes entre 35 e 51

DAS, que coincidem com a plena floração e início da vagem, assim como os resultados apresentados nesse trabalho (NASCENTE; MELO, 2015).

Nessa fase, ocorre investimento dos fotoassimilados para a formação de novas folhas (fonte), e as estruturas reprodutivas passam a ser o principal dreno (FREITAS et al., 2014). Ademais, os menores valores de fitomassa foram observados nas plantas da BRS Itaim na floração, sob cultivo convencional (SILVA et al., 2013).

Portanto, no estágio inicial de desenvolvimento das plantas, o acúmulo de biomassa de caule e folha ocorrem apenas até o florescimento, quando a produção de vagens e grãos começa (NASCENTE et al., 2016). Neste trabalho, a senescência e a abscisão foliar provavelmente levaram a uma redução na quantidade de MS acumulada nas folhas do feijão ao final do ciclo. Essa constatação também foi observada por Andrade et al. (2009).

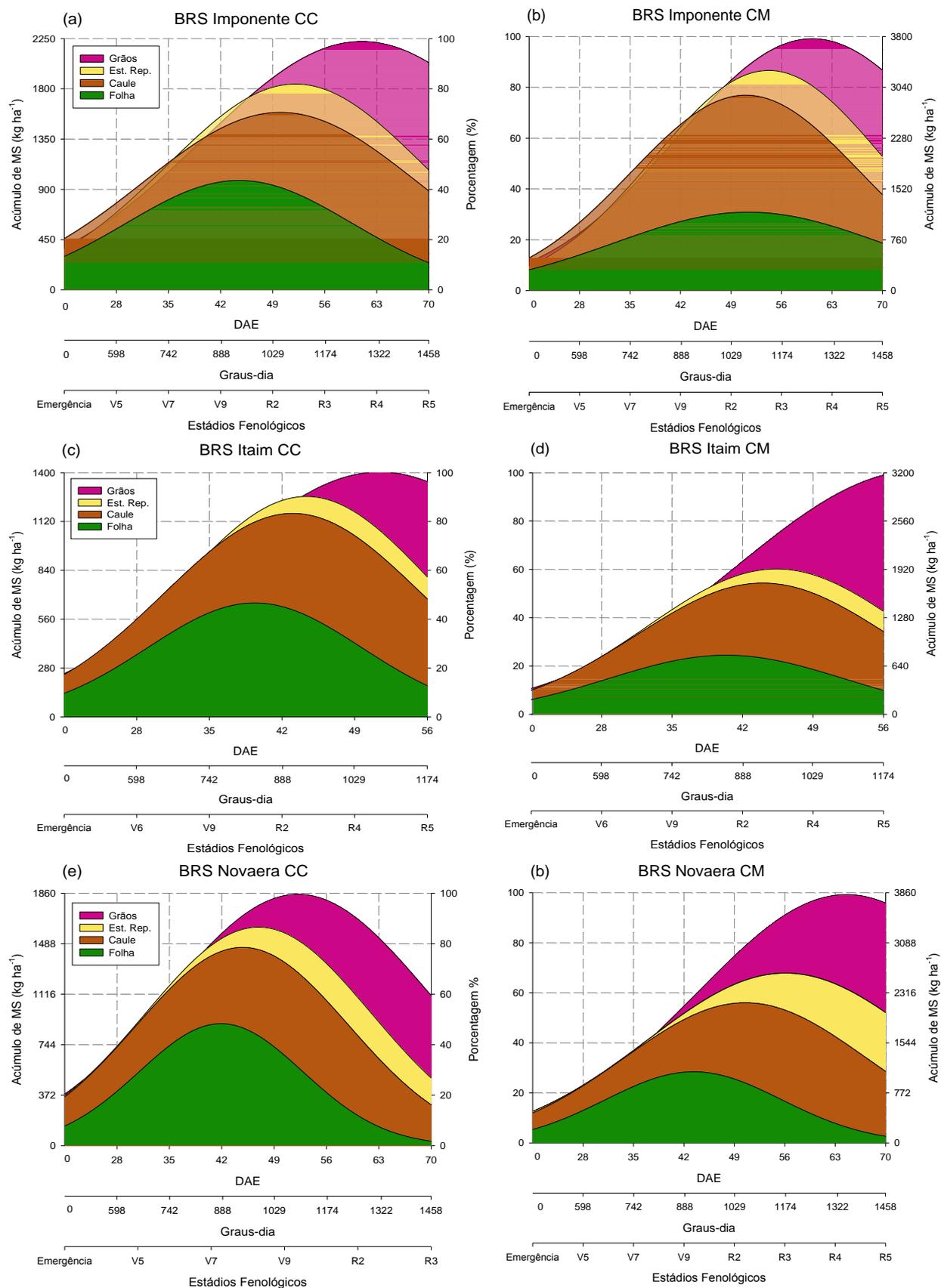
Segundo Nascente e Carvalho (2018), as folhas e colmos respondem por 100% do acúmulo relativo de biomassa do feijoeiro até os 42 DAS, indicando alto nível de exportação de biomassa via grãos e a contribuição massiva de folhas e caules na translocação de fotoassimilados para o crescimento de órgãos reprodutivos do feijoeiro, concordando com os resultados desse trabalho.

Corroborando com as afirmativas descritas acima, Pegoraro et al. (2014) verificaram que a taxa de máximo acúmulo de matéria seca total em feijoeiro foi obtida aos 39 DAE, o que indicou a intensificação máxima do crescimento vegetativo da cultura nessa fase.

Esse resultado foi semelhante ao encontrado por Vieira et al. (2008), onde as taxas de máximo acúmulo ocorreram aos 45 DAE, em estudo realizado no feijoeiro comum, em sistema de plantio convencional e direto. Freitas et al. (2017), avaliando o feijão comum em sistemas de manejo do solo, concluíram que o sistema de plantio direto proporciona maior acúmulo de biomassa e área foliar na planta. De acordo com Silva (2013), o máximo acúmulo de fitomassa em plantas de feijão-caupi ocorre no caule, assim como encontrado nesse trabalho.

A superioridade para acúmulo de massa seca para o sistema de cultivo mínimo pode ser explicada por alguns autores que relatam que, o plantio com palhada e sem revolvimento do solo, atua como agente isolante, impedindo oscilações bruscas da temperatura do solo, contribuindo para um melhor aproveitamento da água armazenada no solo e melhor aproveitamento pelas plantas (BIZARI et al., 2009). Associado a isso, o sistema de plantio direto apresenta menor aquecimento e

amplitude térmica do solo, do que em sistema de plantio convencional (COELHO et al., 2013).



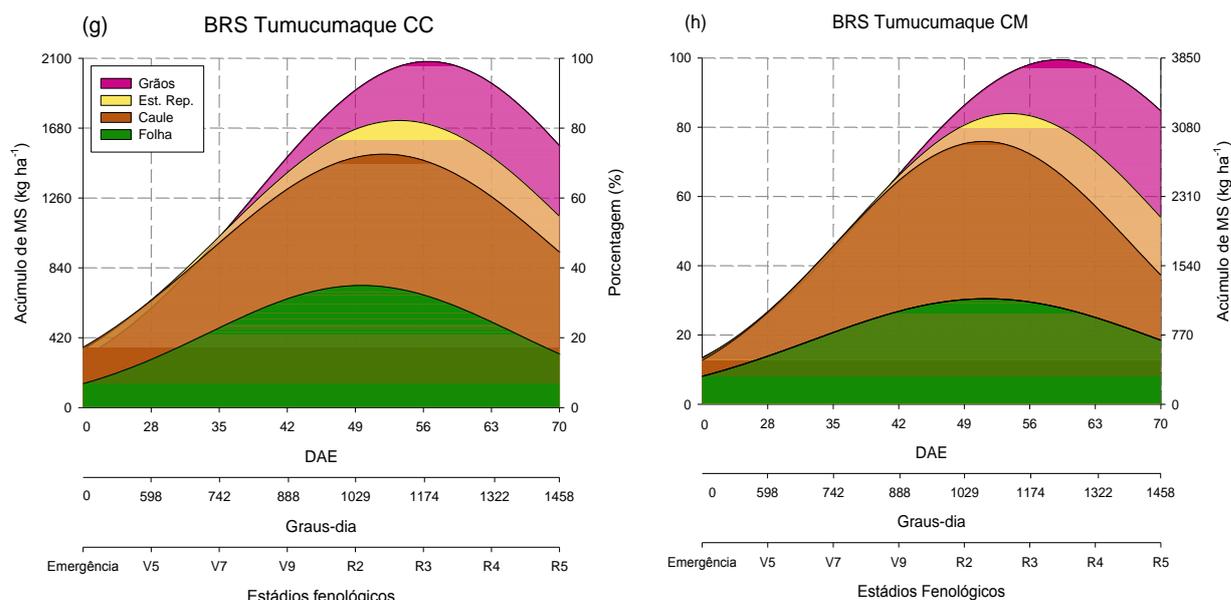


Figura 4. Acúmulo e partição de massa seca em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional e mínimo ao longo do seu ciclo.

Tabela 3. Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo de massa seca, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.

Massa Seca											
Manejo	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2	
	a ⁽²⁾	b ⁽³⁾	x ₀ ⁽⁴⁾			a ⁽²⁾	b ⁽³⁾	x ₀ ⁽⁴⁾			
	kg ha ⁻¹			-----DAE-----			kg ha ⁻¹			-----DAE-----	
Folha											
BRS Imponente					BRS Itaim						
CC	912,7*	22*	44*	22	0,75	616,2*	13*	38*	25	0,96	
CM	1182,3*	18*	52*	34	0,89	801,5*	11*	41*	30	0,95	
BRS Novaera					BRS Tumucumaque						
CC	895,3*	11*	42*	22	0,96	725,0*	16*	49*	33	0,96	
CM	1119,3*	11*	44*	31	0,94	930,4*	20*	55*	35	0,94	
Caule											
BRS Imponente					BRS Itaim						
CC	685,9*	28*	61*	33	0,75	556,3*	19 ^{ns}	52*	33	0,92	
CM	1795,7*	14*	51*	37	0,85	1033,8*	12*	47*	35	0,99	
BRS Novaera					BRS Tumucumaque						
CC	642,2*	17*	50*	33	0,95	805,0*	20*	55*	35	0,99	
CM	1315,3*	18*	58*	40	0,96	1496,6*	13*	53*	40	0,98	
Estruturas Reprodutivas											
BRS Imponente					BRS Itaim						
CC	575,7 ^{ns}	4 ^{ns}	49*	45	0,67	399,8*	4 ^{ns}	37 ^{ns}	33	0,78	
CM	624,8*	10*	64*	54	0,99	274,7*	9*	53*	44	0,99	
BRS Novaera					BRS Tumucumaque						
CC	246,8*	27*	70*	43	0,98	238,08	17*	62*	45	0,95	

CM	879,1*	11*	65*	54	0,99	580,0*	13*	66*	53	0,99
Grãos										
BRS Imponente					BRS Itaim					
CC	834,6 ^{ns}	10 ^{ns}	69 ^{ns}	59	0,94	577,1*	36*	56*	20	1,00
CM	1272,9*	10*	65*	55	0,98	1767,5*	7*	56*	49	1,00
BRS Novaera					BRS Tumucumaque					
CC	584,0 ^{ns}	13 ^{ns}	64 ^{ns}	51	0,77	450,8*	13 ^{ns}	65*	52	0,98
CM	1727,5*	8*	65*	57	0,99	1030,3*	10*	63*	53	0,99
Total										
BRS Imponente					BRS Itaim					
CC	2185,7*	39*	70*	33	0,93	1377,9*	26 ^{ns}	52 ^{ns}	26	0,65
CM	4104,9*	18*	59*	41	0,96	3131,1*	16*	56*	40	0,99
BRS Novaera					BRS Tumucumaque					
CC	1822,4*	18*	52*	34	0,91	2062,0*	17*	57*	40	0,99
CM	3844,6*	20*	64*	44	0,99	3609,8*	16*	59*	43	0,99

¹⁾ Valores representam a média das avaliações das cultivares;

²⁾ Valor máximo do acúmulo de massa seca;

³⁾ Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo;

⁴⁾ Dias após a emergência (DAE) que forneceu os maiores valores;

* e ^{ns}: significativo e não significativo pelo teste t ($p < 0,05$), respectivamente.

Tabela 4. Acúmulo da massa seca em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.

Massa Seca (kg ha ⁻¹)								
Folha								
DAE	BRS Imponente		BRS Itaim		BRS Novaera		BRS Tumucumaque	
	CC	CM	CC	CM	CC	CM	CC	CM
28	636,2a	610,5a	477,3a	583,0a	347,7b	481,1b	250,5b	499,5a
35	1032,6a	693,0b	550,6a	576,2a	921,6a	934,6a	417,7b	618,8a
42	1099,4a	1241,6a	618,4a	750,8a	883,7b	1276,0a	750,0a	867,4a
49	680,2b	1183,9a	383,2a	485,4a	705,8b	834,6a	742,0b	900,0a
56	555,1b	925,8a	307,4a	231,0a	376,8b	694,4 a	607,5a	720,0a
63	612,9b	935,0a	-	-	256,9a	290,1 a	509,0b	877,5a
70	486,4b	858,0a	-	-	77,6b	242,0 a	381,0b	702,0a
CV ₁ %	17,16		45,80		10,70		22,67	
CV ₂ %	13,76		24,36		13,88		15,81	
Caulo								
28	340,8a	401,5a	258,5a	418,0a	234,7a	235,9 a	241,5a	268,9a
35	448,6a	500,5a	524,3b	775,5a	418,0b	696,7 a	627,5a	448,9a
42	569,6b	2018,5a	539,0b	1211,4a	619,7b	1025,6a	688,0b	1046,3a
49	662,6b	1926,4a	532,3b	1159,1a	694,2b	1254,9a	687,0b	1488,4a
56	582,4b	1089,0a	361,2b	999,6a	549,4b	1445,1a	576,0b	1108,5a
63	751,9b	1303,5a	-	-	469,3b	1313,4a	715,5b	1147,5a
70	634,9b	968,0a	-	-	336,1b	1183,0a	622,5a	682,5a
CV ₁ %	14,34		59,29		44,00		16,11	
CV ₂ %	18,08		29,18		24,08		17,18	
Estruturas Reprodutivas								
35	-	-	365,4a	32,6b	100,5a	47,7a	-	-

42	85,5a	91,7a	191,4a	118,6b	183,1a	151,4a	86,6a	157,5a
49	515,6a	174,2b	153,0b	326,1a	181,5a	232,3a	151,6a	219,7a
56	245,3b	423,5a	55,5b	172,4a	222,6b	497,0a	303,6a	394,9a
63	135,2b	658,2a	-	-	285,8b	1008,1a	291,9b	495,0a
70	54,2b	586,7a	-	-	239,3b	802,2a	242,0b	441,0a
CV ₁ %	8,24		28,76		18,87		29,97	
CV ₂ %	12,29		20,58		12,74		24,70	
Grãos								
49	-	-	65,8b	1209,5a	204,2a	296,0 a	228,2a	360,0a
56	520,9b	1045,0a	756,6b	1763,4a	632,8b	1200,8a	473,9b	855,0a
63	631,0b	1312,7a	-	-	514,3b	1920,5a	376,5b	972,0a
70	852,5b	1169,5a	-	-	507,8b	1579,0a	453,0b	927,0a
CV ₁ %	20,39		29,06		31,50		1,28	
CV ₂ %	18,33		35,40		22,92		25,24	
Total								
28	977,0a	1012,0a	735,8a	1001,0a	582,4a	717,0a	492,0b	768,4a
35	1481,1a	1193,5b	1440,3a	1384,1a	1440,0a	1679,0a	1045,2a	1067,6a
42	1754,5b	3351,8	1348,9b	2080,7a	1686,4b	2453,0a	1524,6b	2071,1a
49	1858,4b	3284,4a	1120,6b	3180,2a	1785,8b	2617,8a	1808,8b	2968,1a
56	1903,6b	3483,3a	1480,7b	3166,4a	1781,5b	3837,3a	1961,0b	3078,4a
63	2131,0b	4209,3a	-	-	1526,4b	4532,0a	1892,9b	3492,0a
70	2028,1b	3582,1a	-	-	1160,8b	3807,0a	1698,5b	2752,5a
CV ₁ %	7,40		35,48		27,32		15,34	
CV ₂ %	8,45		24,59		14,78		8,54	

*Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de t (p < 0,05). CV₁ – coeficiente de variação da parcela. CV₂ – coeficiente de variação da subparcela.

3.2 Nitrogênio

O efeito dos sistemas de cultivo na absorção de N foi significativo, sendo o nutriente absorvido em maiores quantidades pelas cultivares em sistema de cultivo mínimo (Tabela 5).

O acúmulo de N nas segmentações da planta de feijão-caupi apresentou comportamento similar ao acúmulo de massa seca, apresentando maior proporção nas folhas ao final do estágio vegetativo (V9), equivalente a 70% do N absorvido no cultivo convencional, e a 35% em cultivo mínimo; a partir do estágio R1 e R2 (florescimento e enchimento de grãos, respectivamente), o acúmulo deste nutriente decresce devido a translocação do nitrogênio, que é móvel na planta. (Figura 5).

Além disso, em sistema de cultivo convencional, 50% da absorção máxima de N foi atingida entre os estádios V5 e V7; em cultivo mínimo, entre V7 e V9. Ao longo do ciclo, o nutriente se encontra em maiores proporções nas folhas; ao final do ciclo, em sistema de cultivo mínimo, uma média de 40% de N contida nas cultivares BRS

Imponente e BRS Tumucumaque foi alocada para os grãos (Figuras 5b e 5h); já nas cultivares BRS Itaim e BRS Novaera, o percentual foi superior a 70% (Figuras 5d e 5f). Em cultivo convencional, essa alocação foi menor (Figura 5a, 5c, 5e, 5g).

O acúmulo máximo de nitrogênio até o fim do estágio reprodutivo (V9) representava 78%, 83%, 75% e 70% para as BRS Imponente, BRS Itaim, BRS Novaera e BRS Tumucumaque no sistema CC; enquanto que, para o sistema CM, o acúmulo de N até V9 era de 65%, 50%, 60% e 60%; respectivamente. Ou seja, as plantas no sistema de CC apresentaram maior remobilização do N em relação às aquelas no CM; assim, a translocação do N foi maior em CC do que em CM. Por outro lado, no CM o nitrogênio foi distribuído de maneira mais uniforme durante as fases de crescimento vegetativo e de enchimento de sementes, de acordo com Bender et al. (2015b).

Estes resultados indicam que a fonte primária de remobilização do N são as folhas, conforme já mencionado; o que também foi observado para variedades de soja em trabalho desenvolvido por Bender et al. (2015). Outra justificativa para a diferença de acúmulo de N, considerando os dois sistemas de manejos, é a área foliar; ou seja, as plantas, quando cultivadas no CM, apresentaram maior área e índice de área foliar em relação ao CC, conforme apresentado no capítulo anterior.

O ponto de máximo acúmulo total de nitrogênio pelas cultivares ocorreu na BRS Imponente, com 50,6 (63 DAE) e 93,8 kg N ha⁻¹ (59 DAE); na BRS Itaim, com 34,9 (44 DAE) e 79,4 kg N ha⁻¹ (59 DAE); na BRS Novaera, com 47,1 (32 DAE) e 86,2 kg N ha⁻¹ (43 DAE) e na BRS Tumucumaque, com 51,3 (36 DAE) e 79,9 (42 DAE) kg N ha⁻¹, nos sistemas convencional e mínimo, respectivamente (Tabela 5).

Diferenças significativas no acúmulo de nitrogênio foram observadas entre os sistemas de manejo do solo em cada época de coleta sendo que, em sua maioria, a partir dos 42 DAE (final do estágio vegetativo) houve diferença entre os acúmulos e, de maneira geral, com superioridade no CM (Tabela 6).

Logo, tais resultados se devem a melhores condições edáficas proporcionadas pelo não revolvimento do solo e consequente acúmulo de matéria seca, devido a este sistema condicionar maior acúmulo do nutriente que, em parte, pode estar relacionado ao estímulo promovido pelo N (mineral da atividade metabólica da planta) (SCIVITTARO et al., 2003).

De acordo com Fonseca et al. (2010), os nutrientes retirados e metabolizados nas folhas são redistribuídos à estrutura reprodutiva, ocasionando redução foliar de

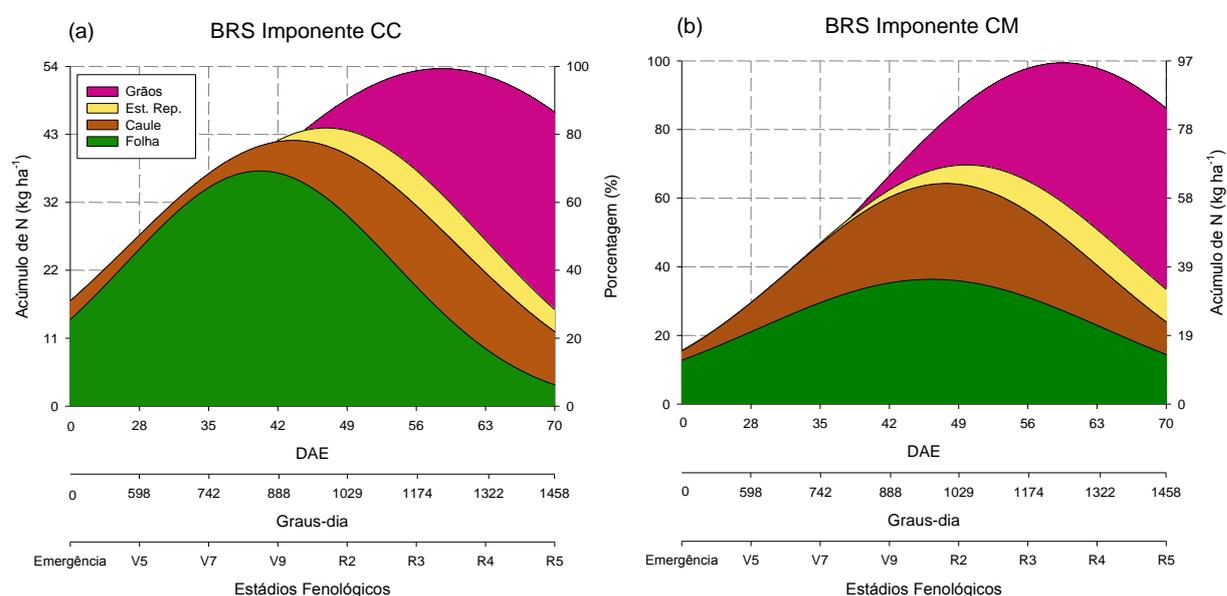
N. Posteriormente, o nutriente é distribuído para os grãos, sendo fortemente absorvido pelo feijão-caupi. Os autores descrevem que os grãos constituem-se fisiologicamente como um forte dreno quanto à redistribuição de nutrientes e fotoassimilados.

A captação de nutrientes pelos genótipos superprecoces do feijoeiro está diretamente ligada ao acúmulo de matéria seca. Os aumentos na absorção de nutrientes ocorrem de forma acentuada, estabilizando-se desde a maturidade fisiológica até o final do ciclo (SORATTO, 2013).

Segundo Fageria et al. (2011), plantas com maior capacidade de absorção de nutrientes tendem a ser mais produtivas. Segundo Brito et al. (2009), a maior proporção de N absorvido pelo feijoeiro (em torno de 80%) foi derivada de fixação simbiótica, e a maior taxa de fixação simbiótica de N ocorreu no estágio pré-florescimento.

Etemadi et al. (2017) relatam que, em feijão (*Vicia faba* L.), ocorrem variações de nutrientes e proteínas entre variedades e nas diferentes partes das plantas, sendo que as maiores concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, e proteínas encontram-se nas sementes. No entanto, o maior acúmulo de cálcio e de magnésio estão presentes nas folhas.

Espera-se que cultivares precoces e tardias tenham uma dinâmica temporal diferente de captação de nitrogênio e de acúmulo de biomassa (NITCHER et al., 2013). No entanto, a taxa de pico de acúmulo de nitrogênio é significativamente atrasada para a cultivar tardia, e avançada em cultivar precoce (SCHOFIELD et al., 2019).



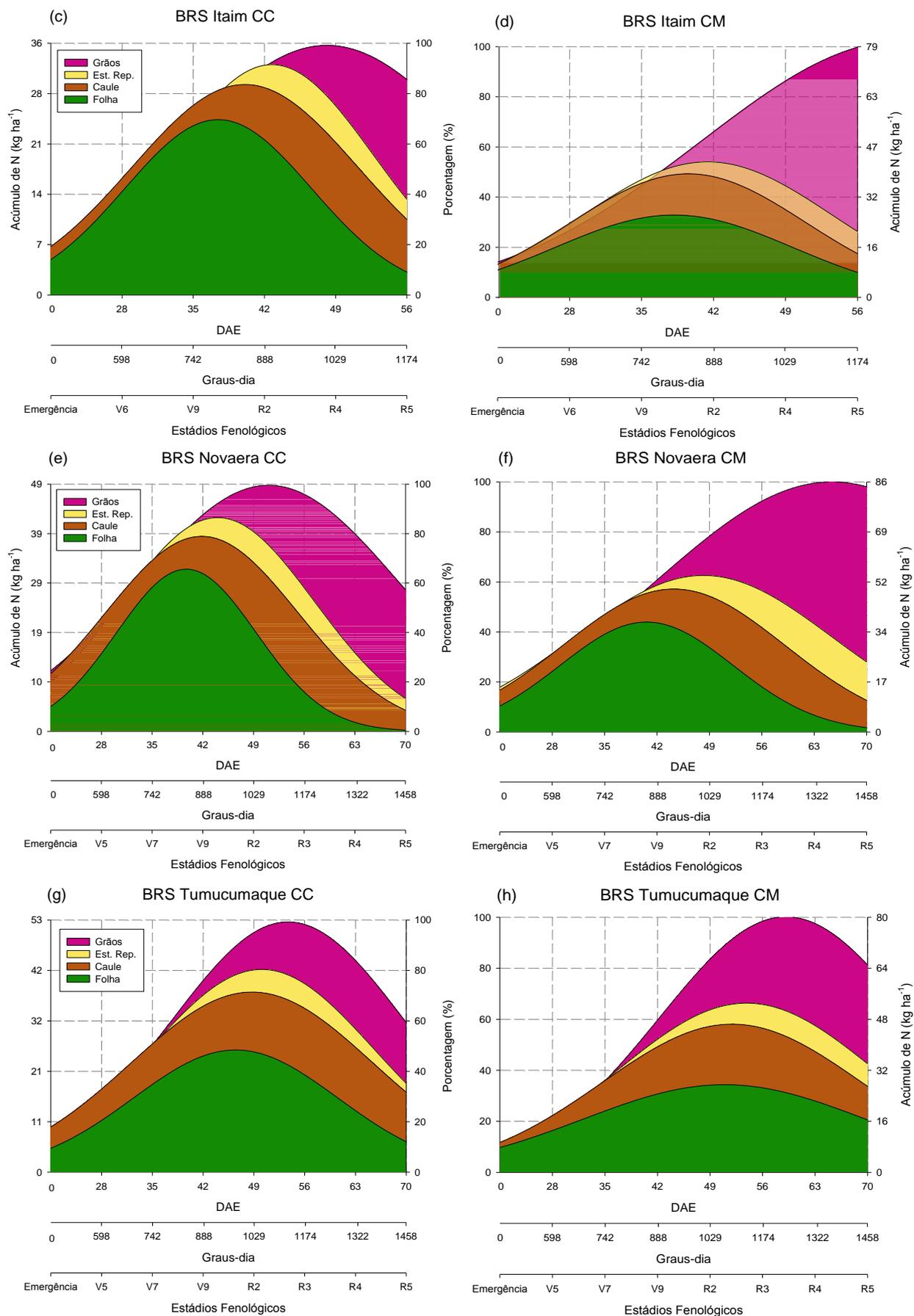


Figura 5. Acúmulo e partição do nitrogênio em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e cultivo mínimo (CM) ao longo do seu ciclo.

Tabela 5. Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo do nitrogênio, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.

Nitrogênio										
Manejo	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2
	a ⁽²⁾	b ⁽³⁾	x ₀ ⁽⁴⁾			a ⁽²⁾	b ⁽³⁾	x ₀ ⁽⁴⁾		
	kg ha ⁻¹	-----DAE-----			kg ha ⁻¹	-----DAE-----				
Folha										
BRS Imponente										
CC	36,0*	18*	37*	19	0,87	23,2*	11*	36*	25	0,96
CM	35,2*	17*	47*	30	0,83	26,4*	10*	39*	29	0,91
BRS Itaim										
CC	36,0*	18*	37*	19	0,87	23,2*	11*	36*	25	0,96
CM	35,2*	17*	47*	30	0,83	26,4*	10*	39*	29	0,91
BRS Novaera										
CC	31,7*	10*	40*	30	0,96	24,7*	16*	45*	29	0,97
CM	38,9*	10*	41*	31	0,93	26,9*	20*	51*	31	0,93
BRS Tumucumaque										
CC	31,7*	10*	40*	30	0,96	24,7*	16*	45*	29	0,97
CM	38,9*	10*	41*	31	0,93	26,9*	20*	51*	31	0,93
Caule										
BRS Imponente										
CC	10,2*	20*	53*	33	0,92	23,2*	11*	36*	25	0,96
CM	29,0*	13*	49*	36	0,87	14,1*	10*	42*	32	0,98
BRS Itaim										
CC	10,2*	20*	53*	33	0,92	23,2*	11*	36*	25	0,96
CM	29,0*	13*	49*	36	0,87	14,1*	10*	42*	32	0,98
BRS Novaera										
CC	11,6*	15*	51*	36	0,98	8,2*	18ns	48*	30	0,86
CM	16,9*	17*	55*	38	0,90	20,1*	14*	53*	39	0,98
BRS Tumucumaque										
CC	11,6*	15*	51*	36	0,98	8,2*	18ns	48*	30	0,86
CM	16,9*	17*	55*	38	0,90	20,1*	14*	53*	39	0,98
Estruturas Reprodutivas										
BRS Imponente										
CC	12,1*	4*	49*	45	0,86	13,1 ^{ns}	4 ^{ns}	37*	33	0,89
CM	10,1*	11*	61*	50	0,99	8,1*	7*	50*	43	0,99
BRS Itaim										
CC	12,1*	4*	49*	45	0,86	13,1 ^{ns}	4 ^{ns}	37*	33	0,89
CM	10,1*	11*	61*	50	0,99	8,1*	7*	50*	43	0,99
BRS Novaera										
CC	5,1*	22*	52*	30	0,74	4,7*	12*	54*	42	0,91
CM	14,6*	14*	63*	49	0,95	13,3*	5*	58*	53	0,94
BRS Tumucumaque										
CC	5,1*	22*	52*	30	0,74	4,7*	12*	54*	42	0,91
CM	14,6*	14*	63*	49	0,95	13,3*	5*	58*	53	0,94
Grãos										
BRS Imponente										
CC	30,1 ^{ns}	11 ^{ns}	70 ^{ns}	59	0,97	19,3*	5*	55*	50	1,00
CM	45,5*	10*	65*	55	0,99	57,7*	7*	57*	50	0,99
BRS Itaim										
CC	30,1 ^{ns}	11 ^{ns}	70 ^{ns}	59	0,97	19,3*	5*	55*	50	1,00
CM	45,5*	10*	65*	55	0,99	57,7*	7*	57*	50	0,99
BRS Novaera										
CC	21,5 ^{ns}	14 ^{ns}	66 ^{ns}	52	0,81	14,8*	11ns	62*	51	0,91
CM	59,3*	8*	65*	57	0,99	35,8*	10*	63*	53	0,99
BRS Tumucumaque										
CC	21,5 ^{ns}	14 ^{ns}	66 ^{ns}	52	0,81	14,8*	11ns	62*	51	0,91
CM	59,3*	8*	65*	57	0,99	35,8*	10*	63*	53	0,99
Total										
BRS Imponente										
CC	50,6*	47 ^{ns}	63 ^{ns}	16	0,61	34,9*	24 ^{ns}	44*	20	0,33
CM	93,8*	19*	59*	40	0,97	79,4*	18*	59*	37	0,88
BRS Itaim										
CC	50,6*	47 ^{ns}	63 ^{ns}	16	0,61	34,9*	24 ^{ns}	44*	20	0,33
CM	93,8*	19*	59*	40	0,97	79,4*	18*	59*	37	0,88
BRS Novaera										
CC	47,1*	19*	51*	32	0,82	51,3*	17*	53*	36	0,97
CM	86,2*	22*	65*	43	0,95	79,9*	17*	59*	42	0,96
BRS Tumucumaque										
CC	47,1*	19*	51*	32	0,82	51,3*	17*	53*	36	0,97
CM	86,2*	22*	65*	43	0,95	79,9*	17*	59*	42	0,96

¹⁾ Valores representam a média das avaliações das cultivares;

²⁾ Valor máximo do acúmulo de nitrogênio;

³⁾ Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo;

⁽⁴⁾ Dias após a emergência (DAE) que forneceu os maiores valores;

* e ^{ns}: significativo e não significativo pelo teste t ($p < 0,05$), respectivamente.

