

O cultivo do algodão de ponta a ponta: manejo fitotécnico, nutricional e fisiológico

Autores:

Anderson dos Santos Dias

Mestrando em Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados-MS

Cleberton Correia Santos

Professor do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados-MS

DOI: 10.58203/Licuri.20106

Como citar este capítulo:

DIAS, Anderson dos Santos; SANTOS, Cleberton Correia. O cultivo do algodão de ponta a ponta: manejo fitotécnico, nutricional e fisiológico. In: ANDRADE, Jaily Kerller Batista (Org.). *Estudos em Ciências Florestais e Agrárias*. Campina Grande: Licuri, 2023, p. 73-100.

ISBN: 978-65-85562-01-0

Resumo

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é uma das culturas de maior interesse econômico no Mercado Internacional de commodities. No entanto, ainda é necessário o detalhamento dos manejos adotados para a cultura. Objetivou-se descrever as principais características do algodoeiro e o posicionamento fisiológico e nutricional para a cultura visando obtenção maiores produtividades de maneira sustentável. O estudo se tratou de revisão de literatura de maneira descritiva. O algodoeiro é uma planta com elevada complexidade morfológica e fisiológica, alta plasticidade fenotípica. As fases fenológicas do algodoeiro são divididas em vegetativa, formação de botões florais, abertura de flor e abertura do capulho. É indicado realizar o tratamento de sementes de modo a evitar problemas fitossanitários, especialmente na fase inicial. Considerando que o algodoeiro não é eficiente no uso dos nutrientes, é importante analisar a absorção e exportação de nutrientes à medida que se aumenta a produtividade há redução na proporção exportada. Por se tratar de uma planta de crescimento indeterminado, diversos são os processos fisiológicos que agem sobre a planta. Assim, o uso de desfolhantes e maturadores é uma prática importante visando a obtenção de campos de produção uniformes e altamente produtivos. O manejo de reguladores é baseado em critérios de altura das plantas e o ciclo de cada cultivar, além do produto e suas respectivas doses recomendadas. A sua aplicação de desfolhantes contribui positivamente na velocidade, uniformidade dos capulhos e qualidade das fibras. As informações descritas nesse trabalho poderão subsidiar tomadas de decisão na implantação e manejo.

Palavras-chave: Capulhos. Desfolhantes. Reguladores de crescimento. Nutrição mineral. Fibras.

INTRODUÇÃO

O algodoeiro/algodão (*Gossypium hirsutum* L.) é a cultura de maior importância no Mercado Internacional de *commodities*. Além disso, a extração resulta na colheita da maior fibra têxtil do mundo, razão pela qual a faz ser considerada uma das plantas de maior aproveitamento, figurando uma das dez maiores culturas de produção agrícola do agronegócio brasileiro. No Brasil, de acordo com CONAB (2022) as áreas de maior expressão cultivadas com algodão estão situadas nos Estados da Bahia, Mato Grosso e Goiás. Foi reportado, ainda que, a cadeia do algodão constitui-se em uma das principais atividades deste país, representando em torno de 16% da economia nacional.

Atualmente, a produção do Brasil está em torno de 6.275,6 mil toneladas de caroço de algodão. Durante a safra 2022/23, cerca de 1.638,0 mil ha foram destinadas ao cultivo do algodoeiro, apresentando produtividade média de 1.815 kg ha⁻¹ (CONAB). Considerando-se uma cultivar com 25% de óleo na semente, caso esta produção toda fosse transformada em óleo, seriam produzidos 1.568.900.000 litros de óleo (CARVALHO et al., 2010), denotando valores expressivos, sobretudo para atender a demanda por matéria prima para a produção de biodiesel.

A cadeia do algodão vem ganhando cada vez mais destaque no agronegócio brasileiro. No ano de 2019, o Brasil registrou uma produção de aproximadamente 6,9 milhões de toneladas de pluma da cultura. Isso colocou o país como o quarto maior produtor mundial, ficando atrás de China, Índia e Estados Unidos. As exportações de algodão em pluma geraram divisas externas, em 2019, de R\$ 10,6 bilhões (FAOSTAT, 2021). O produto interno bruto (PIB) do agronegócio da cadeia do algodão, calculado pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea), foi R\$ 16,1 bilhões em 2017 (CEPEA, 2020). Esse é um cenário sinalizado pela Associação Brasileira dos Produtores de Algodão (Abrapa) como promissor já que, além de o Brasil estar entre os principais produtores, é também um dos maiores consumidores desse produto.

De acordo com a CONAB (2022) em agosto de 2022, as exportações de algodão foram na ordem de 62,79 mil toneladas, conforme informações do Ministério da Economia. Este valor é 18,3% maior que o mesmo período do ano anterior. O preço médio da tonelada exportada foi de R\$ 1.977,3, o que é 13,5% acima do valor de agosto de 2021. Ao passo, em novembro de 2022, de acordo com dados do Ministério da Economia, foram exportadas

268,5 mil toneladas, ao preço médio de US\$ 1.958,6 a tonelada. Comparado aos meses anteriores, o preço médio da tonelada é 6,5% menor, mas ao compararmos com o mesmo período do ano anterior é 12,3% maior. Em termos de volume, o crescimento em relação a novembro de 2021 foi de 61,5%. Até novembro de 2022 foram exportadas 1.627,9 mil toneladas, sendo a previsão de exportação total para o ano de 2022 de 1.902 mil toneladas. Para 2023 espera-se que sejam exportadas 1.978 mil toneladas, podendo até mesmo superar as 2.000 mil toneladas, caso haja uma melhora no cenário econômico mundial.

Segundo a CONAB (2022), a demanda mundial por algodão foi abalada pela guerra na Europa, inflação global e a desaceleração econômica. Nos últimos meses a retração na demanda se acentuou, principalmente na China, o maior comprador de algodão brasileiro, devido às restrições de circulação para combate à Covid-19. Assim, este levantamento aponta que muitos produtores têm a intenção de ampliar as áreas destinadas para esta cultura. Mesmo diante desse cenário, o mercado está otimista quanto à evolução do consumo interno para a safra 2022/23, a qual se espera que atinja 720 mil toneladas. Assim, espera-se que haja um crescimento de 20,6% no estoque final dessa safra, comparada à safra 2021/22, resultando em um estoque final de 1,6 milhão de toneladas (CONAB, 2022).

Objetivou-se descrever as principais características do algodoeiro e o posicionamento fisiológico e nutricional para a cultura visando obtenção maiores produtividades de maneira sustentável.

ASPECTOS BOTÂNICOS

O algodoeiro é uma planta com elevada complexidade morfológica e fisiológica, alta plasticidade fenotípica, apresentando crescimento alométrico quase que perfeito entre a parte aérea e subterrânea. Por classificação sistemática, o algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.r. *latifolium* Hutch.) é descrito na seguinte classificação: divisão Embriophita sifanogamae, subdivisão Fanerogamae ou espermatophita, Filo Angiospermae, Classe Dicotiledoneae, Subclasse Archichlamidae, Ordem Malvales, Família Malvaceae, Tribo Hibisceae, Gênero *Gossypium*, Espécie *G. hirsutum*, Raça *G. hirsutum latifolium* (Algodão Brasileiro, 2008).

Por orientação, o ciclo das variedades de algodoeiro anual pode ser classificado em: precoce (cerca de 130 dias), ciclo médio (140-170 dias) e tardio (acima de 170 dias) (Fuzatto, 1999). Sendo que, a depender das condições edafoclimáticas, é transcorrido um período de 50 a 85 dias, a partir da semeadura até a formação dos primeiros botões florais. A mais, 25 a 30 dias para a formação das flores e 50 a 60 dias para abertura e maturação das ‘maças’ (termo utilizado para designar os frutos do algodoeiro) (Doorenbos e Kassam, 2000).

Para determinação da escala de desenvolvimento do algodoeiro, o Instituto Agrônomo do Paraná publicou em 2003 um compêndio para trazer informações com o objetivo de padronizar a escala fenológica do algodão, ao qual foi amplamente difundido e aceito na comunidade técnico-científica como forma de padronização na identificação de estágios de desenvolvimento das lavouras de algodoeiro. Por assim, na proposta atual, o estágio de crescimento e desenvolvimento são caracterizados, basicamente, em função de suas fases fenológicas, dentre elas: vegetativa (v), formação de botões florais (b), abertura de flor (F) e abertura do capulho (c) conforme proposta de Mansur e Ruano (2001).

Dessa forma, no período vegetativo, situado desde a emergência das plântulas até a emissão da primeira folha verdadeira, considera-se como estágio V_0 . A partir do limite anterior e até que a segunda folha verdadeira tenha a sua nervura principal com comprimento de 2,5 centímetros, o estágio será V_1 . Sucessivamente, aplicando o mesmo critério, a planta avançará para os estágios V_2 , V_3 , V_4 , V_5 etc. Durante a fase reprodutiva, o estágio passa a ser B_1 , iniciado a partir da emissão do primeiro botão floral visível e assim, sucessivamente, à medida da emissão de um novo botão floral em um novo ramo frutífero. Em seguida, a indicação “ B_n ” é substituída pelo termo F_1 , dado a abertura da flor, proveniente do primeiro botão floral e assim sucessivamente (F_n). Por fim, dado a emissão do primeiro capulho, o estágio de desenvolvimento passará a ser C_1 e sucessivamente (C_n).

