

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ENGENHARIA

CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

JAILSON VIEIRA AGUILAR

**CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO ALGODOEIRO
TRATADO COM SUBDOSE HORMÉTICA DE 2,4-D EM FUNÇÃO
DA APLICAÇÃO DE NÍQUEL E NITROGÊNIO.**

Ilha Solteira

2017

JAILSON VIEIRA AGUILAR

**CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO ALGODOEIRO
TRATADO COM SUBDOSE HORMÉTICA DE 2,4-D EM FUNÇÃO
DA APLICAÇÃO DE NÍQUEL E NITROGÊNIO.**

Dissertação apresentada a Faculdade de Engenharia, UNESP – Campus de Ilha Solteira como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Especialidade: Sistemas de Produção

Prof. Dr. Enes Furlani Júnior

Orientador

Ilha Solteira

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

A283c Aguilár, Jailson Vieira.
Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro tratado com subdose hormética de 2,4-D em função da aplicação de níquel e nitrogênio. / Jailson Vieira Aguilár. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2017
41 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia . Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2017

Orientador: Enes Furlani Junior
Inclui bibliografia

1. *Gossypium Hirsutum*. 2. Aminoácidos. 3. Produtividade. 4. Clorofila. 5. Regulador vegetal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO ALGODOEIRO TRATADO COM SUBDOSE HORMÉTICA DE 2,4-D EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE NÍQUEL E NITROGÊNIO.

AUTOR: JAILSON VIEIRA AGUILAR

ORIENTADOR: ENES FURLANI JUNIOR

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA, especialidade: SISTEMAS DE PRODUÇÃO pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ENES FURLANI JUNIOR
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio-Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Profa. Dra. LILIANE SANTOS DE CAMARGOS
Departamento de Biologia e Zootecnia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. LEANDRO FERREIRA DE AGUIAR
Departamento de Biologia / Universidade Federal do Mato Grosso do Sul

Ilha Solteira, 15 de março de 2017

Dedico...

Aos meus pais, Maria José Vieira e Jair Campos Aguilar, bem como aos meus irmãos Rafael Vieira Aguilar e Renan Vieira Aguilar, os quais me acompanharam em toda minha trajetória acadêmica.

Ofereço...

Ao meu grande amigo e companheiro de trabalho Carlos Vinícius Sanches por compartilhar dos momentos mais difíceis da condução de nossos experimentos em campo.

Agradecimentos

A Paola Trama dos Anjos, Luciano Alves dos Anjos, Henrique Urzulin e Caio Dias por todos os momentos de descontração e também pelos conselhos oferecidos.

Ao Laboratório de Fisiologia do Metabolismo Vegetal e a Simone Silva Hiraki a qual devo grande parte de meu conhecimento.

A Tassia Caroline Ferreira que mesmo de longe continua contribuindo para minha formação pessoal e profissional.

Aos meus colegas de estágio, Amanda, Mirella, Germano, Guilherme e Caio José. E aos agregados que também contribuíram no desenvolvimento dos experimentos.

Ao Prof. Dr. Enes Furlani Júnior pela orientação, confiança e paciência.

A Faculdade de Engenharia, campus de Ilha Solteira, por proporcionar excelentes condições de aprendizado e a todos os servidores que contribuíram diretamente ou indiretamente para a conclusão desse trabalho.

Aos amigos da república ZR, e agregados Adriano, Paulo Girão, José Luiz e a todos da república Mata Burro.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo suporte financeiro.

A Roger Waters, Nick Mason, Richard Wright, David Gilmour e Syd Barrett por formarem a banda Pink Floyd, pois não há trilha sonora melhor para todos os momentos vivenciados durante essa experiência.

“Quão pouco é preciso para ser feliz! O som de uma gaita. Sem música a vida
seria um erro.”

(Friedrich Wilhelm Nietzsche – Crepúsculo dos Ídolos)

RESUMO

O algodão é a principal fibra têxtil produzida mundialmente, ocupando uma posição expressiva na economia do agronegócio sendo caracterizada como uma das culturas com maior tecnificação no mundo. Por realizar fotossíntese C3, e ser altamente sensível a fatores bióticos e abióticos, faz-se necessário o bom uso de práticas de manejo com o intuito de melhorar a produtividade da cultura. Nesse contexto, objetivou-se avaliar parâmetros de crescimento e metabolismo do algodoeiro tratado com doses de nitrogênio, doses de níquel e dose hormética de 2,4-D de modo a fornecer informações do comportamento da planta sob as condições avaliadas. Para tanto aplicaram-se via solo aos 55 dias após a emergência, doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120) kg ha⁻¹ e doses de níquel (0, 300, 450 e 600) g ha⁻¹ assim como empregou-se, ou não, 2,4-D em dose hormética (1,8 g e. a ha⁻¹) em um esquema fatorial 4x4x2, para avaliar, indicadores de crescimento (altura, diâmetro, número de ramos e produtividade) e metabolismo (índice Spad, teor de nitrogênio, aminoácidos, amônia, nitrato e pigmentos fotossintéticos em tecidos foliares) por meio de ajustes de regressão (1% e 5%) e teste de comparação de médias. O aumento na dose de níquel até 600 g ha⁻¹ juntamente com a adubação nitrogenada em doses crescentes, associadas com o uso do 2,4-D em dose hormética, aparentemente afetam o padrão fonte-dreno das plantas de algodoeiro favorecendo o pegamento de estruturas reprodutivas, pois ainda que há diminuição em altura os dados obtidos para os parâmetros de metabolismo bem como para produtividade indicam que não houve fitotoxicidade provocada pelo níquel nas doses avaliadas.

Palavras Chave: *Gossypium hirsutum*. Aminoácidos. Produtividade. Clorofila. Regulador vegetal.

ABSTRACT

Cotton is the main textile fiber produced worldwide, occupying a significant position in the agribusiness economy being characterized as one of the most technologically advanced crops in the world. By carrying out C3 photosynthesis, and being highly sensitive to biotic and abiotic factors, for that it is necessary to the good use of management practices in order to improve crop yield. In this context, the objective of this study was to evaluate growth and metabolism parameters of cotton treated with nitrogen doses, nickel doses and hermetic doses of 2,4-D to provide information of the plant behavior under the conditions evaluated. For this purpose it was applied to the soil at 55 days after emergence, nitrogen doses (0, 40, 80 e 120) kg ha⁻¹ and nickel doses (0, 300, 450 e 600) g ha⁻¹ and, if applied, or not, 2,4-D in hormetic doses (1,8 g a.e ha⁻¹) in a factorial arrangement 4x4x2, to assess growth indicators (height, diameter, number of branches and yield) and metabolism (Spad index, nitrogen content, amino acids, ammonia, nitrate and photosynthetic pigments in leaf tissues) by means of regression adjustments (1% e 5%) and averages comparison test. The increase in nickel dose up to the 600 g ha⁻¹ coupled with increasing nitrogen fertilization associated with the use of 2, 4-D in a hormetic dose apparently affect the source-sink pattern of cotton plants favoring the fixation of reproductive structures, although there is a decrease in height, the data obtained for the parameters of metabolism as well as for yield indicate that there was no phytotoxicity caused by nickel in the doses evaluated.

