



ANE CAROLINE MELO FERREIRA

**ABSORÇÃO, PARTICIONAMENTO DE NUTRIENTES E
CRESCIMENTO DO MILHO POR ESTÁDIO FENOLÓGICO**

TERESINA

2021

ANE CAROLINE MELO FERREIRA

**ABSORÇÃO, PARTICIONAMENTO DE NUTRIENTES E CRESCIMENTO DO
MILHO POR ESTÁDIO FENOLÓGICO**

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

Orientador:

Dr. Henrique Antunes de Souza

Co-orientadores:

Dr. Edvaldo Sagrilo

Dr. Gabriel Barbosa da Silva Júnior

TERESINA – PI

2021

ficha FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências
Agrárias
Serviço de Processos Técnicos

F383a Ferreira, Ane Caroline Melo
Absorção, particionamento de nutrientes e crescimento do milho por estágio fenológico. / Ane Caroline Melo Ferreira. -- 2021.
52 f.: il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciência Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura Tropical, Teresina, 2021.

“Orientador: Dr. Henrique Antunes de Souza”

“ Co-orientadores: Dr.Edvaldo Sagrilo “

Dr. Gabriel Barbosa da Silva Júnior”

1. *Zea mays* 2. Extração 3.Exportação 4.Graus-dia 5.Nutrição do milho
I. Souza, Henrique Antunes de. II. Sagrilo, Edvaldo III. Silva Júnior, Gabriel
Barbosa da. IV. Título.

CDD 633.15

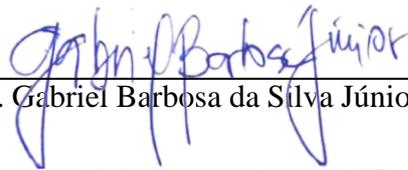
ANE CAROLINE MELO FERREIRA

**ABSORÇÃO, PARTICIONAMENTO DE NUTRIENTES E CRESCIMENTO DO
MILHO POR ESTÁDIO FENOLÓGICO.**

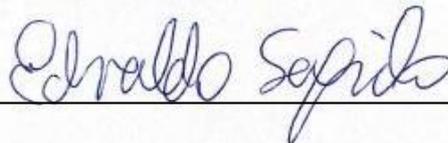
Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Agricultura Tropical, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

APROVADA em 23 de abril de 2021

Comissão Julgadora:



Prof. Dr. Gabriel Barbosa da Silva Júnior – CCA/UFPI



Prof. Dr. William Natale – UFC



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

TERESINA-PI

2021

DEDICATÓRIA

Dedico à minha avó Izonete da Silva e Melo (*In memórian*), generosa, amorosa e sábia mesmo sem estudo. Que aprendeu com a vida a lutar por tudo que desejava e ensinou isso aos seus filhos. Ela acreditou em mim, incentivou e confiou todos os dias da minha vida. Minha parceira, confidente, conselheira, amiga, mãe e avó. A ela devo toda minha formação com os seus ensinamentos e histórias de vida. Ela sempre me dizia: “Me diga com quem tu andas que eu direi quem tu és”; E sim, isso contribuiu para escolha da minha carreira profissional, junto com a admiração das pessoas que tenho ao meu redor. O meu amor é eterno e infinito.

Obrigada vó, por tudo!

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Piauí pela contribuição da minha formação acadêmica de graduação e Pós-Graduação;

À CAPES pelo financiamento da bolsa de mestrado;

Ao CNPq pelo financiamento do meu projeto de pesquisa;

À Fazenda Barbosa por toda atenção e disponibilidade para contribuir com a pesquisa cedendo: áreas experimentais, insumos agrícolas, ajuda com mão de obra e assistência no campo;

À Embrapa Meio-Norte por contribuir com minha vida acadêmica e pessoal, que além do ensino e experiência nos laboratórios, proporciona relações humanas que são de grande importância;

Aos meus mestres que foram fundamentais para a minha formação, do ensino fundamental I até o mestrado; Em especial, deixo meu profundo agradecimento a três professores da graduação e pós-graduação: Artenisa Cerqueira Rodrigues, Carlos José Gonçalves de Souza Lima e Gabriel Barbosa da Silva Júnior. Obrigada pelos ensinamentos, sermões, puxões de orelha, pela amizade e por serem, também, inspirações para mim;

Aos meus amigos de trajetória da graduação e pós-graduação que vencemos vários apanchos durante o curso com união, companheirismo e foco;

A equipe Antunes e agregados, grupo de pesquisa orientada pelo Dr. Henrique Antunes, por todo o apoio, amizade e companheirismo em especial Amanda Héllen, Geania Sousa, Lucélia Brito, Smaiello Flores, Rita de Kássia, Ingrid Setubal, Gabriela Sabrine, Rodrigo Dias, Alcilane, Suzane, Fátima, Jenefer e Marcos Clark;

À minha família que foi meu suporte. Em especial a minha mãe, Magna da Silva Melo, paciente e amiga, que confiou em mim mais que eu mesmo e sempre foi minha incentivadora, agradeço pela força que sempre me deu, obrigada por ser minha mãe, eu te amo! As minhas tias Irenilde e Agna que também são exemplos de determinação e foco para mim. Aos meus tios Moacir, Marcos e Magno por todo apoio e ao meu padrasto João de Colô por sempre me ajudar quando preciso. Aos meus irmãos Ana Marina e João Luca que são meus pupilos e quero oferecer todas as oportunidades que tive assim como minha avó me proporcionou. E também meus irmãos que não são de sangue, mas que me deram muito apoio quando eu precisei, Joyce e Jefferson, obrigada por todo carinho. Aos meus primos, em especial Savanna da Silva Lima, minha parceira, amiga que tem uma determinação sem tamanhos;

Aos meus amigos de infância e às amizades que construí durante a minha trajetória acadêmica, bem como, meus grandes incentivadores e parceiros: Brenda Nascimento, Marcos Ferreira, Walkel Correa, Tais Bandeira, Marianne Brito, Sâmia Matos, Romário Martins e Rennan Leite;

A todos os colaboradores da Embrapa Meio-Norte, sem exceções: motoristas, pessoal da limpeza, do RH, técnicos do laboratório, principalmente ao senhor Moreira, Afonso Abreu, Duarte e Diego que foram solícitos e atenciosos em todos os momentos em que eu estive na Embrapa;

Aos meus coorientadores, Edvaldo Sagrilo e Gabriel Barbosa, que são grandes pesquisadores e com muita atenção tem contribuído muito para minha formação;

Ao meu orientador, Henrique Antunes de Souza, que foi sem dúvidas, um dos maiores responsáveis por eu estar na pesquisa, atualmente. Acredito que todos deveriam ter a oportunidade de tê-lo como orientador um dia, nem que seja por pouco tempo, pois a contribuição pessoal e profissional é sem dimensão. O aprendizado é constante, desde o dia que o conhece, com toda sua cordialidade e educação, além de tanta paciência para repassar conhecimento da forma mais didática possível, sem preguiça. A sua dedicação na profissão é inspiradora e faz com que tenhamos mais vontade ainda em fazer tudo da forma mais correta para não decepcioná-lo. O meu profundo agradecimento será eterno por toda contribuição na minha trajetória. Muito obrigada! E por último, a Deus, um ser invisível por quem tenho tanta fé e que me trouxe até aqui com saúde, podendo escolher e abraçar as diversas oportunidades que a vida tem me dado.

Foi o tempo que dedicaste à tua rosa que a fez tão importante.

Antoine de Saint Exupéry

Resumo

Para a melhor compreensão da nutrição do milho são necessários estudos de marcha de absorção em cada órgão, em função dos estádios fenológicos da cultura e do acúmulo de graus-dia, visto que o milho é uma planta que sofre influência da temperatura na duração do seu ciclo, com possíveis alterações nos padrões de absorção de nutrientes. Assim, objetivou-se com este estudo avaliar a absorção e o particionamento de nutrientes, o crescimento e o desenvolvimento da cultura do milho por estágio fenológico e soma térmica, nas condições edafoclimáticas da cidade de Brejo, MA. O experimento foi conduzido em Argissolo Amarelo, sob delineamento de blocos ao acaso com sete tratamentos, correspondendo às épocas de coleta V5, V8, VT, R1, R3, R5 e R6, equivalentes ao somatório de graus-dia 348, 591, 840, 1.085, 1.334, 1.845 e 2.097, respectivamente, com quatro repetições. Em cada tempo fez-se as análises biométricas, particionamento da planta em folhas, colmo, órgãos reprodutivos (pendão, palha, sabugo) e grãos, para a determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn. Com os resultados de matéria seca e teores dos nutrientes, calculou-se o acúmulo de nutrientes em cada órgão nos diferentes estádios fenológicos. Observou-se lento acúmulo de matéria seca na planta de milho até o estágio de florescimento (VT), padrão observado, também, para os nutrientes P, Mg, S e Cu. Em contrapartida, N, K, Ca, B, Fe, Mn, e Zn apresentaram valores próximos ou superiores a 50% do máximo acumulado até VT. A ordem decrescente de acúmulo de macro e micronutrientes foi: $N > K > P > Mg > Ca > S$ e $Fe > Zn > Mn > Cu > B$, respectivamente. Os nutrientes com maiores índices de colheita, em ordem decrescente são: $P > N > Mg > S > Zn$ (0,84; 0,74; 0,72; 0,65 e 0,51 respectivamente). A produção de milho depende da disponibilidade de P, S, Mg, Cu ao longo do ciclo, pois a maior parte é absorvida e acumulada após o florescimento; para N, K, Ca, B, Zn, Fe e Mn mais de 50% é absorvido até o florescimento.

Palavras-chave: extração; exportação; graus-dia; nutrição do milho, *zea mays*

Abstract

To achieve a better overall understanding of maize nutrition, studies are fundamentally required of the rate of nutrient uptake in each part of the plant, as a function of the phenological stages of the crop and the accumulation of degree days, considering that maize is a plant that undergoes the influence of temperature over the duration of the cycle, with potential alterations in the patterns of nutrient uptake. Thus, the objective of this study was to evaluate the nutrient uptake and partitioning, growth and development of the maize crop by phenological stage and heat sum, under the edaphoclimatic conditions of the city of Brejo, MA. The experiment was conducted in yellow Argissolo, under randomized block design with seven treatments, corresponding to collecting periods V5, V8, VT, R1, R3, R5, and R6 equivalent to the total number of degree days 348, 591, 840, 1.085, 1.334, 1.845 and 2.097, respectively, with four repeats. At each time period, biometric analyses were performed, plant partitioning into leaves, stem, reproductive organs (stalk, straw, cob), and grains, to determine the N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn contents. With the results of dry matter and nutrient contents, the nutrient accumulation was calculated in each organ in the different phenological stages. A slow accumulation of dry matter was observed in the maize plant until the flowering stage (VT), a pattern observed, also, for the nutrients P, Mg, S, and Cu. In contrast, N, K, Ca, B, Fe, Mn, and Zn showed values close to or greater than 50% of the maximum accumulated until VT. The decreasing order of accumulation of macro and micronutrients is $N > K > P > Ca > S > Mg$ and $Fe > Zn > Mn > Cu > B$, respectively. The nutrients with the highest harvest index, in decreasing order, are $P > N > S > Zn$ (0.84; 0.74; 0.65 and 0.51, respectively). The maize yield depends on the supply of P, S, Mg, Cu over the cycle, as most of it is uptaken and accumulated after flowering; for N, K, Ca, B, Zn Fe and Mg more than 50% is taken up by flowering.

Key words: extraction; export; degrees per day; corn nutrition; *zea mays*

Lista de Figuras

Figura 1 Temperatura mínima, máxima e média do ar e precipitação pluviométrica na área experimental durante o período de condução do experimento.	21
Figura 2 Altura de plantas (a), diâmetro do colmo (b), número de folhas (c), área foliar (d) e índice de área foliar (IAF) (e) de plantas milho, em função do acúmulo de graus-dia ao longo ciclo produtivo. Brejo, MA, 2019.	29
Figura 3 Acúmulo e particionamento de matéria seca na cultura do milho em função da soma térmica e estágio fenológico. Brejo, MA, 2019.	32
Figura 4 Acúmulo e particionamento de macronutrientes, em kg ha^{-1} , na cultura do milho durante o seu ciclo. Brejo, MA, 2019.	37
Figura 5 Acúmulo e particionamento de micronutrientes na cultura do milho, em g ha^{-1} , durante o ciclo. Brejo, MA, 2019.	42

Lista de Tabelas

Tabela 1 Estádios fenológicos da planta de milho, conforme Ritchie et al. (2003) ...	15
Tabela 2 Estádios fenológicos da planta de milho, conforme Fancelli (1986), adaptado de Nell e Smit (1978).....	15
Tabela 3 Características químicas e físicas do solo da área experimental, obtidas nas profundidades de 0-20 e de 20-40 cm. Brejo, MA, 2019	22
Tabela 4 Acúmulo de graus-dia durante o ciclo do milho. Brejo, MA, 2019.....	27
Tabela 5 Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para altura de plantas, diâmetro de colmo, número de folhas, área foliar e índice de área foliar (IAF), ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no milho ao longo do seu ciclo. Brejo, MA, 2019.....	28
Tabela 6 Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para massa seca da folha, colmo, estruturas reprodutivas, grãos e massa seca total, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no milho, ao longo seu ciclo. Brejo, MA, 2019.....	32
Tabela 7 Taxa de crescimento relativo (TCR) da folha, colmo, órgãos reprodutivos (pendão, palha e sabugo), grãos e planta inteira de milho, em função do acúmulo de graus-dia ao longo do ciclo produtivo. Brejo, MA, 2019	33
Tabela 8 Estimativas dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de macronutrientes nos particionamentos folha, colmo, estruturas reprodutivas, grãos e na planta toda, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no milho ao longo seu ciclo. Brejo, MA, 2019	35
Tabela 9 Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo de micronutrientes nos particionamentos folha, colmo, estruturas reprodutivas, grãos e na planta toda, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no milho ao longo seu ciclo. Brejo, MA, 2019	40
Tabela 10 Acúmulo de nutrientes associado à produção de $9,35 \text{ Mg ha}^{-1}$ na cultura do milho. Brejo, MA, 2019	44
Tabela 11 Produtividade de grãos e de matéria seca e acúmulo de macronutrientes na parte aérea de cultivares de milho	45
Tabela 12 Produtividade de grãos e de matéria seca e acúmulo de micronutrientes na parte aérea de cultivares de milho	46

Sumário

Resumo.....	7
Abstract.....	8
Lista de Figuras.....	9
Lista de Tabelas.....	10
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. Referencial teórico.....	14
2.1. Desenvolvimento da cultura do milho.....	14
2.2. Acúmulo e exportação de nutrientes pela cultura do milho.....	18
3. METODOLOGIA.....	21
3.1. Caracterização da área experimental.....	21
3.2. Implantação e condução do experimento.....	22
3.3. Delineamento experimental, tratamentos e características avaliadas.....	23
3.4. Análise estatística.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1. Acúmulo de graus-dia.....	27
4.2. Variáveis biométricas.....	28
4.3. Acúmulo de matéria seca.....	30
4.4. Taxa de crescimento relativo.....	33
4.5. Acúmulo de nutrientes.....	34
5. CONCLUSÃO.....	48
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

1. INTRODUÇÃO

O milho é uma planta C₄, que não satura com a luz, ou seja, quanto maior a incidência de luz solar, maior a produção de fotoassimilados, em condições normais. Além de ser uma planta altamente influenciada pela temperatura, que pode acelerar ou retardar a duração do seu ciclo, essas alterações podem gerar algum tipo de estresse, interferindo diretamente no rendimento.