IMPLANTAÇÃO DA CULTURA: PLANEJAMENTO, OPERAÇÕES E SISTEMA DE CULTIVO

A atividade agrícola é considerada um dos investimentos com maiores níveis de risco e a produção final depende do uso de insumos e processos com características incertas,

principalmente relacionadas às condições climáticas e de preços (Barros et al., 2019). Além disso, a atividade demanda um longo período de produção, o que requer um período significativo entre as decisões e os resultados (Olson, 2010; Kay et al., 2014;). Por exemplo, os produtores são normalmente afetados pelas incertezas do mercado durante o processo de tomada de decisão, como compras de insumos e preços de comercialização. Além disso, a globalização expôs ainda mais o agronegócio ao complexo mercado internacional e aos riscos políticos, obrigando os produtores a elaborar estratégias de negócios ainda mais sofisticadas (Kay et al., 2014).

Não diferente desses fatos, os cotonicultores deverão, previamente ao cultivo, elaborar, junto a consultoria técnica, um planejamento agrícola ao qual deverão ser listadas os processos a compor o sistema de produção do algodoeiro. Tal planejamento irá abordar desde a seleção de áreas com elevado potencial produtivo a cultivares a serem utilizadas e aos insumos de uso previsto durante a safra. Ainda na análise, deverá ser considerada a textura do solo, optando por solos de textura média a argilosa em razão, principalmente, da elevada sensibilidade do algodão a solos compactados, mal drenados e com baixa oxigenação (Bennet et al., 2015; Jamali et al., 2021; Otto et al., 2023).

Uma vez iniciada a limpeza da área a ser destinada ao cultivo, alguns fatores devem ser levados em consideração: o primeiro diz respeito ao histórico da área (cultura anterior e tempo de cultivo), já o segundo diz respeito a obrigatoriedade em respeitar as normas sanitárias impostas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) no tocante ao Vazio Sanitário.

O Vazio Sanitário do algodão é uma das práticas de controle fitossanitário para a principal praga da cultura, bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis* Boh). Dessa forma, o princípio de controle reflete na restrição a fonte de alimento para o inseto de forma coordenada em todo o país.

Dessa forma, para respeitar o período, uma etapa importante a ser realizada corresponde a destruição das soqueiras do algodoeiro, processo ao qual poderão ser realizadas práticas físicas com utilização de herbicidas. Tal processo, tem início com a utilização do arado ou gradagem em toda a área de cultivo. Posteriormente, é necessário a verificação da rebrota, ao qual deverá ser eliminada através do controle químico. Apresenta-se abaixo (Tabela 1), uma sugestão de técnicas para controle da soqueira, com índices de sucesso próximo a 100%, apresentado pela Associação Piauiense dos Produtores de Algodão (APIPA, 2020).

Tabela 1. Recomendações para a destruição dos restos culturais do algodão.

| Identificação ² | Técnica |
|----------------------------|--|
| Combinação 1 | Roçadeira ou triturador de restos culturais + aplicação de herbicida sistêmico em sequência ou após a rebrota das soqueiras ¹ ; |
| Combinação 2 | Triturador de restos culturais + subsolador + grade. Após alguns dias, é necessário avaliar a brotação; |
| Combinação 3 | Correntão “pique a repique” + herbicida sistêmico em sequência imediata; |
| Combinação 4 | Triturador de restos culturais + arrancador de soqueira + grade intermediária + avaliação da necessidade de utilização de herbicida ¹ |

¹cabe ressaltar que a aplicação de herbicidas somente será válida após as primeiras chuvas; ²após o uso das técnicas citadas é necessário o correto monitoramento periódico da área, visando identificar focos de rebrota que poderão servir de alojamento ao inseto alvo, reduzindo por assim, a efetividade do Vazio Sanitário. Fonte: APIPA (2020)

Ao encerrar o Vazio Sanitário, a atividade agrícola seguinte refere-se ao preparo do solo objetivando a eliminação de restos culturais, reduzir a compactação das camadas subsuperficiais, incorporar herbicidas (Pré emergentes) e corretivos. Além de nivelar o terreno, possibilitando a germinação e emergência das sementes. Dessa forma, o preparo do solo deve ser feito com subsolador ou escarificador, em certos casos onde há necessidade de incorporação de insumos (calcário, gesso ou semelhantes) no solo, o uso de grade de disco pode ser recomendado.

Com relação a época de entrada com o maquinário nos talhões, recomenda-se o primeiro preparo a ser realizado ao final do período de chuvas, anterior ao plantio, de modo a condicionar um ambiente favorável para a decomposição do material orgânico, ora incorporado no solo. Principalmente em áreas de primeiro ano, é importante respeitar a capacidade de carga e pressão imposta sob o solo evitando, assim, entradas excessivas na área com o maquinário. De forma prática, o primeiro preparo do solo poderá ser realizado até 20 cm de profundidade, seguido por 15 e 25 cm nas etapas subsequentes, evitando a formação do “pé de grade”. Além disso, cabe salientar que, todas as operações deverão ser realizadas em curva de nível.

Ao passo do primeiro preparo do solo, uma amostragem deverá ser realizada com objetivo de reunir o máximo de informações a respeito das características físicas e químicas do solo. Existem na literatura diversas metodologias de amostragem de solo seja: faixas, manchas, grid ou aleatório no qual a escolha dependerá da estrutura e capacitação dos profissionais envolvidos na coleta. Outro parâmetro diz a respeito da definição da

densidade de amostral e a profundidade de trabalho. No usual, a densidade amostral está influenciada diretamente com a qualidade do resultado final onde, um maior número de amostras por hectare resultará em maior proximidade com as condições de campo, facilitando a tomada de decisão acerca das adubações. Ainda, com relação a profundidade de trabalho, geralmente, o padrão resulta entre 0 a 20 e 20 a 40 cm. Entretanto, particularidade diz respeito sobre os níveis de enxofre no solo (ao qual poderá definir a necessidade de gessagem) sendo necessária uma nova profundidade de trabalho, portanto, 40 a 60 cm. Uma vez coletado os materiais e devidamente condicionados em embalagens previamente identificadas, o material final será encaminhado para um laboratório com certificação para análise físico-química do solo (Zancanaro et al., 2022).

Com relação a escolha das variedades, o potencial produtivo, geralmente, é a principal característica a ser avaliada por técnicos e produtores, entretanto, diversos são os fatores que irão afetar a produtividade final, seja: disponibilidade água, luz, nutrientes, presença de pragas e ocorrência de doenças. Dessa forma, faz necessário a inclusão de mais de um tipo de variedade pelo produtor a fim de minimizar os riscos. Citando ainda quais os critérios para adoção das variedades nos campos de produção, o comportamento agrônômico (resistência a doenças, tolerância a nematoides, exigência nutricional etc.) e a qualidade da fibra (potencial genético) produzida são outros fatores que influenciam a tomada de decisão (Vilela e Bélot, 2022).

Portanto, recomendações mais específicas a respeito da escolha da variedade não serão abordadas, visto a particularidade de cada campo de produção, no que diz respeito as condições agroclimáticas, onde a tomada de decisão deverá ser realizada por um profissional devidamente credenciado ou uma equipe especializada.

Com relação a época de semeadura, existe uma sazonalidade para cada estado, o qual pode ser ampliada para sub-regiões, por exemplo: na região sul de Mato Grosso, próximo à divisa com a Bolívia, a época de semeadura ideal coincide com a estação chuvosa, entre outubro a meados de março; já ao norte de Mato Grosso do Sul e ao leste de Goiás, o período de semeadura pode ser ampliado de outro para início de abril (Neto et al., 2001). Portanto, a diferente sazonalidade é razão da variação temporal e localizada das chuvas, evitando problemas com déficit hídrico nos primeiros dias de condução da lavoura.

Alinhado a escolha das variedades duas vertentes o produtor deverá ter em mente, a primeira diz a respeito à janela de semeadura além disso, deve ser definido que a semeadura deverá começar por variedades de ciclo mais longo e finalizar com variedades

de ciclo precoce, de modo a obter uma uniformidade de data próximo a colheita das plumas.