Tabela 6. Acúmulo do nitrogênio em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.

Nitrogênio (kg ha ⁻¹)								
Folha								
DAE	BRS Imponente		BRS Itaim		BRS Novaera		BRS Tumucumaque	
	CC	CM	CC	CM	CC	CM	CC	CM
28	25,9a	25,4a	19,2b	23,5a	13,7b	21,3a	12,0b	22,4a
35	42,3a	25,9b	20,3b	30,2a	32,7a	36,3a	22,4a	23,6a
42	38,8a	40,2a	19,6b	26,9a	28,7b	44,5a	23,5a	28,4a
49	22,0b	31,9a	13,0b	18,9a	18,8a	22,7a	23,5a	18,8a
56	16,7b	25,1a	5,7a	6,7a	9,6b	18,5a	19,7b	25,8a
63	16,2a	22,4a	-	-	3,8a	6,9a	14,4b	22,1a
70	11,9b	19,7a	-	-	1,7a	5,1a	7,4b	19,3a
CV ₁ %	22,14		55,26		8,83		14,59	
CV ₂ %	17,40		15,00		18,84		20,98	
Caule								
28	4,2a	6,5a	4,2a	6,5a	3,1a	3,8a	6,0a	5,3a
35	6,7a	9,8a	5,9b	14,0b	7,4a	9,7a	10,4a	8,9a
42	8,8b	32,3a	7,4b	17,5b	9,5a	14,2a	10,9a	13,1a
49	11,1b	30,8a	7,6b	11,8b	11,1b	16,4a	11,1b	21,5a
56	8,6b	15,9a	5,1a	4,7a	11,9b	17,9a	13,9b	23,6a
63	9,7b	18,6a	-	-	7,9a	10,0a	16,0a	12,2a
70	7,5b	12,1a	-	-	5,4b	15,5a	8,1a	11,3a
CV ₁ %	15,14		54,21		29,88		16,14	
CV ₂ %	29,51		20,87		33,31		30,21	
Estruturas Reprodutivas								
35	-	-	12,4a	1,0b	3,4a	1,6b	-	-
42	2,9a	3,3a	7,6a	3,7b	2,7a	3,9a	3,1a	0,5a
49	10,7a	5,6b	2,2b	10,6a	4,7a	5,0a	3,8a	2,3a
56	1,9b	11,2a	1,4b	4,7a	5,8b	11,1a	5,5b	11,7a
63	1,4b	10,5a	-	-	6,2b	11,9a	3,7b	7,4a
70	3,0b	8,4a	-	-	3,4b	10,6a	3,0a	4,8a
CV ₁ %	9,07		15,84		8,66		39,37	
CV ₂ %	15,71		17,80		15,98		54,79	
Grãos								
49	-	-	2,8b	40,1a	6,9a	9,8a	7,4a	9,8a
56	14,1b	35,6a	25,1b	63,5a	22,6b	40,1a	16,1b	29,7a
63	24,2b	41,4a	-	-	18,6b	65,4a	13,3b	37,6a
70	31,7a	41,3a	-	-	23,8b	55,2a	13,5b	27,8a
CV ₁ %	18,63		27,30		34,80		22,62	
CV ₂ %	19,83		28,76		24,18		21,97	
Total								
28	30,1a	31,9a	23,4a	29,9a	16,8a	25,1a	18,0a	27,6a
35	49,0a	35,6b	38,6a	45,1a	43,5a	47,6a	32,8a	32,5a

42	50,4b	75,8a	34,6b	48,0a	40,9b	62,6a	37,5a	41,9a
49	43,8b	68,3a	25,6b	81,4a	41,5b	53,7a	45,9a	52,3a
56	41,4b	87,8a	37,2b	79,5a	49,8b	87,6a	55,3b	90,9a
63	51,5b	92,8a	-	-	36,6b	94,2a	47,4b	79,2a
70	54,1b	81,5a	-	-	34,3b	86,3a	32,0b	63,3a
CV ₁ %	15,14		28,46		17,76		4,16	
CV ₂ %	9,82		20,05		16,47		16,51	

*Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de t ($p < 0,05$). CV₁ – coeficiente de variação da parcela. CV₂ – coeficiente de variação da subparcela.

3.3 Fósforo

A absorção de fósforo variou significativamente entre os sistemas de cultivo, com diferenças observadas, principalmente, no estágio reprodutivo, no qual houve um aumento de 50% na absorção do nutriente pelas plantas em sistema de cultivo mínimo. Em ambos os sistemas, as plantas atingiram uma média de absorção máxima de P até o estágio R3. Os acúmulos máximos foram verificados em R2 e R3 em ambos os sistemas.

As quantidades equivalentes de P₂O₅ diminuíram consideravelmente nas partes vegetativas da planta a partir de R2, com 15% e 20% do total alocado para grãos, nos sistemas de cultivo convencional e mínimo, respectivamente. Esses resultados apresentam tendência de maior eficiência no uso de P pelas cultivares de hábito de crescimento determinado (BRS Itaim) (Figura 6).

De maneira similar ao N, o fósforo foi acumulado até o estágio vegetativo V9 para CC e CM nas proporções de 70%, 75%, 80% e 75%, e de 75%, 45%, 65% e 65% para as BRS Imponente, BRS Itaim, BRS Novaera e BRS Tumucumaque, respectivamente. As plantas cultivadas no CC apresentam comportamento de redistribuição do nutriente, similar ao que foi observado para o N; e, como já comentado, a principal fonte de reserva do P seriam as folhas. Resultado similar foi observado para a cultura da soja (BENDER et al., 2015).

Dentre os resultados apresentados, ressalta-se que para a BRS Itaim, no CM, o maior acúmulo de P ocorreu durante o enchimento de grãos (Figura 6d).

Os valores do acúmulo máximo total do P pelas cultivares de hábito de crescimento indeterminado foram atingidos entre 50 e 56 DAE. Nota-se que a BRS Imponente, no seu ponto de máximo acúmulo, acumulou 8,1 e 15,1 kg P ha⁻¹; a BRS Novaera, 7,1 e 17,0 kg P ha⁻¹, e a BRS Tumucumaque, 7,8 e 12,4 kg P ha⁻¹. Enquanto

a cultivar BRS Itaim, de ciclo precoce e de crescimento determinado, apresentou absorção máxima do nutriente semelhante às demais cultivares com valores de 6,7 e 17,6 kg P ha⁻¹, nos sistemas de cultivo convencional e mínimo, respectivamente (Tabela 7).

Diferenças significativas na absorção total do fósforo por hectare foram observadas nas cultivares estudadas, nos dois sistemas de cultivo, com ênfase nas coletas nos estádios reprodutivos e superioridade de acúmulo de P para o cultivo mínimo (Tabela 8).

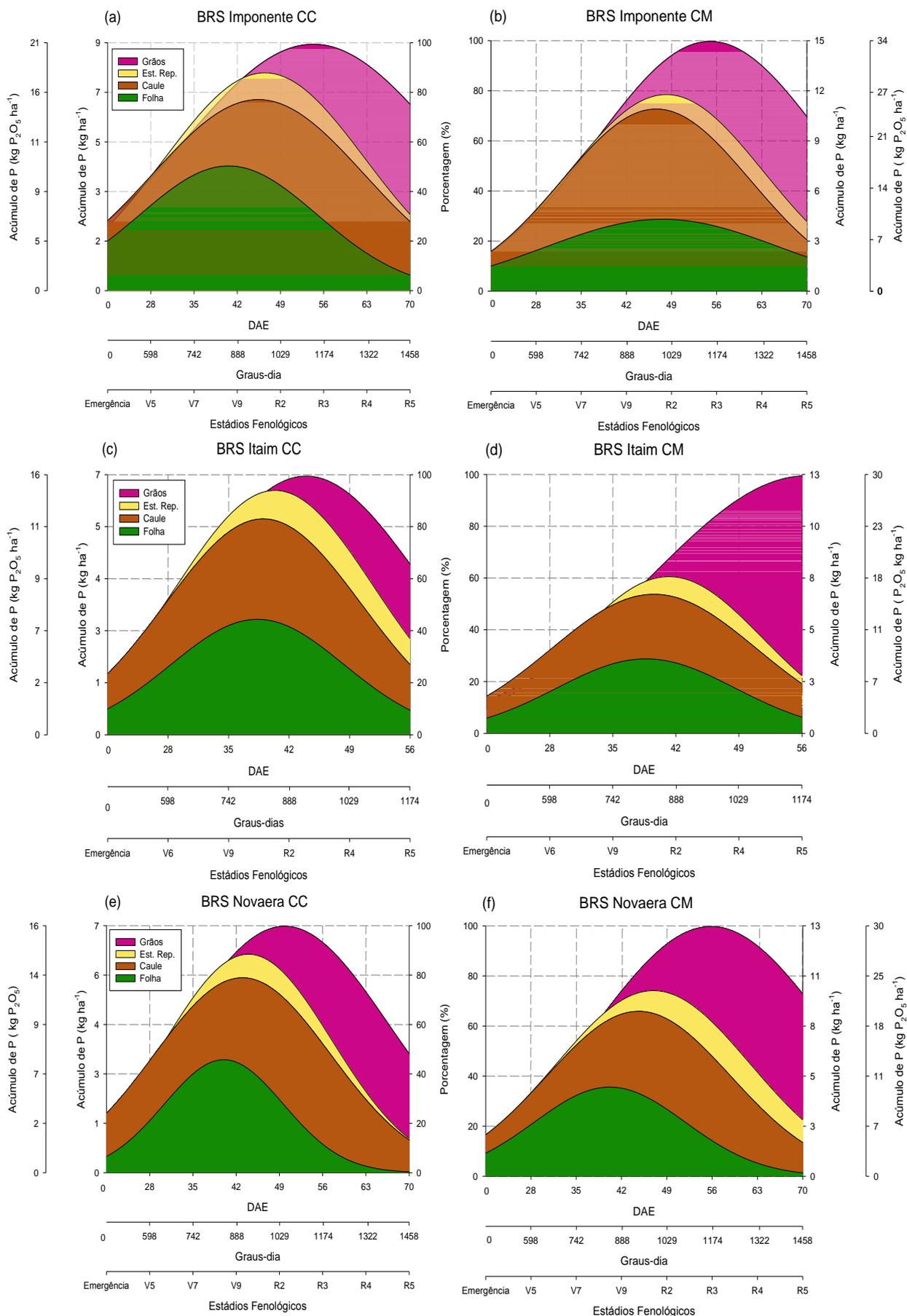
Rheinheimer et al. (2000) relata que, em sistema de manejo conservacionista, a aplicação de P aliada à ausência de revolvimento e à diminuição das taxas de erosão resulta na saturação gradativa dos sítios de maior afinidade por este nutriente, de maneira que o fósforo remanescente é redistribuído em frações retidas com menor energia e de maior disponibilidade às plantas.

Por essas razões, no cultivo mínimo, o aumento no teor de matéria orgânica e a minimização da oscilação do teor de umidade no solo, resultantes da manutenção da cobertura vegetal na superfície, podem favorecer a eficiência de aproveitamento de fósforo pelas plantas cultivadas.

Assim, à medida que a planta se desenvolve, o fósforo é redistribuído das folhas e dos caules e é direcionado para os grãos, sendo necessário garantir o fornecimento do P até a fase de maturação, com o propósito de que não haja redução na produtividade de grãos do feijão-caupi.

De acordo com Melo et al. (2018), o baixo rendimento do feijão-caupi é influenciado por vários fatores de produção, dentre eles, a inadequada aplicação de P, sendo a cultura do feijão-caupi responsiva à aplicação do mesmo. Segundo Fageria et al. (2011) e Viana et al. (2011), N e P são os nutrientes que promovem melhor resposta ao aumento da produtividade de grãos no feijoeiro.

Da mesma forma, Etemadi et al. (2017) verificaram que as concentrações de N e P do feijoeiro são maiores nos grãos, seguidas das folha e vagens, e sugere-se que N e P fossem mobilizados de outras partes da planta para os grãos durante o enchimento do grão no feijão (*Vicia faba* L.), semelhante ao da soja (BENDER et al., 2015).



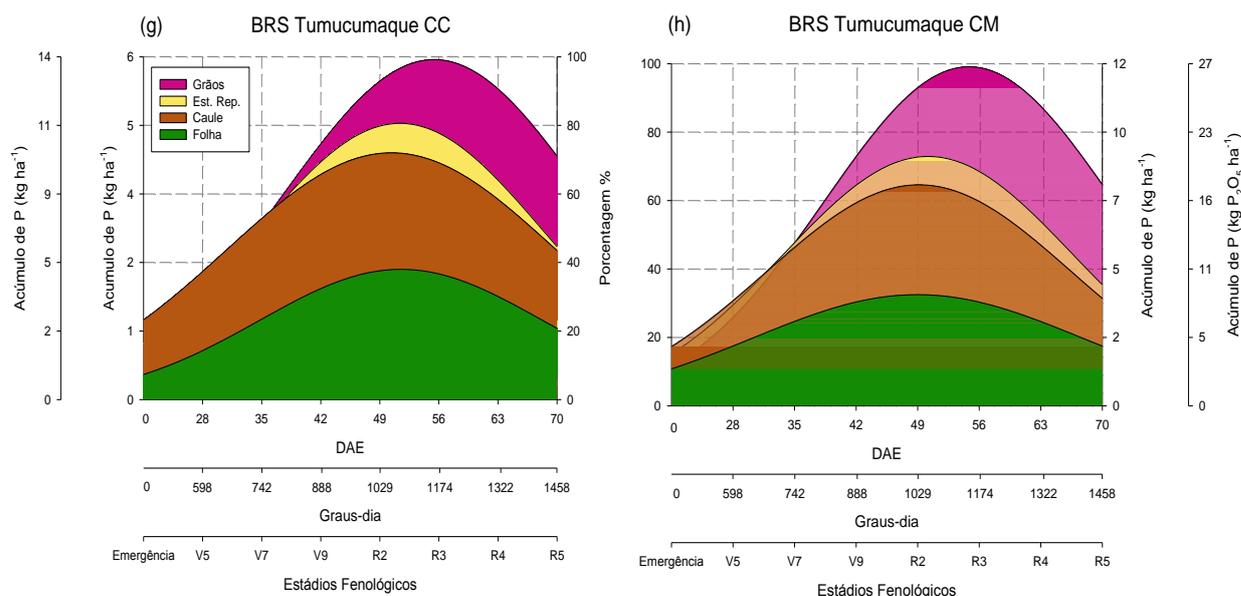


Figura 6. Acúmulo e partição do fósforo em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo.

Tabela 7. Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo do fósforo, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.

		Fósforo (kg ha^{-1})								
Manejo	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2
	$a^{(2)}$	$b^{(3)}$	$x_0^{(4)}$			$a^{(2)}$	$b^{(3)}$	$x_0^{(4)}$		
		kg ha^{-1}			kg ha^{-1}					
		-----DAE-----			-----DAE-----					
Folha										
BRS Imponente					BRS Itaim					
CC	4,1*	19*	38*	19	0,82	2,8*	13*	36*	23	0,97
CM	4,2*	18*	48*	30	0,84	3,7*	10*	39*	29	0,93
BRS Novaera					BRS Tumucumaque					
CC	3,3*	10*	40*	30	0,96	2,9*	17*	51*	34	0,86
CM	4,8*	11*	41*	20	0,94	4,0*	18*	50*	32	0,87
Caule										
BRS Imponente					BRS Itaim					
CC	2,7*	23*	50*	33	0,79	2,4*	12*	43*	31	0,95
CM	7,2*	11*	46*	35	0,84	3,6*	10*	42*	32	0,96
BRS Novaera					BRS Tumucumaque					
CC	2,8*	16*	49*	33	0,96	2,6*	21*	52*	31	0,89
CM	4,5*	15*	50*	35	0,94	4,2*	14*	50*	36	0,97
Estruturas Reprodutivas										
BRS Imponente					BRS Itaim					
CC	2,3*	4*	49*	33	0,94	2,1*	4*	37 ^{ns}	43	0,93
CM	1,8*	8*	57*	49	0,97	0,8*	12*	51*	39	0,96
BRS Novaera					BRS Tumucumaque					
CC	0,8*	17*	42*	25	0,95	0,6	13*	14*	1	0,83
CM	2,0*	9*	56*	47	0,99	1,0*	13*	56*	43	0,82

Grãos										
BRS Imponente					BRS Itaim					
CC	3,5*	13*	68*	55	0,94	2,9*	6ns	56*	50	0,99
CM	6,2*	11*	64*	52	0,96	9,6*	7*	56*	49	1,00
BRS Novaera					BRS Tumucumaque					
CC	2,8*	10 ^{ns}	61 ^{ns}	50	0,80	2,1*	15 ^{ns}	66*	51	0,89
CM	7,8*	8*	62*	54	0,99	4,8*	9*	60*	51	0,99
Total										
BRS Imponente					BRS Itaim					
CC	8,1*	29*	55*	26	0,82	6,7*	17 ^{ns}	44*	27	0,73
CM	15,1*	17*	55*	38	0,95	12,9*	17*	57*	40	0,98
BRS Novaera					BRS Tumucumaque					
CC	7,1*	17*	50*	33	0,88	7,8*	14*	55*	41	0,94
CM	13,3*	17*	56*	39	0,96	12,4*	16*	55*	39	0,98

¹⁾ Valores representam a média das avaliações das cultivares;

⁽²⁾ Valor máximo do acúmulo de fósforo;

⁽³⁾ Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo;

⁽⁴⁾ Dias após a emergência (DAE) que forneceu os maiores valores;

* e ^{ns}: significativo e não significativo pelo teste t (p <0,05), respectivamente.

Tabela 8. Acúmulo do fósforo em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019

Fósforo (kg ha ⁻¹)								
Folha								
DAE	BRS Imponente		BRS Itaim		BRS Novaera		BRS Tumucumaque	
	CC	CM	CC	CM	CC	CM	CC	CM
28	2,8a	2,8a	2,5a	3,1a	1,4b	2,6a	1,1b	2,3a
35	5,0a	3,6b	3,3b	4,2a	3,4b	4,5a	2,4b	3,8a
42	4,5a	4,7a	2,7a	3,1a	3,0b	5,0a	2,1b	3,8a
49	2,6b	4,0a	1,6b	2,5a	2,1a	2,8a	2,4b	3,5a
56	2,1b	3,1a	1,3a	0,8a	1,0b	2,3a	3,1a	3,8a
63	2,1b	3,2a	-	-	0,6a	1,0a	2,3a	3,2a
70	1,5b	2,7a	-	-	0,2a	0,6a	1,5b	2,4a
CV ₁ %	24,36		44,03		21,34		34,27	
CV ₂ %	20,16		22,07		24,77		21,95	
Caule								
28	1,6a	2,3a	1,2a	2,0a	1,2a	1,2a	1,1a	2,0a
35	2,2a	2,6a	2,5a	3,3a	2,3b	3,5a	2,4a	2,3a
42	2,8b	8,9a	2,5b	4,0a	2,7b	5,0a	2,4a	3,4a
49	2,9b	6,5a	1,7a	2,6a	3,1a	3,7a	2,6b	4,3a
56	2,1a	3,0a	1,8a	1,1a	2,5a	3,0a	2,2b	4,1a
63	2,5a	3,6a	-	-	1,9b	3,3a	2,5a	2,7a
70	2,0a	2,0a	-	-	1,5a	2,3a	1,9a	1,4a
CV ₁ %	21,02		56,39		13,89		20,41	
CV ₂ %	25,42		32,25		25,89		29,98	
Estruturas Reprodutivas								
35	-	-	2,1a	0,4b	0,7a	0,2b	-	-

42	0,5a	0,5a	1,2a	0,7b	0,4b	0,8a	0,4b	0,8a
49	2,6a	0,7b	0,5b	0,9a	0,5b	1,5a	0,8b	1,2a
56	0,5b	1,7a	0,3a	0,5a	0,4b	2,1a	0,5b	0,8a
63	0,2b	1,3a	-	-	0,4b	1,7a	0,1b	0,9a
70	0,3b	0,6a	-	-	0,3b	0,6a	0,2b	0,8a
CV ₁ %	12,71		15,44		17,71		51,84	
CV ₂ %	17,76		21,75		23,40		36,12	
Grãos								
49	-	-	0,7b	5,1a	1,1a	1,7a	1,7a	2,0a
56	2,4b	6,5a	3,8b	8,5a	3,2a	4,2a	2,3b	4,7a
63	2,7b	5,4a	-	-	2,5b	8,6a	1,7b	4,4a
70	3,4b	5,4a	-	-	2,3b	4,5a	2,5a	3,1a
CV ₁ %	10,77		21,42		23,38		14,88	
CV ₂ %	7,25		43,20		20,54		26,60	
Total								
28	4,4a	5,1a	3,7a	5,1a	2,5a	3,8a	2,3b	4,3a
35	7,2a	6,2a	8,0a	8,0a	6,4a	8,3a	4,8a	6,0a
42	7,8b	14,0a	6,3a	7,8a	6,1b	10,7a	4,8b	7,9a
49	8,1b	11,3a	4,5b	11,1a	6,8b	9,6a	7,6b	10,9a
56	7,0b	14,3a	7,2b	10,7a	7,1b	11,6a	8,1b	13,2a
63	7,5b	13,5a	-	-	5,4b	14,6a	6,7b	11,0a
70	7,2b	10,7a	-	-	4,3b	8,0a	6,1b	7,6a
CV ₁ %	10,95		34,60		11,96		17,20	
CV ₂ %	13,35		24,41		14,71		12,71	

*Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de t ($p < 0,05$). CV₁ – coeficiente de variação da parcela. CV₂ – coeficiente de variação da subparcela.

3.4 Potássio

No sistema de cultivo mínimo, as plantas acumularam uma quantidade superior de potássio, apresentando maior demanda de K₂O a partir do estágio vegetativo V7 e presente em maiores quantidades no caule. A absorção de 80% do K total ocorreu quando as plantas se encontravam no estágio V9, com ocorrência do acúmulo máximo entre R2 e R3 (enchimento de grãos). Independentemente do ambiente de cultivo e da cultivar avaliada, a quantidade de K armazenada na planta diminuiu após o início do estágio reprodutivo até o final do ciclo (Figura 7).

Até o estágio vegetativo V9, para as cultivares BRS Imponente, BRS Itaim, BRS Novaera e BRS Tumucumaque, a proporção de potássio total acumulado foi de 80%, 75%, 85% e 80% para CC e 80%, 60%, 65% e 60% para CM, respectivamente. Assim, diferentemente do observado para N e P, o K apresentou maior porcentagem do total de nutriente absorvido, ou seja, a sua redistribuição de hastes e de folhas para os grãos. Situação análoga também foi observada na soja (BENDER et al., 2015).

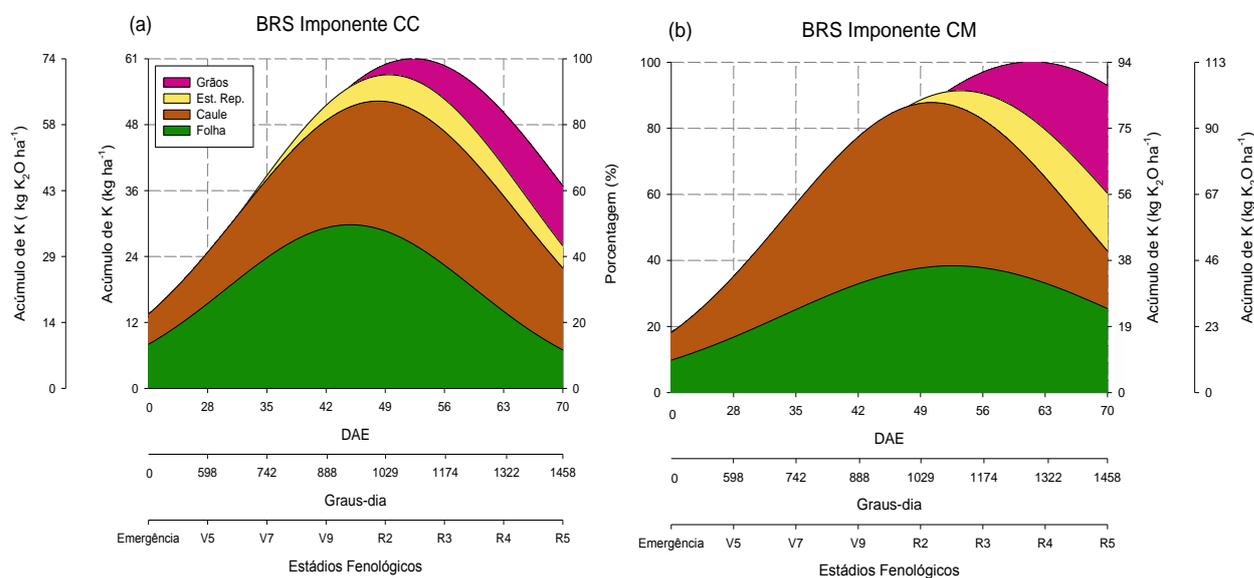
Bortolon et al. (2018) verificaram que a taxa de translocação do K na soja para os grãos, em Tocantins, foi de 18%, enquanto no feijão-caupi, em termos médios neste estudo, foi de 22% (Figura 7a, 7b, 7c, 7d, 7e, 7f, 7g e 7h).

Na maturação fisiológica (R5), o K médio contido nos grãos representou entre 15% e 20% do acúmulo total desse nutriente pelas plantas de feijão-caupi. De maneira análoga ao P, a maior concentração de K nos grãos na cultivar com hábito de crescimento determinado, BRS Itaim, é um indicativo de que o processo de desenvolvimento de cultivares de porte determinado favoreceu a eficiência do uso de nutrientes na cultura do feijão-caupi.

Esse resultado indicou que o K foi o nutriente mais requerido pelo feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional e mínimo, concordando com os resultados obtidos por Pegoraro (2014), no qual, em ordem decrescente de acúmulo dos macronutrientes pelo feijoeiro (*Phaeolus vulgaris*), o K foi o nutriente mais requerido.

Os picos de máxima absorção do total do potássio foram exibidos entre os 49 e 56 DAE pelas cultivares BRS Imponente (57,0 e 108,3 kg K ha⁻¹), BRS Novaera (57,0 e 107,1 kg K ha⁻¹) e BRS Tumucumaque (61,1 e 106,0 kg K ha⁻¹); enquanto que a cultivar BRS Itaim obteve ponto de acúmulo máximo aos 42 e 50 DAE com 37,2 e 68,7 kg de K ha⁻¹ nos sistemas de cultivo convencional e mínimo, respectivamente (Tabela 9).

A quantidade equivalente de K acumulada pelas cultivares foi estatisticamente diferente nos sistemas de cultivo, em todas as épocas avaliadas para as cultivares BRS Itaim e BRS Novaera. Contudo, as cultivares BRS Imponente e BRS Tumucumaque diferiram no acúmulo do potássio a partir do estágio V9 (Tabela 10).



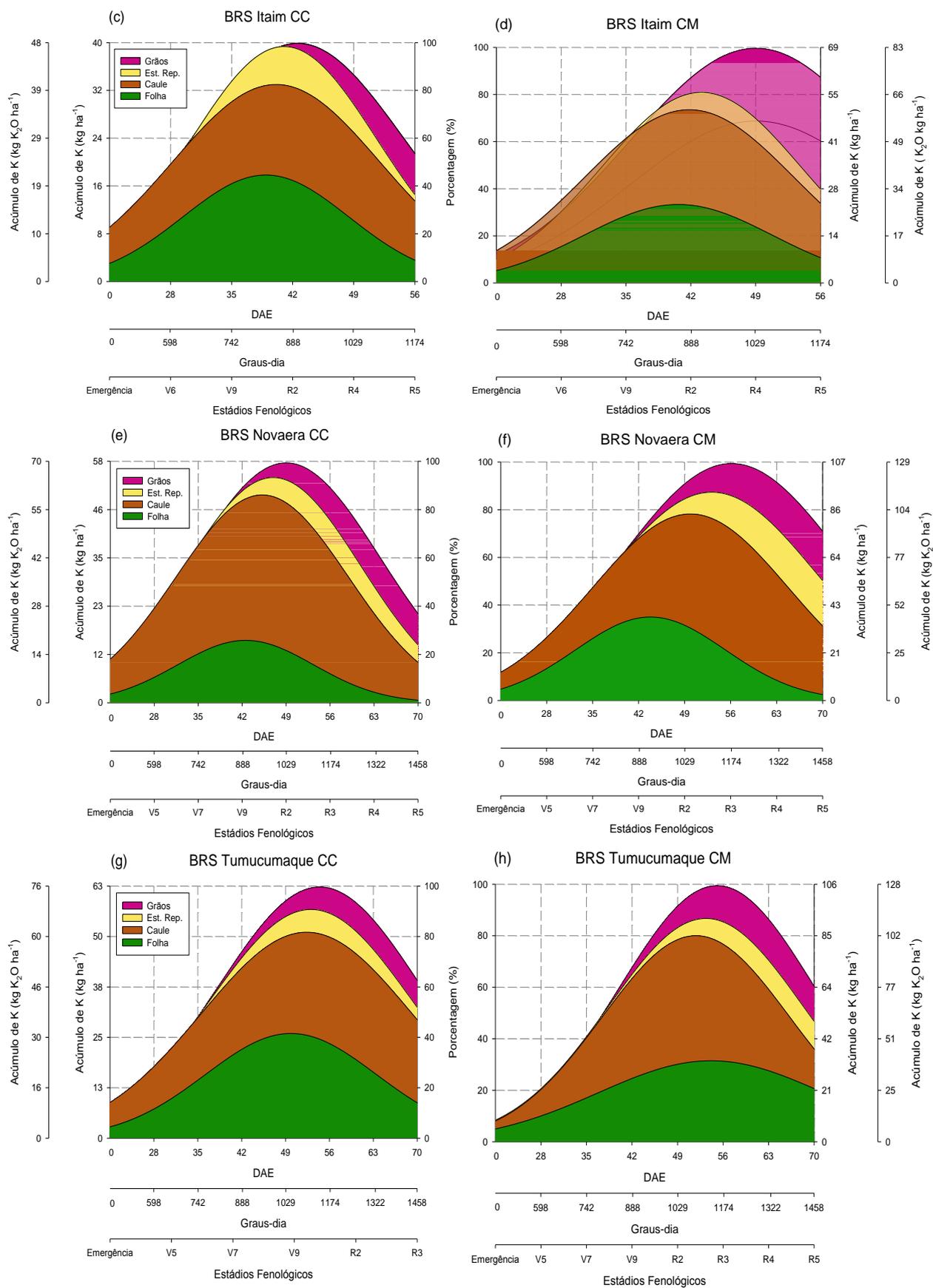


Figura 7. Acúmulo e partição do potássio em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e cultivo mínimo (CM), ao longo do seu ciclo.

Tabela 9. Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo do potássio, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.