Diante disso, vários estudos de crescimento, absorção e particionamento de nutrientes na cultura têm sido realizados nas diferentes regiões produtoras do mundo, com o intuito de mitigar as perdas causadas pelas mudanças climáticas, além de avaliar a adaptabilidade de cada híbrido introduzido no mercado, através do melhoramento genético, aliado aos diversos manejos de solo, adubação e sistemas de plantio.

Diversos híbridos de milho disponíveis atualmente no mercado possuem exigências diferenciadas, por exemplo, na absorção de nutrientes pela cultura e na eficiência de uso da luz solar para a produção de fotoassimilados, podendo alterar a produção de matéria seca e o acúmulo e a exportação de nutrientes de cada genótipo. Entretanto, híbridos com características semelhantes, em condições adequadas, podem ter desempenhos semelhantes, mesmo quando cultivadas em ambientes diferentes (BENDER et al., 2013).

Alguns trabalhos realizados avaliando o crescimento, o acúmulo de matéria seca e a absorção de nutrientes pelo milho têm obtido resultados satisfatórios nas diferentes regiões do planeta, o que pode ajudar na tomada de decisão do produtor principalmente no que diz respeito ao manejo adequado da cultura. Além disso, nesses trabalhos tem-se observado que os novos híbridos lançados no mercado possuem maior eficiência de uso dos nutrientes, ou seja, é necessário menor quantidade de adubo para produzir uma tonelada de grãos (SILVA et al., 2018).

Avaliando híbridos transgênicos de milho, Gutiérrez et al. (2018) observaram que sob dois níveis de fertilidade, médio e alto, houve incremento de 10,8% na produção de matéria seca no alto nível de fertilização. Todavia, não observaram diferenças significativas no rendimento de produção entre os níveis de adubação. Esse resultado sugere melhor aproveitamento dos carboidratos produzidos pela planta para a conversão em grãos.

Estudar a marcha de absorção de nutrientes e o acúmulo de matéria seca em função dos estádios fenológicos do milho é fundamental para o planejamento das

quantidades de adubo e das épocas de aplicação na cultura, além das quantidades mínimas que devem ser devolvidas ao solo para a manutenção da fertilidade. Isso contribui para o aumento da eficiência do manejo na cultura e por consequência, ganhos em produtividade, além de redução nos custos da lavoura através do uso racional dos insumos e do solo.

Dentre os principais trabalhos conduzidos no Brasil sobre marcha de absorção, a maior parte tem origem nas regiões Sul e Sudeste do País, utilizando cultivares adaptadas àquelas regiões. Logo, os padrões de absorção de nutrientes, épocas corretas de aplicação e quantidades adequadas podem variar em virtude da diferença climática existente no País.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar absorção e o particionamento de nutrientes, crescimento e desenvolvimento da cultura do milho por estágio fenológico e soma térmica nas condições edafoclimáticas do município de Brejo, MA.

2. Referencial teórico

2.1. Desenvolvimento da cultura do milho

Conhecer o estágio de desenvolvimento da cultura do milho é de suma importância para que o planejamento do manejo seja realizado de forma e momento adequados, não se baseando apenas em dias após a emergência (DAE) ou em dias após o plantio (DAP), pois o ciclo pode variar conforme as condições edafoclimáticas, genóticas, entre outros. Para isso, o produtor precisa entender como ocorre o crescimento e o desenvolvimento da planta, a fim de que as práticas de produção se tornem mais eficientes obtendo, assim, melhores produtividades e, conseqüentemente, maiores lucros (RITCHIE et al., 2003).

A duração do ciclo do milho pode variar durante o seu desenvolvimento, por causa da duração de subperíodos e ciclos da planta estarem associados às variações das condições ambientais e não ligadas ao número de dias, ou seja, quanto ao padrão de crescimento, todas as plantas de milho são semelhantes, mas os intervalos de tempos específicos entre os estádios fenológicos podem variar (RITCHIE et al., 2003).

A diversidade na duração desses intervalos relaciona-se com a variabilidade genotípica existente, havendo híbridos de milho que podem florescer mais cedo ou mais tarde, como também, desenvolver mais ou menos folhas (RITCHIE et al., 2003). Neste caso, as práticas culturais, com o objetivo de potencializar o rendimento de grãos, deverá ser baseada nos estádios fenológicos da cultura (FANCELLI, 2015).

Dentre os sistemas de nomenclatura que dividem o ciclo da planta de milho em estádios fenológicos os mais usualmente adotados são o proposto por Ritchie et al. (2003) e, também, o proposto por Fancelli (1986), adaptado de Nell e Smit (1978) (Tabelas 1 e 2). No sistema de nomenclatura definido por Ritchie et al. (2003) primeiramente é feita a divisão entre dois estádios, vegetativo e reprodutivo, sendo que as subdivisões desses dois estádios são representadas pelas suas letras iniciais, "V" e "R", respectivamente.

O estágio vegetativo tem início quando ocorre a emergência da planta. Posteriormente, é considerado o número de folhas completamente expandidas, culminando com o pendoamento, representado por VT. Ressalta-se que o estágio anterior ao pendoamento recebe a denominação Vn, sendo "n" o número total de folhas expandidas (RITCHIE et al., 2003).

Tabela 1 Estádios fenológicos da planta de milho, conforme Ritchie et al. (2003)

Estádios	Descrição dos estádios fenológicos
ESTÁDIOS VEGETATIVOS (V)	
VE	Emergência
V1	Primeira folha totalmente expandida
V2	Segunda folha totalmente expandida
V3	Terceira folha totalmente expandida
V6	Sexta folha totalmente expandida
V9	Nona folha totalmente expandida
V12	Décima segunda folha totalmente expandida
V15	Décima quinta folha totalmente expandida
V18 ou V (n)	Décima oitava ou enésima folha totalmente expandida
VT	Pendoamento
ESTÁDIOS REPRODUTIVOS (R)	
R1	Florescimento
R2	Grão leitoso
R3	Grão pastoso
R4	Grão farináceo
R5	Grão farináceo-duro
R6	Maturidade fisiológica

Tabela 2 Estádios fenológicos da planta de milho, conforme Fancelli (1986), adaptado de Nell e Smit (1978)

Estádios	Descrição dos estádios fenológicos
0	Emergência
1	50% das plantas apresentando 4 folhas totalmente desdobradas
2	50% das plantas apresentando 8 folhas totalmente desdobradas
3	50% das plantas apresentando 12 folhas totalmente desdobradas
4	50% das plantas apresentando emissão do pendão
5	50% das plantas apresentando emissão de pólen
6	50% das plantas apresentando grãos leitosos
7	50% das plantas apresentando grãos pastosos
8	50% das plantas iniciando a formação de "dentes"
9	50% das plantas apresentando grãos "duros"
10	50% das plantas apresentando "camada negra".

O ciclo de diversos híbridos de milho varia entre 110 e 180 dias, nas condições em que a cultura é explorada no Brasil, período compreendido entre a semeadura e a colheita e, para uma mesma cultivar, a duração das fases fenológicas pode variar entre regiões, anos e datas de semeadura, em razão das frequentes variações nas condições ambientais (RITCHIE et al., 2003).

A temperatura do ar é o elemento meteorológico que melhor explica a duração dos períodos de desenvolvimento do milho, havendo relação direta entre a duração desses períodos e o desenvolvimento da planta. Solos com temperatura inferior a 10 °C e superior a 42 °C prejudicam a germinação; no entanto, aquelas situadas entre 25 e 30 °C proporcionam melhores condições aos processos que favorecem a germinação das sementes e a emergência das plântulas. No período de florescimento e maturação, caso ocorram temperaturas médias diárias superiores a 26 °C, pode haver aceleração dessas fases e em temperaturas inferiores a 15,5°C podem ser retardadas (FANCELLI, 2015).

Por ser uma planta C4, o milho não satura com a luz, sendo altamente eficiente no aproveitamento da energia. O rendimento da cultura depende muito da sua capacidade de aproveitamento da energia solar. Contudo, a eficiência desse aproveitamento para a conversão em matéria seca depende de muitos fatores fisiológicos da planta, além de fatores bióticos e abióticos. Dentre os fatores que mais exercem influência sobre a produção de matéria seca estão: área foliar, teor de clorofila, arquitetura da folha, trocas gasosas, intensidade e qualidade da luz incidente, arranjo espacial, fertilidade do solo e disponibilidade de água (FANCELLI, 2015).

Existem diversos relatos na literatura sobre o acúmulo de matéria seca, crescimento e desenvolvimento da planta de milho. Um dos primeiros trabalhos foi realizado na década de 40 por Sayre (1948), nos Estados Unidos da América, avaliando cultivares adaptadas a ambientes temperados. Outros trabalhos expressivos foram realizados por Andrade et al. (1975), utilizando cinco cultivares, Furlani et al. (1977) e Vasconcelos et al. (1983), ambos avaliando duas cultivares. Esses autores relatam que a curva de crescimento do milho é praticamente linear dos 40 aos 80 dias, com o máximo de acúmulo ocorrendo entre 100 e 110 dias após a germinação e a partir desse ponto, há redução do peso total da planta, principalmente por causa da queda de folhas.

A curva de crescimento e o acúmulo de matéria seca do milho relatadas nas pesquisas antigas, quando comparadas aos trabalhos atuais, não são alteradas de forma significativa, apesar do intenso melhoramento vegetal. Seguem de forma contínua até o estágio de maturação dos grãos, com crescimento inicial lento e um período de acumulação mais intenso próximo ao florescimento. Em seguida, ocorre a translocação dos compostos acumulados na parte vegetativa para os grãos em

formação, sendo a maior parte da matéria seca acumulada neste período; após isso, o crescimento torna-se novamente lento (BENDER et al., 2013; MARTINS et al., 2017; SILVA et al., 2018).

É importante destacar que apesar da curva não ter mudanças significativas, os tempos de cada evento podem se diferenciar nos diversos trabalhos, considerando que foram realizados em diversas localidades, com diferentes cultivares e manejos. Oliveira et al. (2013), avaliando o crescimento de um híbrido de milho em sistema de plantio direto, verificaram acúmulo linear de matéria seca dos 40 aos 80 DAE, com máximo acúmulo ocorrendo entre 100 e 110 DAE, quando se inicia o decréscimo da massa total da planta. Martins et al. (2017), trabalhando com híbridos simples de milho, apuraram que houve pequeno acúmulo de matéria seca até os 30 dias após o plantio (DAP), e acúmulo linear até os 140 DAE.

Quanto ao acúmulo de matéria seca em órgãos da planta de milho, Oliveira et al. (2013) verificaram maior acúmulo de matéria seca em folhas na fase de florescimento, em virtude da priorização das folhas para a produção de fotoassimilados; o maior acúmulo no colmo ocorreu mais tardiamente, 60-70 DAE, pois há necessidade de sustentação de frutos. As espigas apresentaram valores crescentes de matéria seca a partir de seu surgimento, 40 DAE, tornando-se linear no período de 60 a 70 DAE, provavelmente devido à translocação de fotoassimilados das folhas e do colmo para as mesmas. Resultados semelhantes foram obtidos em trabalhos de outros autores, como Von Pinho et al. (2009), Bender et al. (2013) e Martins et al. (2017).

No geral, o acúmulo de matéria seca total na planta de milho pode variar de acordo com: ambiente, manejo adotado e cultivares escolhidas. Bender et al. (2013) observaram em seu trabalho, conduzido no estado de Illinois, localizado nos Estados Unidos, que a biomassa acumulada não variou entre as localidades estudadas, mas sim, entre os híbridos escolhidos, cuja maior produção foi de 24,7 Mg ha⁻¹ e a menor foi de 21,6 Mg ha⁻¹, evidenciando que os diferentes materiais genéticos escolhidos podem ter potenciais de produção distintos. Esse valor de matéria seca foi semelhante ao encontrado por Martins et al. (2017), que avaliaram apenas um híbrido de milho, na cidade de Piracicaba-SP, acima dos valores encontrados por Duarte et al. (2003), em estudos com milho convencional (18, 650 Mg ha⁻¹) em Palmital-SP e abaixo dos valores encontrados por Silva et al. (2018), avaliando milho transgênico

em dois níveis de fertilização (24,159 e 27,095 Mg ha⁻¹, média e alta fertilização, respectivamente) em Sete Lagoas-MG.

2.2. Acúmulo e exportação de nutrientes pela cultura do milho

Do ponto de vista nutricional, a planta do milho é considerada exigente e responde significativamente aos aumentos nos níveis de adubação, com ganhos crescentes em rendimento, até atingir o seu potencial produtivo. Além de condições favoráveis, como boas condições de clima, solo e melhor época de plantio, o milho exige planejamento adequado por parte do produtor, baseado nas recomendações técnicas obtidas através de pesquisas, as quais auxiliam na escolha da cultivar, melhor manejo cultural e adequada adubação (CECCON, 2013).