Keyword: *Gossypium hirsutum*. Amino acids. Yield. Chlorophyll. Growth regulator.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Estrutura molecular do herbicida 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D).....	13
Figura 2	- Dinâmica do nitrogênio nos ecossistemas.....	16
Figura 3	- Temperatura média mensal e precipitação para a safra de 2015/16. Selvíria – MS, 2016.....	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Médias, valores de p>F e regressão para doses de N (kg ha^{-1}) e doses de Ni (g ha^{-1}) e teste de Tukey para aplicação de 2,4-D (1,8 g e.a ha^{-1}) para as variáveis de altura, diâmetro e número de ramos de algodoeiro aos 65 e 80 dias após a emergência. Selvíria-MS, 2016.....	24
Tabela 2	- Médias, valores de p>F e regressão para doses de N (kg ha^{-1}) e doses de Ni (kg ha^{-1}) e teste de Tukey para aplicação de 2,4-D (1,8 g e.a ha^{-1}) para as variáveis de produtividade, massa de 1 capulho, índice SPAD e teor de nitrogênio foliar em algodoeiro. Selvíria-MS, 2016.....	26
Tabela 3	- Desdobramento da interação entre doses de níquel e nitrogênio para produtividade (kg ha^{-1}), Selvíria-MS, 2016.....	27
Tabela 4	- Médias, valores de p>F e regressão para doses de N (kg ha^{-1}) e doses de Ni (g ha^{-1}), e teste de Tukey para dose de 2,4-D (1,8 g e.a ha^{-1}) para compostos nitrogenados (aminoácidos, amônia e nitrato) em folhas de algodoeiro, Selvíria-MS, 2016.....	29
Tabela 5	- Desdobramento da interação entre doses de níquel e nitrogênio para aminoácidos solúveis totais ($\mu \text{ mol g}^{-1}/\text{MF}$), Selvíria-MS, 2016.....	30
Tabela 6	- Desdobramento da interação entre doses de níquel e nitrogênio para Nitrato ($\mu \text{ mol g}^{-1}/\text{MF}$), Selvíria-MS, 2016.....	30
Tabela 7	- Médias, valores de p>F e regressão para doses de N (kg ha^{-1}) e doses de Ni (g ha^{-1}), e teste de Tukey para dose de 2,4-D (1,8 g e.a ha^{-1}) para pigmentos fotossintéticos em folhas de algodoeiro, Selvíria-MS, 2016.....	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	HIPÓTESE E OBJETIVO DO TRABALHO.....	11
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	11
3.1	A CULTURA DO ALGODÃO.....	11
3.2	MECANISMO DE AÇÃO DO 2,4-D E EFEITO HORMÉTICO.....	13
3.3	O NITROGÊNIO.....	15
3.4	O NÍQUEL.....	17
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	19
4.1	LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	19
4.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	19
4.3	DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO E TRATOS CULTURAIS.	19
4.3.1	Instalação do experimento.....	19
4.4	VARIÁVEIS ANALISADAS.....	20
4.4.1	Avaliações biométricas em campo.....	20
4.4.2	Análise bioquímica de folhas.....	20
4.4.3	Determinações Fotossintéticas.....	22
4.4.4	Avaliação dos componentes da produção de plantas em campo	22
4.5	ANALISE DOS DADOS.....	23
5	DADOS CLIMÁTICOS.....	23
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
7	CONCLUSÕES.....	33
	REFERÊNCIAS.....	34

1 INTRODUÇÃO

O algodão é a mais importante das fibras têxteis, considerando o volume da produção e o valor monetário de sua cadeia produtiva, bem como a vasta gama de produtos derivados. Por apresentar uma série de características indesejadas para os sistemas de cultivo como crescimento indeterminado, autossombreamento, alta fotorrespiração, abortamento de flores, entre outros, tornando-se necessário um manejo adequando afim de que haja equilíbrio entre o crescimento vegetativo e o desenvolvimento das estruturas reprodutivas, garantindo uma boa produtividade (BARCELOS, 2014).

Para um estabelecimento favorável da cultura faz-se uso de diversas técnicas de manejo culturais, entre elas está a adubação tanto com macronutrientes como micronutrientes. O Nitrogênio é o macronutriente mais limitante para as plantas, por estar ligado com os processos fisiológicos mais importantes, como fotossíntese, respiração, desenvolvimento e atividade das raízes (TAIZ; ZEIGER, 2013). Na cultura do algodoeiro, a adubação nitrogenada exerce efeito positivo sobre a precocidade, massa de cem sementes, produtividade, qualidade de fibra, entre outros. Malavolta e Moraes (2007) concluíram, porém que em doses elevadas prejudicam a produtividade devido ao aumento no crescimento vegetativo.

Um outro elemento que tem sido foco de estudos no cenário agrônômico atual é o níquel que teve sua essencialidade provada por Dixon et al. (1975), e é componente da metaloenzima urease (EC 3.5.1.5. Ureia amidohidrolase), a qual catalisa a hidrólise da ureia em amônia (NH_4^+) e dióxido de carbono (CO_2), efetuando, também papel secundário na defesa e no crescimento das plantas. No entanto concentrações elevadas provocam toxicidade devida ao níquel passar a agir como metal pesado.

O uso de substâncias que são, por definição consideradas tóxicas, em doses muito menores que a dose recomendada, com o objetivo de estimular o desenvolvimento vegetal, é conhecido como “hormese” (CALABRESE; BALDWIN, 2002a). É de suma importância o conhecimento de doses que provocam tais efeitos nas culturas de interesse visto que essa técnica pode trazer incrementos significativos em parâmetros de produtividade e rendimento. Como há uma plasticidade muito grande entre o termo *hormesis* tal definição ainda é muito confusa.

Um exame de hormese em plantas cultivadas e em plantas silvestres tratadas com baixas doses de herbicidas revela que o incremento na variável analisada pode ser de

poucos pontos percentuais a saltos superiores a 100% (CEDEGREEN et al., 2005). Os estímulos em culturas de cana-de-açúcar, soja, milho, cevada, centeio, eucalipto e pinheiro são verificados em características de crescimento, como ganho de peso, altura, comprimento e área foliar, e/ou características internas, como teor proteico e níveis de açúcares (CARBONARI et al., 2007). Na maior parte dos trabalhos encontrados em literatura, os herbicidas empregados nos testes foram o MSMA, oxifluorfen, terbacil, simazine e glyphosate, com citações de trabalhos clássicos da década de 1960 a trabalhos mais recentes, como os de Duke et al. (2006) e Américo et al. (2016). Vários herbicidas foram desenvolvidos utilizando seu princípio ativo como reguladores vegetais, um exemplo é o 2,4-D que é uma auxina sintética, que em doses elevadas apresenta efeito herbicida (MOUSDALE; COGGINS, 1991). No entanto encontrar a dose que estimula o efeito hormético é um tanto quanto oneroso visto que tal efeito varia entre espécies e até entre cultivares.

2 HIPÓTESE E OBJETIVO DO TRABALHO

Partindo do pressuposto de que o algodoeiro sofre um incremento no crescimento em função da aplicação de subdoses de 2,4-D entre 1,72 e 1,92 g. ha⁻¹ (AMERICO, 2015), que a urease tem papel fundamental na disponibilização de formas assimiláveis de nitrogênio para o metabolismo da plantas, acredita-se que, em função do incremento no metabolismo fotossintético provocado pelo efeito hormético, faz-se necessário o aumento da oferta de nitrogênio para suprir o aumento do metabolismo fotossintético e o aumento níquel para suprir a necessidade da urease e tornar o nitrogênio assimilável. Diante ao exposto, o objetivo central desse trabalho foi avaliar alguns indicadores de crescimento e metabolismo em função de doses de nitrogênio provenientes da ureia e níquel associadas com aplicação, ou não, de uma subdose hormética de 2,4-D.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A CULTURA DO ALGODÃO

Há indícios de que o algodoeiro, pertencente à tribo Gossypieae, tenha surgido 20 milhões de anos atrás, enquanto que o gênero *Gossypium* surgiu há pelo menos 12,5 milhões de anos (WENDEL et al., 2010). Atualmente, o gênero *Gossypium* inclui 49 espécies conhecidas, mas esse número pode ser subestimado, devido à falta de

informações, principalmente das espécies que ocorrem na África e na Arábia (ECHER, 2014).

O algodoeiro é a planta de aproveitamento mais completo e a que oferece a mais variada gama de produtos de utilização universal (BALLAMINUT, 2009), Sendo cultivada por mais de 60 países no mundo movimentando um mercado anual com US\$ 12 bilhões. (BARCELOS, 2014), no Brasil é cultivado em 15 estados e é uma cultura de importância notável também na socioeconomia tanto pela ocupação de mão de obra no campo e na zona urbana (CORDÃO SOBRINHO et al., 2003; FARIAS, 2005).

Segundo Leal et al. (2009) a cultura do algodão passou de ser uma atividade alternativa para pequenos produtores para dominar um horizonte maior, com o cultivo em grande escala usando cultivares com arquitetura favorável à colheita mecanizada, com sistema que levam como característica principal a alta produtividade.

No mundo, são cultivados, anualmente, aproximadamente 35 milhões de hectares e desde a década de 1950 a demanda mundial têm aumentado constantemente com um crescimento médio anual de 2%. Segundo dados da Conab para a safra 2015/16, no Brasil a área cultivada é de aproximadamente 960 mil hectares, apresentando produtividade aproximada de 3.475,4 mil toneladas de algodão em caroço.

Apresentando metabolismo fotossintético do tipo C3, com elevada taxa de fotorrespiração, dependendo de fatores ambientais como luminosidade e temperatura, a planta de algodão apresenta elevada complexidade morfológica e fisiológica (RAVEN et al., 2001; TAIZ; ZEIGER, 2013). As mudanças na quantidade e qualidade de luz prejudicam a fotossíntese, estimulando a fotorrespiração, assim, reduzindo a fotossíntese líquida (BARCELOS et al., 2016). O algodoeiro também é dono de uma plasticidade fenotípica adequando-se aos mais variados ambientes que requeiram qualidades ideais de clima e solo onde quanto mais próximo do limiar ideal maiores resultados serão refletidos em produtividade da cultura (BELTRÃO et al., 1994).