		Potássio								
Manejo	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2
	a ⁽²⁾	b ⁽³⁾	x ₀ ⁽⁴⁾			a ⁽²⁾	b ⁽³⁾	x ₀ ⁽⁴⁾		
	kg ha ⁻¹	-----DAE-----			kg ha ⁻¹	-----DAE-----				
Folha										
BRS Imponente										
CC	28,3*	19*	42*	23	0,82	16,8*	11*	38*	27	0,94
CM	36,3*	18*	53*	35	0,88	22,9*	10*	41*	31	0,96
BRS Itaim										
CC	28,3*	19*	42*	23	0,82	16,8*	11*	38*	27	0,94
CM	36,3*	18*	53*	35	0,88	22,9*	10*	41*	31	0,96
BRS Novaera										
CC	25,7*	11*	42*	31	0,95	25,5*	14*	50*	36	0,99
CM	37,9*	11*	44*	33	0,95	33,7*	17*	54*	37	0,95
BRS Tumucumaque										
CC	25,7*	11*	42*	31	0,95	25,5*	14*	50*	36	0,99
CM	37,9*	11*	44*	33	0,95	33,7*	17*	54*	37	0,95
Caule										
BRS Imponente										
CC	22,6*	20*	53*	33	0,86	15,7*	14*	43*	29	0,92
CM	59,9*	12*	47*	35	0,85	29,6*	10*	43*	33	0,98
BRS Itaim										
CC	22,6*	20*	53*	33	0,86	15,7*	14*	43*	29	0,92
CM	59,9*	12*	47*	35	0,85	29,6*	10*	43*	33	0,98
BRS Novaera										
CC	26,4*	14*	49*	35	0,98	26,0*	21*	56*	35	0,99
CM	53,9*	15*	55*	40	0,93	52,8*	12*	51*	39	0,94
BRS Tumucumaque										
CC	26,4*	14*	49*	35	0,98	26,0*	21*	56*	35	0,99
CM	53,9*	15*	55*	40	0,93	52,8*	12*	51*	39	0,94
Estruturas Reprodutivas										
BRS Imponente										
CC	12,5*	4*	49*	45	0,67	12,1ns	3ns	37*	34	0,83
CM	14,4*	10*	64*	54	0,99	6,3*	8*	51*	43	0,99
BRS Itaim										
CC	12,5*	4*	49*	45	0,67	12,1ns	3ns	37*	34	0,83
CM	14,4*	10*	64*	54	0,99	6,3*	8*	51*	43	0,99
BRS Novaera										
CC	6,7*	20*	70*	50	0,98	5,0*	18*	57*	39	0,67
CM	21,4*	10*	65*	55	0,98	12,2*	12*	66*	54	0,99
BRS Tumucumaque										
CC	6,7*	20*	70*	50	0,98	5,0*	18*	57*	39	0,67
CM	21,4*	10*	65*	55	0,98	12,2*	12*	66*	54	0,99
Grãos										
BRS Imponente										
CC	9,9*	11*	66*	55	0,86	15,6*	7*	56*	49	0,99
CM	17,6*	11*	63*	51	0,95	32,5*	7*	56*	49	0,99
BRS Itaim										
CC	9,9*	11*	66*	55	0,86	15,6*	7*	56*	49	0,99
CM	17,6*	11*	63*	51	0,95	32,5*	7*	56*	49	0,99
BRS Novaera										
CC	8,5*	12*	61*	49	0,56	7,7 ^{ns}	11 ^{ns}	61*	50	0,84
CM	24,7*	8*	63*	55	0,99	19,3*	9*	61*	52	0,99
BRS Tumucumaque										
CC	8,5*	12*	61*	49	0,56	7,7 ^{ns}	11 ^{ns}	61*	50	0,84
CM	24,7*	8*	63*	55	0,99	19,3*	9*	61*	52	0,99
Total										
BRS Imponente										
CC	57,0*	22*	52*	30	0,86	37,2*	15 ^{ns}	42*	27	0,66
CM	108,3*	16*	54*	38	0,91	68,7*	13*	49*	36	0,98
BRS Itaim										
CC	57,0*	22*	52*	30	0,86	37,2*	15 ^{ns}	42*	27	0,66
CM	108,3*	16*	54*	38	0,91	68,7*	13*	49*	36	0,98
BRS Novaera										
CC	57,0*	12*	49*	37	0,93	61,1*	17*	54*	37	0,93
CM	107,1*	14*	56*	42	0,96	106,0*	15*	55*	40	0,99
BRS Tumucumaque										
CC	57,0*	12*	49*	37	0,93	61,1*	17*	54*	37	0,93
CM	107,1*	14*	56*	42	0,96	106,0*	15*	55*	40	0,99

¹⁾ Valores representam a média das avaliações das cultivares.

²⁾ Valor máximo do acúmulo de potássio.

³⁾ Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo.

⁴⁾ Dias após a emergência (DAE) que forneceu os maiores valores.

* e ^{ns}: significativo e não significativo pelo teste t (p <0,05), respectivamente.

Tabela 10. Acúmulo do potássio em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.

Potássio (kg ha ⁻¹)								
Folha								
DAE	BRS Imponente		BRS Itaim		BRS Novaera		BRS Tumucumaque	
	CC	CM	CC	CM	CC	CM	CC	CM
28	16,2a	16,1a	10,7b	15,5a	7,7a	11,3a	7,0a	10,7a
35	31,9a	21,8b	15,7b	21,0a	24,7a	28,5a	15,7a	20,3a
42	31,9b	37,9a	15,8b	25,2a	24,6b	42,4a	22,3a	26,0a
49	20,6b	36,9a	9,9b	19,1a	20,4b	26,3a	26,4a	27,3a
56	21,4b	27,9a	5,0b	10,0a	11,7b	24,0a	21,7b	38,6a
63	16,7b	29,2a	-	-	7,1a	9,8a	16,7b	26,3a
70	12,3b	29,4a	-	-	2,0a	5,6a	10,1b	22,6a
CV ₁ %	17,66		59,88		13,50		34,56	
CV ₂ %	12,25		19,06		22,80		26,16	
Caule								
28	7,5b	15,5a	8,0a	10,8a	7,2a	6,0a	4,4a	11,9a
35	18,4a	22,4a	15,2b	22,4a	14,9a	18,1a	28,4a	21,0a
42	19,2b	74,0a	15,0b	29,9a	27,0b	43,7a	16,4b	49,2a
49	21,1b	55,5a	14,0b	23,8a	27,9b	42,7a	21,3b	52,1a
56	19,9b	30,8a	11,3b	16,0a	21,4b	54,2a	33,8b	47,3a
63	23,8b	34,1a	-	-	16,8b	44,6a	25,8a	32,3a
70	14,9a	20,9a	-	-	10,1b	31,1a	20,8a	17,8a
CV ₁ %	19,44		58,79		34,86		19,89	
CV ₂ %	19,92		24,99		31,26		32,37	
Estruturas Reprodutivas								
35	-	-	10,7a	1,0b	2,1a	1,1a	-	-
42	2,2a	2,1a	4,6a	2,9b	3,2a	3,1a	2,6a	2,7a
49	11,2a	4,0b	3,7b	7,9a	4,6a	5,3a	4,1a	4,6a
56	2,9b	9,6a	2,9a	3,7a	5,9b	11,0a	7,6a	8,6a
63	1,2b	15,3a	-	-	7,2b	24,8a	4,5b	12,4a
70	5,0b	11,4a	-	-	6,8b	19,2a	4,3b	11,3a
CV ₁ %	14,63		34,63		11,36		45,21	
CV ₂ %	15,17		22,88		12,98		41,98	
Grãos								
49	-	-	2,1b	23,6a	4,1a	4,7a	4,1a	5,9a
56	6,4b	17,9a	11,1b	27,5a	11,6b	21,4a	8,6b	16,4a
63	7,1b	14,8a	-	-	6,5b	27,9a	5,4b	18,8a
70	9,1b	13,7a	-	-	6,4b	18,2a	6,9b	12,1a
CV ₁ %	11,24		17,82		42,11		30,14	
CV ₂ %	13,21		26,15		29,76		31,04	
Total								
28	23,7a	31,6a	19,7a	29,5a	14,9a	17,3a	11,4a	22,7a
35	50,3a	44,2a	39,7a	49,4a	41,7a	47,6a	44,1a	41,3a
42	53,3b	113,9a	36,1b	65,2a	54,8	89,3a	41,3b	77,9a
49	52,9b	96,4a	28,7b	79,1a	57,1b	79,0a	55,9b	89,9a

56	50,5b	86,2a	26,7b	61,3a	50,6b	110,6a	71,8b	110,9a
63	48,9b	93,5a	-	-	37,6b	107,1a	52,4b	89,6a
70	41,3b	75,3a	-	-	25,3b	74,0a	42,1b	63,7a
CV ₁ %	13,92		49,19		19,80		20,24	
CV ₂ %	10,46		19,10		19,83		22,03	

*Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de t ($p < 0,05$). CV₁ – coeficiente de variação da parcela. CV₂ – coeficiente de variação da subparcela.

3.5 Cálcio

O Ca foi continuamente absorvido até os estádios V9-R2, estando presente, prioritariamente, nas folhas (acima de 80% em cultivo convencional, e de 60% em cultivo mínimo). A alocação desse nutriente para as partes reprodutivas da planta é mínima, representando apenas de 3% a 10% da absorção total. Essa distribuição do Ca na planta deve-se ao fato de sua movimentação ocorrer praticamente via xilema, por meio da corrente transpiratória, o que favorece seu acúmulo em partes vegetativas em detrimento dos grãos (Figura 8).

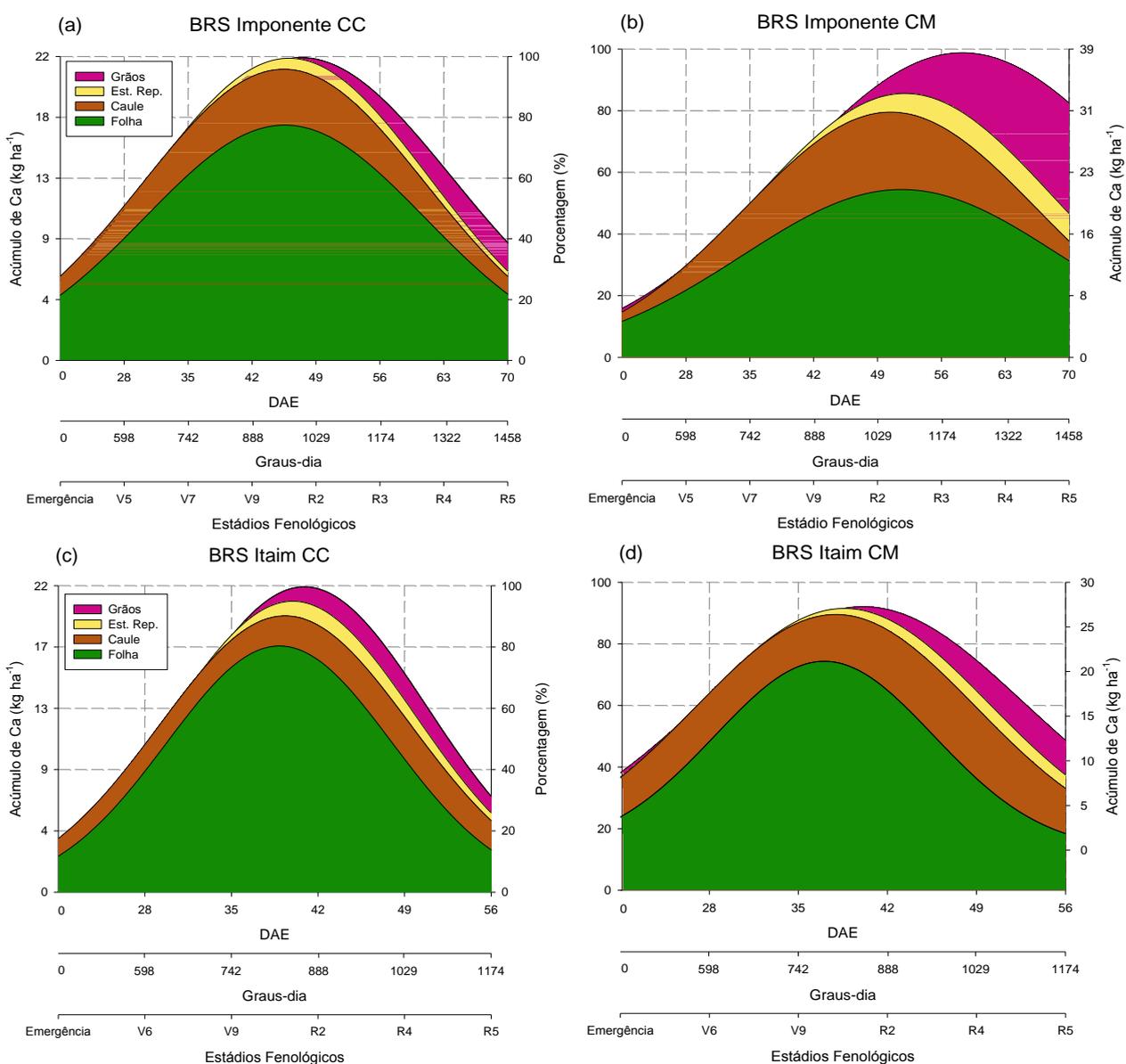
De todo o Ca acumulado na planta de feijão-caupi, mais de 80% foi absorvido no estágio vegetativo, ou seja, até V9. Independentemente da cultivar e sistema de manejo do solo, o nutriente é remobilizado para as demais estruturas e, como comentado, a sua principal fonte são as folhas. Na cultura da soja, Bortolon et al. (2018) verificou que o cálcio é o macronutriente com menor taxa de translocação para os grãos desta leguminosa (16%), sendo que no presente estudo o valor médio foi de 8,6%.

O Ca é acumulado em maior conteúdo nas folhas até o final do ciclo no cultivo convencional. No entanto, com acúmulo decrescente a partir dos 39 DAE, no cultivo mínimo, ao final do ciclo da cultura, o nutriente se encontra em maior proporção no caule (Figura 7f). Este comportamento pode ser atribuído à redução da quantidade de cálcio acumulado nas folhas ao final do ciclo devido à mobilização de nutrientes para as estruturas reprodutivas e para os grãos, ocasionada pela senescência foliar.

A absorção máxima do Ca ocorreu entre os 44 e 53 DAE, com acúmulo de 21,8 e 35,0 kg Ca ha⁻¹ para a BRS Imponente, 27,0 e 33,6 kg Ca ha⁻¹ para a BRS Novaera e 18,1 e 28,6 kg Ca ha⁻¹ para a BRS Tumucumaque; a cultivar BRS Itaim, de ciclo superpecoce, teve seu ponto de máximo acúmulo do Ca ao atingir os 39 DAE com 22,1 e 35,1 kg Ca ha⁻¹, em sistema convencional e mínimo, respectivamente (Tabela 11).

Durante o ciclo da cultura houve diferença estatística em todas as coletas nas cultivares BRS Imponente e BRS Itaim. As cultivares BRS Novaera e BRS Tumucumaque apresentaram diferença significativa a partir dos 42 DAE, entre o acúmulo de Ca nos dois sistemas de manejo com as épocas de avaliação (Tabela 12).

Segundo Soratto et al. (2013), a quantidade desse nutriente nas estruturas reprodutivas aumenta ligeiramente no final do ciclo, em plantas de feijão. Em conformidade, Schmitt et al. (2013) afirma que a concentração média de cálcio nas folhas é 21% maior do que nos grãos, confirmando que as folhas de feijão são fortes drenos de cálcio, o que pode ser extensivo ao feijão-caupi.



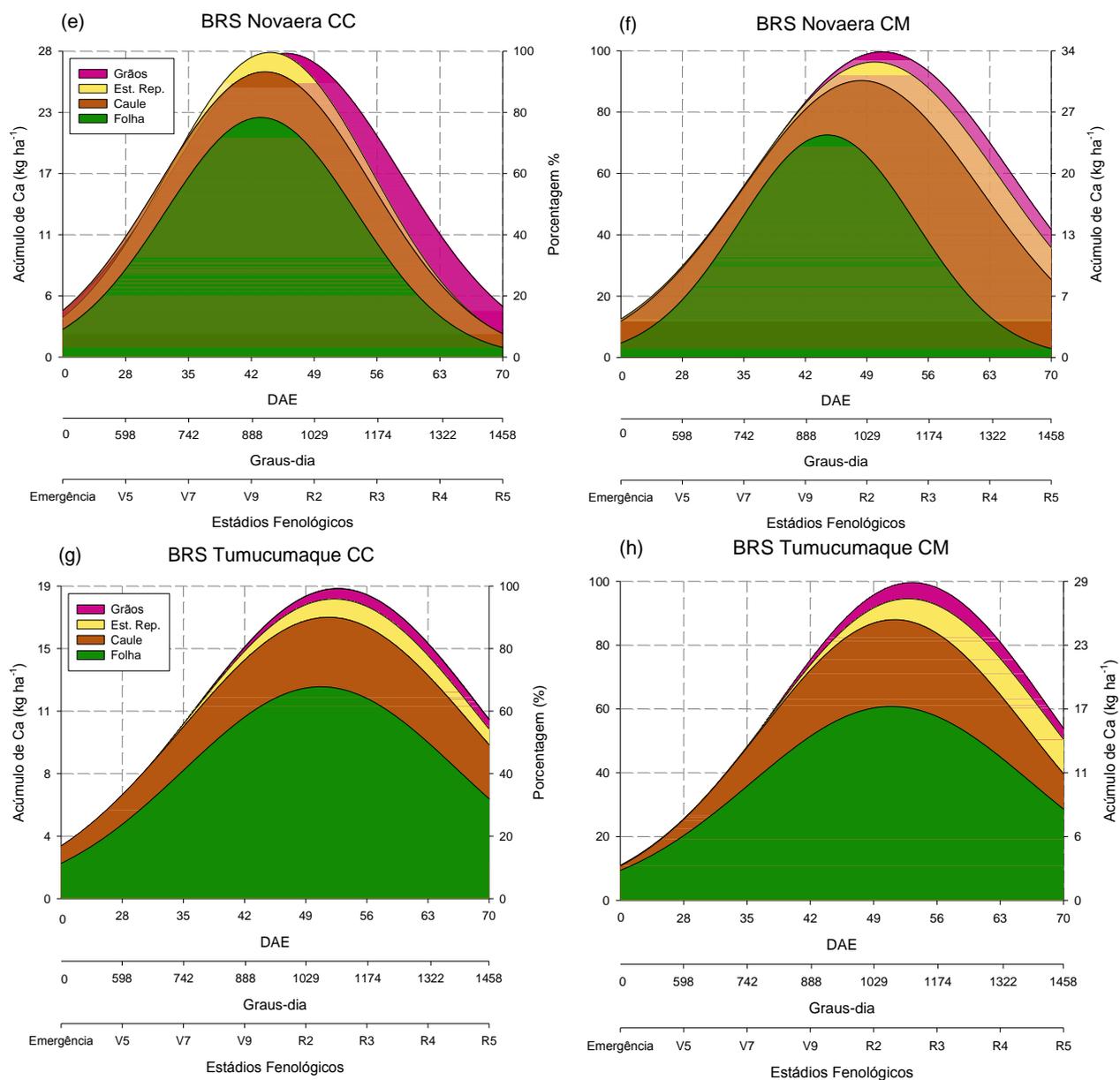


Figura 8. Acúmulo e partição do cálcio em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo.

Tabela 11. Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo do cálcio, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.

Cálcio												
Manejo	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2		
	$a^{(2)}$	$b^{(3)}$	$x_0^{(4)}$			$a^{(2)}$	$b^{(3)}$	$x_0^{(4)}$				
	kg ha^{-1}			-----DAE-----			kg ha^{-1}			-----DAE-----		
Folha												
BRS Imponente					BRS Itaim							
CC	16,2*	20*	43*	23	0,78	16,7*	10*	34*	20	0,95		
CM	21,5*	16*	52*	36	0,93	21,7*	8*	37*	28	0,95		
BRS Novaera					BRS Tumucumaque							

CC	21,7*	11*	43*	32	0,98	12,4*	17*	90*	73	0,96
CM	24,4*	10*	44*	34	0,94	17,5*	15*	51*	36	0,94
Caule										
	BRS Imponente					BRS Itaim				
CC	4,0*	29*	40*	11	0,67	4,3*	12*	39*	27	0,94
CM	10,4*	12*	48*	36	0,88	7,0*	16*	45*	29	0,82
	BRS Novaera					BRS Tumucumaque				
CC	5,7*	18*	52*	34	0,89	4,0*	25*	56*	31	0,70
CM	14,2*	17*	60*	43	0,99	7,8*	13*	52*	39	0,99
Estruturas Reprodutivas										
	BRS Imponente					BRS Itaim				
CC	3,1*	4*	48*	44	0,85	1,5 ^{ns}	10 ^{ns}	41*	31	0,59
CM	4,2*	9*	61*	52	0,99	1,7*	10*	51*	41	0,99
	BRS Novaera					BRS Tumucumaque				
CC	1,8*	19*	63*	44	0,92	1,4*	14*	56*	42	0,98
CM	4,0*	11*	61*	50	0,99	3,3*	12*	65*	53	0,99
Grãos										
	BRS Imponente					BRS Itaim				
CC	0,8 ^{ns}	13 ^{ns}	61*	48	0,89	1,6*	7 ^{ns}	56*	49*	0,99
CM	1,9*	9*	59*	50	0,96	4,4*	9*	58*	49	0,99
	BRS Novaera					BRS Tumucumaque				
CC	1,3 ^{ns}	5 ^{ns}	57*	52	0,78	0,7 ^{ns}	8 ^{ns}	58*	50	0,73
CM	2,4*	8*	60*	52	0,98	2,0*	7*	58*	51	0,99
Total										
	BRS Imponente					BRS Itaim				
CC	21,8*	21*	44*	32	0,88	22,1*	11*	39*	28	0,92
CM	35,0*	16*	53*	37	0,94	27,7*	11*	41*	30	0,89
	BRS Novaera					BRS Tumucumaque				
CC	27,0*	14*	45*	31	0,95	18,1*	18*	52*	34	0,97
CM	33,6*	14*	51*	36	0,93	28,6*	15*	53*	38	0,99

1) Valores representam a média das avaliações das cultivares;

(2) Valor máximo do acúmulo de cálcio;

(3) Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo;

(4) Dias após a emergência (DAE) que forneceu os maiores valores;

* e ^{ns}: significativo e não significativo pelo teste t (p <0,05), respectivamente.

Tabela 12. Acúmulo do cálcio em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.

Cálcio (kg ha ⁻¹)								
Folha								
DAE	BRS Imponente		BRS Itaim		BRS Novaera		BRS Tumucumaque	
	CC	CM	CC	CM	CC	CM	CC	CM
28	9,4a	8,6a	9,5b	13,7a	6,2b	3,5a	4,8a	6,0a
35	18,1a	11,9b	13,3b	17,9a	19,4b	15,9a	8,6a	10,9a
42	18,8a	21,5a	16,1a	17,8a	20,4b	24,7a	12,3a	15,4a
49	12,0b	21,5a	8,5a	11,3a	18,8a	14,9b	11,8b	17,9a
56	11,8b	17,5a	4,1a	2,0a	10,4b	14,9a	9,5b	18,4a

63	11,2b	16,7a	-	-	5,7a	5,0a	9,1b	14,9a
70	7,5b	14,2a	-	-	1,2b	3,5a	7,3a	4,6a
CV ₁ %	29,38		33,70		37,31		35,39	
CV ₂	17,24		19,96		23,68		29,99	
Caule								
28	4,2a	3,2a	2,1b	4,3a	1,6a	1,2a	2,1a	1,4a
35	3,5a	3,2a	4,7b	7,1a	5,1a	4,5a	3,3a	3,1a
42	3,8b	11,5a	4,0b	7,4a	5,4a	6,5a	3,1b	6,2a
49	3,9b	11,0a	3,8b	7,9a	5,4b	9,0a	3,6b	8,0a
56	3,3b	5,9a	1,3b	4,4a	5,3b	12,7a	6,0a	7,0a
63	4,2b	6,0a	-	-	5,4b	12,5a	4,4a	5,3a
70	1,4b	3,8a	-	-	3,8b	9,0a	2,9a	3,5a
CV ₁ %	11,07		49,18		41,84		12,52	
CV ₂ %	19,48		31,62		24,98		29,80	
Estruturas Reprodutivas								
35	-	-	2,3a	0,4b	0,7a	0,2a	-	-
42	0,9a	0,6a	1,3a	0,8a	1,3a	1,0a	0,7a	0,7a
49	2,7a	1,4b	1,4b	2,2a	1,3a	1,7a	1,2a	1,3a
56	0,8b	3,5a	0,5b	1,9a	1,8b	3,8a	2,0a	2,8a
63	0,5b	4,2a	-	-	2,4b	3,8a	0,8b	3,9a
70	0,6b	3,2a	-	-	1,6b	3,2a	0,7b	2,6a
CV ₁ %	8,73		47,28		13,30		27,26	
CV ₂ %	11,51		40,19		23,01		22,06	
Grãos								
49	-	-	0,3b	3,0a	0,3a	0,8a	0,4b	0,9a
56	0,7b	2,7a	2,1b	3,7a	1,5b	3,0a	0,6b	2,1a
63	0,7b	1,1a	-	-	0,7b	2,3a	0,4b	1,0a
70	0,6b	1,7a	-	-	0,6b	1,7a	0,5a	0,6a
CV ₁ %	4,88		17,11		29,64		36,83	
CV ₂ %	10,86		24,11		28,75		34,97	
Total								
28	13,6a	11,8a	11,5b	17,9a	7,8a	4,6a	6,8a	7,4a
35	21,5a	15,0b	18,7b	25,3a	25,2a	20,6b	12,0a	14,0a
42	23,4b	33,6a	21,3b	26,1a	27,0b	32,1a	16,0b	22,2a
49	18,7b	33,9a	13,9b	24,4a	25,8a	26,5a	17,1b	28,1a
56	16,6b	29,5a	8,0b	11,9a	18,9b	34,4a	18,1b	30,2a
63	16,6b	28,0a	-	-	14,1b	23,6a	14,6b	25,0a
70	10,1b	22,9a	-	-	7,2b	17,3a	11,4a	11,3a
CV ₁ %	17,13		31,02		9,59		25,20	
CV ₂ %	12,30		12,52		12,48		24,29	

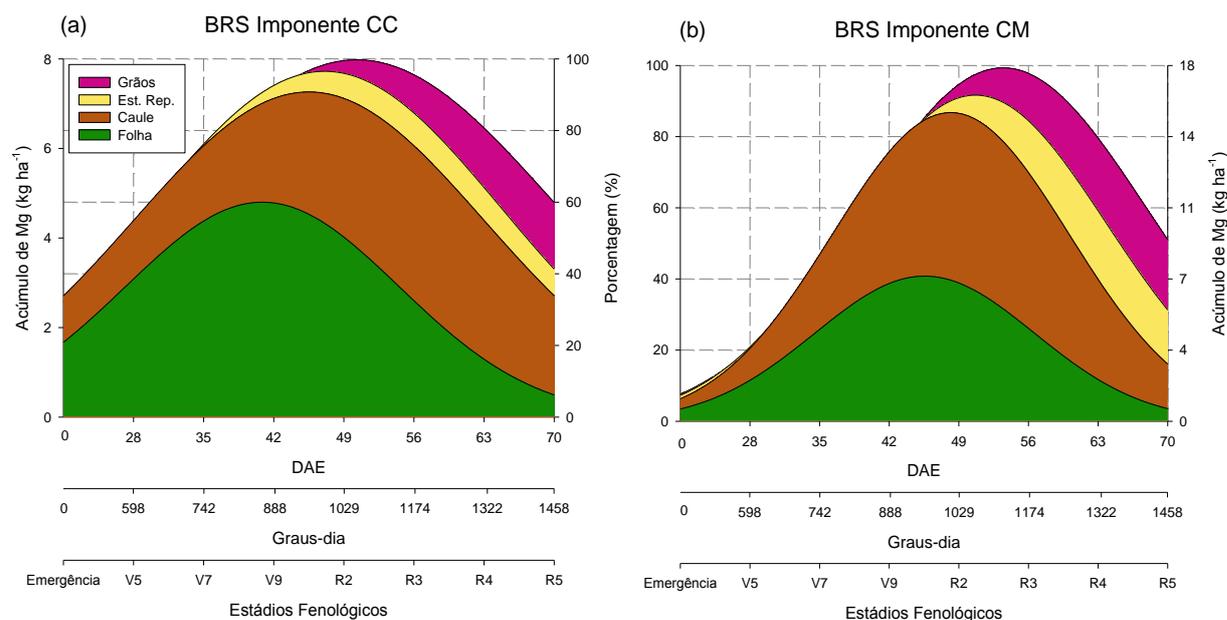
*Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de t ($p < 0,05$). CV₁ – coeficiente de variação da parcela. CV₂ – coeficiente de variação da subparcela.

3.6 Magnésio

O acúmulo total de Mg foi significativamente maior sob o sistema de cultivo mínimo a partir do estágio V9. Apesar de variações no comportamento das cultivares de feijão-caupi sob as diferentes condições de manejo do solo, é possível concluir que a maior parte da absorção de Mg ocorre na fase de pré-floração, evidenciando a importância de disponibilizar esse nutriente nos estágios iniciais de desenvolvimento até R1 (Tabela 14 e Figura 9).

Considerando as cultivares de hábito de crescimento indeterminado BRS Imponente, BRS Novaera e BRS Tumucumaque, menos de 20% da absorção total de Mg foi direcionada aos grãos em ambos os sistemas de cultivo. A cultivar de hábito de crescimento determinado BRS Itaim apresentou maior alocação do nutriente para os grãos em cultivo mínimo, direcionando 50% do Mg para os grãos (Figura 9a, 9b, 9c, 9d, 9e, 9f, 9g e 9h), o que pode ser explicado pelo comportamento da biomassa.

A absorção do magnésio pelas cultivares apresentou ponto de máximo acúmulo entre os 48 e 60 DAE: BRS Imponente com 3,5 e 17,9 kg Mg ha⁻¹, BRS Novaera com 7,8 e 12,8 kg Mg ha⁻¹, BRS Tumucumaque com 7,6 e 14,4 kg Mg ha⁻¹, e a BRS Itaim com 6,1 e 9,8 kg Mg ha⁻¹ nos sistemas de plantio convencional e mínimo respectivamente (Tabela 13). De acordo com a Tabela 14, a BRS Novaera diferiu significativamente em todos os tempos de coleta, e as demais cultivares apresentaram diferença significativa a partir de 42 DAE após a emergência (Tabela 14).



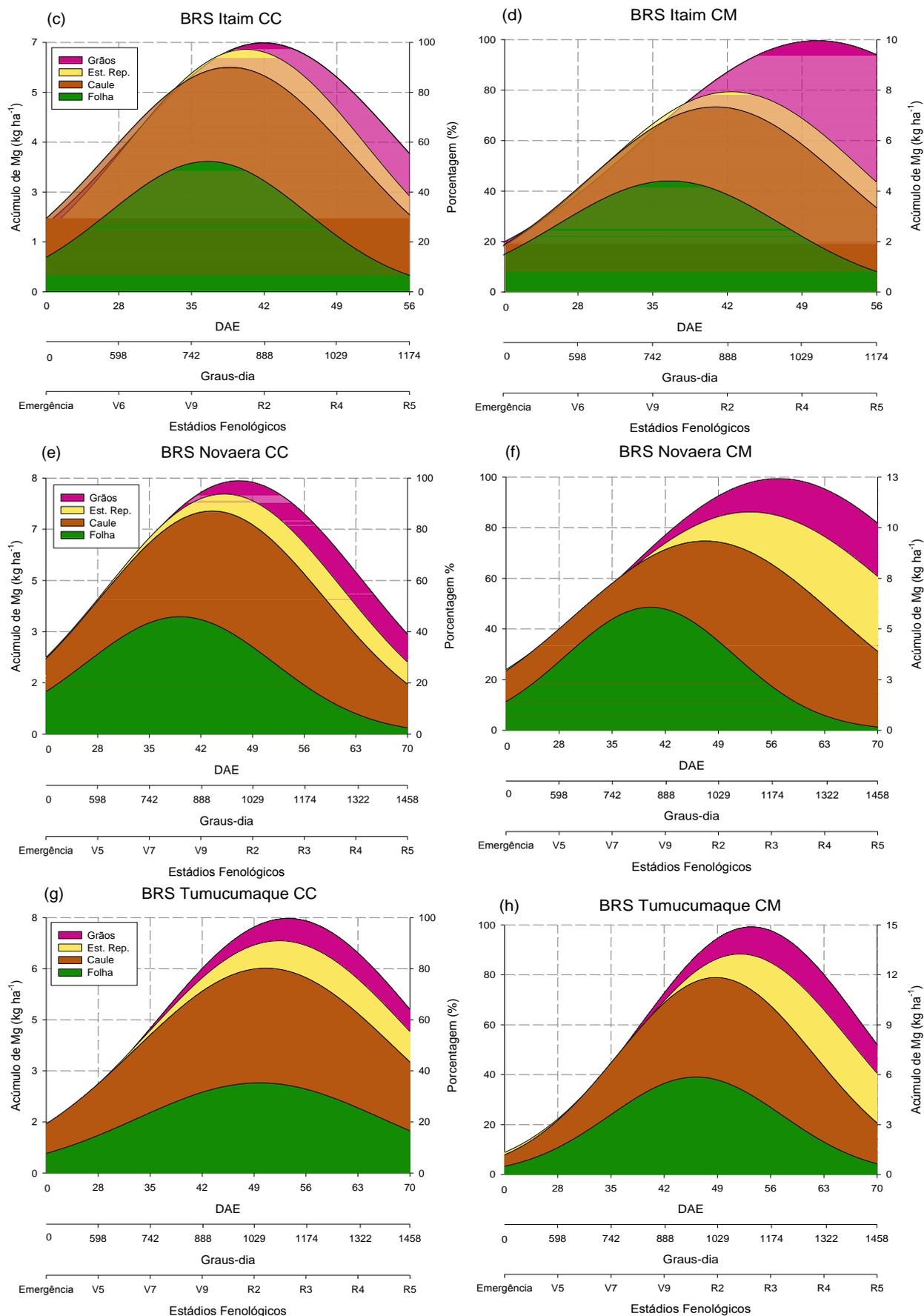


Figura 9. Acúmulo e partição do magnésio em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo.