A nutrição mineral adequada na cultura do milho é uma das formas de aumentar a produtividade, principalmente por afetar a área foliar nos primeiros estádios de crescimento, bem como o tempo em que as folhas permanecem vivas e fotossinteticamente ativas durante a formação dos grãos. Em função disso, o planejamento da adubação deve estar de acordo com as análises químicas de solo e foliar, com a observação dos estádios fenológicos da planta e do rendimento da cultura (FANCELLI, 2015).

Em casos de produção de milho com a intenção de produzir silagem, o manejo da adubação se altera, devido à exportação de nutrientes se tornar ainda maior, pois, além do grão, a parte aérea da planta também é removida do campo antes que atinja a maturidade fisiológica. Cultivos de milho para a exploração unicamente de grãos apresentam menor exportação de nutrientes, já que é possível repor parte dos elementos extraídos pela incorporação dos restos culturais ao solo (COELHO, 2006).

A produtividade do milho é diretamente proporcional à quantidade de nutrientes absorvidos e acumulados nos diferentes órgãos da planta, em condições normais de clima. Nesse caso, é necessário que a planta tenha disponibilidade de nutrientes adequados para que atinja o seu potencial produtivo e que os mesmos sejam repostos no solo para que não haja desbalanço nutricional e queda nos rendimentos nas safras seguintes (BENDER et al., 2015).

Definidas as doses de nutrientes é necessário que se conheça, também, a absorção e o acúmulo nas diferentes fases de desenvolvimento da planta, identificando qual elemento é mais exigido e qual época (BENDER et al., 2013). Com essas informações é possível melhorar a programação da adubação, o fornecimento

dos nutrientes em quantidades e momentos adequados, reduzindo as perdas por lixiviação, verificando se há necessidade de parcelamento, ou não, nos diferentes tipos de solo, com o intuito de aumentar a eficiência de utilização dos insumos e a produtividade das lavouras (DUARTE et al., 2019).

Nas décadas de 1970 e 1980, desenvolveram-se diversos trabalhos que quantificaram as exigências nutricionais do milho no Brasil (ANDRADE et al., 1975; FURLANI et al., 1977; VASCONCELOS et al., 1983). Com o avanço constante da pesquisa, as mudanças no manejo cultural e a melhoria da tecnologia empregada no campo, as quantidades de nutrientes exigidas tendem a aumentar. Principalmente devido aos maiores patamares de produção de biomassa e de produtividade de grãos, conforme evidenciam os trabalhos mais recentes (VON PINHO et al., 2009; BENDER et al., 2013; SILVA et al., 2018 e DUARTE et al., 2019).

Apesar do aumento nas exigências nutricionais dos híbridos modernos, é possível observar que a eficiência de uso dos nutrientes pelas plantas é também maior. Quando se observa as quantidades de nutrientes necessários para produzir uma tonelada de grãos, no trabalho realizado por Andrade et al. (1975), verifica-se que foram necessários 30, 5 e 37 kg de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente.

Sob outra perspectiva, nas pesquisas de Bender et al. (2013) no estado de Illinois nos Estados Unidos, em média foram necessários 23, 4 e 14 kg de nitrogênio, fósforo e potássio respectivamente; e no trabalho de Silva et al. (2018) em Sete Lagoas, MG, em média a exigência foi de 28, 3, 15 kg de nitrogênio, fósforo e potássio respectivamente, as produtividades desses trabalhos foram semelhantes 12 Mg ha⁻¹ e 11 Mg ha⁻¹, respectivamente.

Os nutrientes são absorvidos durante todo o ciclo e as diferenças estão na velocidade de absorção destes em função do ciclo e na sua translocação das folhas e dos colmos para as partes reprodutivas. O conhecimento dessa relação fonte-dreno, também é de fundamental importância para o estabelecimento dos programas de adubação (BENDER et al., 2015).

Os estudos de marcha de absorção nos diferentes e particionamentos nos diferentes órgãos da planta têm contribuído para melhorar o conhecimento da relação fonte-dreno. Um trabalho de grande expressividade foi conduzido por Bender et al. (2013), em que se avaliou a absorção e o particionamento de nutrientes em plantas de seis híbridos de milho em diferentes localidades. Na ocasião, os autores não

observaram diferenças entre as localidades, mas sim, entre os híbridos, o que reforça a importância do melhoramento genético.

Esses autores observaram, que mais da metade do nitrogênio, potássio, magnésio, manganês, boro e ferro foram absorvidos antes do florescimento, reforçando a importância do manejo da adubação para que não ocorra déficit de nutrientes. No mesmo trabalho é mencionada a exportação de nutrientes pelos grãos que, em média, foi de 166, 90, 66, 17, 15 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O, Mg e S, respectivamente, e 308, 72, 19, 248, 41 g ha⁻¹ dos micronutrientes Zn, Mn, B, Fe e Cu, respectivamente, para a produtividade de 12 Mg ha⁻¹ de grãos.

No trabalho de Silva et al. (2018), avaliando absorção e exportação de nutrientes em híbridos de milho com 2 níveis de fertilização, médio e alto, não foi observado aumento na produtividade de grãos no tratamento com alto nível de fertilização, em relação ao tratamento com médio nível de fertilização, contudo, aumento na biomassa das plantas e maior absorção de nutrientes do solo, evidenciando consumo de luxo, situação que comprova a baixa eficiência de uso dos nutrientes, principalmente quando se analisa a questão econômica.

Ainda assim no trabalho de Silva et al. (2018), que corrobora os resultados obtidos por Bender et al. (2013), mais da metade da absorção dos nutrientes N, P, Mg ocorrem até o florescimento, além de Ca e S. No caso do K, cujo máximo acúmulo ocorre até o florescimento, ocorre decréscimo nas quantidades acumuladas a partir dessa fase, devido à maior senescência das folhas e lavagem do nutriente pela chuva. Entretanto, o K é o segundo nutrientes mais requerido pela planta de milho, sendo pouco exportado pelos grãos (20%), assim como o Ca (0,7%) (DUARTE et al., 2003, SILVA et al., 2018).

A exportação de nutrientes pelos grãos tem grande importância para o planejamento das adubações das safras seguintes. Duarte et al. (2019) analisaram os teores de macro e micronutrientes contidos nos grãos de milho de diferentes regiões, com o objetivo de atualizar os valores de referência da remoção de nutrientes que servem como base para as recomendações de adubações, determinando se haveria correlação entre o conteúdo de nutrientes e a produtividade e a densidade de grãos. Os autores constataram que os conteúdos de N e S nos grãos diminuíram com o aumento do rendimento e do peso de sementes, e reforçaram que os valores de referência atualmente usados estão superestimando a remoção dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S e Zn e, subestimam Cu e B.

3. METODOLOGIA

3.1. Caracterização da área experimental

A área em que o estudo foi realizado situa-se na Fazenda Barbosa, localizada na cidade de Brejo, Maranhão, Brasil (03°42'44" S; 42°55'44" W), altitude 104 m (INMET, 2020). Segundo a classificação climática de Köppen-Gerger, o clima da região é do tipo Aw, tropical com duas estações do ano bem definidas: a estação chuvosa (dezembro - junho) e a estação seca (julho - novembro). A precipitação pluvial média anual é de 1.835 mm e a temperatura média anual acima de 27 °C (SILVA et al., 2020). O solo é classificado como Argissolo Amarelo distrófico típico, textura franco-arenosa, com a presença de horizonte coeso, sendo o bioma da região do tipo Cerrado (RESENDE et al., 2014). Os dados de temperatura do ar foram mensurados utilizando a estação meteorológica de Chapadinha, MA (INMET, 2020), enquanto os dados de precipitação pluviométrica foram coletados com pluviômetro de campo instalado na Fazenda Barbosa, no ano de 2019.

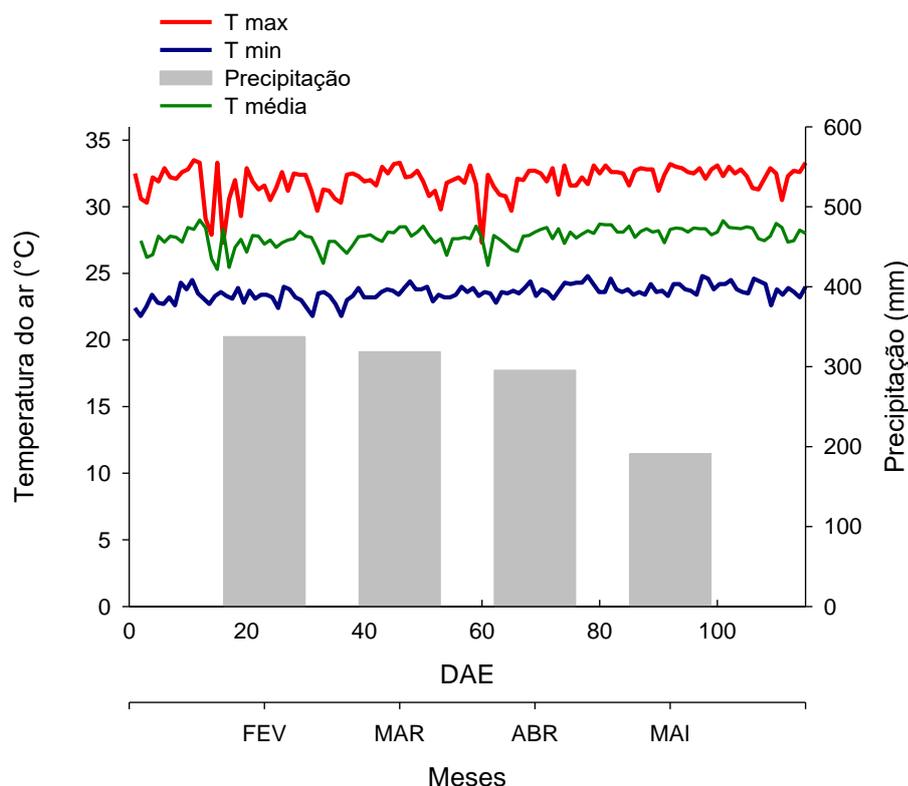


Figura 1 Temperatura mínima, máxima e média do ar e precipitação pluviométrica na área experimental durante o período de condução do experimento.

O experimento foi conduzido no sistema de plantio convencional em sequeiro, com cultivo do milho após quatro anos seguidos do plantio de soja com sucessão a

milheto. Antecipadamente, amostras foram retiradas nas camadas de 0-20 e de 20-40 cm para fins de caracterização da fertilidade do solo e de atributos físicos, realizada de acordo com Teixeira et al. (2017) (Tabela 3).

Tabela 3 Características químicas e físicas do solo da área experimental, obtidas nas profundidades de 0-20 e de 20-40 cm. Brejo, MA, 2019

Camadas	pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
cm		dag kg ⁻¹	mg dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----						%
0-20	6,6	2,1	38,8	0,24	3,72	0,74	1,64	4,70	6,34	74
20-40	6,0	2,3	21,3	0,03	2,64	0,50	2,41	3,17	5,58	56

Camadas	Areia	Silte	Argila	Classe textural
cm	-----%			
0-20	72	11	17	Franco arenoso
20-40	69	10	21	Franco argilo arenoso

pH em água; 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; Areia, silte, argila – método da pipeta.

3.2. Implantação e condução do experimento

Realizou-se dessecação das plantas espontâneas com glifosato (2.474 g ha⁻¹) e 2-4-D (1.013 g ha⁻¹), 15 dias antes do plantio do milho. No preparo do solo realizou-se subsolagem na profundidade de 20 cm.

Utilizou-se o híbrido simples de milho 30F35, transgênico, com tecnologia YHR que confere resistência a insetos (da ordem Lepdóptera) e tolerante aos herbicidas glufosinato de amônio a glifosato. A adubação de plantio foi realizada adicionando-se 320 kg ha⁻¹ da fórmula 13-33-08 NPK, aplicada na linha de plantio. A adubação de cobertura foi realizada com 360 kg ha⁻¹ da fórmula 10-00-30, 15 dias após a emergência (DAE) e 75 kg ha⁻¹ na fonte ureia 33 DAE. Conforme o manejo utilizado na fazenda e próximos aos recomendados por Sousa e Lobato (2004), sendo todos os procedimentos de forma mecanizada.

Para o controle de pragas e doenças foram aplicados aos 30 DAE tiofanato metílico (875 g ha⁻¹) e profenofós (150 g ha⁻¹); aos 45 DAE tebuconazol (120 g ha⁻¹) e benzoato de emamectina (10 g ha⁻¹); e no pendoamento, via pulverização aérea, azixistrombina (60 g ha⁻¹), ciproconazol (60 g ha⁻¹), difenoconazol (50 g ha⁻¹), propiconazol (50 g ha⁻¹) e benzoato de emamectina (10 g ha⁻¹). Além disso, aos 25 DAE foram aplicados 2,0 L ha⁻¹ de atrazina e 250 ml de nicossulfuron para o controle de plantas daninhas, na linha.

3.3. Delineamento experimental, tratamentos e características avaliadas

Adotou-se o delineamento experimental em blocos com sete tratamentos, correspondendo aos tempos de coletas 15, 29, 43, 57, 71, 99 e 113 DAE e quatro repetições compostas por 20 linhas de plantio espaçadas em 0,5 m com 10 m de comprimento, e estande de 3,1 plantas por metro (62 mil plantas ha⁻¹). Para as avaliações temporais do acúmulo, coletaram-se quatro plantas competitivas na área útil, sendo 18 linhas centrais evitando-se 0,5 m de cada extremidade das parcelas. Os tempos de coletas corresponderam aos estádios fenológicos V5, V8, VT, R1, R3, R5 e R6, como descrito por Ritchie et al. (2003) (Tabela 1).