O estudo da fisiologia do algodoeiro revela um dos sistemas fisiológicos mais complexos da natureza (BELTRÃO et al., 1999), e diversos fatores ambientais influenciam a quantidade e qualidade de fibra produzida. A manipulação de fatores presentes no ciclo do algodoeiro servem de ferramentas para obtenção de produtividades ótimas, no entanto, nem sempre é possível obter bons resultados devido à grande interferência do meio na dinâmica metabólica da planta.

A planta de algodão apresenta estrutura planofilar o que dificulta a instalação da cultura em densidades elevadas (AZEVEDO et al., 1999), e o crescimento em excesso

causa autossombreamento dos ramos inferiores o que decorre em uma redução da porcentagem de estruturas reprodutivas devido à queda da taxa fotossintética visto que a maior parte de fotoassimilados é obtido em folhas próximas a estrutura reprodutiva. (ASHLEY, 1972; YORK, 1983; BENEDICT; KOHEL, 1975). Stuart et al. (1984) também mencionaram que, quando as condições favorecem o crescimento vegetativo excessivo, botões florais são abortados enquanto os meristemas produzem folhas adicionais.

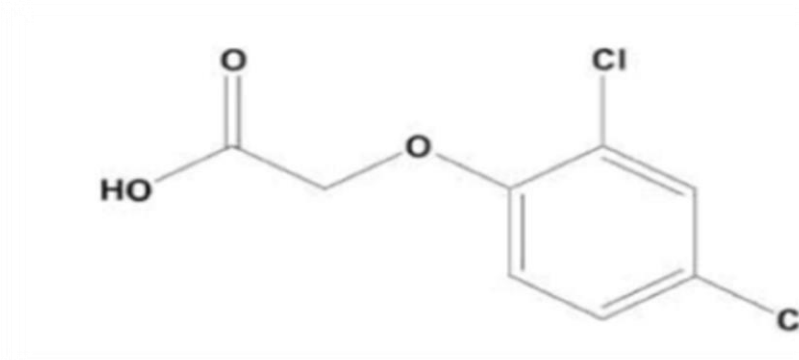
O algodoeiro compartilha de uma ineficiência na conversão da energia incidente em produtividade (BELTRÃO; AZEVEDO, 1993), e isso confere em uma sensibilidade excessiva em meio as mudanças climáticas e ataques de patógenos, o algodoeiro pode ser considerado resistente à seca, por exemplo, mas a exposição da planta a situações de estresse resulta em danos no aporte de estruturas reprodutivas o que irá prejudicar diretamente a produtividade. Estudos de maneira geral procuram uma combinação entre crescimento vegetativo adequado e produtividade no algodoeiro.

3.2 MECANISMO DE AÇÃO DO 2,4-D E EFEITO HORMÉTICO

O ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) é um dos componentes da família dos herbicidas clorofenoxiacéticos (RODRIGUES; SERRA, 1996), sendo desenvolvido na década de 1940, o 2,4- D junto com o ácido 2,4,5-triclorofenoxiacético (2,4,5-T) e o pentaclorofenol (PCF), foram utilizados pela força aérea norte-americana como agente desfolhante na guerra do Vietnã, sendo utilizado largamente como alternativa para a substituição da capina manual de modo a reduzir mão de obra humana e aumentar os ganhos na produtividade de maneira geral. (AMARANTE JUNIOR et al., 2003).

Na Figura 1 temos a estrutura molecular do herbicida 2,4-D.

Figura 1- Estrutura molecular do herbicida 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D).



Fonte: (RABELO et al., 2010).

O 2,4-D é um herbicida sistêmico e seletivo e segundo Rebelo et al. (2010), é altamente móvel, e apresenta toxicidade elevada para os organismos aquáticos mas é pouco tóxico para a microbiota do solo bem como para aves e abelhas, sendo comercializado em formulações de sais, amina e éster, com ação pós emergente este herbicida é transportado pela planta, sendo acumulado nos tecidos em crescimento das raízes.

Em 2007, Rahman e colaboradores observaram que o 2,4-D tem a capacidade de remover a actina e diminuir o fluxo citoplasmático, e recentemente Rodriguez-Serrano et al. (2014) relatou que a ação do 2,4-D, sobre a estrutura do citoesqueleto de actina na célula, leva à epinastia da planta e alteração na mobilidade de peroxissomos e mitocôndrias no ambiente celular. Como essas organelas exercem um papel diferencial na exclusão de EROs (espécies reativas de oxigênio) do citoplasma, a falta de mobilidade promove um aumento no estresse oxidativo. A morte celular é causada pelo aumento do ácido abscísico que também aumenta a produção de etileno e por conseguinte aumenta o estresse oxidativo induzindo ainda mais a produção de EROs (GROSSMAN, 2007). O aparecimento de EROs está ligada a resposta de abertura e fechamento estomático o que induz a inibição do crescimento celular, a murcha, seguido pelo estado de entropia total.

Por ser um herbicida auxínico, subdoses de 2,4-D provocam um efeito contrário ao estresse, o crescimento. Esse efeito é chamado de efeito hormético ou efeito hormese. Apesar de o fenômeno ter sido, inicialmente, observado no Século XIX, este termo foi empregado pela primeira vez em uma 1942, a qual descrevia que o crescimento de fungos submetidos a tratamento com antibiótico natural, encontrado em casca de tronco de árvore, era estimulado em baixas concentrações e suprimido sob altas concentrações (SAGAN, 1991).

Velini et al. (2008) define hormese sendo o uso, em subdoses, de substâncias consideradas tóxicas às plantas, de modo que tais compostos sejam utilizados a fim de estimular o desenvolvimento vegetal, portanto, é de suma importância o conhecimento de doses que provocam tais efeitos nas culturas de interesse, visto que essa técnica pode trazer incrementos significativos em parâmetros importantes de uma cadeia produtiva. Inicialmente, vários herbicidas foram desenvolvidos como reguladores de crescimento, comprovando a hipótese de hormese. O exemplo clássico é o do produto 2,4-D, originalmente desenvolvido como auxina e que, em doses elevadas, tem efeito herbicida (MOUSDALE; COGGINS, 1991). Ainda que, vários estudos têm provado a veracidade

do efeito hormético, as respostas provocadas pelo mesmo são de difícil entendimento, em algodão, por exemplo, não é interessante o crescimento vegetativo exacerbado, efeito esperado quando as plantas, de maneira geral experimentam concentrações não tóxicas de auxina exógena. Outro exemplo popular de herbicida que pode provocar efeito hormético é o glyphosate, cujo antecessor, o glyphosine que é utilizado como maturador em algumas culturas, e também é utilizado como regulador de crescimento, em vários países (HALTER, 2009). O glyphosate apresentou efeito de hormese em diversas plantas, como crescimento da parte aérea e radicular de *C. bengalensis* (MESCHEDE et al., 2007), aumento de matéria verde em milho (WAGNER et al. 2003), crescimento inicial em cana-de-açúcar e teor de fósforo nas folhas de eucalipto (CARBONARI et al., 2007).

Américo et al. (2016), já observou produtividades na casa 1965 kg ha⁻¹ em algodoeiro na subdose de 2,4-D de 1,90 g e.a ha⁻¹ constatando, ainda, que doses acima de tal valor já induzem o efeito herbicida do produto comercial. Ainda não se tem estudo sobre a correlação entre o efeito hormético provocado por 2,4-D e doses de nitrogênio e níquel. Constantin et al. (2007) também relatou que o efeito herbicida é experimentado quando valores acima de 3,36 g e.a ha⁻¹ são aplicados em algodoeiro.