Tabela 13. Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo do magnésio, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.

Manejo		Magnésio									
		Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2
		a ⁽²⁾	b ⁽³⁾	x ₀ ⁽⁴⁾			a ⁽²⁾	b ⁽³⁾	x ₀ ⁽⁴⁾		
		kg ha ⁻¹	-----DAE-----			kg ha ⁻¹	-----DAE-----				
Folha											
BRS Imponente					BRS Itaim						
CC	4,6*	16*	35*	19	0,85	3,3*	15*	32*	17	0,99	
CM	7,4*	11*	46*	35	0,95	4,4*	9*	37*	28	0,92	
BRS Novaera					BRS Tumucumaque						
CC	3,6*	14*	38*	27	0,97	2,6*	21*	48*	37	0,72	
CM	6,4*	10*	40*	30	0,97	5,7*	11*	45*	34	0,96	
Caule											
BRS Imponente					BRS Itaim						
CC	3,4*	16*	35*	19	0,92	2,5*	16 ^{ns}	41*	25	0,81	
CM	8,5*	12*	51*	39	0,88	3,6*	11*	46*	35	0,99	
BRS Novaera					BRS Tumucumaque						
CC	3,6*	18*	48*	30	0,89	3,3*	25*	51*	26	0,77	
CM	5,5*	23*	64*	41	0,88	6,2*	13*	51*	38	0,98	
Estruturas Reprodutivas											
BRS Imponente					BRS Itaim						
CC	2,0*	16*	35*	19	0,85	2,5*	17 ^{ns}	42*	25	0,81	
CM	3,1*	9*	62*	53	0,99	1,1*	7*	51*	44	0,99	
BRS Novaera					BRS Tumucumaque						
CC	0,9*	14*	58*	44	0,97	1,1*	13*	60*	47	0,95	
CM	3,6*	9*	63*	54	0,99	3,2*	11*	65*	54	0,99	
Grãos											
BRS Imponente					BRS Itaim						
CC	1,2 ^{ns}	16 ^{ns}	68 ^{ns}	52	0,82	2,5*	17 ^{ns}	42*	25	0,91	
CM	2,5*	9*	60*	51	0,92	4,9*	7*	56*	49	1,00	
BRS Novaera					BRS Tumucumaque						
CC	1,0 ^{ns}	11 ^{ns}	59 ^{ns}	48	0,56	0,9*	10 ^{ns}	58*	48	82	
CM	2,8*	9*	62*	53	0,97	2,2*	9*	60*	51	0,97	
Total											
BRS Imponente					BRS Itaim						
CC	3,5*	10*	60*	50	0,75	6,1*	21 ^{ns}	39*	18	0,55	
CM	17,9*	14*	52*	38	0,94	9,8*	15*	50*	35	0,96	
BRS Novaera					BRS Tumucumaque						
CC	7,8*	18*	49*	31	0,56	7,6*	21*	53*	32	0,86	
CM	12,8*	20*	57*	37	0,93	14,4*	14*	53*	39	0,98	

¹⁾ Valores representam a média das avaliações das cultivares;

⁽²⁾ Valor máximo do acúmulo de magnésio;

(3) Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo;

(4) Dias após a emergência (DAE) que forneceu os maiores valores;

* e ^{ns}: significativo e não significativo pelo teste t ($p < 0,05$), respectivamente.

Tabela 14. Acúmulo do magnésio em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.

Magnésio (kg ha ⁻¹)								
Folha								
DAE	BRS Imponente		BRS Itaim		BRS Novaera		BRS Tumucumaque	
	CC	CM	CC	CM	CC	CM	CC	CM
28	5,3a	2,8b	3,1a	3,2a	2,1b	3,7a	2,1a	1,7a
35	5,0a	3,6b	4,0a	4,6a	4,1b	6,3a	1,8a	2,7a
42	3,8b	7,4a	3,1a	3,8a	3,2b	5,6a	2,4b	6,4a
49	2,0b	7,5a	1,7a	2,8a	2,7b	4,1a	2,6b	4,9a
56	1,7b	3,8a	0,8a	1,2a	1,7b	2,6a	3,2a	3,8a
63	1,9a	2,3a	-	-	0,7a	0,6a	2,1a	1,9a
70	1,3a	1,7a	-	-	0,2a	0,5a	1,1a	1,4a
CV ₁ %	19,18		54,29		41,58		31,65	
CV ₂ %	28,63		28,08		21,66		33,09	
Caule								
28	1,1a	1,4a	1,6a	0,8b	1,4a	0,5b	2,5a	1,1a
35	2,5a	1,8a	2,8a	2,3a	4,0a	3,8a	4,1a	2,8a
42	2,8b	8,9a	2,3b	3,4a	3,6b	4,7a	2,7b	4,7a
49	3,3b	9,2a	2,3b	3,3a	3,3b	5,6a	3,7b	6,8a
56	3,0b	5,3a	1,9a	2,5a	3,2a	4,1a	3,4b	5,4a
63	3,5b	6,0a	-	-	3,0b	6,7a	3,3a	3,9a
70	2,9a	3,7a	-	-	1,3b	6,0a	2,3a	2,7a
CV ₁ %	19,18		38,40		31,11		26,17	
CV ₂ %	28,63		21,72		16,86		35,45	
Estruturas Reprodutivas								
35	-	-	1,2a	0,2b	0,3a	0,2a	-	-
42	0,4a	0,3a	0,7a	0,6a	0,6a	0,4a	0,4a	0,6a
49	2,2a	0,9b	0,3b	1,4a	0,8a	1,0a	0,7a	1,1a
56	0,4b	2,2a	2,0a	0,7b	0,9b	2,6a	1,2b	2,2a
63	0,3b	3,4a	-	-	1,1b	3,8a	1,4b	2,8a
70	0,4b	2,4a	-	-	0,6b	2,7a	0,5b	2,3a
CV ₁ %	10,96		24,96		23,02		26,90	
CV ₂ %	12,37		27,85		25,25		29,69	
Grãos								
49	-	-	0,3a	2,9a	0,6a	0,8a	0,5b	1,0a
56	0,9b	2,9a	2,0b	5,0a	1,4a	1,8a	1,3b	2,4a
63	0,9b	1,8a	-	-	0,7b	2,8a	0,6b	1,8a
70	1,2b	1,7a	-	-	0,7b	2,3a	0,6b	1,4a
CV ₁ %	8,47		19,24		11,96		23,44	
CV ₂ %	12,06		59,67		29,00		24,37	
Total								
28	6,5a	4,2b	5,3a	4,1a	3,5a	4,1a	4,7a	2,7a

35	7,4a	5,4b	8,4a	7,7a	8,4b	10,1a	6,0a	5,5a
42	7,0b	16,7a	6,1b	8,6a	7,4b	10,6a	5,5b	11,6a
49	7,4b	17,6a	4,6b	11,2a	7,3b	11,5a	7,4b	13,7a
56	6,0b	14,1a	5,9b	8,8a	7,2b	11,1a	9,1b	13,8a
63	6,7b	13,4a	-	-	5,5b	13,9a	7,4b	10,4a
70	5,7b	9,5a	-	-	2,9b	11,5a	4,5b	7,7a
CV ₁ %	18,99		32,28		28,10		18,65	
CV ₂ %	12,99		21,24		19,79		21,93	

*Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de t ($p < 0,05$). CV₁ – coeficiente de variação da parcela. CV₂ – coeficiente de variação da subparcela.

3.7 Enxofre

O acúmulo de enxofre (S) foi maior no sistema de cultivo mínimo, com máximo acúmulo do nutriente nos estádios R2-R3, em cultivo convencional (Tabela 16) e, em cultivo mínimo, entre R3-R4, com 60% a 70%, em média, da absorção total durante os estádios vegetativos, respectivamente, estando em maiores proporções em folhas e caules.

Os valores de máximo acúmulo do enxofre foram semelhantes nas cultivares de hábito de crescimento indeterminado sendo que, em sistemas de cultivo convencional, o acúmulo máximo médio foi de 7,1 kg S ha⁻¹ (entre 53 e 54 DAE).

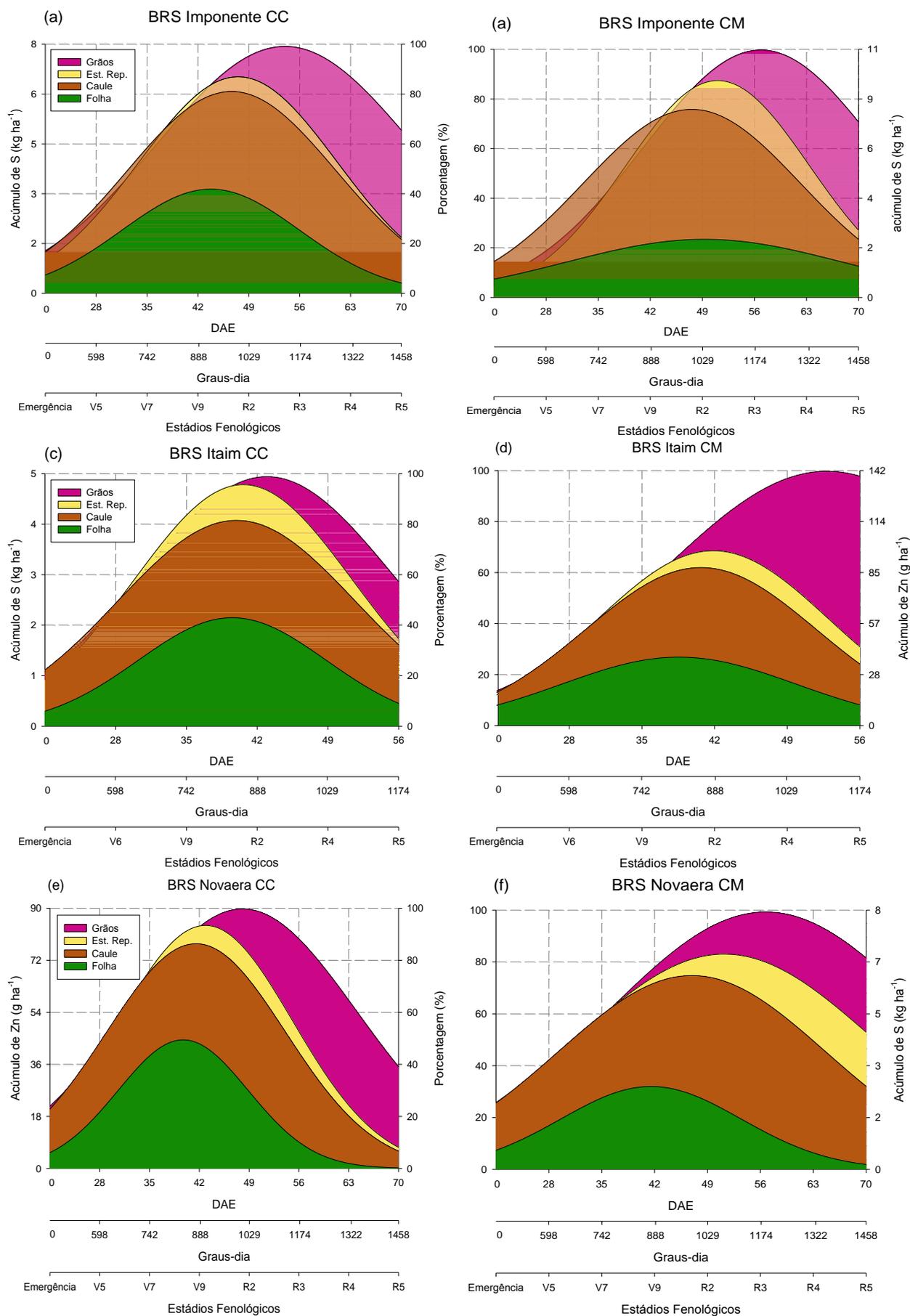
Para a cultivar de hábito de crescimento determinado, esta apresentou seu ponto de máximo acúmulo ao atingir 4,6 kg S ha⁻¹ (42 DAE). Em cultivo mínimo, as cultivares de hábito de crescimento indeterminado apresentaram acúmulo máximo médio de 9,7 kg S ha⁻¹ (entre 54 a 56 DAE), sendo que a BRS Itaim, nesse mesmo sistema, exibiu acúmulo de 6,6 kg S ha⁻¹ (Tabela 15).

Houve diferença significativa no acúmulo desse nutriente nas cultivares dentro dos sistemas, principalmente no estágio reprodutivo (Tabela 16).

As recomendações de enxofre variam de 10 a 30 kg ha⁻¹ de enxofre, podendo chegar a 50 kg ha⁻¹ em algumas culturas (MALAVOLTA, 2006).

O feijão-caupi requer, aproximadamente, 10 kg ha⁻¹ de enxofre, sendo este mineral pouco móvel nas plantas (MARSCHNER, 2012).

As maiores taxas de absorção de S no feijoeiro ocorrem no final do estágio R7, e o início do enchimento de grãos no R8 (SORATTO, 2013).



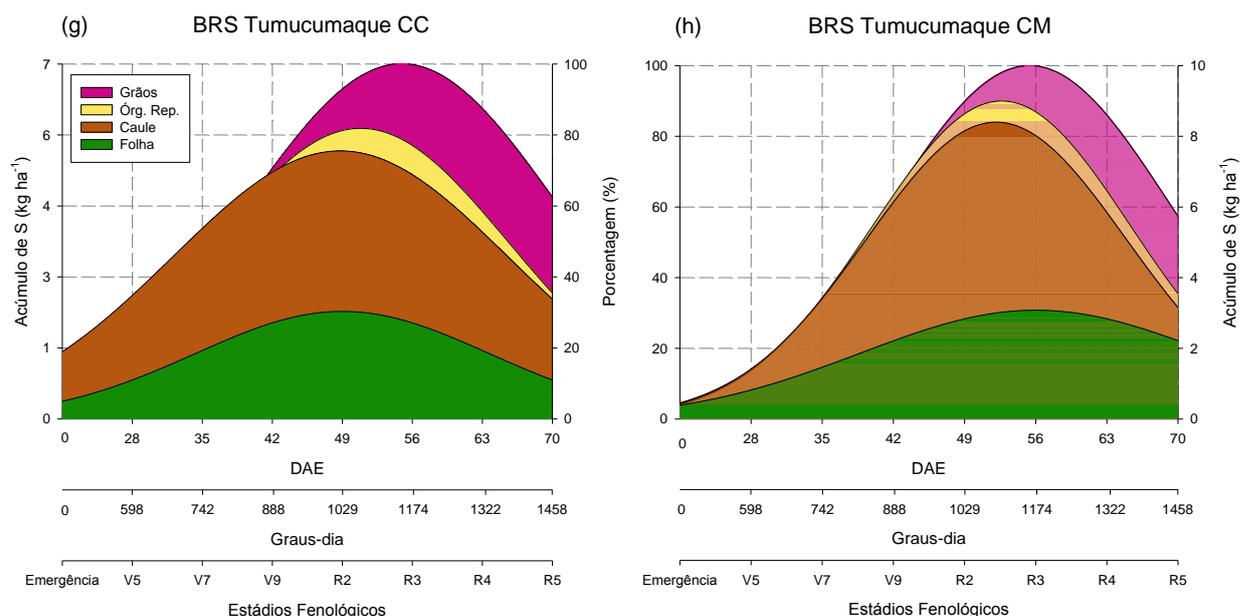


Figura 10. Acúmulo e partição do enxofre em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo.

Tabela 15. Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo do enxofre, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.

Enxofre										
Manejo	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2
	a ⁽²⁾	b ⁽³⁾	x ₀ ⁽⁴⁾			a ⁽²⁾	b ⁽³⁾	x ₀ ⁽⁴⁾		
	kg ha ⁻¹			kg ha ⁻¹						
	-----DAE-----			-----DAE-----						
Folha										
BRS Imponente					BRS Itaim					
CC	3,0*	14*	43*	29	0,78	2,0*	10*	39*	29	0,94
CM	2,5*	18*	50*	32	0,84	2,6*	8*	40*	32	0,95
BRS Novaera					BRS Tumucumaque					
CC	2,8*	9*	40*	31	0,96	2,1*	15*	49*	34	0,86
CM	2,6*	11*	42*	31	0,95	3,2*	16*	56*	40	0,94
Caule										
BRS Imponente					BRS Itaim					
CC	3,2*	15*	49*	34	0,94	1,9*	16ns	43*	27	0,80
CM	5,8*	12*	48*	36	0,89	2,9*	12*	44*	32	0,95
BRS Novaera					BRS Tumucumaque					
CC	3,8*	13*	51*	38	0,98	3,1*	16*	51*	35	0,99
CM	4,3*	16*	49*	42	0,90	6,2*	9*	51*	42	0,95
Estruturas Reprodutivas										
BRS Imponente					BRS Itaim					
CC	0,66*	17*	50*	33	0,68	1,7*	4*	37*	33	0,97
CM	1,5*	8*	60*	52	0,97	0,5*	8*	54*	46	0,99
BRS Novaera					BRS Tumucumaque					

CC	0,4*	15*	61*	46	0,96	0,6*	9*	52*	43	0,85
CM	1,7*	9*	62*	53	0,98	0,7*	10*	58*	48	0,96
Grãos										
	BRS Imponente				BRS Itaim					
CC	4,6*	5*	63*	58	0,99	1,6*	6*	55*	49	1,00
CM	3,0*	11*	66*	55	0,97	2,5*	5*	53*	48	1,00
	BRS Novaera				BRS Tumucumaque					
CC	4,2*	4*	61*	57	0,99	3,8*	4*	62*	58	0,96
CM	2,8*	7*	62*	55	0,99	2,9*	8*	65*	57	0,98
Total										
	BRS Imponente				BRS Itaim					
CC	7,2*	20*	54*	34	0,99	4,6*	16 ^{ns}	42*	26	0,53
CM	10,2*	16*	54*	38	0,95	6,6*	13*	47*	34	0,98
	BRS Novaera				BRS Tumucumaque					
CC	7,1*	15*	53*	38	0,89	7,0*	16*	55*	39	0,88
CM	8,4*	17*	52*	35	0,92	10,4*	14*	55*	41	0,97

¹⁾ Valores representam a média das avaliações das cultivares;

²⁾ Valor máximo do acúmulo de enxofre;

³⁾ Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo;

⁴⁾ Dias após a emergência (DAE) que forneceu os maiores valores;

* e ^{ns}: significativo e não significativo pelo teste t (p < 0,05), respectivamente.

Tabela 16. Acúmulo do enxofre em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.

Enxofre (kg ha ⁻¹)								
Folha								
DAE	BRS Imponente		BRS Itaim		BRS Novaera		BRS Tumucumaque	
	CC	CM	CC	CM	CC	CM	CC	CM
28	1,0a	1,5a	1,1a	0,8a	0,9a	1,4a	0,5a	1,7a
35	2,9a	1,7b	1,8b	2,9a	3,1a	2,3b	1,4a	2,7a
42	3,8a	2,7b	1,8b	2,7a	2,5a	2,9a	2,4a	6,4a
49	2,0a	2,6a	1,3a	1,3a	1,8a	1,7a	1,8b	4,9a
56	1,6a	1,7a	0,6a	0,5a	0,7b	1,5a	1,6b	3,8a
63	1,6a	1,9a	-	-	0,4a	0,6a	1,9b	3,6a
70	1,0b	1,8a	-	-	0,1a	0,2a	0,9b	1,8a
CV ₁ %	22,63		54,62		19,26		49,43	
CV ₂ %	24,90		30,42		28,54		29,54	
Caule								
28	1,3b	3,2a	1,2a	2,0a	0,6b	2,2a	0,7a	1,0a
35	2,0a	2,0a	2,3a	2,7a	2,1b	3,2a	2,4a	1,6a
42	3,0b	5,6a	2,1a	3,0a	2,7b	4,7a	2,7a	2,9a
49	3,5b	6,5a	1,7a	2,4a	4,6 ^a	3,5b	3,3b	6,8a
56	2,3b	3,8a	1,0a	1,4a	3,8 ^a	2,7b	3,6b	5,2a
63	2,4a	2,9a	-	-	2,8 ^a	3,0a	2,7a	2,1a
70	1,2a	1,3a	-	-	1,6b	3,5a	1,6a	1,6a
CV ₁ %	27,06		39,95		24,11		23,03	
CV ₂ %	31,41		32,39		17,61		39,43	

Estruturas Reprodutivas								
35	-	-	1,9a	0,1b	0,0a	0,1a	-	-
42	0,3a	0,2a	0,7a	0,2b	0,2a	0,3a	0,2a	0,2a
49	0,8a	0,3b	0,3b	0,6a	0,4b	0,8a	0,7a	0,4b
56	0,4b	1,8a	0,2a	0,7b	0,5a	0,8a	0,6a	0,8a
63	0,2b	1,4a	-	-	0,4b	2,3a	0,4a	0,5a
70	0,1b	1,1a	-	-	0,4b	1,4a	0,2a	0,5a
CV ₁ %	25,11		37,81		31,50		52,33	
CV ₂ %	22,00		37,11		38,67		50,59	
Grãos								
49	-	-	0,1b	2,4a	0,4a	0,5a	0,6a	0,8a
56	1,8a	2,6a	2,1a	2,3a	2,2a	2,3a	0,5b	1,4a
63	5,1a	2,5b	-	-	4,5a	3,3b	3,9b	1,7a
70	1,7b	3,0a	-	-	0,9a	1,4a	0,8b	3,0a
CV ₁ %	33,90		31,50		26,66		15,39	
CV ₂ %	28,50		19,52		30,03		20,41	
Total								
28	2,3b	4,7a	2,2a	2,9a	1,5b	3,5a	1,2a	2,0a
35	4,9a	3,8a	6,0a	5,7a	5,2a	5,6a	3,8a	3,4a
42	7,1a	8,5a	4,7b	5,9a	5,4b	8,0a	5,3a	5,3a
49	6,3b	9,3a	3,4b	6,8a	7,0a	6,6a	6,3b	10,6a
56	6,2b	9,9a	3,8b	4,7a	7,2a	7,4a	6,3b	10,5a
63	9,2a	8,6a	-	-	8,1a	9,2a	8,8a	8,0a
70	4,0b	7,2a	-	-	3,0b	6,5a	3,5b	6,8a
CV ₁ %	14,19		24,06		14,26		17,58	
CV ₂ %	17,66		23,26		13,22		25,28	

*Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de t ($p < 0,05$). CV₁ – coeficiente de variação da parcela. CV₂ – coeficiente de variação da subparcela.

3.8 Extração e exportação de macronutrientes

De acordo com a Tabela 17, a reposição de macronutrientes por tonelada de grãos produzidos pelas cultivares de feijão-caupi apresentou variação nos sistemas de cultivo avaliados.

As cultivares BRS Itaim, BRS Novaera e BRS Tumucumaque exibiram maior demanda na extração de macronutrientes necessária para produzir uma tonelada em cultivo convencional. Uma justificativa para estes resultados é um possível consumo de luxo de nutrientes pelas cultivares sob o sistema de plantio convencional.

As cultivares com hábito de crescimento indeterminado (BRS Imponente, BRS Novaera, BRS Tumucumaque) apresentaram, em média, a seguinte ordem decrescente de exportação dos macronutrientes: N > K > S > P > Ca > Mg, com os valores 35, 15, 7, 5, 2 e 2 kg por tonelada de grãos colhidos em cultivo convencional. Contudo, a BRS Itaim, cultivar de hábito de crescimento determinado, apresentou a

ordem decrescente $N > K > P > Mg > Ca > S$, com valores de 33, 27, 5, 4, 3 e 3 kg por tonelada de grãos colhidos.

Em sistema de cultivo mínimo, a ordem de exportação média de macronutrientes em uma tonelada de grãos pelas cultivares de hábito de crescimento indeterminado apresentaram ordem decrescente: $N > K > P > S > Mg > Ca$ com valores 35, 15, 5, 4, 2 e 1 kg por tonelada de grãos colhidos $kg\ ha^{-1}$. A BRS Itaim (hábito de crescimento determinado) apresentou: $N > K > P > Mg > Ca > S$, com valores 33, 18, 5, 3, 2 e 1 $kg\ ha^{-1}$ por tonelada de grãos colhida.

Ainda, nota-se que a cultivar BRS Novaera apresenta uma variação no índice de colheita (IC) nos sistemas de cultivo, com IC maior em cultivo mínimo; já a BRS Imponente, cultivar atual, mostra uma estabilidade do IC com valores similares em ambos os sistemas, o que pode ser resultado dos avanços do melhoramento das plantas.

Esses resultados destacam a importância de se conhecer o potencial de resposta das cultivares em diferentes condições de cultivo, a fim de obter subsídios para otimizar a adubação, visando maior produtividade das culturas, maior eficiência nutritiva e econômica e menores riscos de contaminação ambiental.

Com isso, essas informações são fundamentais para auxiliar na indicação da melhor adubação da cultura, pois conhecendo a quantidade exportada é possível quantificar o que deve ser repostado ao solo antes de cada cultivo (em função da eficiência do fertilizante) para a manutenção da fertilidade e a garantia do potencial produtivo da cultura. Além disso, para estabelecer programas racionais de fertilização, é essencial conhecer o potencial de absorção de nutrientes da planta, bem como as quantidades de nutrientes exportados do campo.

A extração, a produtividade e os dados de exportação relatados aqui refletem ganhos de eficiência no uso de macronutrientes com avanços no melhoramento da cultura do feijão-caupi e dos sistemas de manejo do solo.

Pesquisas mais recentes indicam uma exportação média de 25 kg N por tonelada de grão (SORATTO et al., 2013). Este elemento compõe proteínas e moléculas importantes, como a clorofila. A oferta de N está relacionada ao aumento da fotossíntese, ao crescimento e à duração das folhas, ao número e ao tamanho de órgãos vegetativos e reprodutivos e à produção de biomassa (MARSCHNER, 2012).

Tabela 17. Extração e exportação e índice de colheita (IC) de macronutrientes em cultivares de feijão-caupi sob sistemas de cultivo convencional e mínimo. Teresina-PI, 2019.

Manejo	MS	N	P	K	Ca	Mg	S
	t ha ⁻¹	----- kg t ⁻¹ grãos -----					
BRS Imponente							
Extração ⁽¹⁾							
CC	2,6	61	10	68	26	4	9
CM	3,2	74	12	85	27	14	8
Exportação ⁽²⁾							
CC	1,0	36	4	12	1	1	6
CM	1,0	36	5	14	1	2	2
CC	IC	59%	43%	17%	4%	34%	64%
CM	IC	49%	41%	16%	5%	14%	29%
Resíduos da cultura ⁽³⁾							
CC	1,6	25	6	56	25	3	3
CM	2,2	38	7	71	26	12	6
BRS Itaim							
Extração ⁽¹⁾							
CC	2,3	60	12	64	38	11	8
CM	1,7	45	7	39	16	6	4
Exportação ⁽²⁾							
CC	1,0	33	5	27	3	4	3
CM	1,0	33	5	18	2	3	1
CC	IC	55%	43%	42%	7%	41%	35%
CM	IC	73%	74%	47%	16%	50%	38%
Resíduos da cultura ⁽³⁾							
CC	1,3	27	7	37	36	6	5
CM	0,7	12	2	20	13	3	2
BRS Novaera							
Extração ⁽¹⁾							
CC	3,1	81	12	98	46	13	12
CM	2,2	50	8	62	19	7	5
Exportação ⁽²⁾							
CC	1,0	37	5	15	2	2	7
CM	1,0	34	5	14	1	2	2
CC	IC	46%	39%	15%	5%	13%	59%
CM	IC	69%	59%	23%	7%	22%	33%
Resíduos da cultura ⁽³⁾							
CC	2,1	44	7	83	44	12	5
CM	1,2	16	3	48	18	6	3
BRS Tumucumaque							
Extração ⁽¹⁾							
CC	4,5	114	17	136	40	17	16
CM	3,5	78	12	103	28	14	6

Exportação ⁽²⁾							
CC	1,0	33	5	17	2	2	8
CM	1,0	35	5	19	2	2	3
CC	IC	29%	27%	13%	4%	12%	54%
CM	IC	45%	39%	18%	7%	15%	45%
Resíduos da cultura ⁽³⁾							
CC	3,5	81	13	118	39	15	7
CM	2,5	43	7	84	26	12	3

⁽¹⁾folha, caule, órgãos reprodutivos e grãos;

⁽²⁾grãos;

⁽³⁾folha, caule e órgãos reprodutivos.

4 CONCLUSÕES

O preparo mínimo proporcionou maiores produções de biomassa e de índice de área foliar quando comparado ao convencional, resultando no aumento da produção de grãos de feijão-caupi e, concomitantemente, no aumento da absorção de macronutrientes.

As maiores taxas de acúmulo de macronutrientes ocorrem entre os estádios fenológicos R3-R5, com ordem decrescente de absorção média de K (58,7) > N (49,7) > Ca (22,3) > P (7,7) > S (7,1) > Mg (6,3 kg ha⁻¹). Estes valores absorvidos equivalem para produtividade média em torno de 837,1 kg ha⁻¹ de grãos em cultivo convencional e, em cultivo mínimo, K (107,1) > N (86,6) > Ca (32,4) > Mg (15,0) > P (13,6) > S (9,7 kg ha⁻¹), para produtividade média de 1016,6 kg ha⁻¹ de grãos, pelas cultivares de porte indeterminado BRS Imponente, BRS Novaera e BRS Tumucumaque.

Para a cultivar de porte determinado BRS Itaim, o ponto de maior acúmulo se encontra entre os estádios R2-R5, verificando que a absorção desses nutrientes persiste durante os estádios finais da fase reprodutiva, evidenciando demanda tardia pela cultivar, com ordem decrescente de absorção média de K (37,2) > N (34,9) > Ca (22,1) > P (6,7) > Mg (6,1) > S (4,6 kg ha⁻¹) para produtividade de 683,4 kg ha⁻¹ em cultivo convencional e, em cultivo mínimo, N (79,4) > K (68,7) > Ca (27,7) > P (12,9) > Mg (9,8) > S (6,6 kg ha⁻¹) para produtividade de 1200,5 kg ha⁻¹.

Nas cultivares de com hábito de crescimento indeterminado, o índice médio de colheita seguiu ordem decrescente S (57%) > N (41%) > P (36%) > K (15%) > Mg (15%) > Ca (4%) em sistema de cultivo convencional; já em cultivo mínimo, S (58%) > N (52%) > P (44%) > K (18%) > Mg (14%) > Ca (5%).

Na BRS Itaim, os macronutrientes seguiram a ordem de índice de colheita N (55%) > P (43%) > K (42%) > Mg (41%) > S (35%) > Ca (7%) em sistema de cultivo convencional; já em cultivo mínimo, P (74%) > N (73%) > Mg (50%) > K (47%) > S (38%) > Ca (16%).

As fertilizações com N, P, K, e S devem receber maior atenção devido aos maiores índices de colheita, e podem causar uma limitação no rendimento, devido a disponibilidade inadequada durante o crescimento reprodutivo.

Os resultados obtidos enfatizam a importância de atualizar os dados sobre as necessidades do feijão-caupi, visando melhorar os padrões de fertilização pela

reposição de nutrientes removidos dos campos, o que pode melhorar as recomendações de manejo nutricional para a cultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE JÚNIOR, A. S. et al. Classificação climática e regionalização do semiárido do Estado do Piauí sob cenários pluviométricos distintos. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 36, n. 2, p. 143-151, 2005.