Anterior a semeadura, faz-se necessário a adoção do tratamento de sementes de modo a evitar problemas fitossanitários principalmente aqueles relacionados à ocorrência de doenças na fase inicial de desenvolvimento da cultura, conforme Goulart (2008a). Dentre elas, o “damping-off” é considerado uma das principais de acordo com relatos de Davis et al. (1997), Wang & Davis (1997) e Goulart (2001). Nas condições do Brasil, principalmente em se tratando do algodão do cerrado, o principal agente causal do tombamento de plântulas é *Rhizoctonia solani* Kuhn grupo de anastomose (AG)-4 (teleomorfo: *Thanatephorus cucumeris* (A.B. Frank) Donk), pela frequência que ocorre (mais de 95% dos casos) e pelos danos que causa na fase inicial de estabelecimento da lavoura. Este fungo ataca as sementes e plântulas de algodão, causando o tombamento em pré e pós emergência.

Assim, no mercado atual, estão disponíveis cerca de 32 produtos comerciais envolvendo mistura ou isolados de triazóis, estrobilurina, benzimidazol e carboxamidas. Apresenta-se abaixo (Tabela 2) a relação de produtos de alguns produtos com seus ingredientes ativos e a dose recomendada para o tratamento de sementes, de acordo com o MAPA (2023).

Tabela 2. Listagem de produtos recomendados para o tratamento de sementes na cultura do algodão.

| Identificação | Princípio ativo | Dose recomendada |
|-----------------------------------|--|------------------------------------|
| Spectro® | Fipronil (pirazol) + Piraclostrobina (estrobilurina) + Tiofanato-metílico (benzimidazol) | 400-500 mL p.c./100 kg de sementes |
| Standak Top® | Fipronil (pirazol) + Piraclostrobina estrobilurina) + Tiofanato-metílico (benzimidazol) | 400-500 mL p.c./100 kg de sementes |
| Captive®; Betan®; Cobral®; Pasha® | Captana (dicarboxamida) | 150 (g p.c./100 kg de sementes) |
| Dynasty® | Azoxistrobina (estrobilurina) + fludioxonil (fenilpirrol) + metalaxil-M (acilalaninato) | 200-300 mL p.c./100 kg de sementes |
| Vitavax Thiram 200 SC® | carboxina (carboxanilida) + tiram (dimetilditiocarbamato) | 400-800 mL p.c./100 kg de sementes |

Fonte: MAPA (2023).

Após a realização do tratamento de sementes, inicia-se o processo de semeadura, no qual deverão ser definidos quatro parâmetros importantes: arranjo de plantas, espaçamento entre linhas e plantas e densidade populacional. Basicamente, o arranjo de plantas dependerá da população final (nº de plantas x unidade de área), da densidade (número de plantas por metro) e do espaçamento entre fileiras. Avaliando o efeito da população de plantas no crescimento, produtividade e qualidade de fibra, Alves et al. (2017) observaram que a maior produtividade foi obtida em populações de até 73 mil plantas ha⁻¹, em contrapartida, populações de até 125 mil plantas ha⁻¹ apresentaram melhores características relacionadas a qualidade de fibra (resistência à ruptura e índice de fiabilidade). Por outro lado, em condições de segunda safra, o aumento da densidade de plantas, a utilização do espaçamento adensado de 45 cm entre fileiras, não ocasionou aumento na produtividade e qualidade de fibra, conforme observado por Ferreira et al. (2015). Com relação ao espaçamento entre fileiras, existem convenções de padrão a nível mundial: Ultra Narrow Row (UNR) ou ultra estreito - espaçamento de 0,19 m a 0,38 m; Narrow Row (NR) ou adensado - espaçamento de 0,38 m a 0,45 m; Convencional - espaçamento superior a 0,76 m. Entretanto, a reflexão prática é utilizar o mesmo espaçamento gerido na cultura da Soja (*Glycine max* L.) de forma a aproveitar a regulação e os equipamentos utilizados pela grande maioria do mercado consumidor (Lamas et al., 2022)

MANEJO DE MACRONUTRIENTES VISANDO ALTA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE PLUMA

Em razão do material de formação, os solos do Brasil, principalmente do Bioma Cerrado, apresentam fertilidade natural baixa. Tal limitação deve ser manejada de forma a obter produtividades adequadas para as diferentes culturas. Nesse sentido, apesar do algodoeiro não ser tão exigente em nutrientes quando, comparado com outras culturas, é necessário realizar o aporte de fertilizantes de modo a suprir o ciclo vegetal. Dessa forma, será relatado a seguir as práticas de manejo nutricional no momento da implantação da cultura.

Conforme relatado em Comunicado Técnico elaborado pela Embrapa (2014), para realizar os cálculos de demanda nutricional e posterior adubação, é necessário o conhecimento do potencial de extração da cultura, ou seja, o quanto a planta absorve

durante o ciclo de crescimento e desenvolvimento para a formação dos tecidos vegetais e a produção de algodão.

Dessa forma, Rochester (2007), em trabalho clássico, buscou aferir os valores de absorção e exportação de macro e micronutrientes conforme a expectativa de produção de pluma (kg ha^{-1}). Importante salientar que, o trabalho foi desenvolvido na Austrália, entretanto, sua adaptação pode ser utilizada para a expectativa da produção em território brasileiro. Assim sendo, na tabela 3 estão reunidas as informações a respeito da absorção e exportação de nutrientes pelo algodoeiro.

Tabela 3. Quantidade de nutrientes absorvidos e exportados pelo algodoeiro em razão da produtividade.

| Nutriente | Produção de pluma (Kg ha^{-1}) | | | | | | | | |
|------------|---|---------------------|-------|---------------------|------|---------------------|----|---------------------|----|
| | 1.000 | 1800 | 2400 | 1000 | 1800 | 2400 | | | |
| | Absorção | | | Exportação | | | | | |
| | Kg ha^{-1} | Kg ha^{-1} | % | Kg ha^{-1} | % | Kg ha^{-1} | % | Kg ha^{-1} | % |
| Nitrogênio | 63 | 175 | 290 | 42 | 66 | 91 | 52 | 133 | 46 |
| Fósforo | 13 | 27 | 41 | 10 | 82 | 19 | 69 | 25 | 60 |
| Potássio | 77 | 167 | 250 | 16 | 21 | 28 | 17 | 38 | 15 |
| Enxofre | 10 | 39 | 62 | 4 | 42 | 8 | 21 | 11 | 18 |
| Cálcio | 71 | 94 | 155 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| Magnésio | 16 | 36 | 63 | 7 | 45 | 12 | 34 | 16 | 25 |
| Ferro | 0,227 | 0,820 | 1,620 | 0,091 | 40 | 0,328 | 17 | 0,178 | 11 |
| Manganês | 0,152 | 0,355 | 0,655 | 0,008 | 5 | 0,011 | 3 | 0,013 | 2 |
| Boro | 0,075 | 0,320 | 0,560 | 0,017 | 22 | 0,070 | 13 | 0,062 | 11 |
| Cobre | 0,025 | 0,052 | 0,081 | 0,013 | 51 | 0,020 | 38 | 0,251 | 31 |
| Zinco | 0,058 | 0,119 | 0,203 | 0,057 | 99 | 0,087 | 73 | 0,123 | 61 |

Fonte: Adaptado de Rochester (2007).

Conforme observado na tabela 3, o algodoeiro não é responsivo a eficiência da planta em utilizar os nutrientes. Por assim, ao analisar a absorção e exportação de tais elementos à medida que se aumenta a produtividade há uma redução na proporção exportada. Nesse sentido, Zancanaro e Kappes (2020) elenca que a não completa utilização do aporte de fertilizantes alocados pela planta ocasiona a reciclagem de nutrientes ao solo, conferindo o aspecto do algodoeiro não ter eficiência na utilização de nutrientes, mediante a adubação.

Nitrogênio

Dentre os nutrientes mais extraídos pelo algodoeiro, o nitrogênio merece destaque, principalmente por sua influência durante o ciclo de desenvolvimento da planta e a qualidade da fibra produzida (Khan et al., 2017). Entretanto, segundo o mesmo autor, a adubação nitrogenada excessiva condiciona a planta a desenvolver brotos em demasia, além de aumentar o ciclo vegetativo, por consequência, atrasando o florescimento e a produção, além do não amadurecimento dos tecidos vegetais havendo predisposição ao ataque de pragas e doenças.

Segundo Flis (2019), o período de maior demanda nutricional por nitrogênio convém com o final de ciclo do crescimento do algodoeiro, onde em proporcionalidade, a demanda nutricional pode ser estipulada para 250 a 300 kg de N por ha⁻¹, de acordo com o levantamento elaborado por Ali (2015).

Dentre os fertilizantes mais utilizados no mundo, a ureia encontra-se no pódio (IFA, 2020) em virtude da vantagem econômica e praticidade de aplicação e transporte. Entretanto, é sabido, que as perdas de ureia via volatilização da amônia (>30% do N aplicado) constitui uma barreira a ser enfrentada pelos produtores rurais, seja cotonicultores ou demais. Existem ainda outros fertilizantes nitrogenados, citando como exemplo, o nitrato de amônio, onde o Brasil consome cerca de 22% da produção mundial segundo a FAO (2021). Entretanto, existe outra barreira relacionado ao comércio desse fertilizante, devido ao seu potencial explosivo, ao qual recorre a legislação brasileira regulamentar o seu comércio, transporte e armazenamento (DFPC, 2021).