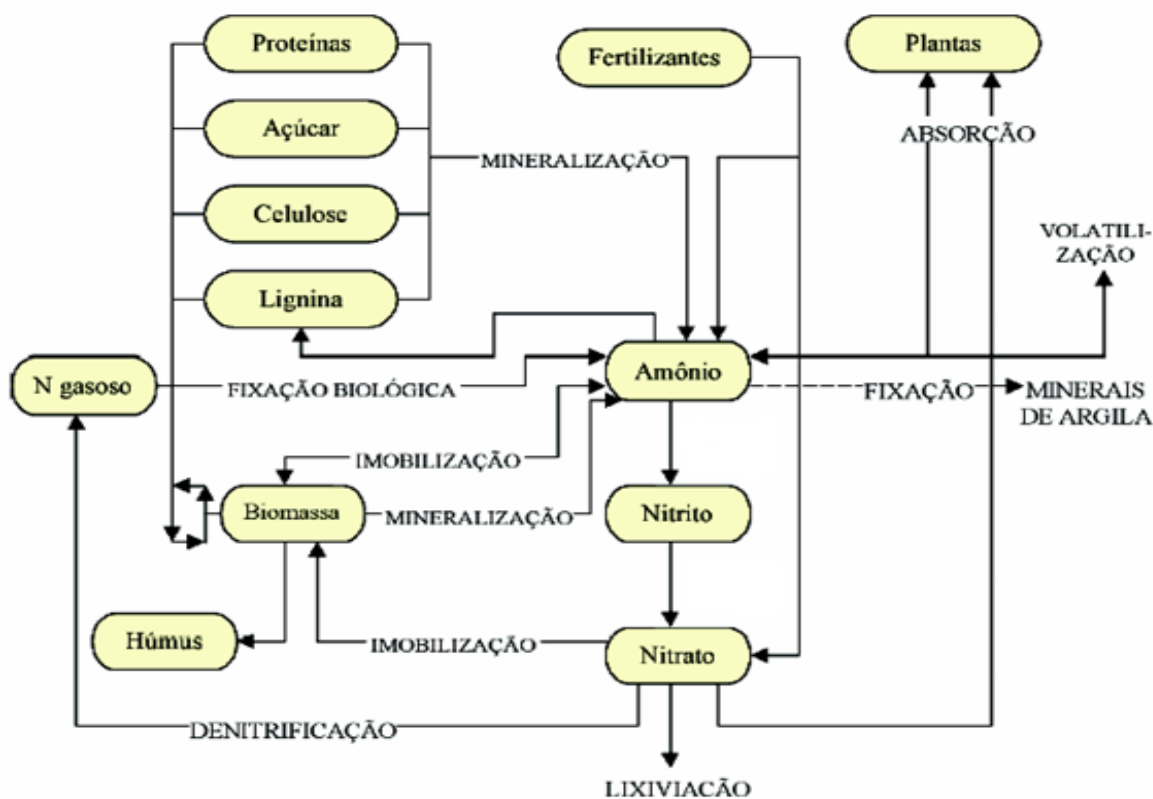
3.3 O NITROGÊNIO

O nitrogênio representa um dos minerais mais importantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas tendo de 1 a 6% de sua matéria seca absorvido sob diferentes formas (HAVLIN et al., 1999). Está relacionado com os mais importantes processos metabólicos no organismo da planta tais como, fotossíntese, respiração, desenvolvimento e atividade das raízes, bem como absorção de nutrientes e também crescimento, diferenciação celular e genética bem como o nitrogênio é constituinte de proteínas e além disso faz parte de compostos importantes como as bases nitrogenadas que são responsáveis pela formação dos ácidos nucleicos (MENGEL; KIRKBY, 1987)

A eficiência no uso do nitrogênio depende basicamente dos seguintes fatores: doses aplicadas, fontes utilizadas, época de aplicação, forma de aplicação, condições climáticas, intensidade de cultivo da área, estado nutricional, sistema de cultivo, da rotação de culturas e utilização de regulador de crescimento (OLIVEIRA, 1988), A maior parte de N disponível no solo está na forma de NO³⁻, que também está passível de perdas por lixiviação, (WILLIAMS; MILLER, 2001), sendo sua absorção e assimilação facilitadas em comparação ao NH₄⁺ devido ao seu estado oxidativo que elimina a

necessidade de redução química na célula (HOWITT; UDVARDI, 2000). Em baixas concentrações, o NH_4^+ pode ser uma fonte adequada de nitrogênio para as plantas, no entanto, em maiores concentrações irá causar fitotoxicidade. Na Figura 2 está representada a dinâmica do nitrogênio nos sistemas indicando suas principais fontes e principais destinos para utilização.

Figura 2- Dinâmica do nitrogênio nos ecossistemas.



Fonte: (STEVENSON, 1986) adaptado.

A cultura do algodoeiro exige, relativamente grandes quantidades de nitrogênio quando comparado com a demanda por outros elementos, para obtenção de alta produtividade. Mesmo em se considerando o fato de que a fibra é quase destituída de nitrogênio, as sementes contêm esse nutriente em grandes quantidades, sendo ele responsável por muitas funções no algodoeiro, que podem afetar seu crescimento e desenvolvimento (AZEVEDO et al., 1998; BELTRÃO, 1999).

Dentre os efeitos da adubação nitrogenada sobre a qualidade do algodão, destaca-se a influência sobre: precocidade, massa de sementes e capulho, produtividade, comprimento de fibra, índice de micronaire, maturidade e resistência de fibra e ainda regulariza o ciclo das plantas, evitando antecipação na maturação dos frutos (SILVA et al., 1994). O nitrogênio em algodoeiro promove maior crescimento de maneira geral no

entanto, em certo momento retarda o desenvolvimento podendo diminuir a produtividade em culturas de ciclo indeterminado (LIMA et al., 2006). Desta forma doses elevadas podem aumentar o crescimento vegetativo diminuindo a produtividade.

O nitrogênio é um elemento móvel e devido a isso é perdido de diversas maneiras (Figura 2), dificultando a quantificação e análise de tal nutriente tornando inviável a recomendação para a adubação nitrogenada com base na análise de solo. De acordo com Carvalho (2007), a adubação de cobertura do algodoeiro com esse nutriente é de fundamental importância para aumentar o aproveitamento da adubação de base e desse modo, com base nos experimentos em campo analisando a marcha de absorção de nitrogênio pelo algodoeiro recomenda-se que a adubação nitrogenada em cobertura seja realizada no máximo até 55 dias após a emergência.

3.4 O NÍQUEL

Os metais pesados são elementos comumente presentes nos solos, sendo que alguns deles tais como níquel (Ni) são considerados micronutrientes essenciais para as plantas, porém a presença em quantidades elevadas dos metais pesados no solo, pode causar danos ao ambiente e à cadeia alimentar (CHAVES et al., 2010). Segundo Terry e Bañuelos (2000) as fontes antropogênicas de metais disponíveis no solo são decorrentes das atividades industriais, agrícolas e urbanas. Para o Estado de São Paulo, os teores totais de Ni em amostras de solo não contaminadas variaram de 14,8 a 50,2 mg kg⁻¹ (CARIDAD - CANCELA, 2002). De acordo com Camargo et al. (2001), os teores totais de Ni em solos do Estado de São Paulo são de <10 a 126 mg kg⁻¹, e 0,10 a 1,40 mg kg⁻¹ para teores solúveis. O níquel pode expressar seu potencial poluente diretamente nos organismos do solo por sua disponibilidade às plantas em níveis fitotóxicos (CHANG et al., 1987).

A essencialidade do níquel foi provada por Dixon et al. (1975) ao constatar que o metal é constituinte da metaloenzima urease (EC 3.5.1.5. Ureia amidohidrolase), a qual catalisa a hidrólise da ureia em amônia (NH₄⁺) e dióxido de carbono (CO₂) o que o torna extremamente importante para o metabolismo do nitrogênio nas plantas quando a oferta de N se dá na forma de uréia, podendo aumentar a eficiência e a produtividade do algodoeiro. Entretanto, quando absorvido em grandes quantidades o níquel apresenta efeito tóxico para as mesmas, sendo considerado um metal pesado (BARCELOS, 2014).

O níquel age de diversas formas nas plantas sendo alguns efeitos fisiológicos comprovados nas culturas aumento no conteúdo de clorofila (KUTMAN; CAKMAK,

2012; KUTMAN, 2013a; RODAK, 2014), aumento da taxa fotossintética (RODAK, 2014), alteração na atividade da enzima redutase do nitrato (REIS et al., 2014), atraso da senescência e inibição da produção de etileno (SMITH; WOODBURN, 1984), alteração da atividade da enzima ACC oxidase (ZHENG et al., 2006). O níquel também exerce interferência no metabolismo de aminoácidos e de ácidos orgânicos (WALKER et al., 1985; BROWN et al., 1990; BAI; REILLY; WOOD, 2006;), na germinação das sementes (BROWN et al., 1987) e no catabolismo de ureídeos. Segundo Brown et al. (1987), a deficiência de níquel tem uma vasta gama de efeitos sobre o crescimento e senescência das plantas, o metabolismo do nitrogênio, e a absorção de ferro. Walker et al. (1985) afirmam que o elemento ainda possui participação na síntese de fitoalexinas, que melhora a resistência das plantas as doenças.

A deficiência de níquel inibe a atividade da enzima urease fazendo com que ocorra acúmulo de ureia nas folhas, ocasionando o aparecimento de manchas necróticas, impedindo o desenvolvimento da cultura e em casos mais severos provocando até a morte das plantas (DECHEN; NACHTIGAL, 2007). Malavolta e Moraes (2007) afirmam que as manchas necróticas, associadas com a deficiência de níquel, coincidem com locais de acumulação de ureia, indicando também mudanças no metabolismo do carbono (C) e diminuição na respiração.

As evidências publicadas sobre os efeitos do níquel na nutrição mineral de plantas são tanto quanto contraditórios. Os efeitos da mesma concentração de níquel variam entre as espécies de plantas. Assim, quando as plantas de *Triticum aestivum* e *T. durum* foram mantidos a uma concentração de 67 μM Ni, houve incremento na concentração de Ca e Mg, e decréscimo na concentração Zn nas folhas de *T. aestivum*, enquanto que *T. durum* não apresentou variações (BARSUKOVA; GAMZIKOVA, 1999). A diferença existente entre o metabolismo do nitrogênio em leguminosas e não leguminosas também parece ser um fator determinante para as respostas provocadas pelo níquel em plantas visto que poucos trabalhos preconizam a aplicação de níquel em culturas não leguminosas com o intuito de provocar incrementos no metabolismo do nitrogênio.