ANDA - National Fertilizer Diffusion Association. **Fertilizer sector statistical year**. São Paulo, 176p. 2017.

BENDER, R. R.; HAEGELE, J. W.; RUFFO, M. L.; BELOW, F. E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect protected maize hybrids. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, n. 1, p. 161-170, 2013.

BENDER, R. R.; HAEGELE, J. W.; BELOW, F. E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern soybean varieties. **Agronomy Journal**, Madison, v. 107, n. 2, p. 563-573, 2015.

BENDER, R. R.; WAGELE, J. W.; BELOW, F. E. Modern Soybean Varieties' Nutrient Uptake Patterns. **Better Crops**, v. 99, p. 7-10, 2015b.

BIZARI, D. R.; MATSURA, E. E.; ROQUE, M. W.; SOUZA, A. L. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, v.39, p.2073-2079, 2009.

BRITO, M. M. P.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C. Marcha de absorção de nitrogênio no solo, de fertilizantes e da fixação simbiótica em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) WALP.) e feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) determinada com uso de 15N. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 895-905, 2009.

CORTEZ, J. W. M. et al. Growth of potato plants of the 'Asterix' Cultivar and accumulation of nutrients. **Journal of Agricultural Science**, v. 5, n. 7, p. 217- 226, 2013.

COELHO, M.E.H. et al. Coberturas do solo sobre a amplitude térmica e a produtividade de pimentão. **Planta daninha**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 369-378, 2013.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, **BRS IMPONENTE: Cultivo precoce e mecanizado e grãos extragrandes são diferenciais da cultivar**. Disponível em <file:///C:/Users/Andre/Downloads/FeijaoCaupiBRSImpoente2016%20(1).pdf>. Acesso em set. 2019.

ETEMADI, F., BARKER, A. V., HASHEMI, M., ZANDVAKILI, O. R., PARK, Y. Nutrient accumulation in Faba bean varieties. **Soil Science and Plant Analysis Communications**. v. 49, p. 2064 – 73, 2017.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; JONES, C.A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2011.

FAGERIA, N. K.; MELO, L. C.; OLIVEIRA, J. Nitrogen use efficiency in dry bean genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, v. 36, p. 2179-2190, 2013.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FONSECA, M. R.; FERNANDES, A. R.; SILVA, G. R.; BRASIL, E. C. Teor e acúmulo de nutrientes por plantas de feijão-caupi em função do fósforo e da saturação por bases. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 53, n. 2, p. 195-205, 2010.

FREIRE FILHO, F. R. et al. **BRS Novaera: Cultivar de feijão-caupi de Porte Semi-Ereto**. Comunicado Técnico 215. 2008. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/408906/brs-novaera-cultivar-de-feijao-caupi-de-porte-semi-ereto>>. Acesso em set. 2019.

FREIRE FILHO et al., **BRS Itaim: Cultivar de feijão-caupi com grãos tipo fradinho**. 2009. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/BRSItaim_000g1gd4thi02wx5ok00gmbp494j8jhx.pdf>. Acesso em: set. 2019.

FREITAS, R. M. O. et al. Crescimento de feijão-caupi sob efeito de veranico nos sistemas de plantio direto e convencional. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 2, p. 393-401, 2014.

FREITAS, R.M.O. et al. Respostas fisiológicas de feijão-caupi sob estresse hídrico e reidratação em plantio direto e convencional. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 3, p. 559-567, 2017.

GASPAR, A. P.; LABOSKI, C. A. M.; NAEVE, S. L., CONLEY, S. P. Dry Matter and Nitrogen Uptake, partitioning, and removal across a wide range of soybean seed yield levels. **Crop Science**, v. 57, p. 2170-2181, 2017.

GOMES, A. A.; ARAÚJO, A. P.; ROSSIELLO, R. O. P.; PIMENTEL, C. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 10, p. 1927-1937, 2000.

KYEI-BOAHEN S., SAVALA C. E. N., CHIKOYE D., ABAIDOO R., Abaidoo Answers from growth and yield of cowpea to phosphorus inoculation and fertilization in different environments. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 646, 2017.

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

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. Piracicaba: Ceres, 2006. 631 p.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. Austrália: Elsevier, 2012. 651 p.

MELO, F. de B.; CARDOSO, M. J. Solos e adubação. In: BASTOS, E. A. (Ed.). **Cultivo de Feijão-Caupi**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1071735/1/SistemaProducaoCaupiCapituloSolosAdubacao.pdf>>. Acesso em set 2017.

MELO, F.B.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; PESSOA, B. L. O. **Levantamento, zoneamento e mapeamento pedológico detalhado da área experimental da Embrapa Meio-Norte em Teresina, PI**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2014. 47p.

MIRANDA, M. N.; CAMPELO JÚNIOR, J. H. Soma térmica para o subperíodo semeadura-maturação de feijão cv. Carioca em Colorado do Oeste, Rondônia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 180-185, 2010.

MOURA J.Z.; PÁDUA L.E.M., MOURA S.G., TORRES J.S., SILVA P.R.R. Escala de desenvolvimento fenológico e exigência térmica associada a graus-dia do feijão-caupi. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 3, p. 66-71, 2012.

NASCENTE, A. S.; MELO, L. C. Characterization of early genotype of common bean. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 58, n. 1, p. 119-120, 2015.

NASCENTE, A.S.; CARVALHO, M. C. S. ROSA, P. H. Growth, nutrient accumulation in leaves and grain yield of super early genotype of common bean. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, n. 3, p. 292-300, 2016.

NASCENTE, A. S., & CARVALHO, M. C. S. (2018). Yield, biomass production and nutrients accumulation of super early genotype of common bean. **Colloquium Agrariae**, v. 14, p. 101-114, 2018. 62p.

NITCHER, R., DISTELFELD, A., TAN, C., YAN, L., DUBCOVSKY, J. Increased copy number at the HvFT1 locus is associated with accelerated flowering time in barley. **Molecular Genetics and Genomics**. v. 288, p. 261–275, 2013.

OLIVEIRA, M. G. de C. et al. **Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 62p.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440p.

PERGORARO, R. F. et al. Partição de biomassa e absorção de nutrientes pelo feijoeiro comum. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 3, p. 41-52, 2014.

RESENDE, A. V.; COELHO, A. M.; SANTOS, F. C.; LACERDA, J. J. J. **Fertilidade do solo e manejo da adubação NPK para alta produtividade de milho no Brasil Central**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 12 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 181).

RHEINHEIMER, D.S. et al. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 797-805, 2000.

RIVAS, R., FALCÃO, H. M., RIBEIRO, R. V., MACHADO, E. C., PIMENTEL, C. & SANTOS, M. G. Drought tolerance in cowpea species is driven by less sensitivity of leaf gas exchange to water deficit and rapid recovery of photosynthesis after rehydration. **South African Journal of Botany**, v. 103, p. 101-107, 2016.

SILVA, R.P., CASSIA, M.T.C.; VOLTARELLI, M.A.; COMPAGNON, A.M. & FURLANI, C.E.A. Qualidade da colheita mecanizada de feijão (*Phaseolus vulgaris*) em dois sistemas de preparo do solo. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 1, p. 61-69, 2013.

SILVA, D. A. et al. Evaluation of common bean genotypes for phosphorus use efficiency in Eutrophic Oxisol. **Bragantia**, v. 75, p. 152-153, 2016.

SCHMITT, A. et al. Calcium isotope fractionation during plant growth under a limited nutriente supply. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 110. p. 70-83, 2013.

SCIVITTARO, W.B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A.E. & TRIVELIN, P.C.O. Transformações do nitrogênio proveniente de mucuna-preta e uréia utilizados como adubo na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 38:1427-1433, 2003.

SCHOFIELD, E. J., ROWNTREE, J. K., PATERSON, E., BREWER, M. J., PRICE, E. A. C., BREARLEY, F. Q., BROOKER, R. W. Cultivar Differences and Impact of Plant-Plant Competition on Temporal Patterns of Nitrogen and Biomass Accumulation. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 2015, 2019.

SORATTO, R.P. et al. Nutrient extraction and exportation by common beancultivars under diferente fertilization levels: I - macronutrients. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1027-1042, 2013.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 575 p.

THORNTHWAITE, C. W., MATHER, J. R. **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology; 1955. 104p.

VIANA T.O. et al. Adubação do feijoeiro cultivado no norte de Minas Gerais com nitrogênio e fósforo. **Revista Ceres**, v.58, n.1, p.115-120, 2011.

VIEIRA, N. M. B. et al. Altura de planta e acúmulo de matéria seca do feijoeiro cvs. BRS MG Talismã e Ouro Negro em plantio direto e convencional. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1687-1693, 2008.

VILARINHO, A. A. et al. **Cultivar de Feijão-caupi BRS Tumucumaque: Nova Cultivar para Roraima**. 2008. Disponível em:<

[http://www.cpafr.embrapa.br/embrapa/attachments/283_cot192008_tumucumaque_aloisio .pdf](http://www.cpafr.embrapa.br/embrapa/attachments/283_cot192008_tumucumaque_aloisio.pdf)>. Acesso em: set. 2019.

XIE, J., SCHOENAU, J., WARKENTIN, T. D. Nitrogen and phosphorus yield and absorption in soybean, pea and lentil and effects on soil nutrient supply and crop yield next year in Saskatchewan, Canada. **Canadian Journal of Plant Science**. v. 98, p. 5-16, 2018.

CAPÍTULO III

ACÚMULO E MARCHA DE ABSORÇÃO DE MICRONUTRIENTES EM CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI NOS SISTEMAS CONVENCIONAL E MÍNIMO

RESUMO

Aspectos relacionados ao manejo de micronutrientes ainda são pouco estudados e precisam ser esclarecidos para garantir uma produção sustentável. Dessa forma, este estudo teve como objetivo avaliar a absorção, a extração, a exportação e o índice de colheita de micronutrientes por cultivares de feijão-caupi, sob os sistemas de cultivo convencional e mínimo. O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa Meio-Norte, sob o delineamento experimental em blocos casualizados e esquema experimental de parcelas subdivididas, sendo as parcelas os manejos do solo e, as subparcelas, os tempos de coleta, com quatro repetições. As cultivares de feijão-caupi avaliadas foram: BRS Imponente, BRS Itaim, BRS Novaera e BRS Tumucumaque. As avaliações temporais ocorreram aos 28, 35, 49, 56, 63 e 70 DAE, coletando-se quatro plantas na área útil que, posteriormente, foram seccionadas em folhas, caule, órgãos reprodutivos e grãos; em seguida, foram lavadas, secas e moídas, e então submetidas a análises químicas para a determinação dos teores de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), mangânes (Mn) e zinco (Zn). Verificou-se que as variáveis foram influenciadas pelos sistemas de manejo do solo, havendo interação significativa entre os sistemas de manejos e os tempos de coleta estudados para a maioria das variáveis. As maiores taxas de acúmulo de micronutrientes ocorrem entre os estádios fenológicos R2-R4, com ordem decrescente de absorção média de Fe (243) > Mn (159) > Zn (91) > B (73) > Cu (33 g ha⁻¹) em cultivo convencional e, em cultivo mínimo, Mn (345) > Fe (335) > Zn (169) > B (100) > Cu (49 g ha⁻¹) pelas cultivares com hábito de crescimento indeterminado BRS Imponente, BRS Novaera e BRS Tumucumaque. A cultivar com hábito de crescimento determinado BRS Itaim apresentou ordem decrescente de absorção média de Fe (191) > Mn (115) > Zn (79) > B (66) > Cu (23 g ha⁻¹) em cultivo convencional e, em cultivo mínimo, Fe (289) > Mn (262) > Zn (99) > B (93) > Cu (41 g ha⁻¹). Os micronutrientes Cu (49%) > Fe (22%) > Zn (32%) > B (13%) > Mn (8%) em sistema de cultivo convencional, e Zn (39%) > Cu (31%) > Fe (23%) > B (15%) > Mn (9%). O Cu, Fe e Zn, em cultivo mínimo, foram os micronutrientes com maiores índices de colheita.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, acúmulo de nutrientes, extração, exportação.

ABSTRACT

MICRONUTRIENT ACCUMULATION AND GAIT ABSORTION OF COWPEA CULTIVARS IN CONVENTIONAL AND TILLAGE SYSTEMS

Aspects related to micronutrient management are still poorly studied and need to be clarified to ensure sustainable production. Thus, the study aimed to evaluate the absorption, extraction, export and harvest index of micronutrients by cowpea cultivars under conventional and minimum cropping system. The experiment was conducted in the experimental area of Embrapa Meio-Norte under a randomized block experimental design and a split-plot experimental scheme, with the plots being the soil management and the subplots the collection times, with four replications. The cowpea cultivars implanted were: BRS Imponente, BRS Itaim, BRS Novaera and BRS Tumucumaque. The temporal evaluations took place at 28, 35, 49, 56, 63 and 70 DAE, collecting four plants in the useful area, which were later cut into leaves, stem, reproductive organs and grains, then washed, dried and ground, and then subjected to chemical analysis to determine the contents of B, Cu, Fe, Mn and Zn. It was found that the variables were influenced by soil management systems, with significant interaction between the management systems studied for most variables. The highest micronutrient accumulation rates occur among the R2-R4 phenological stages, with decreasing order of mean absorption of Fe (243) > Mn (159) > Zn (91) > B (73) > Cu (33 g ha⁻¹).) in conventional and minimum cultivation Mn (345) > Fe (335) > Zn (169) > B (100) > Cu (49 g ha⁻¹) by undetermined cultivars (BRS Imponente, BRS Novaera and BRS Tumucumaque). The cultivar of determined size (BRS Itaim) with decreasing order of average absorption of Fe (191) > Mn (115) > Zn (79) > B (66) > Cu (23 g ha⁻¹) in conventional cultivation, and in minimum cultivation Fe (289) > Mn (262) > Zn (99) > B (93) > Cu (41 g ha⁻¹). The micronutrients Cu (49%) > Fe (22%) > Zn (32%) > B (13%) > Mn (8%) in conventional cultivation system, already in minimum cultivation Zn (39%) > Cu (31%) > Fe (23%) > B (15%) > Mn (9%). The Cu, Fe and Zn were the micronutrients with the highest harvest rates.

Keywords: *Vigna unguiculata*, micronutrient accumulation, extraction, exportation.

Lista de Tabelas

- Tabela 1.** Caracterização química do solo das áreas experimentais, obtidos a partir das profundidades de 0,0-2, e 0,2-0,4 m. Teresina-PI, 2019.....132
- Tabela 2.** Descrição do ciclo fenológico das cultivares de feijão-caupi durante as coletas temporais adotando a escala proposta por Campos et al. (2000)135
- Tabela 3.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo boro, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.....140
- Tabela 4.** Acúmulo de boro em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina, 2019.....141
- Tabela 5.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo de cobre, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.....145
- Tabela 6.** Acúmulo de cobre em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina, 2019.....146
- Tabela 7.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo do ferro, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.....150
- Tabela 8.** Acúmulo do ferro em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina, 2019.....151
- Tabela 9.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo do manganês, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.....155
- Tabela 10.** Acúmulo do manganês em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina, 2019.....156
- Tabela 11.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo do zinco, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.....160
- Tabela 12.** Acúmulo do zinco em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina, 2019.....161

Tabela 13 Extração e exportação de micronutrientes em cultivares de feijão-caupi sob sistemas de cultivo convencional e mínimo.....163

Lista de Figuras

- Figura 1.** Variação dos parâmetros climáticos, graus-dia acumulados, durante a condução do experimento, em Teresina-PI.....131
- Figura 2.** Estádios fenológicos e dias após a emergência (DAE) correspondente as coletas da cv. BRS Itaim.....134
- Figura 3.** Estádios fenológicos e dias após a emergência (DAE) correspondente as coletas das cvs. BRS Imponente, BRS Novaera e BRS Tumucumaque.....134
- Figura 4.** Acúmulo e partição do boro em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e cultivo mínimo (CM) ao longo do seu ciclo.....139
- Figura 5.** Acúmulo e partição do cobre em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e cultivo mínimo (CM) ao longo do seu ciclo.....144
- Figura 6.** Acúmulo e partição do ferro em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e cultivo mínimo (CM) ao longo do seu ciclo.....149
- Figura 7.** Acúmulo e partição do manganês em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e cultivo mínimo (CM) ao longo do seu ciclo.....153
- Figura 8.** Acúmulo e partição do zinco em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e cultivo mínimo (CM) ao longo do seu ciclo.....158

1 INTRODUÇÃO

A expressão do potencial produtivo do feijão-caupi depende da combinação favorável de um conjunto de fatores, destacando-se a densidade populacional e a adubação com micronutrientes, as quais influenciam diretamente as características morfológicas, fisiológicas e de produção de sementes, bem como o aproveitamento dos recursos tecnológicos, ambientais e de manejo (BEZERRA et al., 2014). Os micronutrientes são tão importantes para o crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas quanto os macronutrientes, e as quantidades necessárias variam, principalmente, de acordo com a idade e a produtividade de cada planta (COVRE et al., 2018).

Uma das estratégias mais importantes para aumentar a produção é garantir uma nutrição equilibrada das plantas com macro e micronutrientes, uma vez que uma maior produtividade requer doses mais altas de micronutrientes (BARBOSA e GONZAGA, 2012).

Entre suas inúmeras funções, deve-se enfatizar que os micronutrientes cobre (Cu), mangânes (Mn), zinco (Zn) e boro (B) atuam, especificamente, durante o estágio de crescimento reprodutivo e, portanto, na determinação da produtividade e qualidade do grão (TAIZ & ZEIGER, 2010).

Quando os solos fornecem continuamente níveis adequados de nutrientes absorvidos em pequenas quantidades (como micronutrientes), a sustentabilidade dos nutrientes a longo prazo, através da substituição dos nutrientes removidos, é muito menos preocupante (TIRITAN et al., 2016; RATKE et al., 2018).

Embora o gerenciamento de nutrientes seja um processo complexo, melhorar nossa compreensão do tempo e das taxas de absorção, particionamento e remobilização de nutrientes pelas plantas pode ajudar a otimizar os programas de fertilização, como taxas, fontes e tempos de aplicação de fertilizantes (BENDER et al., 2013).

Além disso, é necessário entender que uma possível diminuição na concentração e aumento do conteúdo associado à remoção (quando as partes das plantas são colhidas) podem afetar a necessidade de fertilização dos nutrientes. Aumentar a remobilização de nutrientes dos órgãos vegetativos para os grãos pode, efetivamente, aumentar o valor nutricional dos grãos (CHEN et al., 2016).

Embora se tenha notável avanço nas pesquisas sobre fertilidade do solo e nutrição de plantas no Brasil, nas últimas décadas, ainda faltam informações atualizadas quanto às exigências nutricionais do feijão-caupi, especialmente em relação aos requerimentos dos micronutrientes: (B), (Cu), (Fe), (Mn) e (Zn).

Há poucos dados recentes sobre marcha de absorção de nutrientes em feijão caupi, e a maioria das publicações foca, principalmente, nos macronutrientes, elementos mais demandados pela cultura, como consta no trabalho realizado por Brito et al. (2009).

Em geral, as pesquisas disponíveis foram desenvolvidas utilizando cultivares antigas, com menor potencial produtivo que as atuais, e em cultivos com preparo convencional do solo, a exemplo de Fonseca et al. (2010). Estes, avaliaram o efeito da saturação por bases e da adubação fosfatada sobre os teores e acúmulos de macro e micronutrientes, na massa seca da parte aérea e nos grãos da cultivar de feijão-caupi, na BRS Tracuateua, lançada em 1984.

Informações atualizadas sobre aspectos nutricionais são fundamentais para o aumento da eficiência no manejo, proporcionando ganhos em produtividade e otimizando os custos da lavoura, pela utilização racional e eficiente dos fertilizantes. Esse contexto justifica a realização de pesquisas que contemplem cultivares mais modernas, identificando as quantidades absorvidas de micronutrientes em sistemas de cultivo atuais, dando suporte à determinação das quantidades que devem ser restituídas, para fins de manutenção da capacidade produtiva do solo ao longo dos ciclos de cultivo do feijão-caupi.

Do exposto, objetivou-se avaliar a marcha de absorção de micronutrientes, produtividade, , extração, exportação e índice de colheita de nutrientes em plantas de feijão-caupi, cultivadas em sistemas de cultivo convencional e mínimo, sob condições irrigadas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização edafoclimática da área experimental

A pesquisa foi conduzida em área experimental localizada no município de Teresina-PI, em um Neossolo Fluvico Ta eutrófico (MELO et al., 2014). O clima, de acordo com a classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955), é C1 sA'a', caracterizado como subúmido seco, megatérmico, com excedente hídrico moderado no verão (ANDRADE JÚNIOR et al., 2005).

As condições ambientais de distribuição de chuva (precipitação pluvial) e temperatura do ar (máximas, mínimas e médias), assim como o acúmulo de graus-dia durante o período de condução do experimento apresentam-se na Figura 1.

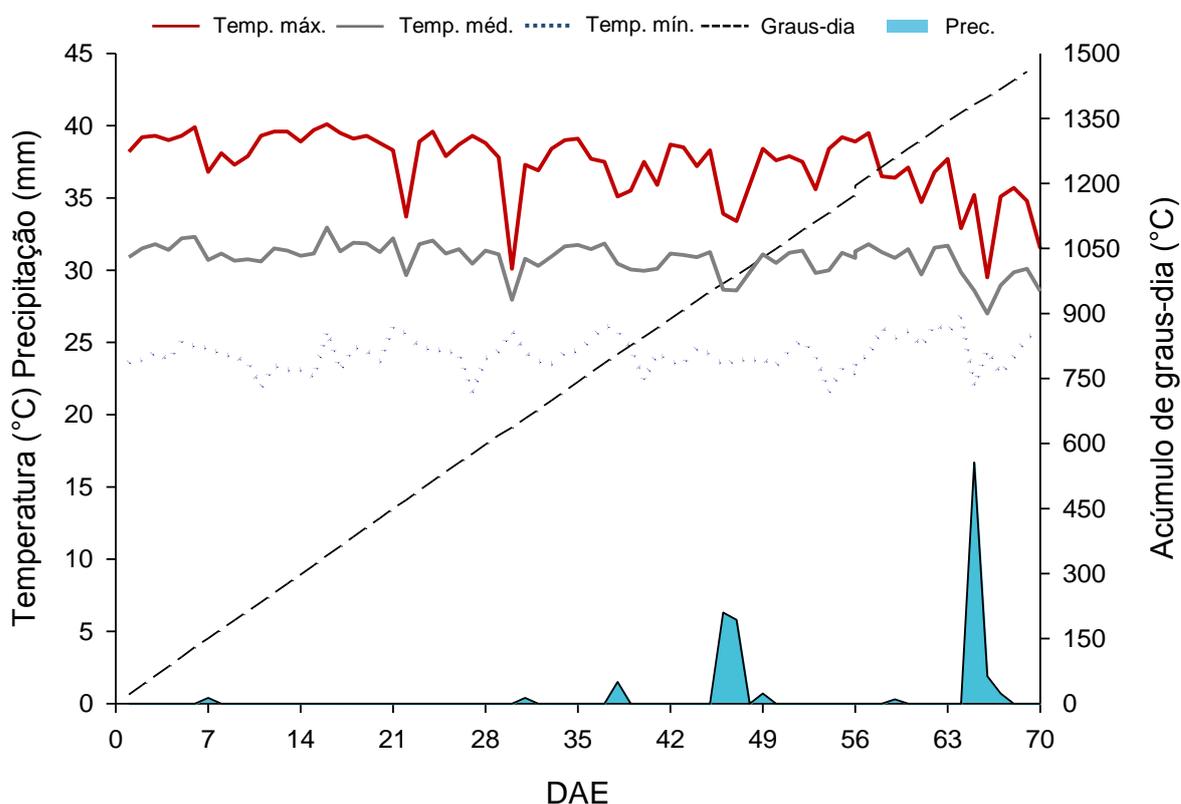


Figura 1. Variação dos parâmetros climáticos, graus-dia acumulados, durante a condução do experimento com início em 05/10 (plantio) e finalização em 19/12/2017 (colheita), em Teresina-PI.

O trabalho constou de experimento em campo, cuja área apresentava sistema de irrigação por aspersão móvel, conduzido em sistemas de plantio convencional e mínimo. Antes da montagem dos experimentos, amostras de solo foram retiradas da

camada superior (0,0-0,2 e 0,2-0,4 m) para fins de caracterização química, realizada de acordo com Teixeira et al (2017), cujo resultado encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do solo das áreas experimentais, obtidos a partir das profundidades de 0,0-2, e 0,2-0,4 m. Teresina-PI, 2019

Camadas	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	N	M.O	V
		mg/dm ³	cmolc/dm ³							dag/kg		%	
0,0-0,2 m	5,9	70,8	0,17	0,04	2,37	1,31	0,02	1,59	3,39	5,48	0,06	1,1	70,9
0,2-0,4 m	6,0	44,2	0,12	0,26	2,87	1,59	0,03	1,52	4,84	6,36	0,05	1,1	76,1
Camadas	Areia	Silte	Argila	Classe Textural									
	%												
0,0-0,2 m	40,7	13,9	45,3	Franca									
0,2-0,4 m	44,3	15,4	40,3	Franca									

M.O. – Walkley e Black (oxidação via úmida); P; K; Na – Melich1 ou duplo ácido; Ca, Mg e Al – KCl; H+Al – Acetato de Ca; S-SO₄²⁻ - Turbidimetria/Cloreto de Bário; Areia, silta, argila – método da pipeta.

2.2 Implantação e condução do experimento

No cultivo mínimo, o ensaio foi instalado sob palhada, estimada em 2.243 kg ha⁻¹, por meio de três amostragens utilizando-se molduras metálicas com área de 0,25 m². A dessecação foi realizada quinze dias antes do plantio com o herbicida glifosato (N-(fosfometil) glicina), não-seletivo, sistêmico e pós-emergente.

No cultivo convencional, o preparo do solo constou de uma aração e três gradagens. Posteriormente, instalou-se nas áreas um sistema de irrigação por aspersão móvel, estruturada por canos de engate rápido com as medições de 6 metros de comprimento com 50 milímetros de espessura, e aspersores com o espaçamento de 12 metros entre um e outro, aplicando-se uma lâmina aproximada de 7 mm diários de água.

A adubação de fundação de ambas as áreas ocorreu um dia antes do plantio, de acordo com a análise de solo e conforme recomendações de Melo e Cardoso (2017), atendendo às recomendações para a cultura com 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 30 kg ha⁻¹ de K₂O. O plantio foi realizado no dia 05/10/17 e, no dia seguinte, aplicou-se os herbicidas Dual Gold (pré-emergente) e Gramoxone (dessecante).

2.3 Caracterização das cultivares utilizadas

As cultivares foram obtidas através do Programa de Melhoramento Genético do Feijão-caupi, coordenado pela Embrapa Meio-Norte, em Teresina-Piauí.

2.3.1 BRS Imponente

A cultivar BRS Imponente foi lançada em 2016, indicada para cultivo na região Norte (no estado do Pará), na região Nordeste (nos estados do Piauí e Maranhão) e na região Centro-Oeste (no Mato Grosso). Apresenta hábito de crescimento indeterminado, porte semiereto, com ramos laterais curtos, ciclo de maturação precoce (65 a 70 dias) e inserção das vagens acima do nível da folhagem, o que lhe confere uma boa resistência ao acamamento (EMBRAPA, 2016).

2.3.2 BRS Itaim

A cultivar BRS Itaim foi lançada em 2009, e possui hábito de crescimento determinado, porte ereto, e exibe alta resistência ao acamamento. É recomendada, principalmente, para o cultivo em regime de sequeiro. Esta cultivar apresenta florescimento médio de 35 dias e ciclo maturação superprecoce de 60 a 65 dias (FREIRE FILHO et al., 2009).

2.3.3 BRS Novaera

A cultivar BRS Novaera foi lançada em 2007, apresenta ciclo precoce de 65 a 70 dias e florescimento médio em torno de 45 dias. É uma planta de porte semiereto e moderadamente resistente ao vírus do mosaico dourado do feijão-caupi e altamente resistente à mancha-café, doença vastamente disseminada por todas as regiões produtoras do Brasil. Por possuir porte semiereto, a planta permite a colheita totalmente mecanizada dos grãos (FREIRE FILHO et al., 2008).

2.3.4 BRS Tumucumaque

A cultivar BRS Tumucumaque foi lançada em 2009, apresenta hábito de crescimento indeterminado, porte semiereto, com florescimento médio em torno de 39 a 42 dias e ciclo precoce de 65 a 70 dias (VILARINHO et al., 2008). Essa cultivar apresenta altos teores de ferro e zinco, estando inserida como cultivar biofortificada.

2.4 Delineamento estatístico, tratamentos e características avaliadas

Adotou-se o delineamento experimental em blocos casualizados no esquema experimental de parcelas subdivididas, com quatro repetições compostas por 4 linhas espaçadas em 0,5 m com 5 m de comprimento, e estande pretendido de 12 plantas

por m² (240 mil plantas ha⁻¹). As cultivares de feijão-caupi foram obtidas junto ao banco de germoplasma da Embrapa Meio-Norte, sendo os sistemas de manejo do solo (convencional e mínimo) as parcelas, e as sete épocas de coleta de plantas representaram as subparcelas.

Para as avaliações temporais do crescimento, coletou-se quatro plantas na área útil (10 metros lineares), ou seja, nas duas linhas centrais, evitando-se 0,5 m de cada extremidade das parcelas e coletando-se de acordo como demonstrado nas Figuras 2 e 3.

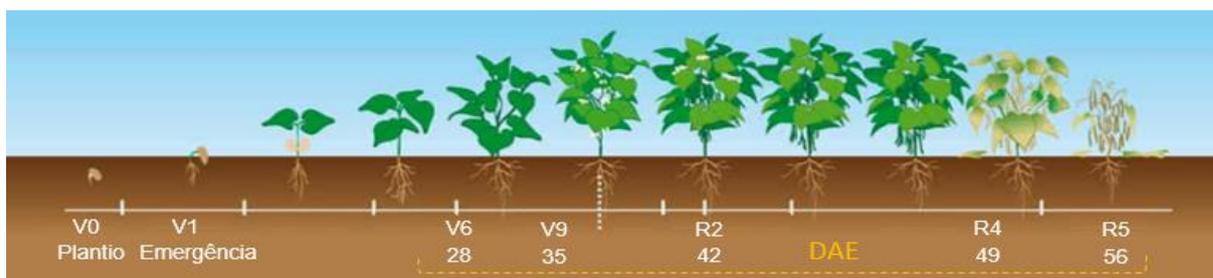


Figura 2. Estádios fenológicos e dias após a emergência (DAE) correspondente as coletas da cv. BRS Itaim.

Fonte: Adaptado de Oliveira, (2018).

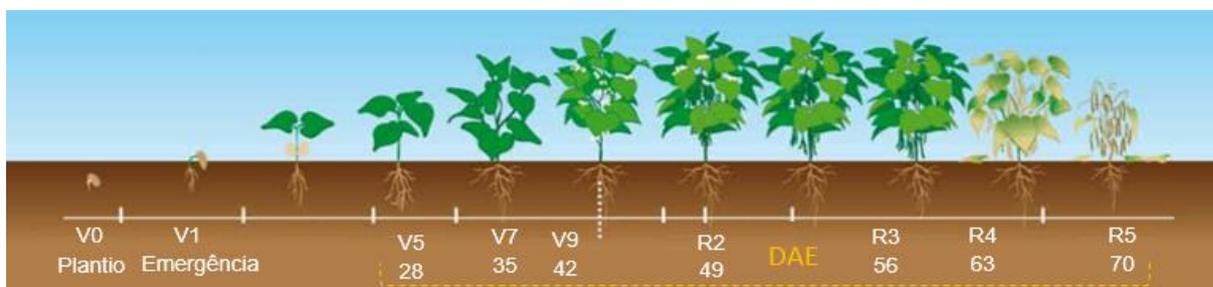


Figura 3. Estádios fenológicos e dias após a emergência (DAE) correspondente as coletas das cvs. BRS Imponente, BRS Novaera e BRS Tumucumaque.

Fonte: Adaptado de Oliveira (2018).