Dessa forma, pesquisas têm sido feitas com o intuito de aproveitar ao máximo o potencial dos fertilizantes nitrogenados, evitando sua volatilização ou poluição ambiental. Nesse sentido, Carvalho et al. (2011) elabora uma sugestão de doses de fertilizantes nitrogenados com base na expectativa de produtividade a ser alcançada, sendo apresentado na tabela 4.

Portanto, apesar do consenso em dosagem de N estimada por Carvalho et al. (2011), na literatura existem ensaios que buscam otimizar a aplicação dos fertilizantes nitrogenados com ênfase no resultado da qualidade de fibra e produtividade final. Nesse contexto, Ottoa et al. (2022) investigaram o efeito do uso contínuo da ureia, cálcio amônio nitrato (CAN) em diferentes doses na produtividade, qualidade de fibra e a eficiência agrônômica de uso dos insumos citados em quatro safras.

Tabela 4. Sugestão de doses de nitrogênio para diferentes momentos da cultura do algodoeiro em razão da expectativa de produtividade.

| Expectativa de produtividade ⁽²⁾ | N na sementeira (kg ha ⁻¹) | N em cobertura (kg ha ⁻¹) |
|---|--|---------------------------------------|
| Até 3000 | 15 a 20 | 60 a 80 |
| 4000 | 15 a 20 | 80 a 100 |
| 5000 ⁽¹⁾ | 15 a 20 | 100 a 120 |
| 6000 ⁽¹⁾ | 15 a 20 | 120 a 140 |

(1) Os maiores valores de produtividade correspondem a áreas com maior potencial de resposta a adubação nitrogenada, situação: solos com baixo teor de matéria orgânica; primeiros anos de plantio direto; sistema de rotação onde a cultura anterior seja uma gramínea. Para os menores valores de produtividade é esperado para solos com: rotação de culturas com leguminosas; solos com longo histórico de plantio direto e alto teor de matéria orgânica. (2) Em solos sob processo de correção de fertilidade ou em locais com baixa pluviosidade (<1200 mm) durante os primeiros 160 dias da cultura, é pouco provável que alcance essa expectativa de produtividade. Fonte: Carvalho et al. (2011).

Portanto foi observado que, em solos argilosos a aplicação de N aumentou a produtividade durante os quatros ciclos de estudo. Onde a maior produtividade acumulada (16.000 kg ha⁻¹) foi alcançada com a aplicação de 182 e 194 kg ha⁻¹ de CAN e ureia. Além disso, em solos franco-arenosos, os autores não encontraram diferenças na produtividade do algodoeiro em relação a adição do N, pois foi correlacionado a baixa eficiência de utilização pelas plantas associada as perdas via volatilização da fonte nitrogenado, relacionando ainda com a presença de matéria orgânica nesse tipo de solo, ocorrendo mineralização da mesma e por consequente, disponibilidade as plantas. Com respeito a fibra produzida, a aplicação do nitrogênio ocasionou redução direta na qualidade do material, pois houve estimulação do desenvolvimento dos tecidos vegetais como consequência da aplicação excessiva. Por fim, os autores concluem que é necessário haver um gerenciamento na aplicação de adubos nitrogenados, onde devem ser elencadas as condições específicas de cada campo de produção e ainda, no presente trabalho, a utilização do CAN apresenta pequena vantagem em substituição a ureia, o que sugere que maiores rendimentos podem surgir em maiores períodos de avaliação (superior a quatro safras de estudo).

Fósforo

Dentre os macronutrientes, o fósforo merece destaque por sua participação na constituição dos fosfolípidios integrados a membrana além de ser constituinte dos ácidos

nucleicos. Segundo Wu et al (2005), o nutriente também atua na transferência de energia por meio da fosforilação e desfosforilação de proteínas e atua ainda, como regulador da transdução de sinais. Quando em déficit, a escassez influencia diretamente a expansão foliar, a síntese de pigmentos fotossintetizantes, produção de matéria seca e enzimas metabólicas, o que por consequência, resulta no déficit de produção entre 10 a 15% (Vance et al., 2003).

Dado os problemas com relação ao esgotamento da produção de nutrientes nas minas de extração, além da formação de complexos ligantes de P tornando indisponível às plantas, Shen et al. (2013) relata que é necessário melhorar a eficácia de aquisição do P por meio a mobilização do P residual do solo, bem como aumentar a superfície de absorção das raízes, condicionando um manejo sustentável na aplicação do macronutriente.

Aliado a deficiência natural de fósforo em solos do Cerrado, são necessários aplicações via fertilizantes fosfatados o qual deve ser a última etapa após a análise e correção da acidez do solo, evitando a formação de complexos insolúveis. Portanto, na literatura existente um consenso para determinação da necessidade de adubação fosfatada com base no teor de argila (Tabela 5) e a expectativa de produtividade (Tabela 6).

Tabela 5 Rendimento potencial e interpretação da análise de solo para o P extraído pelo método de Mehlich-1, de acordo com o teor de argila, para recomendação de adubação fosfatada em sistema sequeiro com culturas anuais no Cerrado Brasileiro.

| Teor de argila (%) | Rendimento potencial da cultura (%) | | | | |
|--------------------|--|------------|-------------|-------------|--------|
| | 0-40 | 41-60 | 61-80 | 81-90 | >90 |
| | Interpretação dos teores de P no solo (mg dm ⁻³) | | | | |
| | Muito baixo | Baixo | Médio | Adequado | Alto |
| < 16 | 0 a 6,0 | 6,1 a 12,0 | 12,1 a 18,0 | 18,1 a 25,0 | > 25,0 |
| 16-35 | 0 a 5,0 | 5,1 a 10,0 | 10,1 a 15,0 | 15,1 a 20,0 | > 20,0 |
| 35-60 | 0 a 3,0 | 3,1 a 5,0 | 5,1 a 8,0 | 8,1 a 12,0 | > 12,0 |
| > 60 | 0 a 2,0 | 2,1 a 3,0 | 3,1 a 4,0 | 4,1 a 6,0 | > 6,0 |

Fonte: Adaptado de Souza e Lobatto (2004).

Analisando a eficiência e a rentabilidade agrônômica no uso integrado de fosforo proveniente de diversas fontes, Ali (2021) estudou a influência das bactérias solubilizadoras de fosfato, esterco de capoeira (EC), esterco de aves (EA) e fontes

inanimadas de P sobre os fatores fisiológicos, crescimento, rendimento e parâmetros de qualidade da cultura do algodão.

Tabela 6. Sugestão de adubação fosfatada de manutenção para o algodoeiro cultivado no Cerrado, em função da expectativa de produtividade e da interpretação da análise do solo. Fonte: Carvalho et al. (2011).

| Expectativa de produtividade ⁽¹⁾ | Teor de fósforo no solo | |
|---|---|------|
| | Adequado | Alto |
| Kg ha ⁻¹ | Kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ ⁽²⁾ | |
| Até 3000 | 60 | 30 |
| 4000 | 90 | 45 |
| 5000 ⁽¹⁾ | 110 | 55 |
| 6000 ⁽¹⁾ | 135 | 70 |

(1) Em solos sob processo de correção de fertilidade ou em locais com baixa pluviosidade (<1200 mm) durante os primeiros 160 dias da cultura, é pouco provável que alcance essa expectativa de produtividade; (2) Doses estimadas considerando: extração de 20 a 25 Kg ha⁻¹ de P₂O₅ para produção de 1000 kg de algodão em caroço.

Por vias instrutivas, foram analisadas as respostas mediante os seguintes tratamentos: duas cepas de bactérias solubilizadoras de fosfato (PSB), inoculadas via tratamento de sementes: S0= controle; S1= cepa-1; S2 = cepa-2 e oito fontes orgânicas de P inorgânicas P0 = controle, P1 = 80 kg ha⁻¹ P de fonte inorgânica, P2 = 80 kg ha⁻¹ P de EC, P3 = 80 kg ha⁻¹ P de EA, P4 = 40 kg ha⁻¹ P de EC + 40 kg ha⁻¹ P de fonte inorgânica, P5 = 40 kg ha⁻¹ P de EA + 40 kg ha⁻¹ P de fonte inorgânica, P6 = 80 kg ha⁻¹ P de EC + 40 kg ha⁻¹ P de fonte inorgânica, P7 = 80 kg ha⁻¹ P de EA + 40 kg ha⁻¹ P de fonte inorgânica e P8 = 40 kg ha⁻¹ P da EC + 40 kg ha⁻¹ P da EA. Com relação aos resultados obtidos, os tratamentos P4 e S1 resultaram em plantas com maior altura, maior peso de maçãs, índice de área foliar e índice de crescimento (g m⁻² dia⁻¹). Já para a produtividade e qualidade de fibra, o tratamento P7 contribuiu em maior rendimento e comprimento de fibra, além de apresentar uma maior relação custo-benefício para aplicação em campo. Por fim os autores concluem que, diversos são as possibilidades em meio a busca por fertilizantes alternativos de modo a suprir a necessidade de fósforo pela cultura do algodoeiro, no qual a combinação de 80 kg ha⁻¹ P de esterco de aves + 40 kg ha⁻¹ P de fonte inorgânica associada ao tratamento de sementes com cepas solubilizadoras de P, ajuda a dependência de fertilizantes inorgânicos além de promover a sustentabilidade na cadeia produtora do algodoeiro.