No caso do algodoeiro, não se tem notícia de resposta ao níquel. Também não foi encontrada interação da resposta ao níquel com a aplicação de doses de nitrogênio (RIGON et al., 2011).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

Conduziu-se um experimento em campo, na área experimental da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, FEIS/UNESP, localizada no município de Selvíria-MS, com coordenadas geográficas 20°22' de Latitude Sul e 51°22' de Longitude Oeste e com altitude média de 335m. no ano agrícola de 2015/16. O solo original da região onde instalou-se o experimento é um latossolo vermelho distrófico típico, textura argilosa, A moderado alumínico, fortemente ácido (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA- EMBRAPA, 2013). Foi realizado o manejo adequado afim de elevar a saturação por bases e aumentar a fertilidade do solo segundo as exigências da cultura do algodão.

4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.

Para realização da pesquisa, foi instalado um experimento empregando o delineamento experimental em blocos casualizados (GOMES, 2000), em um esquema fatorial 4x4x2, com 32 tratamentos em 3 repetições, perfazendo um total de 96 parcelas.

Estudaram-se tratamentos constituídos pela aplicação de quatro doses de níquel, sendo 0, 300, 450 e 600 g ha⁻¹ e quatro doses de nitrogênio, sendo 0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹, correlacionado com a aplicação, ou não, de uma dose de 2,4-D sendo 1,8 g. e.a ha⁻¹ de acordo com Américo (2015).

4.3 DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO E TRATOS CULTURAIS.

4.3.1 Instalação do experimento

O experimento foi instalado no mês de dezembro de 2015 com a semeadura da cultivar de algodoeiro FM 975WS® em sistema de plantio convencional. Cada parcela experimental foi composta por quatro linhas de cultivo, com 0,90 m de espaçamento e cinco metros de comprimento, sendo a área útil constituída pelas duas linhas centrais, da parcela. Utilizou-se uma densidade de plantio de 9 plantas por metro em todos os tratamentos de modo a alcançar uma população de aproximadamente 100.000 plantas por hectare.

A aplicação de Níquel e Nitrogênio foi realizada via solo aos 55 dias após emergência (d.a.e) e a aplicação de Ni foi realizada por meio da diluição de sulfato de

Ni em 1 L de água e distribuição via solo em cada parcela. O produto utilizado como fonte de Ni foi o sulfato de níquel ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), contendo 22% de Ni. A aplicação de Nitrogênio foi em cobertura sendo o produto fonte a uréia ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$). A dose de 2,4-D foi aplicada via foliar com o auxílio de pulverizador costal manual em cada parcela contendo o tratamento de 1,8 g e.a ha^{-1} tendo como base o produto comercial DMA[®] 806 BR.

O crescimento vegetativo do algodoeiro foi controlado por meio do emprego de regulador de crescimento, comercializado com a denominação de PIX HC[®], cujo princípio ativo é o cloreto de mepiquat (250 g L^{-1}). O regulador foi aplicado com pulverizador de barras tratorizado, aos 70 d.a.e com a dosagem de $0,2 \text{ L ha}^{-1}$ e o controle de plantas daninhas das áreas experimentais foi feito por meio de manejo químico na medida em que as mesmas emergiram. O controle de pragas teve caráter preventivo de modo a evitar danos à cultura.

4.4 VARIÁVEIS ANALISADAS

4.4.1 Avaliações biométricas em campo

As análises biométricas foram avaliadas aos 65 d.a.e e aos 80 d.a.e em cinco plantas escolhidas ao acaso em cada parcela, sendo as variáveis:

- **Altura de plantas:** realizada com auxílio de trena, sendo medido do colo até a última ramificação do meristema apical;
- **Diâmetro do caule:** realizado com auxílio de paquímetro, na altura de 2 cm em relação ao solo;
- **Número de ramos:** contagem do número de ramos secundários das mesmas plantas realizada a avaliação de altura.

4.4.2 Análise bioquímica de folhas

- **Coleta de Folhas:** Foi realizada a coleta de 25 folhas de cada parcela experimental no limbo da 5ª folha da haste principal, contada do ápice para a base da planta, aos 70 dias após a emergência com intuito de verificar o efeito dos tratamentos estudados. Após a coleta, as folhas foram submetidas, uma porção à secagem em estufa com circulação e renovação de ar, moídas e

encaminhadas ao Laboratório de Análise de Tecido Vegetal do Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia da FEIS/Unesp/Ilha Solteira e a outra porção foi armazenada em freezer.

• **Extração de compostos nitrogenados para quantificação e análise:** Os compostos nitrogenados foram extraídos para as análises por intermédio do método descrito por Bielecki e Turner (1966), onde para cada grama de material fresco, acrescentou-se 10 ml de solução MCW (60% metanol, 25% clorofórmio, 15% H₂O) e triturou-se vigorosamente para posterior centrifugação. Após centrifugação, foi adicionado na proporção de 1 mL clorofórmio + 1,5 mL H₂O, para cada 4 mL sobrenadante. Após a separação de fases utilizou-se a fase hidrossolúvel para análise de compostos nitrogenados (aminoácidos, amônia e nitrato).

• **Determinação de nitrato:** foi utilizado o método de Cataldo et al. (1975) para quantificar-se as variações na concentração de nitrato presentes em parte aérea. Da fase aquosa utilizou-se 0,1ml + 4ml de ácido salicílico 5% em H₂SO₄. Após 20 minutos em temperatura ambiente acrescentou-se 9,5 ml de NaOH 2N na borda do tubo. A leitura foi feita em espectrofotômetro $\lambda = 410\text{nm}$.

• **Determinação de amônia:** para determinação da concentração de amônia solúvel foi utilizado o método descrito por McCullough (1967). O extrato foi diluído em água, em volume de 0,1 ml ao qual foi adicionado 0,5 mL de solução fenol (2,5 g fenol + 12,5 mg nitroprussiato de sódio) + 0,5 ml de solução fosfato (1,25 g NaOH + 13,4 g Na₂HPO₄.7H₂O + 2,5 mL NaOCl 5%). O ensaio foi incubado em banho maria 37°C por 1 hora. A leitura foi feita em espectrofotômetro $\lambda = 410\text{nm}$.

• **Determinação de aminoácidos totais:** foi utilizado o método descrito por Yemm e Cocking (1955). Da fase aquosa utilizou-se 1ml + 500µl de tampão citrato + 200µl de 5% em metil glicol + 1ml de solução KCN 0,0002 M seguido de aquecimento a 100 °C por 20 minutos sendo resfriado em temperatura ambiente para posterior inclusão de 1ml de etanol 60%. A leitura foi feita em espectrofotômetro $\lambda = 570\text{nm}$.

- **Determinação de nitrogênio:** os teores de nitrogênio total foram obtidos por meio de digestão sulfúrica, conforme metodologia descrita em Malavolta et al. (1997). Tendo como princípio chave a transformação no nitrogênio amoniacal ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ em amônia (NH_3), a qual é fixada pelo ácido bórico e posteriormente titulada com HCl 0,05 N. Para o preparo da amostra utilizou-se aproximadamente 100 mg de matéria seca moída em tubo de ensaio para digestão, acrescentando 200 mg da mistura digestora e 3 ml de H_2SO_4 . A digestão foi realizada com o auxílio do bloco digestor em temperatura crescente até 350°C por aproximadamente 1 hora seguido de resfriamento em temperatura ambiente e inclusão de 3ml de H_2O destilada. Foi realizada a destilação e titulação com HCl 0,05 N sendo o resultado final calculado com base na seguinte equação:

$$N = V \times 7.0 \text{ g/kg/MS onde: N= Nitrogênio Total}$$

$$V = \text{Volume de HCl 0,05 N gasto na titulação.}$$

4.4.3 Determinações fotossintéticas

- **Leitura de Clorofila:** foram obtidas leituras diretas e indiretas de clorofila. Para leitura direta realizou-se a análise de pigmentos fotossintéticos e para tanto utilizou-se 0,5 g do material vegetal macerado com a adição de 5 ml de acetona 80% (v/v), armazenado durante 24h em geladeira e filtrado. A quantificação dos teores de clorofila a (Ca), clorofila b (Cb) e clorofila total (Ca +b) foram obtidos de acordo com os cálculos propostos por (LICHTENTHALER, 1987):

$$\text{Ca} = 11,24 [A_{661,6}] - 2,04 [A_{644,8}].$$

$$\text{Cb} = 20,13 [A_{644,8}] - 4,19 [A_{661,6}].$$

$$\text{Ca+b} = 7,05 [A_{661,6}] + 18,09 [A_{644,8}].$$

Os teores de pigmentos fotossintéticos foram expressos em μg do pigmento por grama de matéria fresca. As leituras indiretas de clorofila foram efetuadas com o auxílio do equipamento SPAD-502 aos 65 d.a.e.