Tabela 2. Descrição do ciclo fenológico das cultivares de feijão-caupi durante as coletas temporais adotando a escala proposta por Campos et al. (2000)

Estádios Fenológico	
V0	Plantio;
V1	Emergência;
V5	A terceira folha trifoliolada encontra-se com os folíolos separados e completamente abertos;
V6	Os primórdios do ramo secundário surgem nas axilas das folhas unifolioladas;
V7	A primeira folha do ramo secundário encontra-se completamente aberta;
V9	A terceira folha do ramo secundário encontra-se completamente aberta;
R2	Antese da primeira flor, geralmente oriunda do primeiro botão floral;
R3	Início da maturidade da primeira vagem, geralmente oriunda da primeira flor;
R4	Maturidade de 50% das vagens da planta;

Os dias após a emergência foram transformados em graus-dia através do método proposto por Ometo (1981).

O acúmulo de graus-dia (°C) durante o ciclo da cultura foram calculados utilizando-se os dados de temperatura máxima e mínima no período de 10/10/2017 (emergência) a 19/12/2017 (colheita), obtidos através do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e coletados por uma estação meteorológica automática em Teresina-PI (localizada na Embrapa Meio-Norte).

O método aplicado, além de considerar a temperatura basal inferior (Tb), considera também a temperatura basal superior (TB) e foi indicado por Renato (2013), ao avaliar diferentes métodos para o cálculo de graus-dia em condições de temperaturas elevadas. O valor da temperatura basal inferior (Tb) adotada foi de 10 °C (MOURA et al., 2012), e a temperatura de 35 °C para a basal superior (TB) (MIRANDA e CAMPELO JÚNIOR, 2010).

Neste método, a soma térmica apresenta cinco condicionantes, cada uma com determinada equação (Equações 1 a 5) para cálculo de GD:

$$TB > TM > Tm > Tb \quad GD = \frac{TM + Tm}{2} + Tm - Tb \quad (1)$$

$$TB > TM > Tb > Tm \quad GD = \frac{(TM - Tb)^2}{2(TM - Tm)} \quad (2)$$

$$TB > Tb > TM > Tm \quad GD = 0 \quad (3)$$

$$TM > TB > Tm > Tb \quad GD = \frac{2(TM - Tm) + (Tm - Tb) + (TM - Tm)^2 - (TM - TB)}{2(TM - Tm)} \quad (4)$$

$$TM > TB > Tb > Tm \quad GD = \frac{1}{2} \frac{(TM - Tb)^2 - (TM - TB)^2}{TM - Tm} \quad (5)$$

Em que:

GD: Graus-dia;

TB: temperatura basal superior (°C);

Tb: temperatura basal inferior (°C);

TM: temperatura máxima;

Tm: temperatura mínima.

De posse das plantas, as amostras foram separadas em folhas, caules, estruturas reprodutivas (flor + vagens) e grãos. Posteriormente, foram lavadas, colocadas em sacos de papel e secas em estufa de ar forçado a 65°C (até peso constante) e, em seguida, pesadas separadamente, determinando-se, então, o peso da massa seca da planta por hectare ao longo do ciclo da cultura.

Após a secagem, as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley e submetidas a análises químicas para a determinação dos teores de macro e micronutrientes contidos na parte aérea das plantas e em seus respectivos órgãos.

Os micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn foram mineralizados por digestão nitroperclórica e o teor de determinado por espectrofotometria de absorção atômica. Já o teor de B no tecido vegetal utilizou-se do método da azometina-H. Todos foram procedidos de acordo com Malavolta et al. (1997).

O acúmulo de nutrientes nos diferentes estádios fenológicos foi calculado multiplicando-se o teor obtido nas análises em laboratório pela respectiva de massa seca de cada compartimento da planta.

2.5 Procedimentos estatísticos

Os dados apresentaram distribuição normal e foram submetidos à análise de variância por meio do *software* de análise estatística Sisvar® (FERREIRA, 2011). Quando significativo, procedeu-se teste t ($p < 0,05$) para os manejos e análise de regressão para os tempos de coleta.

Ainda, empregou-se a análise de regressão não linear, com parâmetros do modelo estimados, usando a função de ajuste com curva dinâmica no programa SigmaPlot versão 12.5 (Systat Software, San Jose, CA), no qual se escolheu o modelo que expressou significância estatística e maior coeficiente de determinação (R^2).

O modelo gaussiano de três parâmetros com curva de pico, está descrito na equação 6:

$$y = ae^{-0,5\left(\frac{x-x_0}{b}\right)^2} \quad (6)$$

Em que:

y: acúmulo do micronutrientes (g ha^{-1});

a: é o valor máximo de acumulação (g ha^{-1});

x_0 : valor de x no DAE que fornece o máximo valor;

b: amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo.

A partir do modelo ajustado, foi possível determinar com precisão o valor do ponto de inflexão (PI) na curva de acordo com a equação 7:

$$PI = x_0 - b \quad (7)$$

Matematicamente, o PI corresponde ao valor de x no qual a curvatura do modelo ajustado muda de sinal; na prática, isso corresponde ao valor de x em DAE, no qual a taxa de acúmulo máximo diário, embora positivo, diminui.

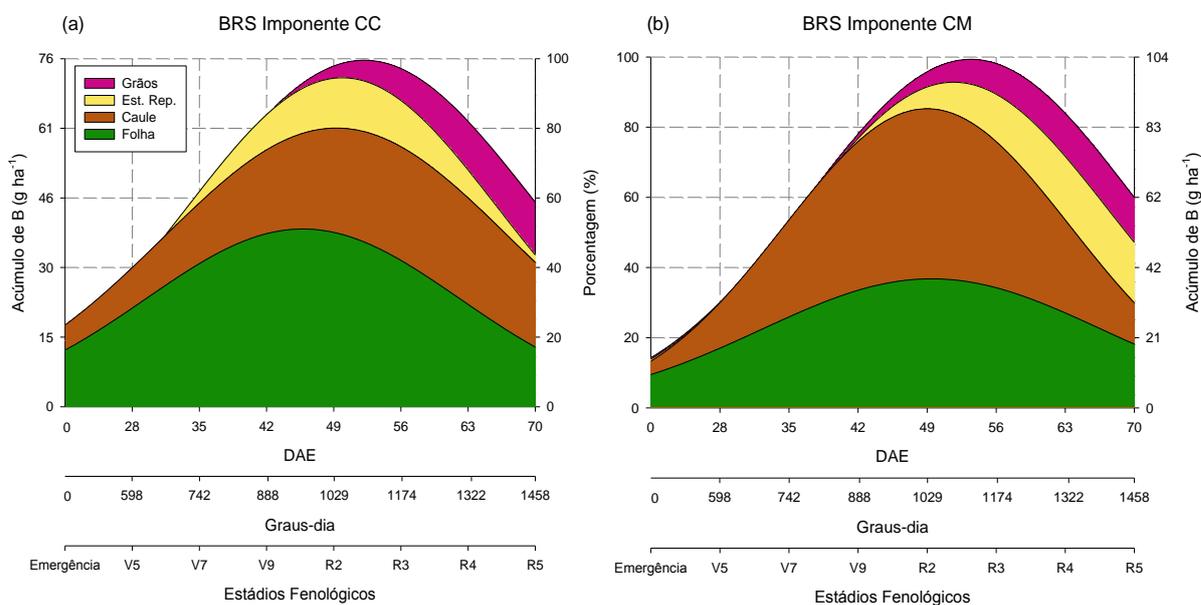
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Boro

As plantas acumularam 60% de todo o boro (B) até o estágio V9, em relação ao total que foi absorvido. A alocação do micronutriente das partes vegetativas para os grãos foi baixa cerca de 15% para as cultivares BRS Imponente, BRS Novaera e BRS Tumucumaque; já a BRS Itaim alocou mais de 25% do nutriente absorvido para os grãos. Esse micronutriente se apresentou em maiores proporções durante o ciclo de cultivo, nas folhas e caules, sendo que diferenças significativas na sua absorção pelas plantas, nos sistemas de cultivo, foram observadas a partir do final do estágio vegetativo com o início do estágio reprodutivo (Figura 4).

O B apresentou acúmulo máximo pelas cultivares ao atingirem 75,6 e 108,0 g B ha⁻¹ (BRS Imponente), 66,1 e 93,2 g B ha⁻¹ (BRS Itaim), 71,8 e 89,8 g B ha⁻¹ (BRS Novaera) e 70,1 e 102,5 g B ha⁻¹ (BRS Tumucumaque) em sistema de cultivo convencional e mínimo, respectivamente. Este micronutriente apresentou pico máximo de absorção semelhante entre as cultivares avaliadas (Tabela 3). Diferenças significativas entre o acúmulo de boro em cada tempo de coleta foram observadas, em sua maioria, quando as cultivares atingiram os estádios reprodutivos (Tabela 4).

Concordando com os resultados desse trabalho, Fernandes et al. (2013) confirmaram que as quantidades desse micronutriente acumuladas na parte vegetativa, ou seja, nas folhas e no caule do feijão comum, são maiores que as quantidades nas estruturas reprodutivas.



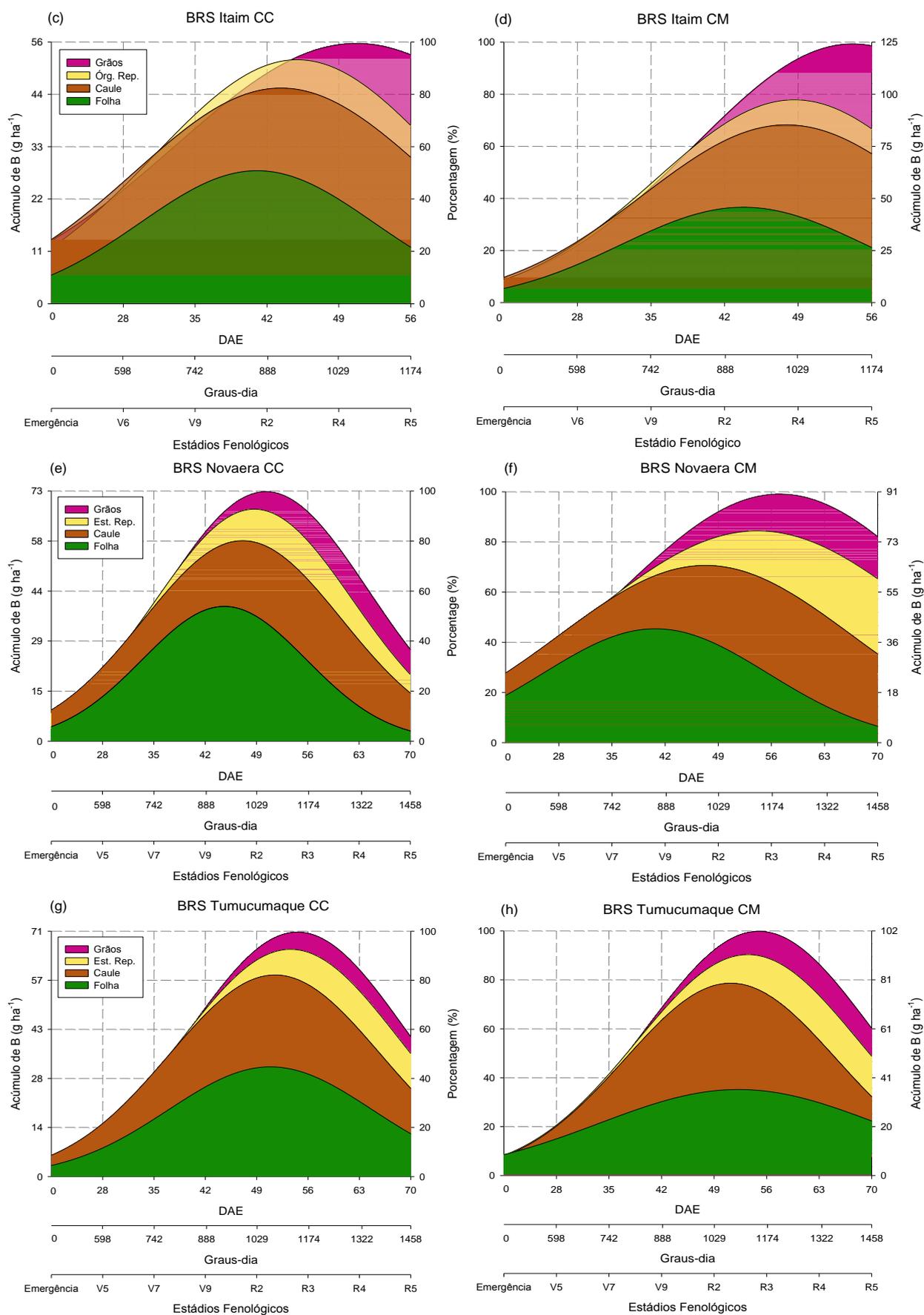


Figura 4. Acúmulo e partição de boro em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional e cultivo mínimo ao longo do seu ciclo.

Tabela 3. Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo de boro, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.

Boro										
Manejo	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2
	a ⁽²⁾	b ⁽³⁾	x ₀ ⁽⁴⁾			a ⁽²⁾	b ⁽³⁾	x ₀ ⁽⁴⁾		
	g ha ⁻¹	-----DAE-----			g ha ⁻¹	-----DAE-----				
Folha										
BRS Imonente					BRS Itaim					
CC	38,7*	16*	46*	30	0,83	28,3*	13*	41*	28	0,96
CM	39,3*	16*	50*	34	0,93	34,3*	12	44*	32	0,95
BRS Novaera					BRS Tumucumaque					
CC	38,8*	11*	44*	33	0,97	31,3*	14*	51*	37	0,98
CM	43,2*	12*	42*	30	0,88	36,7*	17*	53*	36	0,95
Caule										
BRS Imonente					BRS Itaim					
CC	24,8*	18*	55*	37	0,96	23,2*	14ns	50*	36	0,81
CM	51,9*	12*	49*	37	0,87	34,8*	17ns	56*	39	0,98
BRS Novaera					BRS Tumucumaque					
CC	22,3*	16*	53*	37	0,96	23,4*	17*	53*	36	0,86
CM	33,2*	17*	57*	40	0,91	45,7*	11*	50*	39	0,98
Estruturas Reprodutivas										
BRS Imonente					BRS Itaim					
CC	20,5*	4ns	49*	45	0,89	13,2*	6*	40ns	34	0,93
CM	19,3*	10*	64*	54	0,99	11,0*	10*	54*	44	0,99
BRS Novaera					BRS Tumucumaque					
CC	10,0*	15*	57*	42	0,88	13,8*	9*	60*	51	0,95
CM	27,6*	9*	64*	55	0,98	18,6*	12*	64*	52	0,99
Grãos										
BRS Imonente					BRS Itaim					
CC	12,4ns	8ns	63*	55	0,90	15,9*	5ns	54*	49	0,99
CM	15,2*	11*	62*	51	0,92	26,0*	9*	57*	48	0,99
BRS Novaera					BRS Tumucumaque					
CC	10,3ns	9ns	59*	50	0,74	6,6*	13*	57*	44	0,96
CM	18,4*	7*	61*	57	0,98	13,4*	11*	65*	54	0,99
Total										
BRS Imonente					BRS Itaim					
CC	75,6*	17*	52*	35	0,97	66,1*	12*	43*	31	0,94
CM	108,0*	15*	53*	38	0,95	93,2*	15ns	53*	38	0,98
BRS Novaera					BRS Tumucumaque					
CC	71,8*	14*	50*	36	0,95	70,1*	15*	54*	39	0,95
CM	89,8*	19*	56*	37	0,89	102,5*	15*	55*	40	0,99

¹⁾ Valores representam a média das avaliações das cultivares;

²⁾ Valor máximo do acúmulo de boro;

³⁾ Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo;

⁴⁾ Dias após a emergência (DAE) que forneceu os maiores valores;

* e ^{ns}: significativo e não significativo pelo teste t (p <0,05), respectivamente.

Tabela 4. Acúmulo do boro em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.

Boro (g ha ⁻¹)								
Folha								
DAE	BRS Imponente		BRS Itaim		BRS Novaera		BRS Tumucumaque	
	CC	CM	CC	CM	CC	CM	CC	CM
28	13,6a	14,1a	16,9a	22,1a	10,2b	25,4a	7,5b	16,1a
35	38,8a	27,0b	27,9a	26,8a	33,8a	39,5a	17,8a	23,6a
42	42,8a	40,9a	27,7a	30,1a	34,3b	49,4a	27,9a	30,6a
49	30,1b	37,3a	16,3b	39,8a	36,6a	25,1b	29,1a	31,7a
56	31,4a	30,1a	22,3a	13,1b	23,8a	24,4a	30,8a	38,0a
63	23,8a	29,5a	-	-	11,1a	17,5a	20,1b	31,5a
70	15,6a	21,4a	-	-	2,8a	8,3a	14,2a	20,7a
CV ₁ %	9,31		45,86		23,91		36,86	
CV ₂ %	15,31		22,59		23,16		21,86	
Caule								
28	9,4a	14,0a	8,6a	11,4a	5,7a	8,9a	6,2a	7,4a
35	13,6a	15,5a	13,5a	22,8a	13,7a	16,1a	16,8a	12,8a
42	16,6b	58,7a	13,5a	23,2a	16,0a	24,5a	16,7b	36,6a
49	24,5b	53,5a	19,0b	36,0a	21,2a	24,7a	18,7b	47,1a
56	24,3a	28,8a	29,4a	24,3a	23,7a	30,0a	28,3a	37,0a
63	24,5a	32,0a	-	-	17,2b	40,9a	18,8a	23,9a
70	16,2a	18,5a	-	-	13,8a	19,2a	14,0a	12,8a
CV ₁ %	19,75		59,80		29,96		16,85	
CV ₂ %	25,83		35,29		33,57		30,31	
Estruturas Reprodutivas								
35	-	-	13,4a	1,2b	3,9a	1,8a	-	-
42	3,3a	3,5a	9,3b	4,3b	5,1a	4,7a	3,1a	5,2a
49	20,5a	5,8b	3,8b	12,3a	11,0a	5,9b	5,0a	8,4a
56	4,5b	13,1a	3,1b	7,3a	8,8b	17,6a	14,0a	13,9a
63	6,0b	20,9a	-	-	9,2b	33,0a	11,9a	19,5a
70	2,8b	14,2a	-	-	7,2b	22,0a	7,4b	16,5a
CV ₁ %	17,16		18,12		44,85		65,56	
CV ₂ %	11,87		19,69		29,08		50,96	
Grãos								
49	-	-	1,9b	21,2a	3,9a	3,8a	5,3a	6,1a
56	10,7b	17,9a	14,6b	28,7a	11,9b	20,8a	6,9b	11,6a
63	9,1a	9,5a	-	-	7,2b	18,4a	4,2b	13,4a
70	10,9a	11,2a	-	-	6,5a	11,0a	5,5b	10,7a
CV ₁ %	10,69		18,79		33,80		13,73	
CV ₂ %	14,48		23,95		32,39		26,48	
Total								
28	23,1a	28,1a	25,5a	33,4a	15,9b	34,4a	13,7a	23,4a
35	52,4a	42,5a	54,8a	50,8a	51,4a	57,3a	34,6a	36,5a
42	62,7b	103,2a	50,5a	57,5a	55,3b	78,5a	47,7b	72,4a

49	75,1b	96,5a	41,1b	109,3a	72,7a	59,4a	58,0b	93,2a
56	70,9b	89,8a	69,5a	73,4a	68,2b	92,8a	80,1b	100,5a
63	63,4b	91,9a	-	-	44,7b	109,8a	55,1b	88,3a
70	45,5b	65,2a	-	-	30,4b	60,5a	41,1b	60,8a
CV ₁ %	12,23		43,40		17,73		24,01	
CV ₂ %	12,51		22,25		17,47		19,83	

*Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de t ($p < 0,05$). CV₁ – coeficiente de variação da parcela. CV₂ – coeficiente de variação da subparcela.

3.2 Cobre

Diferenças no potencial de acúmulo e o particionamento relativo do cobre nos tecidos vegetais das plantas associadas ao sistema de cultivo foram observadas durante todo o ciclo da cultura do feijão-caupi, onde foram identificados períodos de intenso acúmulo de Cu concomitantes aos de maior crescimento da planta, durante a parte intermediária da fase vegetativa com o início da fase reprodutiva e, principalmente, durante o período de formação dos grãos (Figura 5) a partir de R3 até R5.

A cultivar BRS Itaim, dentre as cultivares avaliadas, mostrou maior alocação do cobre para os grãos: cerca de 60% foram redistribuídos aos grãos (Figuras 5c e 5d).

A absorção deste micronutriente pela planta teve comportamento similar ao acúmulo de massa da matéria seca, em sua maioria, apresentando acúmulo crescente principalmente para as folhas e menor para o caule. Nesse contexto, os resultados encontrados sugerem que o potencial aprimorado para a produção de matéria seca aumentou concomitantemente ao potencial de acúmulo de nutrientes.

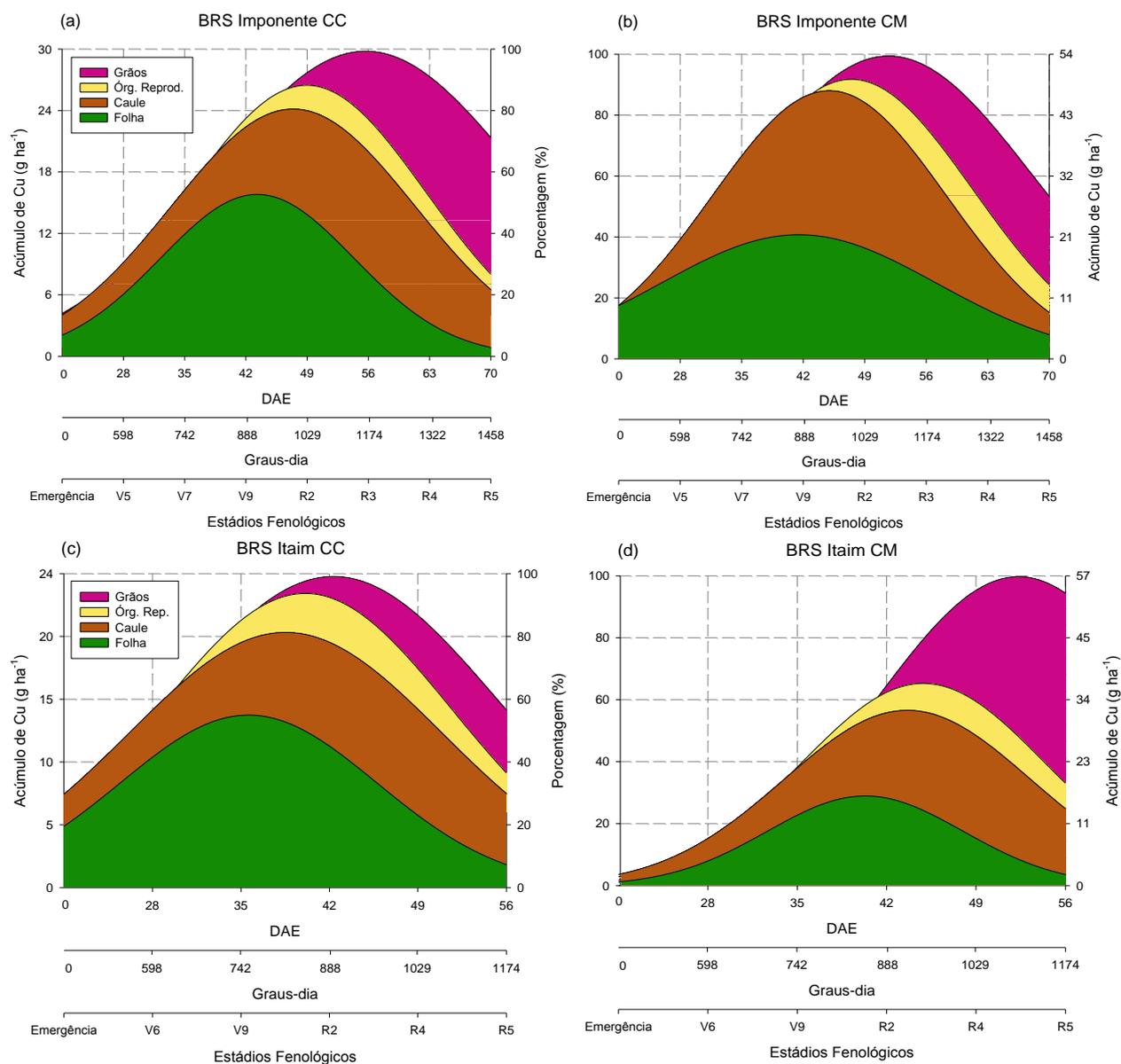
De modo geral, os picos de máximo acúmulo total do Cu ocorreram quando as plantas atingiram pleno florescimento e início de enchimento dos grãos, apresentando de forma antecipada no sistema de cultivo mínimo, com exceção da cultivar BRS Imponente. Os valores apresentados em cultivo convencional foram 29,2; 3,8; 37,7 e 31,8 g Cu ha⁻¹; já em cultivo mínimo, foram obtidos os valores 56,0, 41,4, 43,4 e 46,9 g Cu ha⁻¹ pelas cultivares BRS Imponente, BRS Itaim, BRS Novaera e BRS Tumucumaque, respectivamente (Tabela 5).

Para o total acumulado durante o ciclo das cultivares, diferenças significativas foram observadas em quase todas as coletas (Tabela 6). Este aumento na absorção de nutrientes ocorre devido ao aumento da biomassa da parte aérea com o avanço

da idade da planta e demonstra que a absorção de nutrientes pela cultivar varia com as fases de seu crescimento e desenvolvimento.

O Cu, diferentemente do B, apresentou significativa absorção durante o estágio reprodutivo, o que implica na necessidade de fornecimento constante para suprir este micronutriente; logo, se existir uma deficiência temporal, uma adubação foliar pode sanar ou aliviar essa deficiência (BENDER et al., 2015).

Este resultado pode ser justificado devido ao acúmulo de massa seca na planta ser superior em sistema de cultivo mínimo, uma vez que os valores de acúmulo são dependentes da massa seca das plantas; ainda, devido à distribuição diferencial entre as partes vegetativas e reprodutivas refletindo, em grande parte, as funções do elemento e os tipos de compostos orgânicos dos quais eles fazem parte (MARSCHNER, 2012).



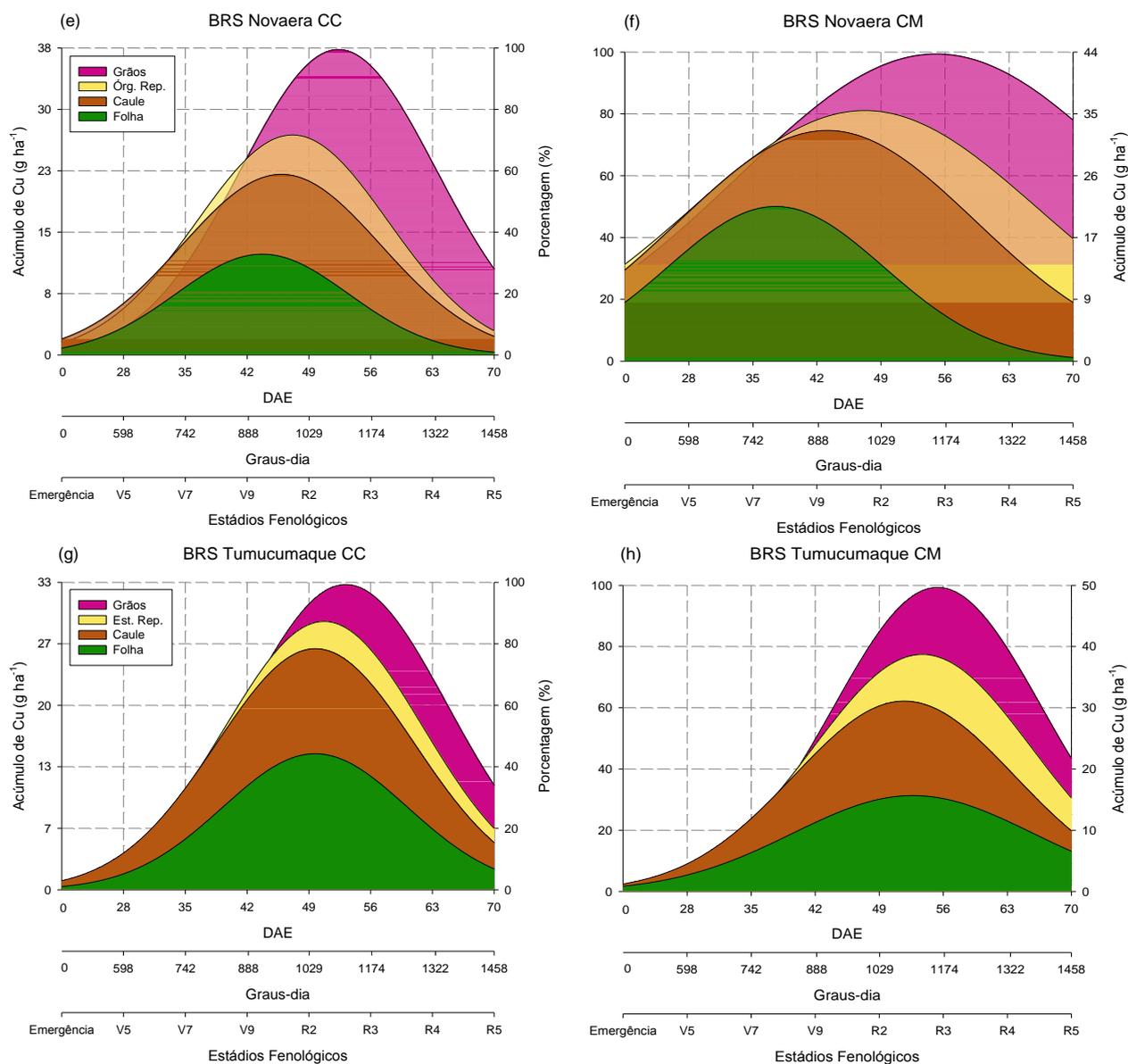


Figura 5. Acúmulo e partição de cobre em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional e cultivo mínimo ao longo do seu ciclo.

Tabela 5. Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo do cobre, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.

Cobre(g ha ⁻¹)										
Manejo	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2
	a ⁽²⁾	b ⁽³⁾	x ₀ ⁽⁴⁾			a ⁽²⁾	b ⁽³⁾	x ₀ ⁽⁴⁾		
	cm ²	I-----DAE-----I				cm ²	I-----DAE-----I			
Folha										
	BRS Imponente					BRS Itaim				
CC	15,3*	12*	43*	31	0,87	13,4*	19ns	27ns	8	0,96
CM	22,5*	14*	43*	29	0,90	12,1*	8*	40*	32	0,98
	BRS Novaera					BRS Tumucumaque				

CC	12,3*	10*	44*	34	0,98	14,7*	10*	50*	40	0,98
CM	19,9*	11*	38*	27	0,80	13,9*	14*	53*	39	0,97
Caule										
BRS Imponente					BRS Itaim					
CC	11,2*	12*	53*	41	0,98	8,9*	10*	44*	34	0,90
CM	30,9*	8*	46*	38	0,89	14,2*	9*	48*	39	0,98
BRS Novaera					BRS Tumucumaque					
CC	10,6*	12*	50*	38	0,95	10,5*	11*	52*	41	0,92
CM	17,2*	13*	51*	38	0,95	14,6*	11*	51*	40	0,97
Estruturas Reprodutivas										
BRS Imponente					BRS Itaim					
CC	6,9*	4ns	49*	45	0,87	5,5ns	12ns	35ns	23	0,98
CM	8,1*	9*	63*	54	0,99	4,4*	9*	51*	42	0,99
BRS Novaera					BRS Tumucumaque					
CC	2,7*	23*	60*	37	0,90	2,8*	22ns	60*	38	0,65
CM	10,7*	10*	65*	55	0,97	9,5*	9*	59*	50	0,96
Grãos										
BRS Imponente					BRS Itaim					
CC	17,8ns	18ns	70ns	52	0,96	8,4*	8*	59*	51	0,99
CM	15,2*	11*	64*	53	0,93	27,6*	8*	58*	48	0,99
BRS Novaera					BRS Tumucumaque					
CC	29,9ns	4ns	56*	52	0,97	5,6*	13ns	65*	52	0,91
CM	20,6ns	6ns	62*	56	0,98	12,8*	8*	59*	51	0,99
Total										
BRS Imponente					BRS Itaim					
CC	29,2*	19*	56*	37	0,90	23,8*	15ns	41*	26	0,77
CM	56,0*	15*	52*	37	0,95	41,4*	13*	53*	40	0,99
BRS Novaera					BRS Tumucumaque					
CC	37,7*	11*	52*	41	0,90	31,8*	12*	53*	41	0,94
CM	43,4*	19*	55*	36	0,96	46,9*	12*	55*	43	0,99

¹⁾ Valores representam a média das avaliações das cultivares;

²⁾ Valor máximo do acúmulo de cobre;

³⁾ Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo;

⁴⁾ Dias após a emergência (DAE) que forneceu os maiores valores;

* e ns: significativo e não significativo pelo teste t ($p < 0,05$), respectivamente.