Outro contexto, recentemente estudado, em relação a cadeia produtiva do algodão e está, principalmente, relacionado com a nutrição da planta, diz a respeito da eficiência da expressão do gene Cry proveniente da tecnologia Bt (*Bacillus thuringiensis*) contra espécies de lepidópteros. Conforme elencado por Riaz Marral et al. (2020), os insetos dessa ordem ocasionam perdas consideráveis na produtividade do algodoeiro. Além do qual a utilização do algodão Bt tende a diminuir a aplicação excessiva de defensivos agrícolas nos campos de produção. Assim, segundo interligação proposta anteriormente por Zhou et al. (2000) foi estabelecido que a expressão do gene Cry esta correlacionada com o balanço de nutrientes o qual podem melhor a eficiência de atuação da proteína, ou em caso de manejo deficitário, influenciar de forma negativa, havendo escape de atuação da tecnologia.

Dado esse introdutório, Khan et al. (2023) investigou o pressuposto da resposta da toxina Cry mediante a utilização de diferentes três níveis de nitrogênio e três níveis de fertilizantes fosfatados. No qual foram realizadas análises quantitativas gênicas para determinação da expressão da proteína Cry1Ac via análise PCR e ensaio de imunoabsorção enzimática (kit ELISA). Com relação aos resultados obtidos, foi notável as diferentes concentrações da proteína mediante as combinações de aplicação dos fertilizantes nas plantas de algodoeiro. Dentre o qual, a aplicação de 150 kg ha⁻¹ de N + 75 kg ha⁻¹ de P expressou o maior nível de produção da proteína (média= 2,3740 e 2,1732 µg g⁻¹), enquanto que a aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N + 25 kg ha⁻¹ de P em 80 e 120 dias após a semeadura, ocasionou a menor média produtiva da toxina, representando média entre 0,9158 a 0,7641 µg g⁻¹. Portanto, os autores concluem que é vital a manutenção do período de vida útil da tecnologia Bt em algodoeiro de forma a evitar o estabelecimento de populações de insetos praga com resistência cruzada. Além do qual, a nutrição das plantas influencia diretamente na quantidade de proteína Cry1Ac produzida. Portanto, fica recomendado a utilização da dose 150 kg ha⁻¹ de N + 75 kg há⁻¹ de modo a manter as características de ação e produção da toxina Bt.

Além disso, cabe salientar que as cultivares do algodoeiro disponíveis no mercado respondem de forma diferente quanto à disponibilidade de P, o qual podem ter produtividade final diferente mediante a doses idênticas de fertilizantes fosfatados conforme visto por Swan (2018) e Iqbal (2020), no qual, diferentes cultivares podem apresentar diversidade genética na utilização e absorção de fosforo, sendo necessário conhecer a resposta e o desempenho da cultivar mediante a aplicação de adubos fosfatos

antes da referida aplicação, evitando assim, desperdícios de insumos e aumento no custo de produção.

Potássio

Classificado como macronutriente, em companhia do nitrogênio e fosforo, o potássio também é um elemento essencial para o desenvolvimento vegetal. Segundo Wang e Wu (2017) o nutriente atua em processos fisiológicos e metabólicos vitais para o crescimento das plantas, dentre eles: síntese de proteínas, fotossíntese, ativação enzimática, transporte de metabólitos, neutralização de aniônica e regulação osmótica. Por esse motivo, realizar o fornecimento do nutriente é vital para a produtividade do algodoeiro.

Conforme elaborado por Zancanaro e Kappes (2020), o potássio é o segundo macronutriente absorvido em maior quantidade pelo algodoeiro, entretanto, grande parte da porção absorvida é utilizada em processos metabólicos, no qual, apenas uma pequena fração é exportada (Tabela 3). Além disso, as reservas do nutriente em solos intemperizados, típicos da região do Cerrado brasileiro, é baixa, o que explica a necessidade de intervenção por meio de adubações.

Entretanto, cabe salientar que assim como os demais nutrientes, a quantificação da dosagem a ser aplicada irá depender, diretamente, dos resultados obtidos na análise do solo. Portanto, Vilela et al. (2004) elabora formas de interpretação do resultado da análise de solo para quantificar a concentração de K disponível (Tabela 7). No mais, Carvalho et al. (2011) apresenta algumas sugestões de doses de fertilizantes potássicos (Tabela 8) com base no resultado obtido da análise de solo.

Tabela 7. Interpretação da análise de solo para o potássio no Cerrado brasileiro, de acordo com a CTC, visando a recomendação de adubação das culturas anuais.

| CTC a pH 7,0 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) | Muito baixo | Baixo | Médio | Adequado/Bom |
|---|--|---------|---------|--------------|
| | Teor de K no solo (mg dm^{-3}) - Extrator Mehlich ⁻¹ | | | |
| < 4,0 | < 16 | 16 a 30 | 31 a 40 | > 40 |
| > 4,0 | < 26 | 16 a 50 | 51 a 80 | > 80 |

Fonte: Vilela et al. (2004).

Tabela 8. Sugestão de adubação potássica do algodoeiro cultivado no Cerrado, em função do teor de disponibilidade e da produtividade esperada.

| Produtividade esperada (Kg ha ⁻¹) (1) | Teor de K no solo (mg dm ⁻³) na camada 0-20 cm | | | | |
|---|--|------------------------|-----------|----------|----------------------|
| | < 25 ⁽²⁾ | 26 - 50 ⁽²⁾ | 51 - 80 | 81 - 120 | > 120 ⁽³⁾ |
| | Kg ha ⁻¹ de K ₂ O ⁽²⁾ | | | | |
| Até 3000 | 130 | 100 | 80 | 60 | 30 |
| 4000 | 150 a 170 | 120 a 140 | 100 a 120 | 80 | 40 |
| 5000 | 170 a 190 | 140 a 160 | 120 a 140 | 100 | 50 |
| 6000 | 190 a 210 | 160 a 180 | 140 a 160 | 120 | 60 |

(1) Em solos sob processo de correção de fertilidade ou em locais com baixa pluviosidade (<1200 mm) durante os primeiros 160 dias da cultura, é pouco provável que alcance essa expectativa de produtividade; (2) Em função dos baixos valores de K no solo, tais doses estão associadas a adubação corretiva + adubação de manutenção; (3) Alta concentração de potássio nesse tipo de solo, dessa forma, a adubação pode ser reduzida ou até suprimida por uma safra. Fonte: Carvalho et al. (2011).

Conforme pressupõe a literatura com relação a atuação do potássio na regulação osmótica, Ju et al. (2021) estudaram o efeito da aplicação de potássio como forma de mitigar os sintomas negativos do estresse salino na produtividade do algodoeiro. No referido ensaio, três condições de salinidade foram estudadas: CE= EC = 1,68-1,78, 6,21-6,42 e 10,59-11,08 dS m⁻¹ mediante a aplicação de três doses de fertilizantes potássicos: 0, 150, 300 kg K₂O ha⁻¹. Dessa forma, os autores observaram que, a biomassa do capulho do algodão, número total de capulhos, peso de capulho e rendimento de caroço foram aumentados mediante a aplicação das maiores doses de K. Com particularidade, os tratamentos K150 e K300 kg K₂O ha⁻¹, em comparação com o K0, elevou o número total de capulhos em 17,8 - 17,9 e 28,6 - 28,7%, o peso de capulhos em 4,6 - 5,1% e 6,5 a 8,5% e a produção de caroço de algodão em 23,7-24% e 38,3-40,4%, respectivamente. Com destaque maior para o tratamento K300. Além disso, a aplicação de K melhorou as taxas de fotossíntese líquida, aumentando a condutância estomática, concentração de clorofila *a* e *b* e relação de clorofila. Entretanto, o efeito positivo da aplicação de K nas propriedades fotossintéticas diminuiu com base no aumento dos níveis de salinidade, sugerindo que a aplicação de K pode aliviar o efeito estressante da salinidade e promover a capacidade fotossintética apenas em condições de estresse salino moderado (CE ≤ 6,42 dS m⁻¹), uma vez que o dano pode ser irreversível sob altas concentrações salinas (CE ≥ 10,59-11,08 dS m⁻¹).