4.4.4 Avaliações dos componentes da produção de plantas em campo

Os componentes da produção avaliados ao final do ciclo da cultura (150 d.a.e.) foram:

- **Massa de 1 capulho:** foram colhidos 20 capulhos aleatoriamente no terço médio da plantas e pesados com auxílio de balança digital, no momento da colheita para obtenção da estimativa da massa de 1 capulho.

- **Produtividade de algodão em caroço:** foi efetuada a colheita das linhas centrais de forma manual, pesagem e estimativa para produtividade em kg ha⁻¹.

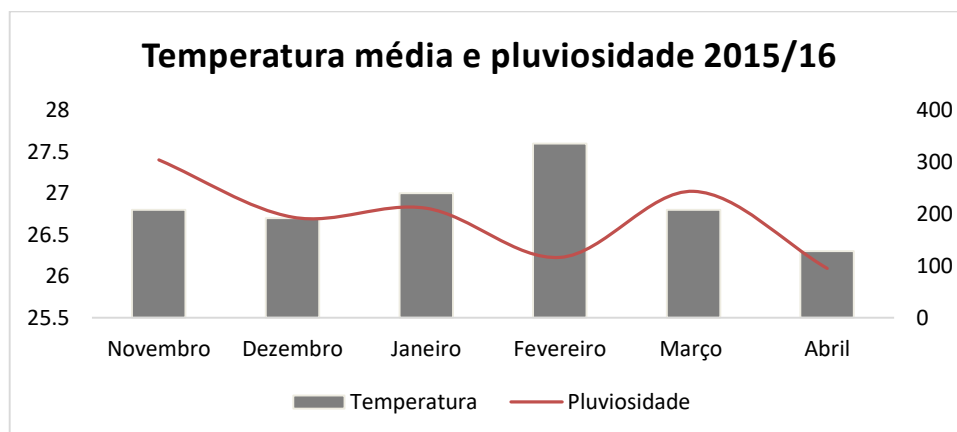
4.5 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados foram submetidos à análise de variância por meio do teste F ao nível de significância de 5%, utilizando a metodologia descrita por Gomes (2000). Utilizando o software estatístico SISVAR 5.1 (FERREIRA, 2000). Para os resultados significativos, aplicaram-se Tukey ou modelos de regressão que melhor se ajustaram aos efeitos obtidos.

5 DADOS CLIMÁTICOS

Na Figura 2 estão apresentados os dados climáticos obtidos para os meses em que o experimento foi desenvolvido. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. Foram registradas, temperatura média de 26,9°C com média máxima em 33,3°C, média mínima em 22,2°C, precipitação de 1.165 mm e umidade relativa média de 80,6%, para o período de desenvolvimento do experimento.

Figura 2- Temperatura média mensal e precipitação para a safra de 2015/16. Selvíria – MS, 2016.



Fonte: Próprio autor.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, estão apresentados os resultados obtidos para as variáveis de crescimento do algodoeiro aos 65 e 80 dias após a emergência.

Tabela 1- Médias, valores de $p > F$ e regressão para doses de N (kg ha^{-1}) e doses de Ni (g ha^{-1}) e teste de Tukey para aplicação de 2,4-D ($1,8 \text{ g e.a ha}^{-1}$) para as variáveis de altura, diâmetro e número de ramos de algodoeiro aos 65 e 80 dias após a emergência. Selvíria-MS, 2016.

Tratamentos	Altura de plantas (cm)		Diâmetro de plantas (mm)		Número de ramos	
	65 D.A.E	80 D.A.E	65 D.A.E	80 D.A.E	65 D.A.E	80 D.A.E
Doses de Ni						
0	107,16	116,41	14,55	15,26	16,16	16,50
300	111,50	117,16	14,95	15,93	16,41	16,58
450	112,37	116,83	14,94	15,51	16,33	16,83
600	107,12	105,37	14,11	15,16	15,83	16,20
Doses de N						
0	107,12	110,16	14,74	14,90	15,20	15,66
40	108,58	113,33	14,68	15,56	15,86	16,87
80	111,08	115,58	14,60	15,70	16,50	16,89
120	111,37	116,70	14,54	14,72	17,15	17,29
Dose de 2,4-D						
0	108,97 a	113,10 a	14,49 a	15,07 a	16,12 a	16,41 a
1.8	110,10 a	114,79 a	14,79 a	15,36 a	16,25 a	16,64 a
Doses de Ni	0,06	0,01**	0,21	0,01**	0,45	0,56
Doses de N	0,24	0,01**	0,97	0,19	0,01**	0,02**
2,4-D	0,51	0,40	0,34	0,44	0,65	0,46
N*2,4-D	0,97	0,38	0,87	0,92	0,56	0,39
Ni*N	0,44	0,96	0,92	0,17	0,58	0,90
Ni*2,4-D	0,64	0,88	0,35	0,31	0,39	0,82
CV (%)	7,68	8,63	10,69	12,21	8,32	9,24

* e ** representam significância a nível de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F e letras diferentes para a mesma variável indicam significância ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Os ajustes de regressão não apresentaram significância para doses de níquel e nitrogênio aos 65 d.a.e. Observou-se um ajuste linear, significativo aos 80 d.a.e indicando que o aumento da oferta de nitrogênio afetou positivamente a altura da planta, o que é evidenciado em literatura. Lima et al. (2006) salienta que a adubação nitrogenada em algodoeiro promove maior crescimento de maneira geral, no entanto, em certo momento ocorre um aumento de crescimento vegetativo em detrimento a frutificação podendo influenciar negativamente em variáveis como a produtividade, comprimento de fibra e precocidade afetando diretamente os parâmetros de avaliação do

crescimento. Os dados obtidos para a variável altura apresentam significância nas doses de níquel aos 80 d.a.e sendo possível observar um ajuste quadrático, onde doses acima de 450 g ha^{-1} provocam diminuição na altura de plantas de algodoeiro.

Os dados obtidos para diâmetro do caule aos 65 d.a.e não apresentaram significância para doses de níquel e doses de nitrogênio, no entanto doses de níquel até 300 g ha^{-1} provocam um aumento no diâmetro de plantas de algodoeiro e doses de 450 g ha^{-1} e 600 g ha^{-1} de níquel prejudicam a variável em questão aos 80 d.a.e. Embora os efeitos provocados pelo níquel se apresentam de forma sutil na maioria dos casos e seu efeito ser variável conforme a espécie vegetal, Poulik (1997) relatou que, plantas de aveia com teor próximo a 168 mg kg^{-1} de Ni apresentaram sintomas de toxicidade e morreram. No entanto o teor de Ni no solo menor do que 56 mg kg^{-1} provocou incrementos nas espigas.

O Número de ramos do algodoeiro aumentou ao mesmo tempo em que aumentaram-se as doses de nitrogênio tanto aos 65 d.a.e quanto aos 80 d.a.e apresentando significância para o ajuste linear, o que segue o padrão observado para os dados de altura nas doses de nitrogênio. Não foi detectada diferenças significativas para doses de níquel em número de ramos em ambas as avaliações. O teste de Tukey realizado para os dados de crescimento não apresentou significância para nenhuma das variáveis avaliadas em confronto com a dose hormética de 2,4-D, no entanto, vale ressaltar que não houve, numericamente, efeito negativo em altura, diâmetro ou número de ramos com a aplicação de 2,4-D em dose hormética.

Na Tabela 2 estão expostos os dados de produtividade, massa de 1 capulho, Spad aos 65 d.a.e e teor de nitrogênio foliar. Os dados de produtividade de algodoeiro em caroço apresentaram significância para a interação entre doses de níquel e nitrogênio e serão discutidas adiante. O teste de Tukey realizado para produtividade indicou diferença significativa na dose de 1.8 g ha^{-1} de modo que houve um incremento de 191 kg ha^{-1} , influenciando positivamente na produtividade. Américo et al. (2016) já relatou que a subdose de 2,4-D de $1,90 \text{ g e.a ha}^{-1}$ implica em produtividades na casa 1900 kg ha^{-1} em algodoeiro constatando, ainda, que doses acima de tal valor já induzem o efeito herbicida do produto comercial, corroborando os dados de Constantin et al. (2007) que também preconizam que o efeito herbicida é experimentado quando valores próximos de $3,4 \text{ g e.a ha}^{-1}$ são aplicados em algodoeiro, porém cultivares, variações climáticas e estádios de desenvolvimento devem ser fator determinante para a resistência do algodoeiro ao 2,4-D.