Após a emergência o cálculo de graus-dia foi realizado usando o método proposto por Ometo (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 até a colheita (113 DAE), obtidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

O método aplicado, além de considerar a temperatura basal inferior, considera também a temperatura basal superior (TB), o que é indicado por Renato et al. (2013), ao avaliarem diferentes técnicas para o cálculo de graus-dia em condições de temperaturas elevadas. O valor da temperatura basal inferior (Tb) adotada foi de 10°C, sendo a temperatura de 35 °C para a basal superior (TB) (RENATO et al., 2013).

Neste método, a soma térmica apresenta cinco condicionantes, cada qual com uma determinada equação (Equações 1 a 5) para cálculo de GD; no caso deste trabalho apenas as equações 1 e 4 se ajustaram às condições climáticas do experimento.

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

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

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

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

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

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 as seguintes variáveis: Altura - medindo-se desde o colo até a inserção da folha bandeira (em cm); Diâmetro caulinar (mm) – mensurado a partir de 5 cm do colo da planta por meio de paquímetro digital; Número de folhas - contagem do número total de folhas; Área foliar (cm²) – determinada pelo integralizador de área Licor modelo LI-3100®; Índice de área foliar (IAF) - considerando a relação da área foliar total da planta (m²), por unidade de terreno (m²) disponível para a planta, através da equação 6 (BENICASA, 2003):

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

em que:

AF: Área foliar total;

S: espaço disponível para a planta (espaço utilizado/número de plantas).

Após as mensurações, as amostras foram particionadas em folhas, colmo, órgãos reprodutivos (pendão, palha e sabugo) e grãos, lavadas em água corrente, água destilada com detergente neutro (0,1%), lavagem com ácido clorídrico (0,3%) e, novamente, com água destilada pura (BOARETTO et al., 2009), colocadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C (até peso constante). Posteriormente, determinaram-se as massas das matérias secas das partições. A massa da matéria seca da planta inteira foi calculada pelo somatório das massas dos respectivos órgãos.

Após obtida a massa da matéria seca, determinou-se a TCR (Taxa de crescimento relativo), conforme Benicasa (2003), através da seguinte equação:

$$TCR (g g^{-1} dia^{-1}) = \frac{(\ln MS_2 - \ln MS_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (7)$$

em que:

TCR: Taxa de crescimento relativo;

ln: Logaritmo neperiano;

MS₁ e MS₂: As massas de matéria seca nos tempos inicial (t₁) e final (t₂) da avaliação.

As amostras de tecido vegetal foram moídas em moinho tipo Wiley a 2 mm e submetidas a análises química para a determinação dos teores de macro e micronutrientes contidos na parte aérea das plantas em seus respectivos órgãos.

O teor de N foi determinado pelo método Kjeldahl; os nutrientes: P, K, Ca, Mg, S foram mineralizados por digestão nitroperclórica, sendo o teor de P determinado por colorimetria, K por fotometria de chama, S por turbidimetria e Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica, de acordo com os procedimentos de Bataglia et al. (1983).

Os micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn foram mineralizados por digestão nitroperclórica, sendo o teor determinado por espectrofotometria de absorção atômica; já para o teor de B no tecido vegetal, utilizou-se o método da azometina-H, de acordo com Bataglia et al. (1983).

O acúmulo de nutrientes nos diferentes estádios fenológicos foi calculado multiplicando-se o teor obtido nas análises em laboratório pela respectiva massa seca de cada compartimento da planta, em cada época. O índice de colheita foi calculado a partir da relação do total de nutrientes absorvido pela planta toda e o total contido no grão.

3.4. Análise estatística

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 10.0 (Systat Software, San Jose, CA), em que foi escolhido o modelo que expressou significância estatística (para os parâmetros do modelo) e maior coeficiente de determinação (R²).

Os modelos de três parâmetros gaussiano, log normal e lorentzian ambos para curva de pico e o modelo sigmoide de 3 parâmetros da curva sigmoideal estão descritos nas equações, 8, 9, 10 e 11, respectivamente.

$$y = ae^{\left[-0,5\left(\frac{x-x_0}{b}\right)^2\right]} \quad (8)$$

$$y = ae^{\left[-0,5\left(\frac{\ln\left(\frac{x}{x_0}\right)^2}{b}\right)\right]} \quad (9)$$

$$y = \frac{a}{1 + \left(\frac{x - x_0}{b}\right)^2} \quad (10)$$

$$y = \frac{a}{1 + e^{-\left(\frac{x - x_0}{b}\right)^2}} \quad (11)$$

em que:

y : variável de crescimento ou acúmulo;

a : valor máximo da variável (independe do modelo escolhido);

x_0 : valor de x no DAE que fornece o máximo valor para as equações de pico ou ponto de inflexão da curva em DAE para a equação sigmoideal;

b : amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo para as equações de pico ou taxa de crescimento ou acúmulo (média) para a equação sigmoideal.

A partir do modelo ajustado, foi possível determinar com precisão o valor do ponto de inflexão (PI) na curva, de acordo com a equação 12, notadamente para os modelos de pico:

$$PI = x_0 - b \quad (12)$$

Matematicamente, o PI corresponde ao valor de x no qual a curvatura do modelo ajustado muda de sinal, correspondendo ao valor de x em DAE, no qual a taxa de acúmulo máximo diário, embora positiva, diminui.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Acúmulo de graus-dia

O acúmulo de graus-dia até o florescimento masculino (VT) no presente trabalho foi 840 GD e, no final do ciclo (R6), 2.097 GD (Tabela 4). Zucareli et al. (2010) classificaram o ciclo do milho em superprecoce, precoce e normal, com acúmulo de graus-dia (GD) menor que 825, entre 830 e 900 e, acima de 900 para o florescimento masculino respectivamente. O resultado do acúmulo de graus-dia no presente estudo confirma a classificação do híbrido utilizado como precoce, pois a soma térmica no florescimento masculino (VT) está dentro da faixa atribuída pelos autores mencionados.

Em estudos semelhantes, houve acúmulo de graus-dia total inferior ao deste trabalho, bem como ciclos variados. Bender et al. (2013) observaram em seis diferentes híbridos com ciclo médio de 120 dias acúmulo total em torno de 1.400 GD e, Martins et al. (2017), com ciclo de 140 dias, verificaram acúmulo de 1.600 GD com o híbrido DKB 390 PRO2. Ainda assim, ambos os trabalhos, no florescimento masculino, obtiveram somatório térmico entre 800 e 863 GD respectivamente.

O milho é uma planta cujo ciclo é bastante variável, dependente do genótipo e das condições de clima em uma determinada região, sendo a temperatura o fator que influencia bastante o ciclo da cultura, acelerando ou retardando sua maturação fisiológica (BENDER et al., 2013; MARTINS et al., 2017).

Tabela 4 Acúmulo de graus-dia durante o ciclo do milho. Brejo, MA, 2019

DAE	Estádio	Acúmulo GD
15	V5	348
29	V8	591
43	VT	840
57	R1	1085
71	R3	1334
99	R5	1845
113	R6	2097

A somatória térmica no presente trabalho, ao final do ciclo, teve acúmulo mais elevado que trabalhos semelhantes, em virtude de o material permanecer no campo até atingir a umidade ideal para a colheita; apesar disso, não houve alteração no ciclo da cultura resultando em perdas de produtividade. Vale ressaltar, até então, que os trabalhos de Bender et al. (2013) e Martins et al. (2017) foram conduzidos em

ambientes com climas diferentes do presente estudo e, em virtude disso, com menor soma térmica ao final do ciclo.

4.2. Variáveis biométricas

Os modelos das curvas empregadas ajustaram-se a todas as variáveis, com coeficientes de determinação (R^2) acima de 0,92, indicando que o modelo explica a maior parte da variabilidade. Os coeficientes de ajuste da equação (a, b e x_0) apresentaram significância a 1% de probabilidade, exceção ao valor “b” para o diâmetro e o número de folhas, que teve significância de 5% (Tabela 5).

A altura de plantas apresentou crescimento lento até o acúmulo de 591 graus-dia (estágio V8); posteriormente, ocorreu incremento até o estágio reprodutivo R1, atingindo máxima altura aos 85 DAE, com 298,58 cm, mantendo-se praticamente estável até a maturidade fisiológica. Com relação ao diâmetro do colmo, observa-se valores máximos aos 76 DAE, com 26,19 mm; tal como para a altura de plantas, os maiores valores foram encontrados entre os estádios fenológicos R3 e R5; situação análoga ocorreu para o número de folhas, com máximo de 13,23 aos 77 DAE (Tabela 5; Figura 2).

Tabela 5 Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para altura de plantas, diâmetro de colmo, número de folhas, área foliar e índice de área foliar (IAF), ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no milho ao longo do seu ciclo. Brejo, MA, 2019

Variáveis	Parâmetros do modelo ⁽¹⁾				R^2	Função
	a ⁽²⁾	b ⁽³⁾	x_0 ⁽⁴⁾	DAE		
Altura de plantas (cm)	260,53**	8**	36**	-	0,98	Sigmoide
Diâmetro de colmo (mm)	23,82**	0,6*	15**	-	0,98	Sigmoide
	Parâmetros do modelo ⁽¹⁾				R^2	Função
	a ⁽²⁾	b ⁽⁵⁾	x_0 ⁽⁶⁾	PI		
Número de folhas	12,36**	1**	67**	66	0,92	Log normal
Área foliar (cm ²)	6842,52**	0,5**	55**	54,5	0,96	Log normal
IAF	4,24**	0,5**	55**	54,5	0,96	Log normal

(1) Valores representam a média das avaliações biométricas da cultivar.

(2) Valor máximo observado.

(3) Taxa de crescimento médio

(4) Ponto de inflexão

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

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

**, * e ns: significativa 1%, 5% e não significativa pelo teste t ($p < 0,05$) respectivamente.

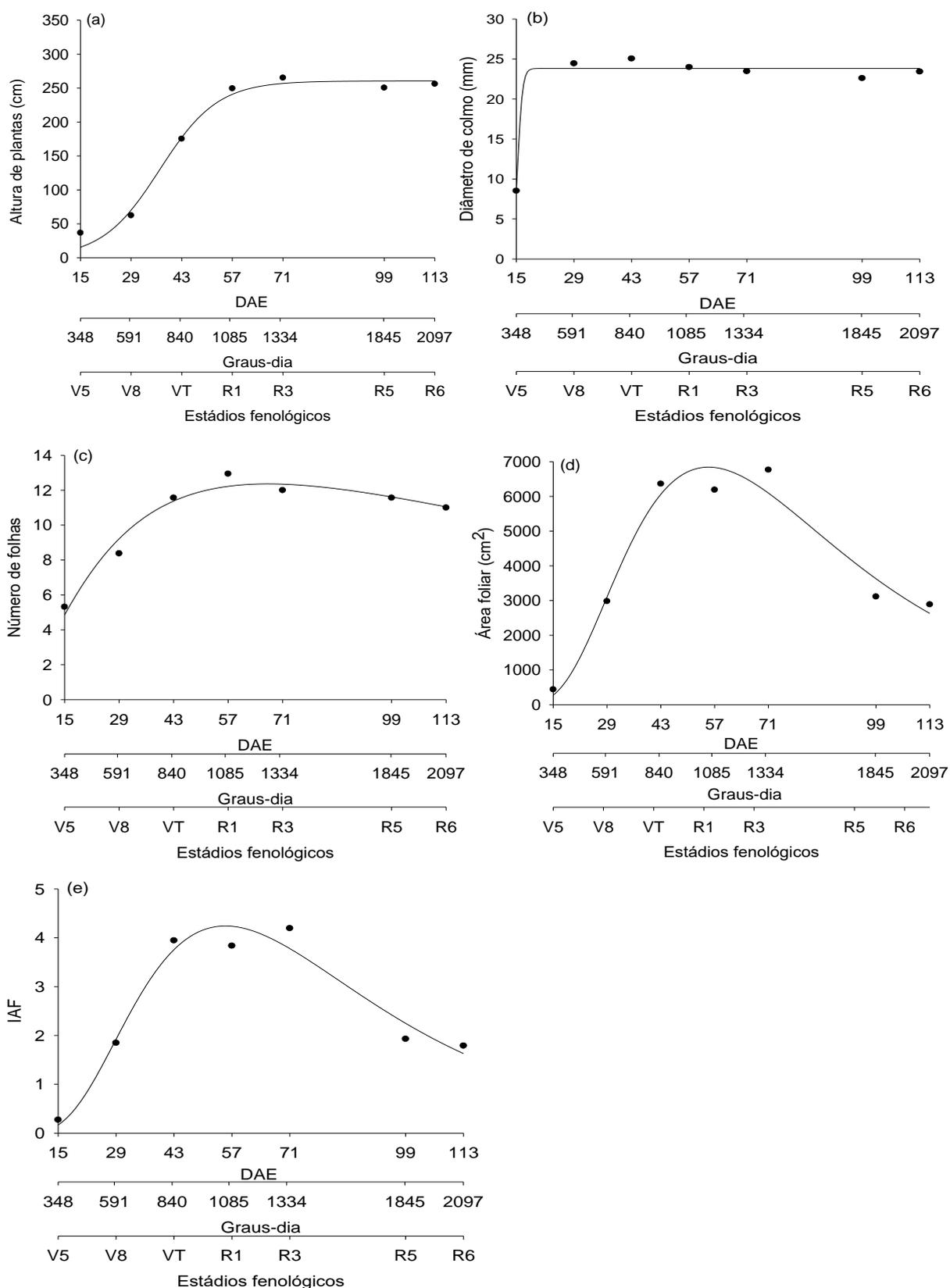


Figura 2 Altura de plantas (a), diâmetro do colmo (b), número de folhas (c), área foliar (d) e índice de área foliar (IAF) (e) de plantas milho, em função do acúmulo de graus-dia ao longo ciclo produtivo. Brejo, MA, 2019.

Valores semelhantes de altura de plantas e diâmetro de colmo foram encontrados por outros autores, como Valle et al. (2013) e Lyra et al. (2014) utilizando o mesmo híbrido (30F35), contudo, sem a tecnologia transgênica (YHR). Esses autores afirmam que os resultados podem variar de acordo com as condições edafoclimáticas e de manejo, visto que conforme a densidade de plantio, a altura pode ser ainda maior, pois a planta cresce em busca de luz. Quando em densidades mais elevadas, em contrapartida, tem-se diâmetros de colmo menores, o que pode provocar o tombamento das plantas.