Tabela 6. Acúmulo do cobre em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.

Cobre (g ha ⁻¹)								
Folha								
DAE	BRS Imponente		BRS Itaim		BRS Novaera		BRS Tumucumaque	
	CC	CM	CC	CM	CC	CM	CC	CM
28	3,9b	14,6a	12,9a	6,8b	3,1b	22,4a	1,4a	2,4a
35	14,3b	20,0a	13,7a	10,4b	9,4b	14,9a	6,2a	6,9a
42	16,9b	24,2a	8,8b	14,8a	11,2b	21,1a	10,3a	12,2a
49	11,3a	16,0a	6,8a	8,6a	11,5a	10,9a	15,6a	11,6a

56	7,5b	14,6a	5,0a	1,1b	5,1a	7,8a	11,8b	18,5a
63	5,8b	11,6a	-	-	2,0a	3,7a	6,2a	10,1a
70	4,2a	2,3a	-	-	0,8a	1,7a	3,2a	6,2a
CV ₁ %	28,77		36,79		54,37		35,00	
CV ₂ %	32,30		24,75		35,05		38,60	
Caule								
28	1,1a	1,4a	0,8a	0,5a	0,8a	0,5a	0,6a	0,8a
35	2,6b	7,2a	6,2a	5,3a	4,6a	7,1a	2,8a	4,9a
42	7,4b	31,4a	9,1b	12,9a	9,6b	18,5a	6,0b	10,2a
49	11,0b	27,8a	6,5b	13,0a	10,9b	17,7a	12,4b	16,2a
56	10,2a	11,6a	4,4b	10,0a	7,9b	13,8a	8,4b	13,2a
63	8,6a	12,2a	-	-	5,7b	13,5a	6,1a	6,8a
70	4,3a	8,1a	-	-	3,7a	5,9a	4,9a	5,6a
CV ₁ %	27,73		56,58		38,91		15,83	
CV ₂ %	29,84		37,47		35,38		29,10	
Estruturas Reprodutivas								
35	-	-	5,6b	0,9a	1,4a	1,1a	-	-
42	1,6a	1,2a	4,4a	2,5b	2,4a	2,4a	2,2a	2,3a
49	6,9a	2,3b	3,3b	5,3a	2,3b	3,8a	2,1b	4,5a
56	1,5b	5,8a	0,8b	2,5a	2,7b	5,6a	3,3b	10,9a
63	2,1b	8,1a	-	-	2,9b	11,9a	2,6b	6,8a
70	1,1b	5,3a	-	-	2,5b	9,2a	2,6a	4,3a
CV ₁ %	16,73		49,78		14,29		49,59	
CV ₂ %	17,34		33,02		25,61		35,82	
Grãos								
49	-	-	1,1b	16,9a	5,1a	5,9a	5,4a	6,0a
56	7,1b	15,9a	7,9b	29,4a	29,9a	7,5b	4,2b	12,2a
63	7,5b	13,9a	-	-	6,5b	26,0a	4,5b	11,2a
70	16,1a	12,9a	-	-	4,9a	10,2a	5,4a	5,8a
CV ₁ %	31,22		21,03		38,59		26,12	
CV ₂ %	20,76		21,44		46,39		32,19	
Total								
28	5,0b	16,0a	13,7a	7,5a	3,9b	22,8a	2,0a	3,2a
35	16,9b	27,2a	26,3a	17,3b	15,5a	23,0a	9,0a	11,8a
42	25,8b	56,8a	22,2b	33,2a	23,3b	42,1a	18,5a	24,6a
49	29,2b	46,1a	17,5b	46,4a	29,9a	38,4a	35,5a	38,2a
56	26,2b	47,9a	19,1b	45,4a	45,7a	34,7b	27,7b	54,8a
63	23,9b	45,7a	-	-	17,1b	55,0a	19,4b	34,9a
70	25,6a	28,5a	-	-	11,9b	27,0a	16,1a	21,8a
CV ₁ %	22,73		28,44		19,38		13,52	
CV ₂ %	17,37		22,74		25,10		23,16	

*Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de t (p < 0,05). CV₁ – coeficiente de variação da parcela. CV₂ – coeficiente de variação da subparcela.

3.3 Ferro

Os resultados obtidos sugerem que a quantidade absorvida e o tempo de aquisição do ferro (Fe) variaram nos sistemas de cultivo, estando associados a

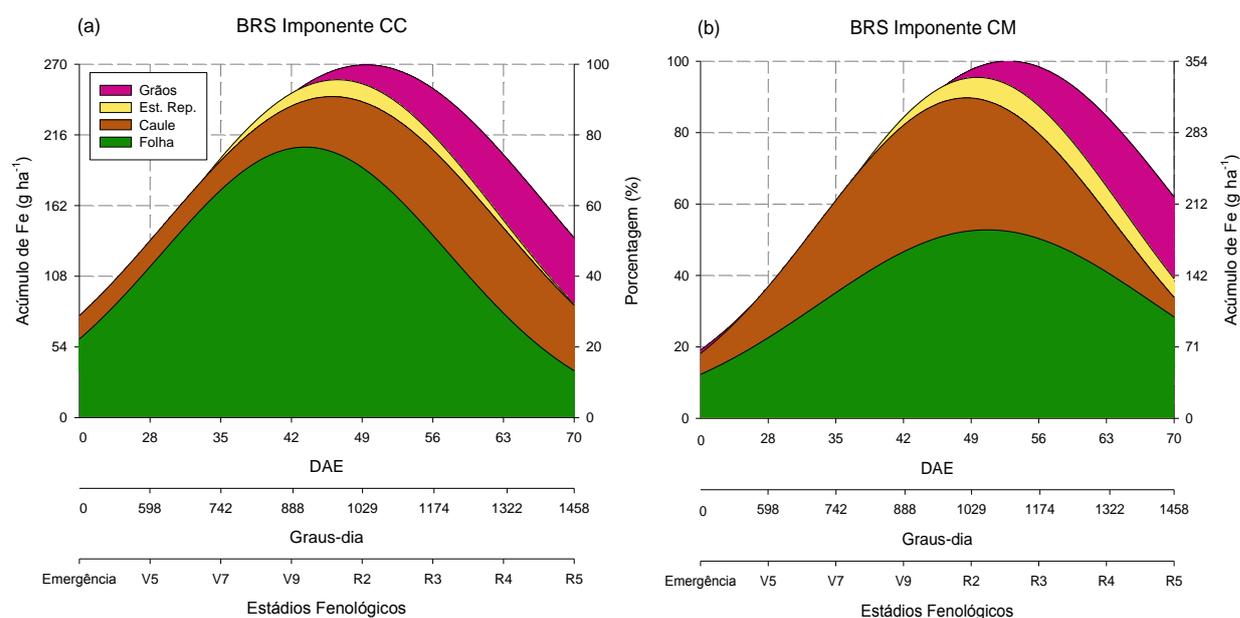
períodos de crescimento vegetativo e reprodutivo. O Fe apresentou maior percentual de acúmulo nas folhas em ambos os sistemas de cultivo, com superioridade nas plantas em CM; no entanto a alocação deste nutriente nos grãos se apresentou proporcionalmente maior em cultivo mínimo pelas cultivares BRS Itaim (60%) e BRS Novaera (40%) (Figura 6).

O acúmulo de Fe é de mais de 80% até o V9 (estádio vegetativo) nos caules e folhas, com exceção na BRS Itaim (ciclo de crescimento determinado), que apresentou 70% no CC e 55% no CM. Desta maneira, para as cultivares de crescimento indeterminado, o acúmulo de Fe no grão ocorre por redistribuição, sendo as folhas sua principal fonte (Figura 6).

Foram observados períodos de intenso acúmulo de Fe durante a fase intermediária do crescimento vegetativo. As cultivares avaliadas atingiram pontos de máximo acúmulo nos sistemas entre 41 e 58 DAE, com valores de 249,0 e 364,0 g Fe ha⁻¹ (BRS Imponente), 191,4 e 289,7 g Fe ha⁻¹ (BRS Itaim), 274,8 e 287,5 g Fe ha⁻¹ (BRS Novaera) e 204,2 e 353,8 g Fe ha⁻¹ (BRS Tumucumaque), em cultivo convencional e mínimo, respectivamente (Tabela 7).

Quando se analisa o acúmulo nos diferentes órgãos em cada tempo de coleta em relação aos sistemas de manejo, verificam-se diferenças significativas, principalmente nos estádios reprodutivos em ambos os sistemas de cultivo (Tabela 8).

Em estudo realizado por Fonseca et al. (2010), o acúmulo de Fe variou de 100 a 170 g Fe ha⁻¹ na parte aérea do feijão-caupi.



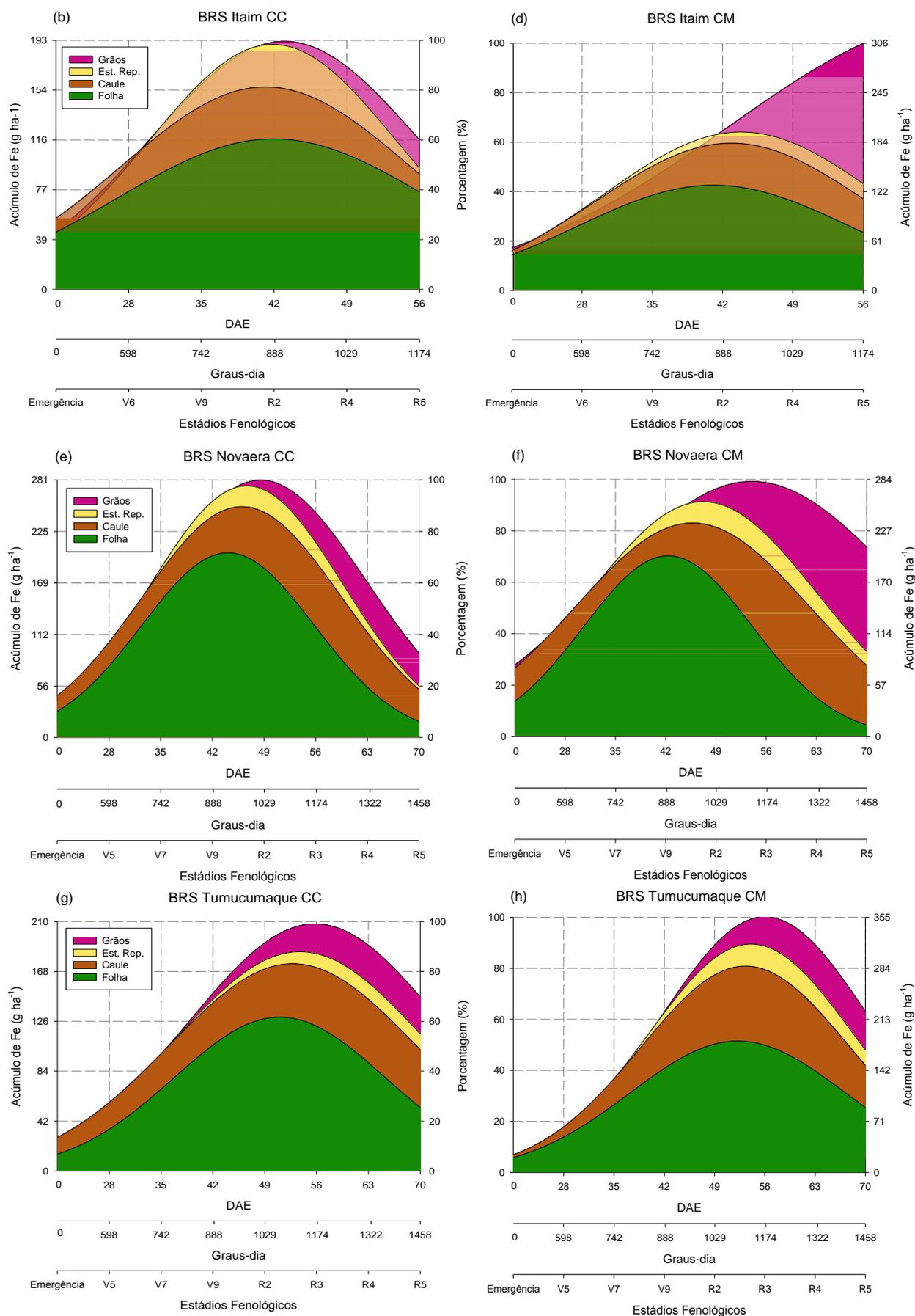


Figura 6. Acúmulo e partição de ferro em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional e cultivo mínimo ao longo do seu ciclo.

Tabela 7. Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo do ferro, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.

		Ferro									
Manejo	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2	
	a ⁽²⁾	b ⁽³⁾	x ₀ ⁽⁴⁾			a ⁽²⁾	b ⁽³⁾	x ₀ ⁽⁴⁾			
	g ha ⁻¹			I-----DAE-----I			g ha ⁻¹			I-----DAE-----I	
Folha											
BRS Iponente					BRS Itaim						
CC	195,6*	18*	41*	23	0,80	121,1*	14*	39*	25	0,91	
CM	192,2*	16*	51*	35	0,96	137,3*	12*	41*	29	0,90	
BRS Novaera					BRS Tumucumaque						
CC	198,1*	12*	44*	32	0,91	127,5*	15*	51*	36	0,91	
CM	201,1*	11*	43*	32	0,93	182,1*	15*	52*	37	0,95	
Caulo											
BRS Iponente					BRS Itaim						
CC	57,5*	17*	56*	39	0,83	41,4*	15ns	42*	27	0,77	
CM	153,8*	10*	46*	36	0,87	66,9*	8*	49*	41	0,96	
BRS Novaera					BRS Tumucumaque						
CC	66,2*	15*	55*	40	0,99	56,4*	13*	52*	39	0,93	
CM	71,4*	17*	58*	41	0,98	105,8*	12*	55*	43	0,99	
Órgãos Reprodutivos											
BRS Iponente					BRS Itaim						
CC	23,5*	4ns	48*	44	0,88	49,9ns	5ns	42*	37	0,95	
CM	28,0*	10*	60*	49	0,96	22,1*	10ns	53*	43	0,99	
BRS Novaera					BRS Tumucumaque						
CC	20,4*	26ns	45ns	21	0,56	16,0*	13*	52*	39	0,98	
CM	31,0*	12*	59*	45	0,93	34,6*	10*	59*	49	0,97	
Grãos											
BRS Iponente					BRS Itaim						
CC	59,0ns	8ns	64*	56	0,96	29,6*	5ns	53*	48	0,99	
CM	83,3*	10*	69*	59	0,99	166,8*	7*	62*	55	1,00	
BRS Novaera					BRS Tumucumaque						
CC	53,7ns	17ns	70ns	53	0,99	35,0ns	10ns	62*	52	0,85	
CM	111,0*	7*	64*	57	0,99	61,6*	9*	63*	54	1,00	
Total											
BRS Iponente					BRS Itaim						
CC	249,3*	24*	49*	25	0,68	191,4*	15ns	41*	26	0,69	
CM	364,0*	16*	53*	36	0,93	289,7*	19*	58*	39	0,96	
BRS Novaera					BRS Tumucumaque						
CC	274,8*	15*	48*	33	0,92	204,2*	18*	56*	38	0,94	

CM 287,5* 18* 53* 35 0,90 353,8* 14* 55* 41 0,97

1) Valores representam a média das avaliações das cultivares;

(2) Valor máximo do acúmulo de ferro;

(3) Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo;

(4) Dias após a emergência (DAE) que forneceu os maiores valores;

* e ^{ns}: significativo e não significativo pelo teste t (p <0,05), respectivamente.

Tabela 8. Acúmulo do ferro em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.

Ferro (g ha ⁻¹)								
Folha								
DAE	BRS Imponente		BRS Itaim		BRS Novaera		BRS Tumucumaque	
	CC	CM	CC	CM	CC	CM	CC	CM
28	113,7a	87,9a	83,2a	108,7a	63,9a	72,8a	39,8a	68,5a
35	221,1b	105,7a	126,2a	118,1a	191,9a	178,0a	71,6a	110,6a
42	229,0a	180,8b	119,2a	144,8a	176,5b	224,9a	111,9a	139,9a
49	140,8b	183,3a	83,8a	85,9a	172,5a	127,6b	111,7b	160,1a
56	112,5b	178,7a	71,4a	54,3a	137,6a	115,7a	143,0b	205,9a
63	109,0a	137,7a	-	-	56,4a	54,8a	71,8b	122,4a
70	85,5a	106,7a	-	-	12,7a	30,1a	63,6a	95,2a
CV ₁ %	20,56		24,42		16,73		51,87	
CV ₂ %	17,60		17,78		14,16		30,09	
Caule								
28	16,6b	49,5a	23,2a	12,0a	13,4a	9,4a	19,1a	14,4a
35	28,9a	43,4a	45,2a	30,6a	29,5a	35,6a	31,7a	23,9a
42	39,6b	175,4a	33,1a	57,4a	47,2a	58,7a	41,2a	56,0a
49	45,9b	141,6a	30,6b	64,6a	57,4a	46,2a	30,6b	95,6a
56	52,7a	66,9a	39,1a	38,8a	69,5a	85,5a	36,6b	123,7a
63	72,1a	58,7a	-	-	57,1a	82,4a	54,0b	78,2a
70	28,5a	40,7a	-	-	40,3b	59,3a	63,1a	56,9a
CV ₁ %	20,45		56,15		27,04		25,85	
CV ₂ %	32,27		49,44		23,61		29,22	
Estruturas Reprodutivas								
35	-	-	52,0a	3,4b	21,1a	7,1b	-	-
42	9,2a	11,3a	22,0a	11,1b	14,6a	15,1a	11,2a	7,5a
49	23,3a	10,6b	16,1b	25,4a	24,8a	18,4a	16,7a	20,5a
56	5,5b	32,1a	4,4b	13,9a	13,6b	32,0a	14,5b	37,7a
63	1,7b	24,9a	-	-	12,9b	26,3a	10,6b	30,6a
70	7,5b	20,7a	-	-	14,1a	16,8a	6,4b	18,9a
CV ₁ %	4,40		22,60		22,43		25,95	
CV ₂ %	13,64		14,92		27,02		30,19	
Grãos								
49	-	-	4,7a	57,2a	12,1a	10,9a	11,2a	7,9a
56	38,9b	49,1a	25,7b	184,7a	26,2a	38,7a	35,8b	48,9a
63	53,8b	65,4a	-	-	33,8b	125,3b	29,5b	56,6a
70	49,6b	73,6a	-	-	47,1b	95,5a	27,2b	51,2a
CV ₁ %	17,06		40,46		10,93		24,50	
CV ₂ %	9,71		51,00		36,89		21,94	

Total								
28	130,4a	137,4a	106,4a	120,7a	77,3a	82,1a	58,8a	82,9a
35	250,0a	149,1b	223,4a	152,0b	242,4a	220,7a	103,3a	134,6a
42	277,9b	367,4a	174,3a	213,4a	238,3b	298,6a	164,4	203,3a
49	210,0b	335,4a	135,1b	233,0a	266,7a	203,1b	170,2b	284,1a
56	209,6b	326,6a	140,5b	291,5a	247,0a	272,0a	229,9b	416,2a
63	236,6b	286,7a	-	-	160,2b	288,6a	165,9b	287,8a
70	171,0b	241,7a	-	-	114,2b	201,7a	160,2a	222,2a
CV ₁ %	15,39		31,44		13,97		33,78	
CV ₂ %	13,45		21,70		11,55		24,02	

*Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de t ($p < 0,05$). CV₁ – coeficiente de variação da parcela. CV₂ – coeficiente de variação da subparcela.

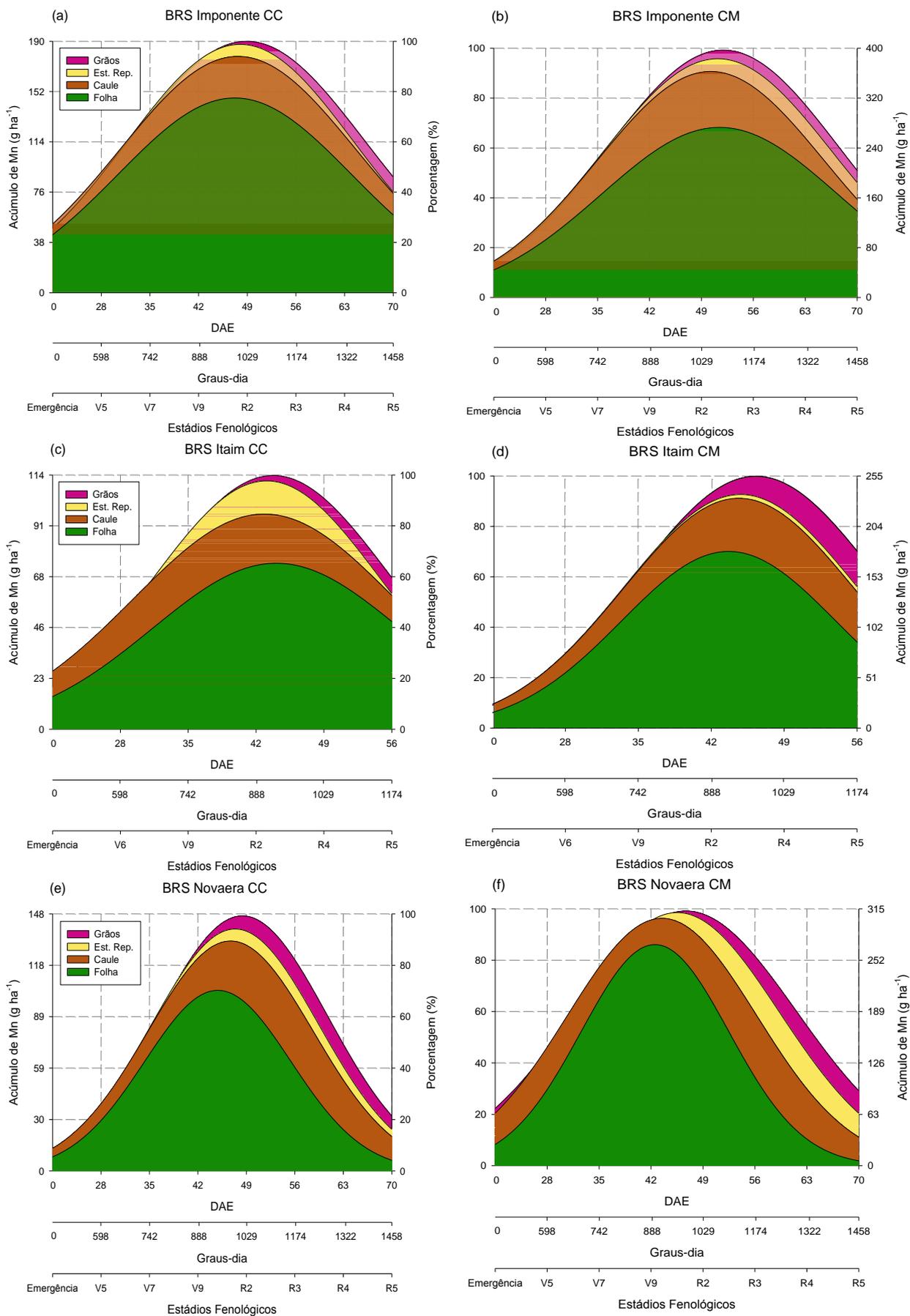
3.4 Manganês

O acúmulo de mangânes (Mn) foi lento na fase inicial do ciclo de desenvolvimento das plantas, com incremento nos totais acumulados pelas cultivares nos estádios reprodutivos. Observa-se que, logo após o início do enchimento de grãos (aos 42 dias após a emergência), ocorreu pico de absorção de Mn, evidenciando ser este um período de grande absorção deste micronutriente pela cultura do feijão-caupi (Figura 7).

Houve aumento dos totais acumulados até um ponto máximo que ocorreu próximo ao final do ciclo (entre 44 e 55 DAE), com valores médios de 181,9 e 406,7 g Mn ha⁻¹ (BRS Imponente), 115,1 e 262,5 g Mn ha⁻¹ (BRS Itaim), 145,5 e 327,2 g Mn ha⁻¹ (BRS Novaera) e 148,4 e 300,4 g Mn ha⁻¹ (BRS Tumucumaque), nos sistemas de cultivo convencional e mínimo, respectivamente (Tabela 9).

Durante o ciclo de cultivo, os valores de acúmulo de Mn apresentaram diferenças significativas na maioria dos tempos de coleta quando se comparam os sistemas de manejos, havendo superioridade no CM (Tabela 10).

O Mn é um dos micronutrientes essenciais mais importantes para o metabolismo e crescimento das plantas, especialmente para a fotossíntese. Este micronutriente ativa mais de 35 enzimas e afeta o crescimento radicular, sendo que as diferenças genotípicas em relação à captação de Mn podem frequentemente ser atribuídas a adaptações diferenciais e à baixa disponibilidade de Mn, como indicado pelo crescimento relativo de raízes e da parte aérea (CHATZISTATHIS, 2018).



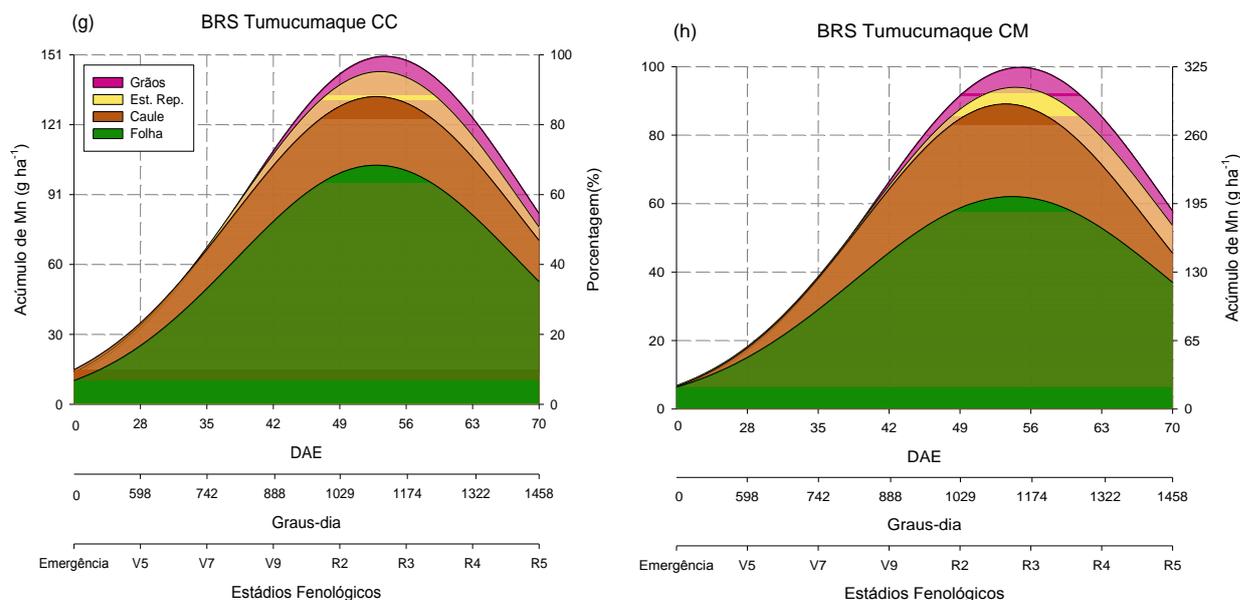


Figura 7. Acúmulo e partição de manganês em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional e cultivo mínimo ao longo do seu ciclo.

Tabela 9. Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo do manganês, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.

Manganês										
Manejo	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2
	a ⁽²⁾	b ⁽³⁾	x ₀ ⁽⁴⁾			a ⁽²⁾	b ⁽³⁾	x ₀ ⁽⁴⁾		
	g ha ⁻¹	-----DAE-----				g ha ⁻¹	-----DAE-----			
Folha										
BRS Imponente					BRS Itaim					
CC	140,4*	21*	45*	24	0,76	70,5*	18ns	46*	28	0,79
CM	278,1*	15*	52*	37	0,95	180,8*	10*	44*	31	0,97
BRS Novaera					BRS Tumucumaque					
CC	103,0*	11*	45*	34	0,99	101,7*	15*	53*	38	0,87
CM	268,4*	10*	43*	33	0,96	190,1*	16*	55*	39	0,99
Caule										
BRS Imponente					BRS Itaim					
CC	29,3*	20*	51*	31	0,88	25,7*	14ns	42*	28	0,83
CM	98,9*	11*	47*	36	0,86	58,9*	13*	49*	34	0,98
BRS Novaera					BRS Tumucumaque					
CC	34,7*	15*	54*	39	0,96	29,0*	18*	53*	35	0,97
CM	62,3*	19*	57*	38	0,92	75,3*	13*	53*	40	0,98
Estruturas Reprodutivas										
BRS Imponente					BRS Itaim					
CC	21,4*	4*	49*	45	0,99	19,0ns	5ns	42*	37	0,76
CM	34,6*	10*	62*	52	0,99	8,4*	7*	49*	44	0,98
BRS Novaera					BRS Tumucumaque					

CC	15,9*	4*	55*	51	0,95	11,5*	11*	56*	45	0,85
CM	40,3*	10*	61*	50	0,99	27,3*	11*	66*	55	0,98
Grãos										
BRS Imponente					BRS Itaim					
CC	11,0ns	9ns	63*	54	0,78	11,4*	7*	55*	48	0,99
CM	37,0*	5*	57*	52	0,88	35,2*	6*	53*	41	0,99
BRS Novaera					BRS Tumucumaque					
CC	19,8ns	5ns	56*	51	0,78	9,0ns	9ns	59*	50	0,74
CM	35,4ns	7ns	59*	52	0,93	24,7*	8*	59*	51	0,96
Total										
BRS Imponente					BRS Itaim					
CC	181,9*	20*	48*	28	0,86	115,1*	14ns	44*	30	0,85
CM	406,7*	15*	52*	37	0,95	262,5*	11*	46*	35	0,98
BRS Novaera					BRS Tumucumaque					
CC	145,5*	13*	48*	35	0,98	148,4*	15*	54*	39	0,92
CM	327,2*	14*	48*	32	0,92	300,4*	15*	56*	41	0,99

¹⁾ Valores representam a média das avaliações das cultivares;

²⁾ Valor máximo do acúmulo de manganês;

³⁾ Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo;

⁴⁾ Dias após a emergência (DAE) que forneceu os maiores valores;

* e ns: significativo e não significativo pelo teste t ($p < 0,05$), respectivamente.

Tabela 10. Acúmulo do manganês em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.