Tabela 2- Médias, valores de $p > F$ e regressão para doses de N (kg ha^{-1}) e doses de Ni (kg ha^{-1}) e teste de Tukey para aplicação de 2,4-D ($1,8 \text{ g e.a ha}^{-1}$) para as variáveis de produtividade, massa de 1 capulho, índice SPAD e teor de nitrogênio foliar em algodoeiro. Selvíria-MS, 2016.

Tratamentos	Produtividade (kg ha^{-1})	Massa de 1 cap. (g)	Spad 65 D.A.E	Teor de N (g/kg)
Doses de Ni				
0	1584	5,96	53,23	37,45
300	1641	5,99	53,51	38,22
450	1721	6,09	54,22	40,81
600	1750	6,23	54,21	41,09
Doses N				
0	1524	5,65	52,33	38,85
40	1622	6,10	54,14	39,90
80	1729	6,07	54,32	40,04
120	1821	6,40	55,17	40,39
Dose de 2.4d				
0	1724 a	5,97 a	52,86 a	38,57 a
1.8	1915 b	6,13 a	54,12 a	41,02 b
Doses Ni (Ni)	0,60	0,23	0,06	0,01**
Doses N (N)	0,01**	0,01**	0,12	0,59
Dose 2.4d (2.4d)	0,03*	0,14	0,06	0,05*
N*2.4d	0,07	0,58	0,31	0,78
Ni*N	0,03*	0,09	0,36	0,98
Ni*2.4d	0,06	0,78	0,60	0,26
CV (%)	13,77	8,95	6,06	10,31

* e ** representam significância a nível de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F e letras diferentes para a mesma variável indicam significância ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

A massa de 1 capulho também apresentou diferença significativa, mas para essa variável observa-se um incremento linear e positivo a medida que há elevação na dose de nitrogênio até 120 kg ha^{-1} . A mesma variável não apresentou significância para doses de Ni, do mesmo modo, o incremento linear nas doses de nitrogênio é observado no índice Spad evidenciando um maior acúmulo de clorofila a medida que a dose de nitrogênio é aumentada fato que pode ser citado ainda que não seja observada significância na análise de variância, a mesma variável também não apresentou diferença significativa para as doses de Ni. O Teor de N foliar sofreu variação nas doses de Ni apresentando significância para o ajuste linear mostrando que o incremento nas doses de níquel provoca um aumento na quantidade de nitrogênio total nos tecidos da planta fato correlacionado ao crescimento e produtividade devido a significância

experimentada na dose de 2,4-D onde a dose hormética empregada apresentou influência positiva no acúmulo de nitrogênio nos tecidos de folha, a presença do níquel no solo também pode ter contribuído para a atividade da urease amplificado sua capacidade culminando em mais nitrogênio disponível, o que refletiu em maior atividade fotossintética.

Segundo Davies (2004), os reguladores vegetais agem promovendo, inibindo ou modificando a fisiologia e morfologia do vegetal. Influenciando diretamente nos processos de germinação, crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas, propiciando harmonia ao ciclo do vegetal. Salisbury e Ross (1994) salientam que os efeitos dos reguladores não só dependem do grupo vegetal, mas também da parte da planta onde está sendo aplicado, do estágio de desenvolvimento no momento da exposição, da concentração empregada, bem como da interação com outros compostos de origem endógena e/ou alelopática, nesse contexto a significância observada nos dados de produtividade para a subdose do herbicida pode ser explicada pelo fato de, as auxinas sintéticas apresentarem maior eficiência em seu aproveitamento devido ao fato de sua metabolização na planta não ser tão rápida quanto a do ácido indol acético endógeno (TAIZ; ZEIGER, 2013) o que amplifica e confere ao 2,4-D alta capacidade de reação por maior tempo justificando seu efeito na planta.

Na Tabela 3, está apresentada a tabela do desdobramento da interação entre níquel e nitrogênio para produtividade.

Tabela 3- Desdobramento da interação entre doses de níquel e nitrogênio para produtividade (kg ha⁻¹), Selvíria-MS, 2016.

Doses de Ni (g ha ⁻¹)	Doses de Nitrogênio (kg ha ⁻¹)				p>F linear	p>F quad	R ² linear	R ² quad	Equação
	0	40	80	120					
0	1463	1657	1650	1797	0,02*	0,80	92,7	92,7	y=0,05152x+1,467
300	1215	1660	1587	1872	0,01**	0,40	88,2	88,7	y=1,0038x+1,245
450	1740	1521	1776	1848	0,17	0,12	28,3	63,9	
600	1679	1648	1902	1767	0,22	0,57	34,6	41,7	
p>F linear	0,02*	0,67	0,05* ²	0,90					
p>F quad	0,05* ¹	0,70	0,13	0,38					
R ² linear	28,2	11,6	59,5	1,70					
R ² quad	50,0	21,5	93,4	99,6					
Equação	y=-0,024x ² -1,435,2 ¹	0,9021x	+	-	-	-			
	y=0,42x+1,587 ²								

* e ** representam significância a nível de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F.

Analisando o desdobramento das doses de nitrogênio dentro de cada nível de níquel observa-se significância a 5% na dose 0 de nitrogênio e significância a 5% na dose 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Para as parcelas sem aplicação de nitrogênio os dados

indicam uma variação que não se ajusta aos modelos de regressão adotados, fato que é constatado pela análise das médias em comparação com o R^2 , o comportamento dos dados pode ser explicado pelo fato de não haver adubação de cobertura na dose 0 de nitrogênio, o que implica e maior suscetibilidade as variações climáticas resultando em perdas na produtividade que não são, especificamente, ligadas ao estresse pela aplicação de níquel. Na dose 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio observou-se significância para o ajuste de regressão linear indicando um aumento na produtividade à medida que eleva-se a dose de níquel até 600 g ha⁻¹. Silva (1988) verificaram que o incremento na produtividade cresceu juntamente com o aumento das doses de nitrogênio em cobertura (0, 20, 40 e 60 kg ha⁻¹). Da mesma forma que Campos et al. (1995) relataram que à medida que se aumentou a dose de N de 0 para 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹, houve um efeito significativo e diretamente proporcional em termos de produtividade de algodão no entanto a combinação entre doses de nitrogênio e níquel aliado a dose hormética de 2.4-D não são verificadas na literatura disponível.

Analisando o desdobramento de níquel dentro de cada nível de nitrogênio observa-se significância para as doses 0 e 300 g ha⁻¹ indicando um aumento na produtividade à medida que eleva-se a dose de nitrogênio. Rodrigues et al. (2004) verificaram aumento de produtividade de algodão em caroço em função do acréscimo de doses de N de maneira isolada obtendo a máxima produtividade (2932,75 kg ha⁻¹) que foi evidenciada mediante a aplicação de 125 kg ha⁻¹ de N, também utilizando ureia como fonte de N. Resultado semelhante foi observado por Feltrin (2007), que trabalhando com os cultivares de algodão Deltaopal e IAC 24 em Selvíria-MS, constatou maior produtividade quando foram aplicados 144 kg ha⁻¹ de N, ainda que não há significância para os dados obtidos nas doses de 450 e 600 g ha⁻¹ o padrão é parecido com as doses 0 e 300 g ha⁻¹ o que indica que os ganhos em produtividade estão muito mais relacionados a oferta de N do que às doses de Ni.

Os dados obtidos para quantificação de aminoácidos solúveis totais, amônia e nitrato, estão apresentados na Tabela 4. Aminoácidos solúveis totais apresentou significância para a interação entre níquel e nitrogênio, os dados obtidos para amônia não apresentaram significância pelo teste F, fato explicado pela rápida conversão de amônia nos tecidos vegetais em aminoácidos por conta de sua toxicidade (TAIZ; ZEIGER, 2013). Observou-se diferença significativa para nitrato na interação entre doses de níquel e nitrogênio. O teste de Tukey realizado para aminoácidos, amônia e nitrato na dose de 2,4-D não foi significativo a 5% de probabilidade

Tabela 4- Médias, valores de $p > F$ e regressão para doses de N (kg ha^{-1}) e doses de Ni (g ha^{-1}), e teste de Tukey para dose de 2,4-D ($1,8 \text{ g e.a ha}^{-1}$) para compostos nitrogenados (aminoácidos, amônia e nitrato) em folhas de algodoeiro, Selvíria-MS, 2016.