As variáveis área foliar e índice de área foliar se comportaram de forma semelhante, tendo os seus maiores valores observados no mesmo dia, 65 DAE, com 6987,18 cm² e 4,33, respectivamente (Tabela 5). Existe redução nos valores de ambos os parâmetros, pois, tem início a senescência das folhas, que passam a servir como fonte de nutrientes para o enchimento dos grãos. Bender et al. (2015) afirmam que plantas que apresentam maior número de folhas e área foliar tendem a ter maior biomassa. Com elevada área fotossintética, a produção de fotoassimilados aumenta e, dessa maneira pode incrementar a massa total da planta e dos grãos.

Observa-se que ao atingir os estádios de reprodução, não há aumento nos valores das variáveis analisadas (Figura 2), visto que a planta praticamente cessa seu crescimento vegetativo, priorizando a elaboração e translocação de fotoassimilados para produzir grãos; conseqüentemente, os carboidratos que seriam utilizados para o crescimento vegetativo serão redistribuídos para os grãos (VASCONCELOS et al., 1983).

4.3. Acúmulo de matéria seca

Houve lento acúmulo de matéria seca até 591 graus-dia; a contar desse ponto, verificaram-se maiores incrementos em todos os órgãos da planta, sobretudo nas estruturas reprodutivas e grãos, que representaram juntos 62,9% da matéria seca total da planta no final do ciclo (Figura 3). Ao todo, a produção de matéria seca neste trabalho foi 16.190 kg ha⁻¹ no estágio de maturação fisiológica (R6).

O acúmulo de matéria seca nas folhas teve valores máximos estimados aos 66 DAE após o estágio R1 (1085 GD) e do colmo aos 77 DAE após estágio R3 (1334 GD), (Figura 3; Tabela 6). No estágio R5, somando 1.845 GD, aos 98 DAE, observa-se o máximo acúmulo estimado de matéria seca pela planta toda, 16.814 kg ha⁻¹ (Tabela 6).

Após o máximo valor estimado de cada partição, houve redução nos valores de matéria seca, principalmente nas folhas e colmos no início do estágio reprodutivo, em função da translocação de nutrientes para as estruturas reprodutivas, além da perda de material vegetal no campo, devido a senescência das estruturas. Ao fim do ciclo, a matéria seca das folhas e colmo representam 9,2 e 22,5%, respectivamente, da matéria seca total.

A redução no valor de matéria seca foi mencionada em trabalhos clássicos (SAYRE, 1948; ANDRADE et al., 1975; e VASCONCELOS et al., 1983), como também nos mais recentes realizados no Brasil e nos Estados Unidos (DUARTE et al., 2003; BENDER et al., 2013).

Em geral, o resultado da produção de matéria seca neste estudo foi semelhante ou ficou abaixo dos valores obtidos por outros autores em trabalhos similares, com genótipos diferentes (DUARTE et al., 2003; VON PINHO et al., 2009; BENDER et al., 2013; GUTIÉRREZ et al., 2018). Isto pode estar relacionado às diferentes densidades de plantio, comportamento do genótipo que pode, ou não, responder à diferentes ambientes. Seja em função dos níveis de adubação, manejo do solo ou condições de clima, já que o fator temperatura influencia bastante o ciclo da cultura.

Com o mesmo híbrido avaliado neste trabalho, 30F35 transgênico, Valle et al. (2013), na região de Cerrado de Roraima, estudando os efeitos das diferentes densidades de plantio, obtiveram valores de biomassa e rendimento de grãos de 15.659 e 7.540 kg ha⁻¹, respectivamente, com densidade de 62.500 plantas ha⁻¹, valores relativamente inferiores aos encontrados neste estudo. Os autores afirmam que há aumento nos valores de biomassa e produtividade com maiores densidades de plantio; em contrapartida, há redução na qualidade da espiga, quando se observa comprimento, diâmetro, massa e número de grãos.

Avaliando o comportamento de seis híbridos transgênicos de milho em dois locais de produção, Bender et al. (2013) não obtiveram diferenças significativas entre as localidades; enquanto, os genótipos apresentaram comportamentos distintos entre si, no mesmo ambiente de plantio. Isso evidencia as diferenças na capacidade de aproveitamento da luz e na produção de cada genótipo, consequências advindas do melhoramento genético.

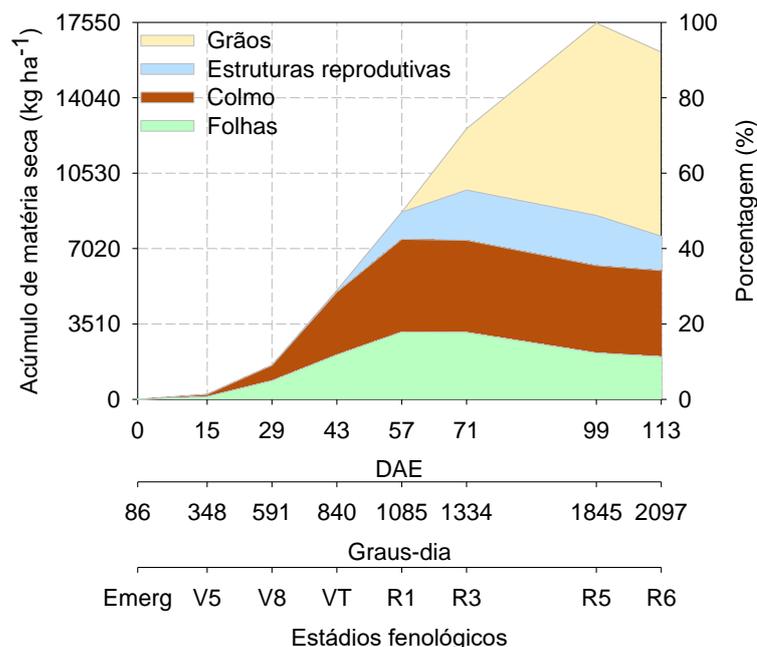


Figura 3 Acúmulo e particionamento de matéria seca na cultura do milho em função da soma térmica e estágio fenológico. Brejo, MA, 2019.

Em outro estudo, Gutiérrez et al. (2018), avaliando híbridos transgênicos de milho em plantio direto no Cerrado brasileiro com dois níveis de fertilidade, médio e alto, obtiveram efeito significativo entre os ambientes, com diferença de 10,8% na produção de matéria seca entre eles. Em média, os híbridos produziram 24.159 e 27.095 kg ha⁻¹ nos ambientes de médio e alto investimento, respectivamente. No entanto, não houve diferenças significativas na produção de grãos entre os níveis de fertilidade.

Tabela 6 Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para massa seca da folha, colmo, estruturas reprodutivas, grãos e massa seca total, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R²) no milho, ao longo seu ciclo. Brejo, MA, 2019

Partições	Massa seca			Modelo		
	Parâmetros do modelo ⁽¹⁾			PI	R ²	
	a ⁽²⁾	b ⁽³⁾	x ₀ ⁽⁴⁾			
	kg ha ⁻¹	-----DAE-----				
Folha	3.152,97**	0,5**	66**	65,5	0,98	Log normal
Colmo	4.658,68**	0,5**	77**	76,5	0,97	Log normal
Estruturas reprodutivas	2.763,43**	0,3**	83**	82,7	0,99	Log normal
Grãos	9.163,42**	0,2**	103**	102,8	0,99	Log normal
Total	16.814,02**	0,5**	108**	107,5	0,99	Log normal

⁽¹⁾ Valores representam a média das avaliações biométricas da cultivar.

⁽²⁾ Valor máximo observado em kg ha⁻¹.

⁽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: significativa 1%, 5% e não significativa pelo teste t (p <0,05) respectivamente.

A produção de grãos no presente estudo foi 9.365 kg ha⁻¹ (umidade de 13%). Em trabalho realizado na mesma Fazenda, Silva et al. (2020), avaliando a dinâmica da água no solo e o rendimento do milho consorciado com braquiária, obtiveram produção de grãos de 5.500 kg ha⁻¹, em média. Ambos os resultados estão acima da média registrada no Brasil e no Maranhão, 5.400 e 3.500 kg ha⁻¹, respectivamente, na safra 2019/2020 (CONAB, 2020).

4.4. Taxa de crescimento relativo

As folhas e o colmo apresentaram as maiores taxas de crescimento no mesmo período, compreendido entre os estádios fenológicos V5-V8, com 0,1358 e 0,1401 g g⁻¹ graus-dia⁻¹, respectivamente (Tabela 7), o que contribuiu para que a maior taxa de crescimento da planta inteira, 0,138 g g⁻¹ graus-dia⁻¹, também ocorresse nesse intervalo, período em que há maior produção de folhas novas e alongamento do colmo.

A TCR dos órgãos reprodutivos foi máxima no período VT-R1, justamente quando ocorre o maior incremento de matéria seca desses órgãos, quando a planta caminha para o estágio reprodutivo. Subsequentemente, a TCR da folha e do colmo diminui, tornando-se negativa, pois há remobilização de carboidratos desses órgãos para o enchimento dos grãos, além da perda de material vegetal que ocorre no campo.

Tabela 7 Taxa de crescimento relativo (TCR) da folha, colmo, órgãos reprodutivos (pendão, palha e sabugo), grãos e planta inteira de milho, em função do acúmulo de graus-dia ao longo do ciclo produtivo. Brejo, MA, 2019

Estádio fenológico	Período	Folhas	Colmo	Órgãos reprodutivos	Grãos	Total
	Graus-dia	-----g g ⁻¹ graus-dia ⁻¹ -----				
V5-V8	348-591	0,1358	0,1401	-	-	0,138
V8-VT	591-840	0,0620	0,1007	-	-	0,083
VT-R1	840-1085	0,0297	0,0280	0,2313	-	0,039
R1-R2	1085-1334	-0,0004	-0,0006	0,0443	-	0,008
R2-R5	1334-1845	-0,0131	-0,0030	-0,0001	0,0817	-0,005
R5-R6	1845-2097	-0,0061	0,0012	-0,0260	0,0004	-0,007

A taxa de crescimento relativo é um índice de eficiência que representa a capacidade da planta de produzir material novo (SANTOS et al., 2013). Enquanto a planta de milho está no estágio vegetativo, há produção de material vegetal, entretanto, a contar do momento em que entra no estágio reprodutivo, ela deixa de produzir material novo de folhas e colmo e volta-se para a produção de grãos; nessa

fase há aumento na relação fonte-dreno, com decréscimos nos valores de TCR ao longo do ciclo, o que é comum para a maioria das culturas (SANTOS et al., 2013).

Ao avaliarem o efeito de bioestimulantes na taxa de crescimento relativo da cultura do milho, Santos et al. (2013) observaram variações ao longo do ciclo, em que decréscimos nos valores de TCR foram verificados e posteriormente acréscimo com diminuição no incremento do crescimento relativo. Os autores atribuíram a diminuição no valor da TCR ao maior valor da matéria seca da planta em virtude do aumento de partes estruturais que não contribuía mais para o seu crescimento.

4.5. Acúmulo de nutrientes

Os parâmetros do modelo para o acúmulo de nutrientes nas partições da planta de milho ajustaram-se às variáveis do modelo empregado, com coeficientes de determinação acima de 0,90 (Tabelas 8 e 9).

Os padrões de absorção para cada um dos nutrientes apresentam: quantidades, tempo e partição nutricional nos diferentes órgãos da planta (Figuras 4 e 5), sendo que cada nutriente exibiu um modelo de absorção específico e associado ao estágio de crescimento vegetativo ou reprodutivo. Quantidades próximas de 50% ou mais de N, K, Ca, B, Fe, Zn e Mn foram acumuladas até o florescimento. Os elementos N, K, B, Fe, Zn e Mn seguiram o mesmo padrão de absorção descrito por Bender et al. (2013), com 65%, 63%, 63%, 91%, 48% e 64%, respectivamente, em que mais da metade desses nutrientes foram absorvidas até o estágio fenológico R1 da cultura. Além desses nutrientes, os mesmos autores observaram rápida absorção de Mg (65%) até o estágio R1. Os demais nutrientes são extraídos em maior proporção a partir do florescimento e possuem grande participação no que é acumulado nos grãos, como por exemplo, P e S, que tem elevados índices de colheita 0,84 e 0,65, respectivamente, assim como o N e Zn, 0,74 e 0,51, respectivamente (Tabela 10).

Os nutrientes de rápida absorção são exigidos em maiores quantidades durante a fase vegetativa, desempenhando papel fundamental no crescimento da planta. Apesar disso, os nutrientes que são absorvidos em maior quantidade após o florescimento, suprem necessidades ao longo do restante do ciclo (Silva et al., 2018). Destarte, pode-se inferir que os elementos absorvidos mais tardiamente (P, S e Zn) são os mais exportados pela cultura, além do N.