Amostragem foliar para determinação do estado nutricional

Até aqui, foram descritos os procedimentos anteriores ou durante a implantação da lavoura de algodão, uma vez implantado a cultura, deve existir uma equipe para realizar o monitoramento periódico, visando detectar ataque de pragas, doenças e sintomas de déficit nutricional. Outra medida que os cotonicultores tem a disposição, diz respeito a diagnose do estado nutricional das plantas mediante a análise foliar.

Basicamente, a diagnose do estado nutricional consiste numa interpretação dos resultados da análise química de uma amostra representativa de folhas e/ou outros materiais de origem vegetal com o objetivo de identificar carência ou desequilíbrio nutricional. Conforme relato, Kurihara et al. (2014) salientam que os resultados da diagnose, normalmente, apresentam os indices dos seguintes nutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco.

De maneira prática, Zancanaro e Kappes (2020) resumem a metodologia para realização da análise foliar. Dessa forma, ao menos 25 folhas devem ser colhidas de 25 plantas diferente ao longo do talhão (ao qual deve apresentar características homogêneas, dita cultivares, época de plantio e condições químicas e físicas de solo), no qual, para coleta, as folhas alvo deve estar dispostas na 4ª ou 5ª posição do caule principal, contado a partir do ápice, sendo retirada durante o período de florescimento. Os autores relatam que essa folha é a mais adequada para avaliar o estado nutricional da cultura, pois está completamente expandida, fisiologicamente ativa e se encontra em equilíbrio fisiológico.

Além disso, outros cuidados devem ser tomados, dentre eles: não coletar folhas com idade inferior ou superior ao recomendado, não coletar amostras na bordadura do talhão, não coletar em talhões que receberam aplicações recentes.

Ao final, as amostras deverão ser identificadas com dados da fazenda, produtor, cultivar, época de plantio e demais informações que julgue necessário, condicionadas em sacos de papel, sendo posteriormente encaminhadas ao laboratório para análise e emissão do laudo de estado nutricional. Como exemplificação, Kurihara et al. (2013) elabora os teores de nutrientes utilizados para interpretação dos resultados da análise foliar, podendo ser aplicado para as regiões do Cerrado, principalmente Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (Tabela 9).

Tabela 9. Teores de nutrientes utilizados na interpretação dos resultados das análises de folhas de algodoeiro para os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

| Nutriente | Baixo | Suficiente | Alto | Excesso |
|------------------------|--------|-------------|-------------|---------|
| (g kg ⁻¹) | | | | |
| N | < 39,1 | 39,1 a 43,2 | 43,3 a 47,3 | > 47,3 |
| P | < 2,3 | 2,3 a 2,8 | 2,9 a 3,4 | > 3,4 |
| K | < 13,7 | 13,7 a 18,2 | 18,3 a 24,2 | > 24,2 |
| Ca | < 16,9 | 16,9 a 20,8 | 20,9 a 25,5 | > 25,5 |
| Mg | < 2,7 | 2,7 a 3,4 | 3,5 a 4,1 | > 4,1 |
| S | < 3,8 | 3,8 a 5,4 | 5,5 a 7,6 | > 7,6 |
| (mg kg ⁻¹) | | | | |
| B | < 28 | 28 a 38 | 39 a 50 | > 50 |
| Cu | < 7 | 7 a 12 | 12 a 11 | > 11 |
| Fe | < 50 | 50 a 71 | 71 a 120 | > 120 |
| Mn | < 44 | 44 a 66 | 66 a 75 | > 75 |
| Zn | < 17 | 17 a 28 | 28 a 58 | > 58 |

Fonte: Adaptado de Kurihara et al. (2013).

Manejo de reguladores de crescimento e desfolhantes

Por se tratar de uma planta perene de crescimento indeterminado, diversos são os processos fisiológicos que agem sobre a planta do algodoeiro, dentre os quais, concomitam no crescimento e desenvolvimento desde os estágios de imaturidade fisiológica passando para maturação sexual, envelhecimento ou amadurecimento natural dos órgãos e finalmente, morte celular.

Em revisão literária, Chen e Dong (2016) elenca os principais mecanismos que influenciam na maturidade e senescência do algodoeiro, dentre eles, podemos destacar: fatores ambientais (luz, água, temperatura, pH, salinidade), fatores relacionados ao estado de nutrição mineral das plantas, relação fonte-dreno e relação dossel-raiz das plantas, hormônios endógenos, atuação gênica (genes relacionados a senescência atuando na fotossíntese, metabolismo hormonal, degradação de macromoléculas e ciclagem de nutrientes).

Nesse sentido, é de uma complexidade intensa os fatores que podem atuar na senescência do algodoeiro. Entretanto, para alcançar a maturidade normal, é necessário a intervenção por meio de reguladores de crescimento. De acordo com a disponibilidade de mercado, é notável que um dos reguladores de crescimento mais utilizados é o Cloreto

de Mepiquat, ao qual, atrasa o crescimento vegetativo e promove a maturidade precoce coordenando a relação entre crescimento vegetativo e reprodutivo.

De forma prática, Echer et al. (2020) propõem algumas medidas a serem adotadas para monitorar o crescimento das plantas, basicamente a altura das plantas, sendo que as informações levantadas podem influenciar na tomada de decisão para a aplicação dos reguladores de crescimento. Portanto, o monitoramento deve iniciar a partir do estágio B1, pois é caracterizado pelo surgimento do primeiro botão floral aliado ao intenso crescimento do sistema radícula em decréscimo a parte aérea, onde a demanda por reguladores é baixa. A maior atenção é dada nos estágios F1 e C1, em casos onde pode haver perda de carga produtiva.

Dessa forma, no monitoramento deverão ser averiguadas algumas informações, dentre elas: altura de plantas, número de nós da haste principal e comprimento médio dos últimos cinco nós do ponteiro. Portanto, os autores propõem o gráfico de crescimento ideal de plantas para mediação da tomada de decisão a respeito da aplicação dos reguladores (Figura 2). Além disso, é informado que a medição do comprimento dos cinco nós é realizada a partir do primeiro nó no ápice da planta (deve haver distância mínima de 1,2 cm até o segundo nó) até o quinto nó, de forma a obter uma média (distância do primeiro nó (DN1) ao quinto nó (DN5) dividido por 5). De forma prática, os critérios para classificar o crescimento atual das plantas é baseado na seguinte estimativa: >3,5 cm condiciona o crescimento muito vigoroso; 3 - 3,5 cm crescimento vigoroso; < 3,0 cm crescimento baixo Echer et al. (2020).

Para a definição da dose de intervenção dos reguladores de crescimento, os mesmos autores atribuem algumas equações para determinar a quantificação da dosagem com base em algumas informações, como: ciclo da cultivar, temperatura local, umidade do solo, taxa de crescimento diário (Tabela 10).

Nesse sentido, de maneira prática, Lamas et al. (2013) descrevem que as primeiras aplicações de reguladores de crescimento estão alinhadas ao aparecimento dos primeiros botões florais até o pleno florescimento, no qual as plantas devem apresentar algumas características. Entre elas: 30 a 35 cm de altura em cultivares de porte alto; 35 a 40 cm de altura em cultivares de porte médio; 40 a 45 cm de altura nas cultivares de porte baixo. Além disso, conforme salientado pelos autores, é recomendado o parcelamento das doses do produto, em até 4 aplicações. Respeitando a seguinte recomendação: 10% da dosagem recomendada na primeira recomendação; 20% na segunda aplicação; 30% da dosagem na

terceira aplicação e 40% na última aplicação, de modo às plantas não apresentarem escape (falta de eficácia do produto mediante a doses relativamente baixas ou travamento da planta com conseqüente perda de produção mediante a doses elevadas).

Tabela 10. Sugestão de doses de regulador de crescimento em diferentes condições de crescimento.

| Equação* | Ciclo da cultivar | Temperatura | Umidade do solo | Taxa de crescimento diário (cm) |
|--|------------------------|-------------|-----------------|---------------------------------|
| Dose= 12,64 - 0,538A + 0,0083A ² | Precoce/médio | - | - | 1,50 |
| Dose= 24,39 - 1,007A + 0,0154 A ² | Médio/tardio ou tardio | < 30°C | Boa | 1,25 |
| Dose= 34,16 - 1,438A + 0,0224A ² | Tardio | > 30°C | Boa | 1,00 |

* O resultado da equação é expresso em g. ia. ha⁻¹ de cloreto de mepiquate ou clormequate. A= altura de planta em centímetros. Fonte: Echer et al. (2020).

Além disso, para determinar a o momento da segunda aplicação em diante, deve ser realizado o monitoramento entre 5 a 8 dias após a primeira aplicação, de modo a obter a seguinte informação:

$$\text{Equação} = \frac{\text{Altura atual} - \text{altura anterior}}{\text{dias após a aplicação}}$$

Onde, havendo valor final obtido maior que 1,5 cm/dia, deve-se fazer a interferência na lavoura mediante a uma nova aplicação do regulador de crescimento.