Manganês (g ha ⁻¹)								
Folha								
DAE	BRS Imponente		BRS Itaim		BRS Novaera		BRS Tumucumaque	
	CC	CM	CC	CM	CC	CM	CC	CM
28	80,7a	99,7a	36,1b	89,1a	26,1b	86,9a	34,1a	47,0a
35	140,1a	125,0a	68,3b	116,0a	75,1b	195,2a	59,9b	102,5a
42	168,1b	263,9a	71,2b	206,4a	95,1b	300,1a	70,9b	137,6a
49	111,6b	277,4a	58,4b	208,4a	97,9b	183,6a	84,3b	196,8a
56	106,1b	237,8a	66,0a	62,0a	57,8b	124,8a	125,3b	201,0a
63	113,0b	207,5a	-	-	27,4a	41,9a	72,5b	169,1a
70	73,7b	153,0a	-	-	5,0a	28,8a	50,7b	121,3a
CV ₁ %	49,05		50,40		23,27		43,30	
CV ₂ %	25,49		24,44		30,45		23,59	
Caule								
28	13,0b	30,2a	7,6b	27,2a	6,2a	19,5a	11,2a	11,9a
35	21,1b	37,1a	25,0a	40,7a	18,8a	32,5a	18,2a	25,1a
42	28,9b	120,5a	23,9b	59,3a	25,2b	58,1a	23,0a	50,6a
49	31,4b	91,0a	21,1b	75,8a	31,3b	53,3a	30,4b	110,1a
56	22,9b	50,9a	22,3a	33,2a	33,5a	49,8a	28,2b	67,7a
63	25,8b	47,8a	-	-	33,0b	58,5a	23,2b	56,0a
70	19,7a	35,3a	-	-	16,3b	51,1a	20,0a	36,7a
CV ₁ %	22,35		51,23		36,07		44,97	
CV ₂ %	27,02		38,01		38,30		53,64	

Estruturas Reprodutivas								
35	-	-	21,8a	0,5b	0,9a	1,7a	-	-
42	4,9b	10,4a	9,9a	5,0b	3,3a	5,9a	3,0a	5,4a
49	21,5a	12,5b	3,4a	2,3a	5,2b	22,9a	11,7a	7,7a
56	6,1b	34,1a	2,1b	7,1a	16,0b	34,4a	10,9b	16,4a
63	1,2b	30,6a	-	-	3,9b	44,9a	8,2b	28,7a
70	1,5b	22,1a	-	-	2,1b	28,0a	6,4b	20,2a
CV ₁ %	12,23		18,64		9,79		43,68	
CV ₂ %	9,11		25,11		24,33		35,95	
Grãos								
49	-	-	1,8b	35,8a	6,7a	7,6a	3,5b	9,6a
56	11,6b	37,1a	11,3b	33,5a	20,5a	26,0a	10,5b	27,1a
63	8,6b	15,8a	-	-	7,4b	27,1a	6,2b	17,0a
70	9,2b	15,3a	-	-	7,5b	21,1a	5,7b	12,8a
CV ₁ %	7,15		49,35		25,01		28,95	
CV ₂ %	16,70		26,82		31,68		27,77	
Total								
28	93,7a	129,8a	43,7b	116,2a	32,3b	106,4a	45,3a	58,8a
35	161,2a	162,1a	115,1a	157,1a	94,8b	229,4a	78,1b	127,6a
42	202,0b	394,7a	105,1b	270,7a	123,6b	364,1a	97,0b	193,6a
49	164,5b	380,9a	84,6b	322,1a	141,0b	267,4a	129,9b	324,3a
56	146,7b	359,9a	101,7a	135,7a	127,8b	235,0a	174,9b	312,3a
63	148,6b	301,7a	-	-	71,6b	172,3a	110,2b	270,7a
70	104,1b	225,7a	-	-	31,0b	128,9a	82,9b	190,9a
CV ₁ %	35,95		40,21		6,13		35,41	
CV ₂ %	19,63		21,70		24,33		19,39	

*Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de t (p < 0,05). CV₁ – coeficiente de variação da parcela. CV₂ – coeficiente de variação da subparcela.

3.5 Zinco

O acúmulo de zinco (Zn) aumentou gradualmente até próximo da época de enchimento dos grãos. A partir do estágio V5, a cultura iniciou um período de aumento no acúmulo desse micronutriente em suas estruturas. Na prática, esse seria o momento ideal para realizar a adubação, aumentando a eficiência. Observa-se que a cultura não possui demanda por esse nutriente nos primeiros dias do ciclo, estando o nutriente sujeito a perdas durante esse período de baixa absorção (Figura 8).

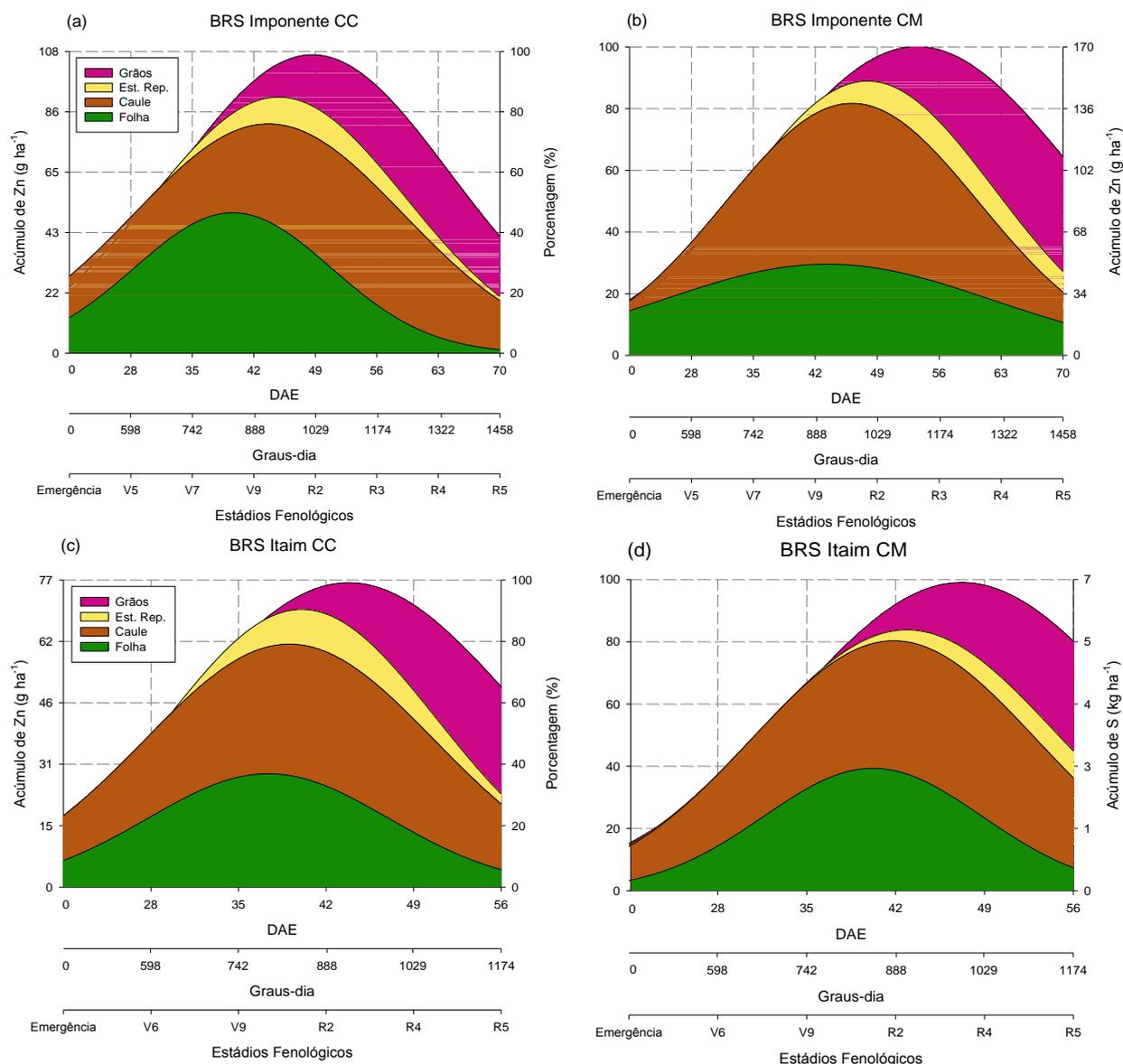
A absorção máxima do Zn ocorreu entre 47 e 56 DAE com valores de 85,7 e 226,8 g Zn ha⁻¹ para a BRS Imponente, 79,2 e 205,4 g Zn ha⁻¹ para a BRS Itaim, 86,7 e 193,9 g Zn ha⁻¹ para a BRS Novaera, e 99,2 e 200,5 g Zn ha⁻¹ para a BRS Tumucumaque, em cultivo convencional e mínimo, respectivamente (Tabela 11).

As cultivares BRS Imponente e BRS Novaera apresentaram diferenças significativas a partir do estágio V9 (42 DAE) no acúmulo de Zn, e as cultivares BRS

Itaim e BRS Tumucumaque aos 35 DAE nos estádios V9 e V7, respectivamente (Tabela 12), com superioridade no manejo CM.

Conforme Fernandes et al. (2013), o acúmulo máximo de Zn nas folhas de feijão comum ocorre entre os estádios R7 (formação de vagens) e R8 (enchimento de grãos). Os autores relatam que após esses estágios as quantidades de micronutrientes acumuladas nas folhas diminuíram devido à senescência e abscisão foliar.

Manzeke (2017) relata que há aumento maior de Zn no grão do feijão-caupi cultivado em solos sob fertilização com Zn, ilustrando a influência do tipo de solo na sua absorção, e que o uso de fertilizantes com esse nutriente melhorou significativamente a produtividade das culturas e a qualidade dos grãos do feijão-caupi, devendo ser mais explorada em programas de biofortificação agrônômica.



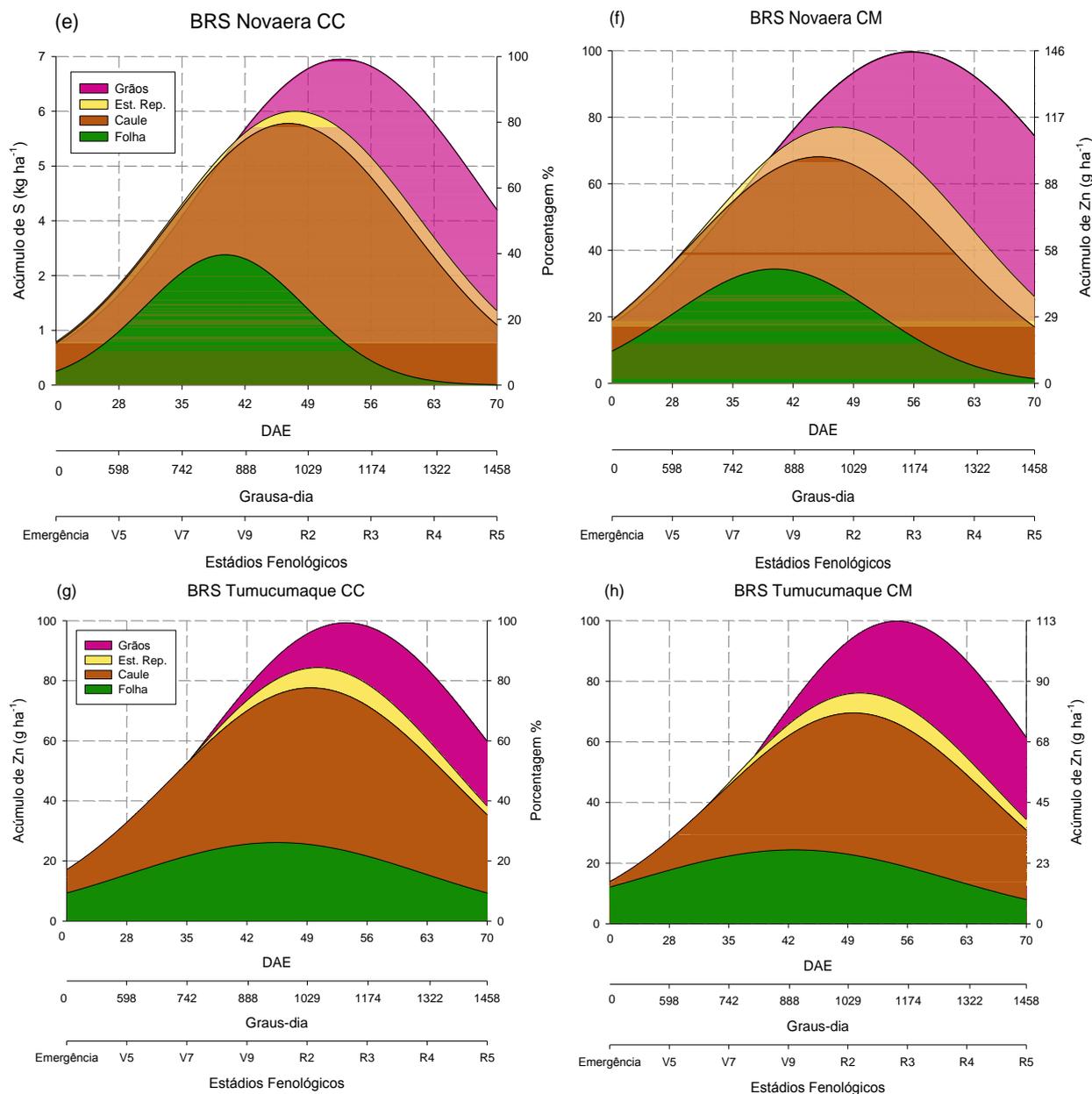


Figura 8. Acúmulo e partição de zinco em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional e cultivo mínimo ao longo do seu ciclo.

Tabela 11. Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo do zinco, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.

Zinco										
Manejo	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2	Parâmetros do Modelo ⁽¹⁾			PI	R^2
	$a^{(2)}$	$b^{(3)}$	$x_0^{(4)}$			$a^{(2)}$	$b^{(3)}$	$x_0^{(4)}$		
	$g\ ha^{-1}$	-----DAE-----			$g\ ha^{-1}$	-----DAE-----				
Folha										
BRS Imponente					BRS Itaim					
CC	45,4*	17*	37*	20	0,86	27,2*	13*	34*	21	0,99
CM	52,3*	15*	45*	24	0,88	39,7*	10*	39*	20	0,94

		BRS Novaera					BRS Tumucumaque				
CC	43,3*	10*	39*	20	0,95	23,7*	19*	45*	26	0,92	
CM	53,0*	10*	41*	31	0,94	33,9*	16*	44*	28	0,82	
Caule											
		BRS Imponente					BRS Itaim				
CC	36,6*	20*	47*	27	0,75	35,5*	12*	42*	30	0,91	
CM	96,1*	11*	47*	36	0,87	52,4	10*	48*	38*	0,98	
		BRS Novaera					BRS Tumucumaque				
CC	36,1*	15*	45*	30	0,87	54,3*	15*	51*	36	0,97	
CM	58,1*	15*	52*	37	0,96	73,6*	13*	51*	38	0,98	
Estruturas Reprodutivas											
		BRS Imponente					BRS Itaim				
CC	17,7*	4*	48*	44	0,94	29,5*	11*	29*	18	0,99	
CM	21,4*	9*	57*	48	0,96	13,2*	10*	50*	40	0,99	
		BRS Novaera					BRS Tumucumaque				
CC	13,3*	23*	28ns	5	0,95	7,3ns	14ns	51*	37	0,53	
CM	21,0*	10*	56*	46	0,99	21,6*	9*	57*	48	0,98	
Grãos											
		BRS Imponente					BRS Itaim				
CC	37,8ns	10ns	69ns	59	0,94	43,9*	5*	54*	49	1,00	
CM	62,1*	10*	62*	52	0,95	109,7*	10*	57*	47	1,00	
		BRS Novaera					BRS Tumucumaque				
CC	32,3*	12*	65ns	53	0,85	21,8ns	19ns	65ns	46	0,67	
CM	80,6*	8ns	63*	55	0,99	52,3*	10*	62*	52	0,99	
Total											
		BRS Imponente					BRS Itaim				
CC	85,7*	30ns	51*	21	0,56	79,2*	14ns	42*	28	0,76	
CM	182,7*	16*	53*	37	0,95	152,4*	16*	55*	39	0,98	
		BRS Novaera					BRS Tumucumaque				
CC	86,7*	13*	47*	34	0,74	99,2*	16*	53*	37	0,98	
CM	151,0*	17*	56*	39	0,95	152,8*	15*	55*	40	0,97	

1) Valores representam a média das avaliações das cultivares;

(2) Valor máximo do acúmulo de zinco;

(3) Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo;

(4) Dias após a emergência (DAE) que forneceu os maiores valores;

*e^{ns}: significativo e não significativo pelo teste t (p <0,05), respectivamente.

Tabela 12. Acúmulo do zinco em cultivares de feijão-caupi em sistemas de cultivo convencional (CC) e mínimo (CM) ao longo do seu ciclo. Teresina-PI, 2019.

Zinco (g ha ⁻¹)									
Folha									
DAE	BRS Imponente		BRS Itaim		BRS Novaera		BRS Tumucumaque		
	CC	CM	CC	CM	CC	CM	CC	CM	
28	32,1a	37,0a	23,8a	31,5a	16,2b	26,6a	14,8b	23,3a	
35	53,8a	42,5b	27,6b	40,2a	47,0a	48,8a	22,0b	36,8a	

42	48,5a	55,8a	23,1b	39,4a	36,7b	55,1a	24,7b	34,2a
49	24,3b	46,6a	13,7b	29,8a	27,4a	26,3a	20,2b	25,4a
56	21,0b	35,7a	7,5a	14,1a	11,6b	25,2a	22,6a	23,0a
63	18,9a	28,7a	-	-	7,4a	11,4a	13,8a	18,6a
70	13,2a	22,4a	-	-	1,8a	5,4a	10,9a	14,0a
CV ₁ %	26,07		60,04		37,00		37,52	
CV ₂ %	19,82		25,88		24,39		16,12	
Caule								
28	17,5a	21,8a	14,7a	12,3a	12,2a	11,6a	13,1a	22,5a
35	32,5a	32,4a	35,5b	52,4a	38,8a	41,6a	28,8a	34,8a
42	43,2b	112,2a	31,9b	62,2a	34,5b	52,2a	48,9a	51,5a
49	32,5b	91,0a	30,3b	50,1a	31,8b	63,5a	55,5a	74,7a
56	25,7b	45,2a	18,6a	27,9a	26,8a	36,3a	46,4b	72,5a
63	32,4b	46,8a	-	-	19,1b	45,5a	40,6a	43,9a
70	19,7a	31,0a	-	-	11,7b	28,2a	27,9a	25,3a
CV ₁ %	29,10		38,72		33,69		27,42	
CV ₂ %	22,21		24,27		22,22		35,91	
Estruturas Reprodutivas								
35	-	-	25,3a	3,0b	12,1a	2,9b	-	-
42	7,0a	6,7a	14,7a	8,3b	12,6a	10,3a	4,5a	4,7a
49	17,2b	10,6a	5,5b	16,3a	6,5b	12,6a	10,6	12,6
56	2,9b	24,6a	1,8b	7,0a	6,9b	24,2a	4,8b	23,3a
63	1,2b	14,6a	-	-	3,9b	18,9a	4,1b	15,5a
70	3,9b	9,8a	-	-	2,5b	7,2a	4,6b	9,9a
CV ₁ %	8,90		15,17		24,05		66,38	
CV ₂ %	10,01		13,76		30,32		40,12	
Grãos								
49	-	-	6,0b	71,0a	9,1a	14,7a	13,8a	22,9a
56	23,9b	63,2a	39,8b	91,4a	30,8a	59,6a	23,4b	49,6a
63	28,8b	49,2a	-	-	26,9b	77,6a	18,2b	46,7a
70	38,6b	55,0a	-	-	31,3a	57,1a	22,4b	39,8a
CV ₁ %	16,13		21,19		48,54		15,21	
CV ₂ %	22,82		28,90		52,62		28,30	
Total								
28	49,6a	58,7a	38,5a	43,8a	28,5a	38,2a	27,9a	45,8a
35	86,3a	74,9a	88,3a	95,6a	97,8a	93,3a	50,9a	71,6a
42	98,7b	174,7a	69,7b	109,7a	83,9b	117,6a	78,1a	90,5a
49	74,0b	148,1a	55,5b	167,1a	74,9b	117,1a	100,1b	135,5a
56	73,5b	168,5a	67,7b	140,3a	76,2b	145,3a	97,2b	168,4a
63	81,3b	139,4a	-	-	57,4b	153,4a	76,7b	124,6a
70	75,3b	118,3a	-	-	47,4b	97,9a	65,8a	89,0a
CV ₁ %	9,60		31,02		21,06		23,14	
CV ₂ %	11,23		19,39		20,57		22,51	

*Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de t (p < 0,05). CV₁ – coeficiente de variação da parcela. CV₂ – coeficiente de variação da subparcela.

4 Extração e exportação de micronutrientes

As cultivares com hábito de crescimento indeterminado (BRS Imponente, BRS Novaera, BRS Tumucumaque) apresentaram, em média, a seguinte ordem decrescente de exportação dos micronutrientes: Fe>Zn>Cu>Mn>B, com os valores de 80, 49, 28, 123 e 22 g por tonelada de grãos colhidos em cultivo convencional; já a BRS Itaim (hábito de crescimento determinado) apresentou a ordem decrescente: Zn>Fe>B>Mn>Cu, com valores de 76, 51, 28, 20 e 15 g ha⁻¹ por tonelada de grãos (Tabela 12).

Em cultivo mínimo, a ordem de exportação média de micronutrientes em uma tonelada de grãos pelas cultivares de hábito de crescimento indeterminado apresentaram a ordem decrescente Fe>Zn>Mn>B>Cu, com valores 63, 49, 24, 12 e 12 g g por tonelada de grãos. A BRS Itaim (hábito de crescimento determinado) apresentou ordem decrescente Fe>Zn>Mn>Cu>B, com valores de 94, 62, 20, 16 e 15 g por tonelada de grãos colhidos.

Apesar de Fe e Mn serem os micronutrientes extraídos em maiores quantidades pelas plantas de feijão-caupi (Tabela 12), as proporções alocadas nos grãos foram relativamente baixas, representando em média de 15% a 47% e de 6% a 14% do total extraído, respectivamente. Na literatura, Fonseca et al. (2010) afirmam que os micronutrientes mais extraídos pelo feijão-caupi são o Fe, o B e o Mn.

De maneira geral, os micronutrientes que apresentaram maior índice de colheita, ou seja, os mais exportados em uma tonelada de grãos em cultivo convencional, foram Zn (39%), Cu (31%) e Fe (23%). E em cultivo mínimo, o índice de Cu foi 49%, o de Zn foi de 32% e o de Fe foi de 22%.

Confrontando os resultados obtidos, constata-se que os indicadores de taxas de extração e exportação de micronutrientes pelo feijão-caupi são bastante variáveis conforme as cultivares avaliadas e as práticas de manejo aplicadas à cultura. Vale notar que cultivares BRS Imponente, BRS Itaim, BRS Novaera e BRS Tumucumaque atualmente utilizadas pelos agricultores no Brasil apresentam boa eficiência de conversão desses micronutrientes em biomassa e grãos, fazendo uso mais eficiente dos fertilizantes aplicados às lavouras de feijão-caupi.

As diferenças de extração e exportação de micronutrientes pelas cultivares estudadas, em relação aos indicadores tradicionais da literatura (Fonseca et al., 2010), reforçam a necessidade e conveniência da constante atualização desses

dados, preferencialmente particularizando-os para os diferentes sistemas de cultivo do feijão-caupi.

A confirmação dos requerimentos nutricionais de cultivares permite aferir os programas de adubação adotados pelos produtores, com o objetivo de subsidiar a adoção de práticas de manejo que mantenham condições adequadas de fertilidade do solo e o equilíbrio nutricional durante o ciclo da cultura. Essa abordagem deverá ganhar relevância à medida que se busquem melhores resultados nas lavouras, sobretudo, em sistemas intensivos de produção.

Tabela 13. Extração e exportação de micronutrientes em cultivares de feijão-caupi sob sistemas de cultivo convencional e mínimo.

Manejo	MS	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	t ha ⁻¹			g t ⁻¹ grãos		
BRS Imponente						
Extração ⁽¹⁾						
CC	2,6	91	35	299	218	105
CM	3,2	85	44	286	320	144
Exportação ⁽²⁾						
CC	1,0	15	21	71	13	45
CM	1,0	12	12	65	29	49
CC	IC	16%	61%	24%	6%	43%
CM	IC	14%	27%	23%	9%	34%
Resíduos da cultura ⁽³⁾						
CC	1,6	76	14	228	205	60
CM	2,2	73	32	221	290	95
BRS Itaim						
Extração ⁽¹⁾						
CC	2,3	115	41	332	199	137
CM	1,7	53	23	164	149	86
Exportação ⁽²⁾						
CC	1,0	28	15	51	20	76
CM	1,0	15	16	94	20	62
CC	IC	24%	35%	15%	10%	55%
CM	IC	28%	67%	58%	13%	72%
Resíduos da cultura ⁽³⁾						
CC	1,3	87	27	280	180	61
CM	0,7	38	8	70	128	24
BRS Novaera						
Extração ⁽¹⁾						
CC	3,1	123	65	350	249	148
CM	2,2	52	25	205	189	87
Exportação ⁽²⁾						
CC	1,0	18	51	92	32	55
CM	1,0	11	12	64	20	47
CC	IC	14%	79%	26%	13%	37%

CM	IC	20%	47%	31%	11%	535
Resíduos da cultura ⁽³⁾						
CC	2,1	105	13	258	217	93
CM	1,2	41	13	141	169	41
BRS Tumucumaque						
Extração ⁽¹⁾						
CC	4,6	156	71	453	329	205
CM	3,5	99	46	343	292	148
Exportação ⁽²⁾						
CC	1,0	15	12	78	20	48
CM	1,0	13	12	60	24	51
CC	IC	9%	18%	17%	6%	24%
CM	IC	13%	27%	17%	8%	34%
Resíduos da cultura ⁽³⁾						
CC	3,5	141	58	375	309	156
CM	2,5	86	33	284	268	98

5 CONCLUSÕES

A absorção de micronutrientes pelas cultivares seguiu o padrão de acúmulo de massa seca, sendo absorvido em maiores quantidades em cultivo mínimo, apresentando variação de acordo com o estágio fenológico.

As maiores taxas de acúmulo de micronutrientes ocorrem entre os estádios fenológicos R2-R4, com ordem decrescente de absorção média de Fe (243) > Mn (159) > Zn (91) > B (73) > Cu (33 g ha⁻¹) para uma produtividade média de 837,1 kg ha⁻¹ de grãos em cultivo convencional e, em cultivo mínimo, Mn (345) > Fe (335) > Zn (169) > B (100) > Cu (49 g ha⁻¹) para a produtividade média de 1.016,6 kg ha⁻¹ de grãos pelas cultivares de porte indeterminado (BRS Imponente, BRS Novaera e BRS Tumucumaque).

Para a cultivar de porte determinado BRS Itaim, o ponto de maior acúmulo se encontra entre os estádios R2-R5, verificando que a absorção dos micronutrientes persiste durante os estádios finais da fase reprodutiva, evidenciando demanda tardia pela cultivar, com ordem decrescente de absorção média de Fe (191) > Mn (115) > Zn (79) > B (66) > Cu (23 g ha⁻¹) para a produtividade de 683,4 kg ha⁻¹ em cultivo convencional e, em cultivo mínimo, Fe (289) > Mn (262) > Zn (99) > B (93) > Cu (41 g ha⁻¹) para a produtividade de 1.200,5 kg ha⁻¹.

Os micronutrientes apresentam-se na seguinte ordem decrescente de exportação: Cu (49%) > Fe (22%) > Zn (32%) > B (13%) > Mn (8%) em sistema de cultivo convencional; já em cultivo mínimo, Zn (39%) > Cu (31%) > Fe (23%) > B (15%) > Mn (9%).

Na BRS Itaim, ordem decrescente de extração: Zn (55%) > Cu (22%) > B (24%) > Fe (15%) > Mn (10%) em sistema de cultivo convencional; já em cultivo mínimo, Zn (72%) > Cu (67%) > Fe (58%) > B (28%) > Mn (13%).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE JÚNIOR, A. S. et al. Classificação climática e regionalização do semiárido do Estado do Piauí sob cenários pluviométricos distintos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 36, n. 2, p. 143-151, 2005.
- BARBOSA, F. R., GONZAGA, A. C. O. **Technical information for common bean cultivation in the Central Brazilian Region: 2012-2014**. Santo Antônio de Goiás, Brasil: Embrapa Arroz e Feijão. 2012, 247p.
- BENDER, R.R. et al. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern transgenic insect-protected maize hybrids. **Agronomy Journal**, Madison, 2013a. v. 105, p. 161-170.
- BENDER, R. R.; HAEGELE, J. W.; BELOW, F. E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern soybean varieties. **Agronomy Journal**, Madison, v. 107, n. 2, p. 563-573, 2015.
- BEZERRA, A.A.C.; NEVES, A.C.; ALCÂNTARA N. F., SILVA JÚNIOR, J.V. Morfofisiologia e produção de feijão-caupi, cultivar BRS Novaera, em função da densidade de plantas. **Revista Caatinga**, vol. 27, n. 4, p. 135-141, 2014.
- BRITO. M. DE M. P.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C. DA. Marcha de absorção do Nitrogênio do solo, do fertilizante e da fixação simbiótica em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L) WALF) e feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) determinada com o uso de 15N. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 3, p. 895 – 905, 2009.
- BRITO, M. M. P.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio do solo no desenvolvimento de feijão-caupi. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.1, p.206-215, 2011.
- CHATZISTATHIS, T., Physiological importance of manganese, cobalt and nickel and the improvement of their uptake and utilization by plants. In: **Plant Micronutrient Use Efficiency**, 2018, p. 123–135.
- CHEN, Q., UM X., CHEN F., YUAN L., MI G. Dynamic change of mineral nutrient content in different plant organs during the grain filling stage in maize grown under contrasting nitrog. **Revista Europeia de Agronomia**,v. 80, p 137-153, 2016.
- COVRE, A. M.; PARTELLI, F. L. BONOMO, R.; COCHICHO, J. Impacts of water availability on macronutrients in fruit and leaves of Conilon coffee. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 9, p. 1025-1037, 2018.

EMPRESA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, **BRS IMPONENTE: Cultivo precoce e mecanizado e grãos extragrandes são diferenciais da cultivar**. Disponível em <file:///C:/Users/Andre/Downloads/FeijaoCaupiBRSImpONENTE2016%20(1).pdf>. Acesso em set. 2019.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FERNANDES, A.M.; SORATTO, R.G.; SANTOS, L.A. Nutrient extraction and exportation by common bean cultivars under diferente fertilization levels: II – micronutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1043-1056, 2013.

FREIRE FILHO, F. R. et al. **BRS Novaera: Cultivar de feijão-caupi de Porte Semi-Ereto**. Comunicado Técnico 215. 2008. Disponível em:<<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/408906/brs-novaera-cultivar-de-feijao-caupi-de-porte-semi-ereto>>. Acesso em set. 2019.

FREIRE FILHO et al., **BRS Itaim: Cultivar de feijão-caupi com grãos tipo fradinho**. 2009. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/BRSItaim_000g1gd4thi02wx5ok00gmbp494j8jhx.pdf>. Acesso em: set. 2019.

FONSECA, M. R.; FERNANDES, A. R.; SILVA, G. R.; BRASIL, E. C. Teor e acúmulo de nutrientes por plantas de feijão-caupi em função do fósforo e da saturação por bases. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 53, n. 2, p. 195-205, 2010.

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

MANZEKE, M. G. et al. Zinc fertilization increases productivity and grain nutritional quality of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) under integrated soil fertility management. **Field Crops Research**, v. 213, p. 231–244, 2017.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. Austrália: Elsevier, 2012. 651 p.

MELO, F.B.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; PESSOA, B. L. O. **Levantamento, zoneamento e mapeamento pedológico detalhado da área experimental da Embrapa Meio-Norte em Teresina, PI**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2014. 47p.

MOURA J.Z. et al. Escala de desenvolvimento fenológico e exigência térmica associada a graus-dia do feijão-caupi. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 3, p. 66-71, 2012.

MIRANDA, M. N.; CAMPELO JÚNIOR, J. H. Soma térmica para o subperíodo semeadura-maturação de feijão cv. Carioca em Colorado do Oeste, Rondônia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 180-185, 2010.

OLIVEIRA, M. G. de C. et al. **Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres 1981. 440p.

RATKE, R.F. et al. Different limestone particle sizes for soil acidity correction, Ca and Mg supply and corn yield. **Comunicata Scientiae**. V. 9, p. 175–184, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2010. 719p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 575p.

THORNTHWAITE C. W., MATHER JR. **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology; 1955, 104p.

TIRITAN, C.S., L.T. BÜLL, C.A.C. CRUSCIOL, A.C.A.C. FILHO, D.M. FERNANDES, A.S. NASCENTE. 2016. Tillage system and lime application in a tropical region: Soil chemical fertility and corn yield in succession to degraded pastures. **Soil & Tillage Research**. v. 155. p. 437–447, 2016.

VILARINHO, A. A. et al. **Cultivar de Feijão-caupi BRS Tumucumaque: Nova Cultivar para Roraima**. 2008. Disponível em:<
[http://www.cpafr.embrapa.br/embrapa/attachments/283_cot192008_tumucumaque_aloisio .pdf](http://www.cpafr.embrapa.br/embrapa/attachments/283_cot192008_tumucumaque_aloisio.pdf)>. Acesso em: 15 set. 2019.