Tabela 8 Estimativas dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de macronutrientes nos particionamentos folha, colmo, estruturas reprodutivas, grãos e na planta toda, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R^2) no milho ao longo seu ciclo. Brejo, MA, 2019

Partições	NITROGÊNIO					
	Parâmetros do modelo ⁽¹⁾			PI	R^2	Modelo
	a ⁽²⁾	b ⁽³⁾	x ₀ ⁽⁴⁾			
	kg ha ⁻¹	-----DAE-----				
Folha	79,8025**	0,4**	53**	52,6	0,97	Log normal
Colmo	30,6240**	0,7**	53**	52,3	0,90	Log normal
Estruturas reprodutivas	15,3155**	0,3**	78**	77,7	0,97	Log normal
Grãos	140,3129**	0,26**	106**	105,74	0,99	Log normal
Total	193,6499**	43**	98**	55	0,97	Gaussiano
Partições	FÓSFORO					
Folha	11,8015**	0,3**	57**	56,7	0,97	Log normal
Colmo	8,9547**	0,4**	52**	51,6	0,90	Log normal
Estruturas reprodutivas	3,4530**	0,3**	69**	68,7	0,93	Log normal
Grãos	34,8989**	0,3**	111**	110,7	0,99	Log normal
Total	42,7941**	39**	99**	60	0,98	Gaussiano
Partições	POTÁSSIO					
Folha	58,5693**	0,4**	54**	0,53	0,91	Log normal
Colmo	78,0767**	0,6*	56**	55,4	0,88	Log normal
Estruturas reprodutivas	21,7695**	0,3**	80**	79,7	0,99	Log normal
Grãos	61,0193**	23**	108**	85	0,99	Log normal
Total	159,8186**	0,7**	71**	70,3	0,97	Log normal
Partições	CÁLCIO					
Folha	12,3115**	0,5**	70**	69,5	0,95	Log normal
Colmo	6,8624**	0,4**	57**	56,6	0,95	Log normal
Estruturas reprodutivas	1,3046**	0,3**	84**	83,7	0,99	Log normal
Grãos	3,2569**	0,2**	103**	102,8	0,99	Log normal
Total	20,5402**	0,5**	70**	69,5	0,96	Log normal
Partições	MAGNÉSIO					
Folha	11,2531**	0,3**	71**	70,7	0,93	Log normal
Colmo	6,8778**	0,5**	67**	65,5	0,98	Log normal
Estruturas reprodutivas	2,2218**	0,3**	79**	78,7	0,93	Log normal
Grãos	17,9032**	0,2*	113**	112,8	0,99	Log normal
Total	28,3288**	0,5**	92**	91,5	0,99	Log normal
Partições	ENXOFRE					
Folha	5,5135**	15*	56**	41	0,91	Lorentzian
Colmo	6,8491**	15**	80**	65	0,92	Gaussiano

Estruturas reprodutivas	0,9385**	0,2**	75**	74,8	0,97	Log normal
Grãos	2,6527**	0,3*	98**	97,7	0,95	Log normal
Total	11,5077**	24**	77**	53	0,99	Gaussiano

(1) Valores representam a média das avaliações da cultivar.

(2) Valor máximo observado em kg ha⁻¹.

(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: significante a 1%, 5% e não significante pela análise de regressão não linear, respectivamente.

No caso deste experimento, o plantio do milho sucedeu há 4 anos seguidos do cultivo de soja, que segundo manuais de recomendação de adubação empregados na região (SOUSA e LOBATO, 2004) permite a diminuição na adubação nitrogenada no milho em até 40% para produtividades esperadas em torno de 8 Mg ha⁻¹ de grãos. Duarte et al. (2017) indicam que para cada tonelada de grãos de soja produzida são depositados no solo, após a colheita, cerca de 17 kg ha⁻¹ de N, inferindo-se que pode haver redução significativa na dose de adubo nitrogenado para a produção de milho em sequência.

Na maturidade fisiológica R6, 74% do N contido na planta estava presente nos grãos (Tabela 10). Este valor é superior aos encontrados em trabalhos realizados recentemente, como 64% no estudo de Bender et al. (2013) e Silva et al. (2018), contudo, é semelhante aos 75% obtidos por Vasconcellos et al. (1998). Essa maior porcentagem de N encontrado nos grãos deste trabalho pode estar relacionada ao cultivo em sucessão com soja, pois o aporte do nutriente que foi depositado no solo pode proporcionar maior absorção do elemento. A exportação de N pelos grãos foi de 138,2 kg ha⁻¹.

Até o pendoamento as plantas atingiram 42% do máximo de P absorvido, dentro dos limites encontrados por Silva et al. (2018) no Cerrado de Minas Gerais. A absorção de P ocorreu até os estádios finais de desenvolvimento, com acúmulos máximos observados entre os estádios R5 e R6. As quantidades acumuladas de P diminuíram consideravelmente nas partes vegetativas e nas estruturas reprodutivas, com o total de 84% do P redistribuído para os grãos no estágio R6 (Tabela 8, Figura 4b). Vilar e Vilar (2013) explicam que esse comportamento é devido ao P participar de compostos que transferem energia para a transformação do açúcar em amido.

A quantidade de P exportada foi 3,79 kg t⁻¹ de grão produzido, valor inferior ao relatado em outros trabalhos, como 5,8 kg t⁻¹ (VON PINHO et al., 2009); apesar disso, foi superior ao estudo com híbridos modernos de milho e diferentes níveis de

adubação, 3,3 e 1,8 kg t⁻¹ indicados por Bender et al. (2013) e Silva et al. (2018) respectivamente.

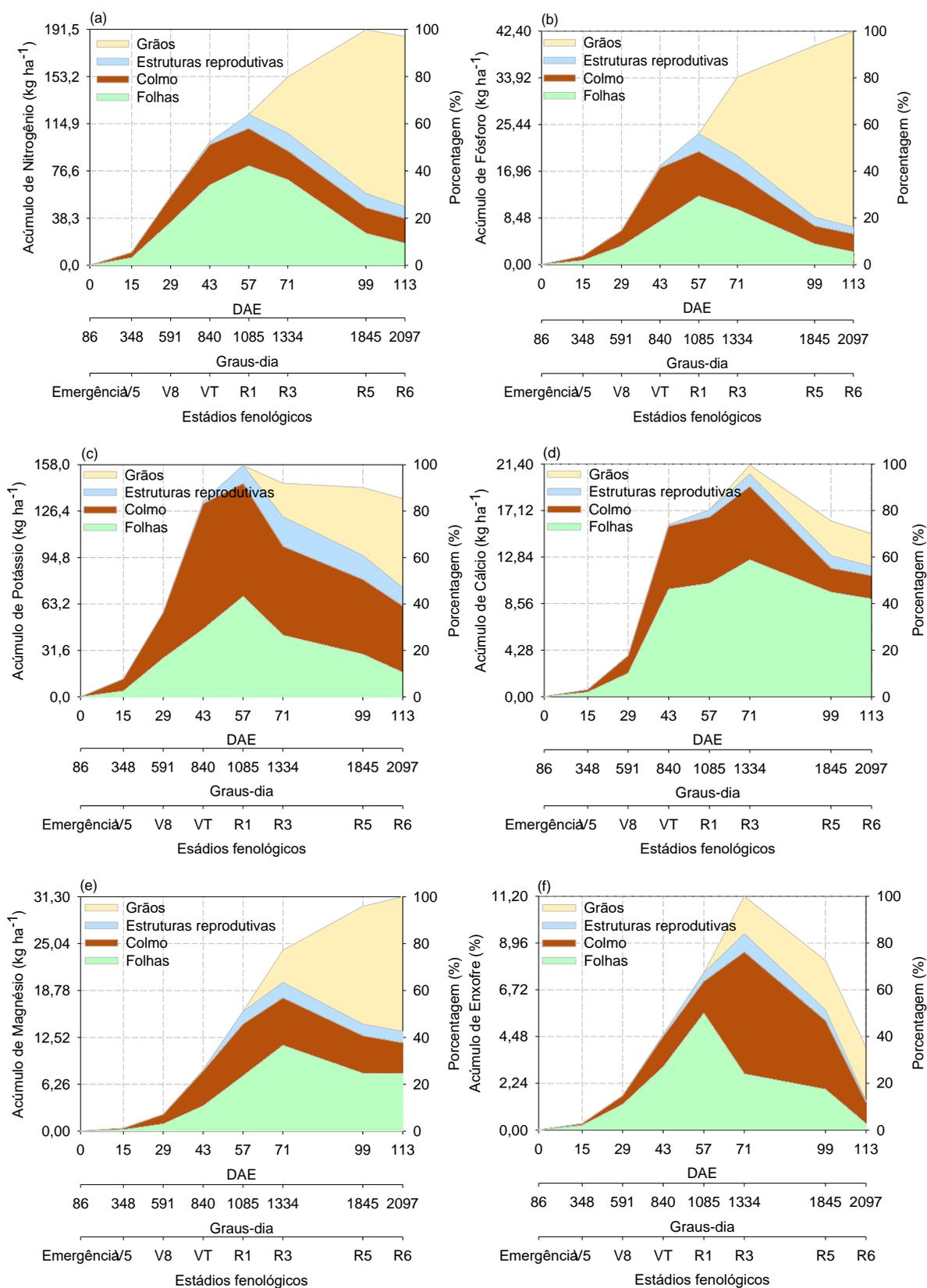


Figura 4 Acúmulo e particionamento de macronutrientes, em kg ha⁻¹, na cultura do milho durante o seu ciclo. Brejo, MA, 2019.

Os dados de extração, produtividade e exportação aqui reportados, indicam que houve avanços no melhoramento genético e nos sistemas de manejo, quando comparado aos híbridos mais antigos, uma vez que, a competitividade do híbrido produzido nas condições de clima nordestino se mantém, quando se confronta com o milho produzido nos Estados Unidos e no Brasil Central (Minas Gerais).

A absorção de K pelas plantas foi máxima entre os estádios R3 e R5; ainda assim, mais de 80% do acúmulo do nutriente ocorreu até o pendoamento. O K tem importante papel na abertura e fechamento dos estômatos e, por isso, tem rápida absorção.

Isso indica que uma eventual deficiência do nutriente logo no início dos estádios de desenvolvimento da cultura torna sua possível correção via adubação mais difícil, neste caso, a maior parte do nutriente é absorvida nos estádios vegetativos. Assim, considerando os resultados para o potássio, a adubação de cobertura, caso seja necessário o parcelamento, deve ser realizada pelo menos, até os 40 dias do início do ciclo da planta.

Observa-se que grande parte do K está presente no colmo, o que também foi verificado por Silva et al. (2018), dessa forma, híbridos de alto rendimento têm grande capacidade de transporte de fotossintatos do caule para o enchimento dos grãos. Em lavouras deficientes em K, é possível observar maior acamamento das plantas, em função dos colmos estarem mais enfraquecidos, com menor espessura da parede celular (Prado, 2008).

Independentemente do ambiente e do sistema de manejo utilizado, vários autores, desde os clássicos como Sayre et al. (1948); Andrade et al. (1975); Vasconcelos et al. (1983), até os mais atuais como Duarte et al. (2003); Von Pinho et al. (2009); Bender et al. (2013) e Silva et al. (2018), reportaram a redução de K acumulado na planta a partir do estágio R2 (Figura 4c). Os autores atribuíram essa diminuição à lavagem do nutriente das folhas pela água da chuva ou irrigação, em função do nutriente não fazer parte de componentes estruturais da planta e ser facilmente removido.

O índice de colheita do K na planta de milho foi de 0,45 (Tabela 10), sendo superior ao observado por Silva et al. (2018) em ambiente com milho cultivado sob médio e alto nível de adubação, 26% e 11%, respectivamente. Os autores afirmam que o maior nível de adubação na cultura não gerou incremento do nutriente nos grãos, já que foram necessários 8,5 e 15,8 kg de K para produzir uma tonelada de

grãos, e a exportação do nutriente correspondeu a 3,5 e 3,4 kg t⁻¹ de grãos nos ambientes de médio e alto investimento em adubação respectivamente.

Portanto como ocorreu com o N e o K, a maior parte da absorção do Ca acarretou o florescimento (VT), com 74% do total acumulado, atingindo o máximo aos 70 DAE, no estágio R3, com 20,54 kg ha⁻¹. O Ca foi acumulado em maiores proporções nas folhas (~50%) e o índice de colheita desse nutriente pelo grão de milho é aproximadamente 0,20 sendo, portanto, a exportação no nutriente considerada baixa pela cultura do milho, 0,32 kg t⁻¹ de grão produzido, assim como observado por Silva et al. (2018).

O Ca é um nutriente considerado imóvel na planta; assim, a baixa redistribuição do nutriente para o grão pode estar relacionada a esse fator. Além disso, esse nutriente é constituinte da parede celular, funcionando como componente estrutural (PRADO, 2008).

Diferente do que foi encontrado por outros autores como Duarte et al. (2003); Von Pinho et al. (2009); Bender et al. (2013) e Silva et al. (2018), que afirmam que a maior absorção de Mg na planta de milho ocorre até o florescimento, no presente estudo, em torno de 28% do nutriente foi absorvido até VT. Apesar de haver variações entre os estudos, é importante enfatizar que a disponibilidade desse nutriente não deve ser limitada, pois o magnésio é componente central da molécula da clorofila. Daí a importância da realização correta da calagem, que tem como principal função corrigir o pH do solo, mas, adicionalmente, fornece Ca e Mg.

Considerando o índice de colheita do Mg no presente estudo, 0,72, observa-se que esse valor está acima do observado por Bender et al. (2013) e Silva et al. (2018), 29% e 30%, respectivamente. A exportação de Mg pelos grãos ficou em 18 kg ha⁻¹ e, para cada tonelada de grãos produzida, foi extraído pela planta 2,7 Kg de Mg e exportado pelo grão 1,9 kg de Mg.

O máximo acúmulo de S ocorreu no estágio R3, com 11,5 kg ha⁻¹, sendo aproximadamente 40% do máximo absorvido até o pendoamento. A extração foi de 4 kg ha⁻¹ e a exportação de 2,6 kg ha⁻¹ de S, com elevado índice de colheita, 65%. Valores elevados de índice de colheita de S foram observados na faixa de 45 a 60% (VON PINHO ET AL., 2009; BENDER ET AL., 2013 E SILVA ET AL., 2018).

Nitrogênio e enxofre apresentaram índices de colheita elevados, contudo, a absorção desses nutrientes se comportou de forma diferenciada. O N é absorvido em maiores quantidades até o florescimento e o S após este estágio fenológico; assim,

os elevados índices de colheita não apresentam padrão definido, ou seja, com diferentes mecanismos, a absorção de S após a floração é direcionada, principalmente, para os grãos; entretanto, o N contido nos grãos, a maior quantidade é remobilizada das partes vegetativas do milho.

As plantas acumularam 69% de todo o B até o estágio VT, em relação ao total que foi absorvido, obtendo máximo acúmulo estimado entre R1 e R3, 147 g ha⁻¹ (Figura 5a e Tabela 9). Após esse estágio fenológico houve redução do nutriente na planta permanecendo, na maturidade fisiológica, cerca de 40% do total acumulado (72 g ha⁻¹), estando a maior parte presente nas folhas e colmo. A alocação deste micronutriente das partes vegetativas para os grãos foi baixa, com IC de 0,11, apresentando o menor índice de colheita encontrado no presente estudo (Tabela 10).