Assim, no mercado atual, estão disponíveis cerca de 27 produtos comerciais envolvendo mistura ou isolados de Cloreto de Mepiquate com presença (ou não) de regulador do crescimento do algodoeiro. Apresenta-se abaixo (Tabela 11) a relação de alguns produtos com seus ingredientes ativos e a dose recomendada para aplicação, de acordo com o MAPA (2023).

Conforme visto, diversas são as etapas que devem ser analisadas no processo de condução de uma lavoura de algodão, seja a aplicação de fertilizantes de forma pós emergente (via foliar) de modo a corrigir déficits nutricionais, não percebidos na análise química do solo, em decorrente de falhas no processo de implantação da lavoura, além do uso de substâncias reguladoras de crescimento podendo essas estar aliadas com a presença de fitohormônios em sua composição.

Tabela 11. Produtos recomendados como reguladores de crescimento do algodoeiro.

| Identificação | Princípio ativo | Dose recomendada |
|---------------------------|--|---|
| Aplic [®] | Cloreto de Mepiquate + Ciclanilida | 0,100 a 0,250 L/ha (4 primeiras aplicações) e 1,0 L/ha (5 ^a aplicação) |
| Coach [®] | Cinetina + Acido 4-Indol-3ilbutírico | 300 a 750 mL/ha (em até duas aplicações) |
| Fascinate BR [®] | Glufosinato - sal de amônio (homoalanina substituída) | 2,0 L/ha em dose única |
| Perlan [®] | Ácido Giberélico n° 4 e 7 + Benziladenina | 0,200 a 0,250 L/ha em dose única |

Fonte: MAPA (2023).

Ao passo que se aproxima a necessidade de colheita da fibra produzida ou algodão em caroço, é necessário atenção a respeito da aplicação de produtos caracterizados como desfolhantes na cultura do algodoeiro. A utilização dos desfolhante está primeiramente relacionado a paralisação do ciclo vegetativo, mesmo após o processo reprodutivo, em virtude do ciclo perene do algodão, adaptando a planta a colheitas anuais, processo a qual recebe o nome popular de “cut out”. Além disso, em decorrência do alto índice foliar durante o processo de maturação e formação da fibra, é possível associar a desfolha química, como forma de controlar a incidência e severidade da Ramulária do algodoeiro (*Ramularia areola*) e até mesmo as principais pragas da cultura, seja: Ácaro rajado (*Tetranychus urticae*); pulgão do algodoeiro (*Aphis gossypii*) e Bicudo do algodoeiro (*Anthonomus grandis*).

De maneira simples, existem no mercado dois grandes grupos de produtos com a finalidade de realizar a desfolha química na cultura do algodoeiro. O primeiro grupo, diz a respeito aos produtos de ação hormonal a qual estimulam a biossíntese de etileno, a peroxidação e atividade da celulase na zona de abscisão, ao passo que, por consequência, promovem a desidratação do limpo foliar e posterior queda das folhas (Greene e Polish, 2007). O outro grupo, diz respeito a produtos caracterizados como promotores de abertura de capulhos, pois atuam estimulando a abertura precoce de maçãs, ora vista, tais produtos de acordo com Pazzeti e Fernando (2020) chamados de herbicidas desseccantes e de maneira errônea de maturadores, visto que seu efeito pode atingir maçãs fisiologicamente imaturas ocasionando redução na qualidade da fibra colhida ao final.

Dessa forma, de maneira prática, esses autores apresentam uma recomendação para o uso de desfolhantes no algodoeiro. Assim sendo, as aplicações deverão ser realizadas a partir do momento em que o resultado do monitoramento apresentar entre 60 a 80% dos capulhos abertos. Cabe ressaltar que, existem outros cuidados que podem influenciar no momento da aplicação do desfolhante no qual deverão ter o seguinte questionamento: o potencial da cultivar foi atingido até o momento? Os parâmetros que regem a qualidade de fibra estão de acordo para o momento da colheita? Houve a formação da última maçã, ou seja, o último fruto a ser colhido está no tamanho fisiológico adequado a colheita? Esse último fruto, considerado maduro, está localizado quatro nós acima do último capulho aberto?

Uma vez respondido essas questões, e não havendo desfolha por ação de pragas e doenças, as aplicações podem terão início. Assim, no mercado atual, estão disponíveis diversas formulações, dentre as quais, as principais envolvem misturas ou isolados de diurom associado a tidiazurom. Apresenta-se abaixo (Tabela 12) a relação de alguns produtos com seus ingredientes ativos e a dose recomendada para a realização da desfolha do algodoeiro, de acordo com o MAPA (2023). Realizada a aplicação do desfolhante e, respeitado o prazo de carência, os cotonicultores deverão estar atentos as condições climáticas e a infraestrutura a disposição para colheita, manuseio, logística e armazenamento do material colhido, sem comprometer, a qualidade da fibra produzida.

Tabela 12. Produtos recomendados como desfolhantes do algodoeiro.

| Identificação | Princípio ativo* | Dose recomendada ⁽¹⁾ |
|-------------------|---|---------------------------------|
| Avguron Extra SC® | Diurom (180 g/L) + Tidiazurom (360 g/L) | 140 - 170 mL ha ⁻¹ |
| Drop Ultra® | Diurom (60 g/L) + Tidiazurom (120 g/L) | 400 a 500 mL ha ⁻¹ |
| Punto® | Diurom (180 g/L) + Tidiazurom (360 g/L) | 140 - 170 mL ha ⁻¹ |
| CottonQuik® | Ácido 2-cloroetil fosfônico (precursor de etileno) (273 g/L) | 4,0 - 6,0 L ha ⁻¹ |
| Finish® | Ácido 2-cloroetil fosfônico (precursor de etileno) (480 g/L) + Ciclanilda (Carboxanilda) (60 g/L) | 1,5 a 2,5 L ha ⁻¹ |

⁽¹⁾ Recomenda-se uma aplicação na cultura do algodoeiro antes da colheita quando 60 a 80 % das maçãs estiverem abertas, visando a desfolha e conseqüentemente acelerar a maturação do fruto e a abertura dos capulhos, facilitando assim a operação de colheita. Realizar no máximo 01 aplicação por ciclo da cultura; *Respeitar o período de carência de 07 dias para entrada na lavoura. Fonte: MAPA (2023).

CONCLUSÕES

O cultivo do algodoeiro é uma atividade agrícola de grande importância econômica no Brasil, com grande valor agregado ao produto final, seja fibra, caroço ou óleo. A planta é cultivada em várias regiões do país, mas é especialmente importante na região do Cerrado, onde tem expressado os maiores índices de produtividade do país. A implantação da cultura do algodão requer a escolha adequada da variedade que se adapte bem às condições edafoclimáticas da região onde será cultivada.

Além disso, durante o ciclo de cultivo, é importante adotar medidas de controle de pragas e doenças, bem como garantir que o algodoeiro receba a nutrição adequada. A adubação do algodão é essencial para garantir que a planta tenha todos os nutrientes necessários para crescer e desenvolver-se corretamente. Além disso, é importante utilizar reguladores de crescimento para controlar o crescimento das plantas e melhorar a qualidade dos fios.

REFERÊNCIAS

- Ali H.; Ahmad Ml. Agronomic efficiency and profitability of cotton on integrated use of phosphorus and plant microbes. *Brazilian Journal of Biology*, v. 81, n. 2. p. 484-494. 2021. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.232940>
- Alves, G. da S. et al. Crescimento, produtividade e qualidade de fibra de algodão colorido influenciados pela população de plantas. *Revista Ceres*, v. 64, n. 1, p. 68-76. 2017. <https://doi:10.1590/0034-737x201764010010>
- Associação Piauiense Dos Produtores De Algodão, APIPA. Final de colheita, destruição de soqueiras e vazios sanitários: Ações Fitossanitárias e Agronômicas para apoiar a expansão do algodão no cerrado Piauiense - Safras 2019/20 a 2021/22. Informativo Técnico nº 07, Ebook, ano 2020, v. 1, n. 1, p. 1-7, 1 ago. 2020.
- Barros, G. S. A. C. et al. Gestão de negócios agropecuários com foco no patrimônio. Campinas: Alínea. 120 p. 2019.
- Beltrão, N. E. de M.; Azevedo, D. M. P. de. O agronegócio do algodão no Brasil. 2ª ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 570p.

Bennett, J. et al. Advances in cotton harvesting technology: a review and implications for the John Deere round baler cotton picker. *Journal of Cotton Science*. 19. p. 225-249. 2015.

Carvalho, L. P. de. et al. Variabilidade e capacidades gerais e específica de combinação para teor de óleo em algodoeiro. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, v.14, n.1, p. 19-27, 2010.

Carvalho, M. C. S.; Ferreira, A. C. B. Manejo de solos aptos à cotonicultura no cerrado. In: FREIRE, E. C. (Ed.). *Algodão no cerrado do Brasil*. 2. ed. Aparecida de Goiânia: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão, 2011. Cap. 19.