Observa-se lento acúmulo inicial de Cu, sendo que até o VT o máximo acumulado foi de 28% (Figura 4b), o que também foi observado por Bender et al. (2013). O acúmulo máximo de Cu na planta de milho no presente estudo foi 136 g ha⁻¹ aos 91 DAE, no estágio R5 (Tabela 10 e Figura 4b).

O ponto de máxima extração de Cu, determinado por Andrade et al. (1975), situou-se entre 101 e 108 dias após a emergência, e por Borges et al. (2009) aos 102 dias após de emergência. Por essa razão o padrão de extração de Cu se estende até o final do ciclo, o que indica que, independentemente do híbrido utilizado e do ambiente de cultivo, é importante garantir condições para o suprimento adequado desse micronutriente durante a fase de enchimento de grãos da cultura.

Tabela 9 Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para acúmulo de micronutrientes nos particionamentos folha, colmo, estruturas reprodutivas, grãos e na planta toda, ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação (R²) no milho ao longo seu ciclo. Brejo, MA, 2019

Partições	COBRE					
	Parâmetros do modelo ⁽¹⁾			PI	R ²	Modelo
	a ⁽²⁾ g ha ⁻¹	b ⁽³⁾ -----DAE-----	x ₀ ⁽⁴⁾			
Folha	56,8269**	24**	78**	54	0,98	Gaussiano
Colmo	34,5936**	29**	98**	69	0,91	Gaussiano
Estruturas reprodutivas	21,4875 **	0,2**	83**	67	0,98	Gaussiano
Grãos	39,9515 **	0,3**	113**	112,7	0,96	Log normal
Total	136,7296**	27**	91**	64	0,99	Gaussiano
Partições	FERRO					
Folha	144,2465 **	0,6**	53**	52,4	0,96	Log normal

Colmo	112,3232 **	0,6**	71**	70,4	0,96	Log normal
Estruturas reprodutivas	72,5132 **	0,3**	99**	98,4	0,99	Log normal
Grãos	222,4643**	24**	111**	87	0,99	Gaussiano
Total	455,8980**	45**	104**	59	0,98	Gaussiano
Partições	MANGANÊS					
Folha	193,5759 **	0,7**	56**	55,3	0,94	Log normal
Colmo	172,3178**	28**	78**	50	0,91	Gaussiano
Estruturas reprodutivas	66,7326**	0,2**	87**	86,8	0,97	Log normal
Grãos	31,3507**	0,3*	99**	98,7	0,91	Log normal
Total	434,8166**	32**	77**	45	0,92	Gaussiano
Partições	ZINCO					
Folha	185,0739 **	0,4**	63**	63,6	0,99	Log normal
Colmo	116,0379 **	0,6**	69**	68,4	0,93	Log normal
Estruturas reprodutivas	66,0414**	18**	87**	69	0,97	Gaussiano
Grãos	190,3139**	0,3**	107**	106,7	0,99	Log normal
Total	431,5322**	0,6**	88**	87,4	0,98	Log normal
Partições	BORO					
Folha	66,8199 **	0,5**	58**	57,5	0,94	Log normal
Colmo	53,3512**	0,5**	60**	59,5	0,90	Log normal
Estruturas reprodutivas	32,8992**	0,3**	75**	74,7	0,99	Log normal
Grãos	10,1356**	0,3**	92**	91,7	0,91	Log normal
Total	147,3388 **	0,5**	64**	63,5	0,98	Log normal

(1) Valores representam a média das avaliações da cultivar.

(2) Valor máximo observado em g ha⁻¹.

(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: significante a 1%, 5% e não significante pela análise de regressão não linear, respectivamente.

Na maturidade fisiológica houve redução do valor de Cu acumulado, com total nas plantas equivalente a 99,8 g ha⁻¹ e nos grãos a 41,2 g ha⁻¹, cujo índice de colheita foi de 0,41. Esse valor é superior ao IC obtido por Bender et al. (2013), de 0,29, porém, semelhante ao encontrado por Oliveira et al. (2019), com média de 0,41, em avaliação de plantas de milho cultivadas em sistema de cultivo convencional na região do Alto Parnaíba, MG.

Diferente do que foi observado para o Cu, lento acúmulo até o estágio de florescimento (VT), o mesmo não sucedeu com os demais micronutrientes, ocorrendo 69, 47, 64 e 54% do acúmulo total verificado em VT para B, Fe, Mn e Zn, respectivamente (Tabela 10). Isso corrobora o que foi observado no estudo de Bender

et al. (2013), em que a maior parte dos micronutrientes foi absorvido até R1, sendo 48, 64, 63, 91, 45% para Zn, Mn, B, Fe e Cu respectivamente. Independente dessa

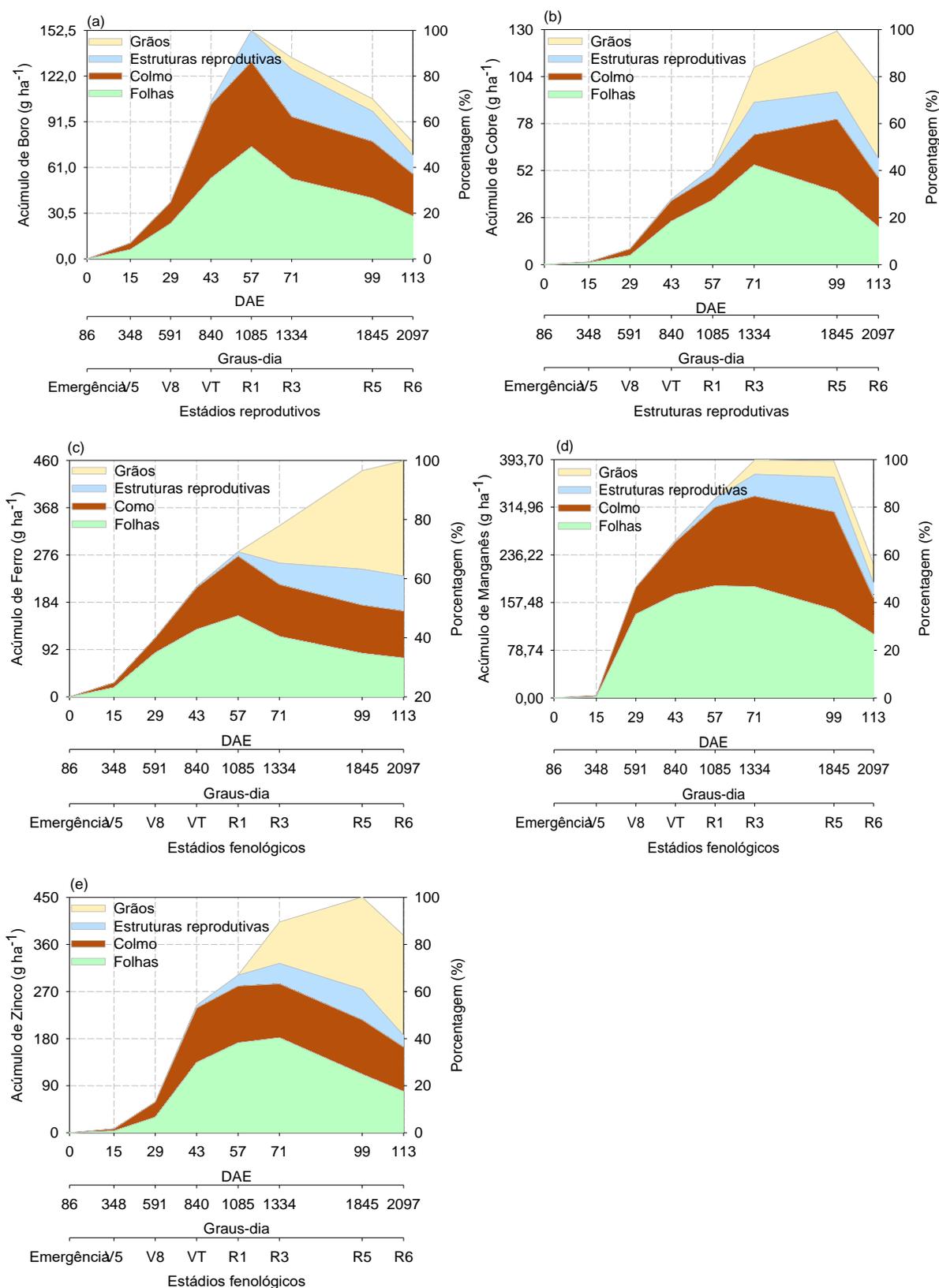


Figura 5 Acúmulo e particionamento de micronutrientes na cultura do milho, em g ha^{-1} , durante o ciclo. Brejo, MA, 2019.

porcentagem de absorção em ambos os trabalhos, tanto neste quanto no de Bender et al. (2013), serem observadas em estádios fenológicos diferentes, a absorção rápida dos micronutrientes pela cultura do milho também foi mencionada por outros autores, como Gutiérrez et al. (2018).

O máximo acúmulo estimado de Fe foi observado em R5 com 455 g ha^{-1} , cuja absorção até VT foi relativamente rápida com, aproximadamente 50% do máximo acumulado. Observou-se, ainda, que o máximo acúmulo nos grãos ocorreu no estágio de maturação fisiológica, em R6, aos 111 DAE (Tabela 9; Figura 5c), contribuindo para o elevado índice de colheita do nutriente 0,49 (Tabela 10). O Fe foi o micronutriente mais extraído pelas plantas (Tabela 10), corroborando os resultados obtidos por Bender et al. (2013), Gutiérrez et al. (2018) e Oliveira et al., (2019).

Contudo, Gutiérrez et al. (2018) observaram contínua absorção de Fe até a maturidade fisiológica, completando 2.513 e 1.880 g ha^{-1} nos ambientes com alto e médio investimento em adubação, respectivamente, e valores superiores aos obtidos neste trabalho. Além desse autor, outros também encontraram elevados valores de acúmulo de Fe na maturidade fisiológica; Bender et al. (2013) com média de 1.376 g ha^{-1} e Duarte et al. (2003) com média de 3.283 g ha^{-1} . Diante do exposto, pode-se inferir que o padrão de extração de Fe pode variar de acordo com: híbrido escolhido, condições edafoclimáticas e manejo de solo, além da adubação utilizada.

Para o Mn a absorção foi rápida, com 64% do máximo absorvido e acumulado até VT (Tabela 10), e máximo acúmulo estimado em R3, com 434 g ha^{-1} (Tabela 9; Figura 5d). O total acumulado na maturidade fisiológica foi de 221 g ha^{-1} , permanecendo cerca de 47% do que foi absorvido nas folhas e colmo, sendo o segundo micronutriente com menor índice de colheita, 0,14, superior somente ao B, com 0,11.

O padrão de extração do Mn nesta pesquisa se assemelha ao resultado de Karlen et al. (1988), que contabilizaram mais de 70% da extração total de Mn até o estágio R1, e de Gutiérrez et al. (2018) com a intensa absorção durante a fase vegetativa em ambiente com alto investimento em adubação. Disserta-se a hipótese de que o fornecimento de Mn nos estádios iniciais da cultura constitui estratégia importante para aumentar a capacidade de aproveitamento desse elemento pelas plantas (GUTIÉRREZ et al., 2018).

Tabela 10 Acúmulo de nutrientes associado à produção de 9,35 Mg ha⁻¹ na cultura do milho. Brejo, MA, 2019

Parâmetros	Total	Acúmulo	Índice de	Coeficiente de remoção ⁽²⁾	Absorção até VT	Estádio fenológico de máximo acúmulo
	acumulado ³	no grão	colheita ⁽¹⁾			
	----- kg ha ⁻¹ -----			kg t ⁻¹	%	
MS ³	16.166	8.571	0,53	-	29	
N	185,7	138,2	0,74	14,78	52	R5
P	42,3	35,5	0,84	3,79	42	R5
K	134,9	60,6	0,45	6,48	84	R3-R4
Ca	15	3,0	0,20	0,32	74	R3
Mg	24,8	18	0,72	1,92	28	R5
S	4,0	2,6	0,65	0,27	41	R3
	----- g ha ⁻¹ -----		%	--- g ha ⁻¹ ---	%	
B	77,9	8,9	0,11	0,95	69	R1-R3
Cu	99,8	41,2	0,41	4,4	28	R4-R5
Fe	459	224	0,49	23,95	47	R6
Mn	221,3	31,9	0,14	3,42	64	R3
Zn	377,3	191,2	0,51	20,44	54	R4-R5

⁽¹⁾ Índice de colheita: porcentagem do total de nutrientes acumulado que está presente no grão.

⁽²⁾ Quantidade de nutrientes necessário para produzir uma tonelada de grãos.

⁽³⁾ Matéria seca.

A extração total de Mn neste trabalho, na maturação fisiológica, foi inferior a observada por outros autores (Tabela 12), apesar disso, a produção de matéria seca foi superior a obtida nesta pesquisa, com exceção de Duarte et al. (2003).

Diferentemente do que foi observado por Bender et al. (2013) e Gutiérrez et al. (2018), o Mn não foi o segundo micronutriente mais extraído pelas plantas de milho (Tabela 13), cujo acúmulo total foi inferior ao Fe e ao Zn; resultado semelhante ao que foi observado por Oliveira et al. (2019).

Na maturação fisiológica, observa-se que folhas e colmo constituem os tecidos em que há maior proporção de Mn, assim como relatado por Duarte et al. (2003) e Gutiérrez et al. (2018). Segundo esses autores, o colmo constitui o principal compartimento de acúmulo de Mn na planta madura, atuando como estrutura de armazenamento desse micronutriente

O máximo acúmulo de Zn ocorreu entre os estádios R4 e R5, com 477 g ha⁻¹, apresentando rápida absorção até VT, com 54% do máximo estimado (Tabela 9 e 10). Ao final do ciclo, o total acumulado foi de 377 g ha⁻¹, apresentando elevado índice de colheita (0,51), sendo necessário 20,44 g de Zn para produzir uma tonelada de grãos. O Zn foi o segundo micronutriente mais absorvido em quantidade pela planta de milho.

Fundamentando os resultados de Bender et al. (2013) e Gutiérrez et al. (2018), a absorção de Zn se acentua no final da fase vegetativa e no início da fase reprodutiva, o que reforça a ideia de que o planejamento da adubação deve ser realizado corretamente para que não haja deficiência desse nutriente entre esses períodos críticos de absorção, visto que o Zn é o micronutriente que possui maior índice de colheita, fazendo parte dos elementos que são mais exportados pelos grãos de milho, como N, P e S (BORGES; VON PINHO E PEREIRA, 2009; BENDER et al., 2013; GUTIÉRREZ et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2019).

A extração de nutrientes, em ordem decrescente, foi para macronutrientes: N>K>P> Mg>Ca> S>; e para micronutrientes: Fe>Zn>Mn>Cu>B. A exportação de nutrientes, em ordem decrescente, foi para macronutrientes: N>K>P>Mg >Ca> S; e para micronutrientes: Fe>Zn>Cu>Mn>B. Os nutrientes com maiores índices de colheita foram P, N, S e Zn, com 0,84; 0,74; 0,65 e 0,51, respectivamente.

Tabela 11 Produtividade de grãos e de matéria seca e acúmulo de macronutrientes na parte aérea de cultivares de milho

Trabalhos	Grãos	MS	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹							
Trabalho atual ¹	9.352	16.166	185	42	134	15	24	4
Andrade et al. (1975) ²	6.200	16.300	181	31	218	34	36	32
Duarte et al. (2003) ³	7.700	10.950	146	15	134	19	26	-
Von Pinho et al. (2009) ⁴	14.100	31.300	364	84	314	60	42	27
Borin; Lana e Pereira, (2010) ⁵	-	11,907	123	18	126	13	25	10
Bender et al. (2013) ⁶	12.000	23.200	286	49	168	-	59	26
Martins et al. (2017) ⁷	10.300	23.100	171	13	285	34	37	12
Silva et al (2018) ⁸	11.070	25.600	291	27	134	49	37	20

¹Híbrido simples 30F35 transgênico, população de 62.000 plantas ha⁻¹ Brejo, MA;

²Média de 5 cultivares, população de 50.000 plantas ha⁻¹, Piracicaba, SP;

³Média de três cultivares de clima tropical, população de 55.000 plantas ha⁻¹, Palmital, SP;

⁴Média de duas cultivares, população de 60.000 plantas ha⁻¹, Lavras, MG;

⁵Milho doce cultivado em campo, população de 62.500 plantas ha⁻¹, Jataí, GO;

⁶Média de seis híbridos produzidos em duas localidades, população de 84.000 plantas ha⁻¹, Illinois-Estados Unidos;

⁷Híbrido simples DKB 390 PRO 2, população de 65.000 plantas ha⁻¹, Piracicaba, SP;

⁸Média de quatro híbridos sob 2 níveis de fertilidade, médio e alto, população 70.000 plantas ha⁻¹. Sete Lagoas, MG.

O melhoramento genético proporcionou evolução aos híbridos de milho introduzidos no mercado, impondo alterações na demanda de nutrientes (Tabela 11). No trabalho de Andrade et al. (1975) observa-se que há necessidade de maior quantidade de N, P, K, Ca, Mg e S para produzir uma tonelada de grãos, com produção de MS semelhante ao trabalho atual, mas com produção de grãos inferior, além de uma menor população de plantas (Tabela 11).

Para o trabalho de Duarte et al. (2003) foram observadas menores quantidades de N e P, no entanto, a população de plantas era menor, além da produção de matéria seca e grãos.

Quando comparado ao trabalho de Bender et al. (2013), que foi conduzido nos Estados Unidos, com população elevada de plantas (84.000 plantas ha⁻¹) as quantidades necessárias para produzir uma tonelada de grãos foi superior para N, Mg e S, além dos micronutrientes, e semelhante para P e K (Tabelas 11 e 12).

Ainda assim, a produção de grãos e MS obtida pelos autores foi superior a do presente trabalho, evidenciando maior capacidade de produção nas condições climáticas do Estados Unidos, pois o fotoperíodo na época de produção de grãos é maior quando comparado às condições climáticas do solo brasileiro, e o milho se beneficia com esse fator, já que é uma planta que não satura com luz, ou seja, quanto maior o período de luminosidade, maior a produção de fotoassimilados pela cultura (RITCHIE et al., 2003).

Tabela 12 Produtividade de grãos e de matéria seca e acúmulo de micronutrientes na parte aérea de cultivares de milho

Trabalhos	Grãos	MS	Zn	Mn	B	Fe	Cu
	-----kg ha ⁻¹ -----		-----g ha ⁻¹ -----				
Trabalho atual ¹	9.352	16.166	377	221	77	459	99
Duarte et al. (2003) ²	7.700	16.200	231	679	146	3283	78
Bender et al. (2013) ³	12.000	23.200	498	542	83	1376	141
Gutiérrez et al. (2018) ⁴	11.024	25.600	441	639	-	2196	85
Oliveira et al. (2019) ⁵	15.000	25.646	606	578	-	9714	232

¹Híbrido simples 30F35 transgênico, população de 62.000 plantas ha⁻¹ Brejo-MA;

²Média de três cultivares de clima tropical, população de 55.000 plantas ha⁻¹, Palmital-SP;

³Média de seis híbridos produzidos em duas localidades, população de 84.000 plantas ha⁻¹, Ilinois-Estados Unidos;

⁴Média de quatro híbridos sob 2 níveis de fertilidade, médio e alto, população 70.000 plantas ha⁻¹, Sete lagoas-MG;

⁵Média de híbridos cultivados sob sistema de plantio convencional, 83.500 plantas ha⁻¹, região do Alto Parnaíba-MG.

De acordo com os resultados obtidos e com as informações da literatura, verifica-se que as taxas de extração e exportação de macro e micronutrientes pelo milho são variáveis conforme as condições edafoclimáticas, cultivares e práticas de manejo aplicadas à cultura.

As diferenças de extração e exportação de nutrientes pelo híbrido estudado, nas condições de clima do leste maranhense, em relação ao encontrado na literatura, reforçam a necessidade da constante atualização desses dados para as diferentes

regiões de cultivo do milho no Brasil e principalmente para as regiões produtoras do MATOPIBA.

A confirmação dos requerimentos nutricionais de híbridos modernos permite atualizar os programas de adubação adotados pelos produtores, com o propósito de auxiliar na adoção de práticas de manejo que mantenham condições de equilíbrio nutricional, além de fertilidade adequada do solo durante o ciclo da cultura. Nesse contexto, esta abordagem deverá ganhar relevância à medida que resultados melhores nas lavouras forem obtidos, sobretudo em sistemas intensivos de produção.

5. CONCLUSÃO

A produção de milho depende da disponibilidade de P, S, Mg e Cu, ao longo do ciclo, nutrientes que são absorvidos em maior quantidade após o florescimento; entretanto, N, K, Ca, B, Zn, Fe e Mn são absorvidos, principalmente, na fase inicial de desenvolvimento da cultura (estádio vegetativo) o que torna a eventual correção na adubação mais difícil.

A soma térmica obtida neste trabalho se mostrou adequada nas condições edafoclimáticas de Brejo, MA, não havendo alterações no ciclo da cultura.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A. G. DE.; HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D. DE.;SARRUGE, J.R.

Acumulação diferencial de nutrientes em cinco cultivares de milho (Zea mays).

Crescimento. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz**, v. 32, p. 115-149, 1975.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1983. 48 p.(Boletim Técnico, 78).

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**, 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. **AgronomyJournal**, v. 107, n.2, p 563-573, 2015.

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

BOARETTO, A.E.; VAN RAIJ, B.; SILVA, F.C.; CHITOLINA, J.C.; TEDESCO, M.J.; CARMO, C.A.F.S. do. Amostragem, acondicionamento e preparo de amostras de plantas para análise química. In: SILVA, F.C. da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes** 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p.59-85, 2009.

BORGES, I. D.; VON PINHO, R. G.; PEREIRA, J. L. A. R. Micronutrients accumulation at diferente maize development stages. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 4, p.1018-1025, 2009.

CECCON, G. **Consórcio milho-braquiária**. 1ª Ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

COELHO, A. M. **Nutrição e adubação do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10p. (Circular Técnica, 78).

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim da safra de grãos**: Nono levantamento, julho 2020 – safra 20'9/2020. Disponível em:

<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em : 02 de julho de 2020.

DUARTE, A. P.; KIEHL, J. C.; CAMARGO, A. F.; RECO, P. C. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em cultivares de milho originárias de clima tropical e introduzidas de clima temperadas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, n.3, p.1-20, 2003.

DUARTE, A.P.; CANTARELLA, H.; KAPPES, C. Adubação de sistemas produtivos: milho safrinha e soja. In: PAES, M.C. (Ed.). **Construindo sistemas de produção sustentáveis e rentáveis: palestras do XIV Seminário Nacional de Milho Safrinha**, 2017. Sete Lagoas: ABMS, 2017, p.173-195.

DUARTE, A.P.; ABREU, M. F.; FRANCISCO, E. A. B.; GITTI, D. C.; BARTH, G.; KAPPES, C. Reference Values of Grain Nutrient Content and Removal for Corn. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 43, e0180102, 2019.

FANCELLI, A. L. **Plantas Alimentícias**: guia para estudos e discussão. Piracicaba: CALQ, 1986. 131p.

FANCELLI, A. L. Manejo baseado na fenologia aumenta eficiência de insumos e produtividade. In: Milho. Brasil amplia cultivo para atender demanda crescente. **Revista Visão Agrícola**, Piracicaba/SP, n. 13, p. 24-29, 2015.

FURLANI, P. R.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O. C.; SILVA, W. J. Acúmulo de macronutrientes, de silício e de matéria seca por dois híbridos simples de milho. **Bragantia**, v. 36, n. 22, p. 223-229, 1977.

GUTIÉRREZ, A. M.; RESENDE, A. V.; SILVA, C. G. M.; MARTINS, D. C.; SIMÃO, E. P.; MOREIRA, S. G.; FERREIRA, J. P. C. Uptake and exportation of micronutrientes by transgenic cultivars of maize under no-tillage in the brasilian cerrado. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 9, 2018.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Disponível em:

<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>. Acesso em: 2 de julho de 2020.

LYRA, G. B.; ROCHA, A. E. Q.; LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I. Crescimento e produtividade do milho, submetido a doses de nitrogênio nos tabuleiros costeiro de Alagoas. **Revista Ceres**, v. 61, n.4, p. 578-586, 2014.

MARTINS, K. V.; DOURADO-NETO, D.; REICHARDT, K.; FAVARIN, J. L.; SARTORI, F. F.; FELISBERTO, G.; MELLO, S. C. Maize dry matter production and macronutrient extraction model as a new approach for fertilizer rate estimation. **Anais da academia brasileira de ciências**, v. 81, p. 705-716, 2017.

NEL, P.C.; SMITH, N.S.H. Growth and development stages in the growing maize plant. **Farming in South Africa**, p.1-7, 1978.

OLIVEIRA, P.; NASCENTE, A. S.; KLUTHCOUSKI, J.; PONTES, T. Crescimento e produtividade de milho em função da cultura antecessora. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.3, p. 239-246, 2013.

OLIVEIRA, T. F. ANDRADE, G. A. V.; OLIVEIRA, V. J. B.; SOARES, M. E. P.; AQUINO, L. A. Uptake and exportation of micronutrients in high productivity corn fields. **Revista agro@ambiente on-line**, v. 13, p. 55-67, 2019.

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**, v. 28, n. 4, p. 382-388, 2013.

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

RESENDE, J. M. D. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; DANTAS, J. S.; SIQUEIRA, D. S.; TEIXEIRA, D. D. B. Spatial variability of the properties of cohesive soils from eastern Maranhão, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 4, p. 1077-1090, 2014.

RITCHIE, S. V.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **Como a planta de milho se desenvolve**. Potafós: Informações Agronômicas, n.103, Arquivo do agrônomo, n.15, 2003.

SANTOS, V. M.; MELO, A. V.; SIEBENEICHLER, S. C.; CARDOSO, D. P.; BENICIO, L. P. F.; VARANDA, M. A. F. Physiological indices of seedlings of maize (*Zea mays*L) under the action of biostimulantes. **Journal of biotchnology and bioversity**, v. 4, n. 3, o. 232-239, 2013.

SAYRE, J. D. Mineral accumulution in corn. **Plant physiology**, v. 23, n. 3, p. 267-281, 1948.

SILVA, C. G. M.; RESENDE, A. V.; GUTIÉRREZ, A. M.; MOREIRA, S. G.; BORGHI, E.; ALMEIDA, G. O. Macronutrient uptake and export in transgenic corn under two levels of fertilization. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 53, n. 12, p. 1363-1372, 2018.

SILVA, G. S. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; CARDOSO, M. J.; ARAÚJO NETO, R. B. Soil water dynamics and yield in maize and *Brachiaria ruziziensis* intercropping. **Pesquisa agropecuária tropical**, v. 50, e. 59809, 2020.

VALLE, I. C. A.; ALVES, J. M. A.; SILVA, L. S.; UCHÔA, S. C. P.; ALBUQUERQUE, J. A. A.; SILVA, D. C. O. Produção do milho híbrido 30F35HR cultivado na savana de Roraima em diferentes densidades de plantio. **Revista Agroambiente on-line**, v. 7, n. 3, p. 294-303, 2013.

VASCONCELLOS, C. A.; BARBOSA, J. V. A.; SANTOS, H. L. dos; FRANÇA, G. E. de. Acumulação de massa seca e de nutrientes por dois híbridos de milho com e sem irrigação suplementar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 18, n. 8, p. 887-901, 1983.

VON PINHO, R. G.; BORGES, I.D.; PEREIRA, J. L. A. R.; REIS, M. C. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista brasileira de milho e sorgo**, v. 8, n. 2, p. 157-173, 2009.

ZUCARELI, C.; CARMENS FILHO, A. C. A.; GONÇALVES, M. S.; OLIVEIRA, M.A. Acúmulo de graus-dias, ciclo e produtividade de cultivares de milho de segunda safra para região de Londrina-PR. In: **Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, 28, 2010, Goiania. Anais Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010.