Centro De Estudos Avançados Em Economia Aplicada, CEPEA. *PIB Cadeias Do Agronegócio - 2017*. Piracicaba, 2020.

Chen, Y., Dong, H., Mechanisms and regulation of senescence and maturity performance in cotton. *Field Crops Research*, e. 6629. 2016, <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2016.02.003>

Companhia Nacional de Abastecimento. *Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Brasília, v.9 - Safra 2021/22, n.12 - Décimo segundo levantamento, 88 p. 2022.*

Davis, R. M. et al. Benefits of cotton seed treatments for the control of seedling diseases in relation to inoculum densities of *Pythium* species and *Rhizoctonia solani*, *Plant Disease*, St. Paul, v.81, n.7, p. 766-768, 1997.

Diretoria de Fiscalização de Produtos Controlados, DFPC. *Legislação - Explosivos (in Portuguese) [WWW Document]. Disponível em <http://www.dfpc.eb.mil.br/index.php/noticias-menu/308-explosivos>. Acesso 12 jan. 2023.*

Doorenbos, J; Kassam, A.H. *Efeito da Água no Rendimento das Culturas*. Tradução de Gheyi, H.R.; Sousa, A.A.; Damasceno, J.F. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 221p, 2000

Echer, F. R. et al. The effects of nitrogen, phosphorus, and potassium levels on the yield and fiber quality of cotton cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, v. 43, n. 7, p. 921-93. 2020.

Feiyan, Ju et al. Potassium application alleviates the negative effects of salt stress on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) yield by improving the ionic homeostasis, photosynthetic capacity and carbohydrate metabolism of the leaf subtending the cotton boll. *Field Crops Research*, v. 272, e108288. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108288>.

Flis, S. 4R Nitrogen fertilizer management in cotton production. *Crops & Soils*, v. 52, p. 22- 24. 2019 <https://doi.org/10.2134/cs2019.52.0303>

Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO. Fertilizers by product FAOSTAT [WWW Document]. Disponível em <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RFB>. Acesso 12 jan. 2023.

Fuzatto, M. G. Melhoramento genético do algodoeiro. In: CIA, E.; FREIRE, E. C.; SANTO, W. J dos. (Ed.). Cultura do algodoeiro. Piracicaba: Potafos, p. 15-34. 1999.

Goulart, A. C. P. Tratamento de sementes do algodoeiro com fungicidas In: Embrapa Agropecuária Oeste; Embrapa Algodão. Algodoeiro: tecnologia de produção. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Campina Grande: Embrapa Algodoeiro, p.140-158, 2001.

International Fertilizer Association, IFA. Fertilizer Outlook 2020 - 2024 [WWW Document]. Disponível em https://www.fertilizer.org/Public/Stewardship/Publication_Detail.aspx?SEQN=6020&PUKEY=FDB434B2-9E8A-4ABC-A4BE-5F0422F198ED. Acesso 12 jan. 2023.

Iqbal, Babar et al. Phosphorus Application Improves the Cotton Yield by Enhancing Reproductive Organ Biomass and Nutrient Accumulation in Two Cotton Cultivars with Different Phosphorus Sensitivity. *Agronomy*. v.10. e153. 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020153>.

Jamali, H. Soil compaction in a new light: Know the cost of doing nothing - A cotton case study. *Soil and Tillage Research*, v. 213, e105158. 2021. <https://doi:10.1016/j.still.2021.105158>

Kay, R. D. et al. Gestão de propriedades rurais (7. ed.). AMGH. 468 p. 2014.

Khan S. U. Impact of nitrogen and phosphorus fertilizers on Cry1Ac protein contents in transgenic cotton. *Brazilian Journal of Biology*, v. 6, n. 83, e246436. 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.246436>

Khan, A. et al. Nitrogen nutrition in cotton and control strategies for greenhouse gas emissions: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 24, 23471-23487 p. 2017. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0131-y>

Kurihara, C. H. et al. Diagnose do estado nutricional de soja e algodoeiro, pelos métodos das faixas de suficiência e DRIS, em Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. In: Circular Técnica 29. Embrapa Agropecuária Oeste, 6 p. 2014

Kurihara, C. H. et al. Faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes em algodão e em soja, definidas em função de índices DRIS. *Revista Ceres*, v. 60, n. 3, p. 412-419, 2013.

Lamas, F. M et al. Pontos a serem considerados no manejo de regulador de crescimento na cultura do algodoeiro. In: Comunicado técnico 192. Embrapa Agropecuária Oeste. 6 p. 2013

Lamas, F. M. et al. Implantação da Lavoura de Algodão. In: MANUAL de Boas práticas de Manejo do Algodoeiro: em Mato Grosso. 4. ed. Cuiabá, MT: Instituto Mato-Grossense do Algodão, 2020. v. 1, cap. D, p. 170-179.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2022). Consulta de Produtos Formulados. Disponível em http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso 05 jan. 2023.

Neto, M. da Silva. A. et al. Agroecological Zoning and definition of sowing periods for cotton in Brazil. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.9, n.3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p.422-428, 2001.

Olson, K. D. Economics of farm management in a global setting. Wiley. (1. ed.). 560 p. 2010.

Otto, R. et al. Nitrogen fertilizer management on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) yield and quality in two tropical soils, European Journal of Agronomy, v. 142. e126672. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126672>.

Otto, Rafael et al. Nitrogen Management for Cotton Production and Quality Under Tropical Soil Conditions. SSRN Electronic Journal. 36 p. 2022. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4106128>.

Pazzet, G.; Fernando, J. Manejo da desfolha. In: MANUAL de Boas práticas de Manejo do Algodoeiro: em Mato Grosso. 4. ed. Cuiabá, MT: Instituto Mato-Grossense do Algodão, 2020. v. 1, cap. E, p. 321-325.

Riaz Marral, M.W. et al. The influence of transgenic (*Bt*) and nontransgenic (non-*Bt*) cotton mulches on weed dynamics, soil properties and productivity of different winter crops. PLoS One, v. 15, no. 9, e0238716. 2020. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0238716>

Rochester, I. J. Nutrient uptake and export from a Australian cotton field. Nutrient cycling in agroecosystems, Dordrecht, v. 77, p. 213-223, 2007.

Rosolem, C. A. Crescimento do algodoeiro. In: MANUAL de Boas práticas de Manejo do Algodoeiro: em Mato Grosso. 4. ed. Cuiabá, MT: Instituto Mato-Grossense do Algodão, v. 1, cap. c, p. 104-111. 2020.

Sawan, Z.M. Mineral fertilizers and plant growth retardants: Its effects on cottonseed yield; its quality and contents. Cogent Biology, v. 4, e.1459010. 2018. <https://doi.org/10.1080/23312025.2018.1459010>

Shen, J.B. et al. Maximizing root/ rhizosphere efficiency to improve crop productivity and nutrient use efficiency in intensive agriculture of China. Journal of Experimental Botany, vol. 64, no. 5, p. 1181-1192. 2013. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/ers342>

Sousa, D. M. G. de. et al. Adubação com fósforo. In: Sousa, D. M. G. de; Lobato, E. (Ed.). Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 147-168.

Statistical Database Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAOSTAT. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/TP>. Acesso em: 5 jan. 2022.

Vance, C.P. et al. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a non-renewable resource. *The New Phytologist*, vol. 157, no. 3, p. 423-447. 2003. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00695.x>

Vilela, L. et al. Adubação potássica. In: Sousa, D. M. G.; Lobato, E. (Ed.). Cerrado: Correção do solo e adubação. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 169-184.

Vilela, P. M. C. de A.; Bélot, J-L. Implantação da Lavoura de Algodão: Escolha da variedade. In: MANUAL de Boas práticas de Manejo do Algodoeiro: em Mato Grosso. 4. ed. Cuiabá, MT: Instituto Mato-Grossense do Algodão, 2020. v. 1, cap. D, p. 156-169.

Wang, H.; Davis, R. M. Susceptibility of selected cotton cultivars to seedling disease pathogens and benefits of chemical seed treatments. *Plant Disease*, St. Paul, v. 18, n. 9, p.1085-1088, 1997.

Wang, Y., Wu, W.H. Regulation of potassium transport and signaling in plants. *Current Opinion in Plant Biology*. 39, 123-128. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.06.006>

Wu, S.C. et al. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma*, v. 125, n. 1-2, p. 155-166. 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.07.003>

Zancanaro, L.; Kappes, C. Solos e sistema de produção para o algodoeiro: Levantamento da área, amostragem de solo e de folhas. In: MANUAL de Boas práticas de Manejo do Algodoeiro: em Mato Grosso. 4. ed. Cuiabá, MT: Instituto Mato-Grossense do Algodão, 2020. v. 1, cap. B, p. 58-98. ISBN 978-85-66457-06-3.

Zhou, D. et al. Influence of fertilization and environmental temperature on the resistance of Bt transgenic cotton to cotton bollworm. *Journal of Anhui Agricultural University.*, v. 27, p. 352-357. 2000.