Tratamentos	Aminoácidos $\mu \text{ mol g}^{-1}/\text{MF}$	Amônia $\mu \text{ mol g}^{-1}/\text{MF}$	Nitrato $\mu \text{ mol g}^{-1}/\text{MF}$
Doses de Ni			
0	12,78	0,79	1,53
300	12,28	0,87	1,91
450	12,14	0,90	2,54
600	12,33	0,87	1,67
Doses N			
0	11,39	0,90	1,25
40	11,38	0,76	1,24
80	13,78	0,84	1,75
120	12,99	0,94	1,70
Dose de 2,4d			
0	12,28 a	0,85 a	1,77 a
1,8	12,48 a	0,87 a	2,05 a
Doses Ni	0,72	0,72	0,04*
Doses N	0,01**	0,29	0,01**
Dose 2,4d	0,64	0,84	0,17
N*2,4-d	0,09	0,24	0,32
Ni*N	0,01**	0,09	0,04*
Ni*2,4-d	0,78	0,10	0,68
CV (%)	16,56	39,41	52,38

* e ** representam significância a nível de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F e letras diferentes para a mesma variável, indicam significância ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

O desdobramento da interação das doses de nitrogênio dentro de cada nível de níquel revelou significância a 1% de probabilidade na dose de nitrogênio de 120 kg ha^{-1} , sendo ajustado em uma equação linear negativa mostrando que na dose indicada, o aumento nas doses de Ni afeta o teor de aminoácidos solúveis totais em folhas de algodoeiro (Tabela 5). Os aminoácidos são a frente assimilável mais reativa e bem elaborada de nitrogênio nas plantas e o níquel causa interferências no metabolismo de aminoácidos e de ácidos orgânicos tanto em falta, quanto em excesso (BAI; REILLY; WOOD, 2006) e Segundo Brown et al. (1990), os teores de níquel disponíveis exercem uma vasta gama de efeitos sobre o metabolismo do nitrogênio por estar ligado a degradação de uréia. Desse modo alguma interação entre o metabolismo de nitrogênio e o níquel sugere que em doses na casa de 120 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura aliadas a doses crescentes de níquel desfavorecem o acúmulo de aminoácidos nas folhas de algodoeiro o que se relaciona com o aproveitamento e transporte do nitrogênio assimilado via raiz, a hipótese de toxicidade provocada pelo níquel pode ser descartada

visto que a mudança na natureza do nitrogênio foliar não representou perdas em produtividade.

Tabela 5- Desdobramento da interação entre doses de níquel e nitrogênio para aminoácidos solúveis totais ($\mu\text{ mol g}^{-1}/\text{MF}$), Selvíria-MS, 2016.

Doses de Ni (g ha^{-1})	Doses de Nitrogênio (kg ha^{-1})				p>F linear	p>F quad	R ² linear	R ² quad	Equação
	0	40	80	120					
0	11,47	10,94	13,35	15,37	0,01**	0,13	82,1	95,5	$y=0,035279x+10,67$
300	10,57	11,25	13,12	14,17	0,01**	0,82	97,1	97,5	$y=0,031712x+10,38$
450	11,39	10,94	14,40	11,85	0,20	0,21	16,1	31,6	-
600	12,15	12,37	14,25	10,57	0,45	0,02	6,00	61,9	-
p>F linear	0,58	0,33	0,33	0,01**					
p>F quad	0,24	0,47	0,71	0,34					
R ² linear	16,7	46,5	54,8	92,7					
R ² quad	94,4	75,5	62,9	97,2					
Equação	$y = -0,008188x + 15,75$								

* e ** representam significância a nível de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F.

Analisando o desdobramento de doses de níquel dentro de cada nível de nitrogênio observa-se significância a 1% nas doses de 0 e 300 g ha^{-1} indicando um aumento no teor de aminoácidos solúveis totais a medida em que aumentam-se as doses de nitrogênio, dado que obedece o padrão observado na Tabela 3.

Tabela 6- Desdobramento da interação entre doses de níquel e nitrogênio para Nitrato ($\mu\text{ mol g}^{-1}/\text{MF}$), Selvíria-MS, 2016.

Doses de Ni (g ha^{-1})	Doses de Nitrogênio (kg ha^{-1})				p>F linear	p>F quad	R ² linear	R ² quad	Equação
	0	40	80	120					
0	1.79	1.15	1.38	1.82	0.85	0.19	1.76	92.9	
300	3.07	1.21	1.89	1.45	0.12	0.08	42.8	67.4	
450	4.19	1.65	1.79	2.53	0.01**	0.01**	28.7	94.8	$y=-0.000513x^2-0.073610x+4.09$
600	1.55	0.94	1.92	2.26	0.09	0.25	50.5	74.0	
p>F linear	0.38	0.99	0.36	0.25					
p>F quad	0.01**	0.43	0.71	0.53					
R ² linear	2.90	0.35	77.3	32.5					
R ² quad	69.8	38.6	90.0	42.2					
Equação	$Y = -0.000022x^2 + 0.013390x + 1.68$								

* e ** representam significância a nível de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F.

Houve diferença significativa para o desdobramento de níquel dentro de cada nível de nitrogênio para o teor de nitrato (Tabela 6).

O desdobramento das doses de nitrogênio dentro de cada nível de níquel apresentou significância para a dose 0 de nitrogênio obtendo-se um ajuste quadrático positivo indicando variação nos teores de nitrato foliar de modo que doses as 300 e 450 g ha^{-1} obtiveram maior acúmulo de nitrato, em contrapartida, a análise do desdobramento das doses de níquel dentro de cada nível de nitrogênio revelou

significância para a dose e 450 g ha⁻¹ de níquel sendo verificado um ajuste quadrático negativo onde observa-se um declínio nas doses de 40 kg ha⁻¹ e 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio e um aumento na dose de 120 kg ha⁻¹ sugerindo que os teores de nitrato em tecido são observados em maior quantidade nos tratamentos com 0 kg ha⁻¹ e 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio. A ureia possui de 45% a 46% de nitrogênio, e no solo é hidrolisada pela metaloenzima urease (EC 3.5.1.5. Ureia amidohidrolase) em amônia, (BARCELOS et al., 2016) que por atividade das bactérias nitrificantes do solo pode ser convertida a nitrato, que por sua vez pode entrar na planta e ser metabolizado imediatamente nos plastídios produzindo amônia, que está passível de ser assimilada pela via GS-GOGAT (TAIZ; ZEIGER, 2013). No entanto o nitrato não apresenta toxicidade e pode ser transportado e armazenado nos vacúolos para posterior utilização, o que justifica biologicamente a equação quadrática obtida na dose 450 g ha⁻¹ de níquel, indicando que há predominância pela metabolização ao invés do armazenamento de nitrato para as doses 40 kg ha⁻¹ e 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Um estudo para discriminar a natureza do nitrogênio foliar faz-se necessário para esclarecer os dados obtidos nesse trabalho.

Os teores de pigmentos fotossintéticos estão apresentados na Tabela 7. A análise de variância revelou valores significativos para clorofila a e clorofila total tanto para doses de nitrogênio quanto para doses de níquel. Para clorofila a, observa-se um ajuste linear positivo de modo que o aumento nas doses de níquel e nitrogênio contribuem para o aumento nos teores de pigmentos fotossintéticos. Meyer (1974) esclarece que os pigmentos provenientes das clorofilas são de suma importância, não só por abrigar uma grande quantidade de nitrogênio mas também por participarem de processos na absorção de energia luminosa para manutenção do teor energético na planta. A clorofila a é a principal responsável pela coloração verde das plantas e pela realização da fotossíntese. Dessa forma, o aumento do teor da clorofila a possibilita o aumento da taxa fotossintética. Os teores de clorofila b não apresentaram significância para doses de níquel e nitrogênio. Segundo Raven (1983), a clorofila b é um pigmento que amplifica a faixa de absorção de luz da fotossíntese agindo em conjunto com a clorofila a executando papel importante na transferência da energia captada para as moléculas da cadeia transportadora de elétrons da fotossíntese. A equação linear obtida nas doses de níquel para clorofila a, comprovam a hipótese de que o níquel não é prejudicial para a planta nos níveis avaliados sustentando a discussão sobre os desdobramentos obtidos para aminoácidos solúveis totais e nitrato ainda nesse trabalho

Tabela 7- Médias, valores de $p > F$ e regressão para doses de N (kg ha^{-1}) e doses de Ni (g ha^{-1}), e teste de Tukey para dose de 2,4-D ($1,8 \text{ g e.a ha}^{-1}$) para pigmentos fotossintéticos em folhas de algodoeiro, Selvíria-MS, 2016.

Tratamentos	Clorofila <i>a</i> $\mu\text{g g}^{-1}/\text{MF}$	Clorofila <i>b</i> $\mu\text{g g}^{-1}/\text{MF}$	Clorofila Total $\mu\text{g g}^{-1}/\text{MF}$
Doses de Ni			
0	280,07	195,69	475,76
300	288,19	188,35	476,54
450	291,98	187,95	479,93
600	293,77	197,08	490,86
Doses N			
0	274,90	186,89	461,79
40	289,79	198,20	488,00
80	290,91	191,02	481,93
120	294,42	184,95	479,37
Dose de 2,4d			
0	287,78 a	191,72 a	479,50 a
1,8	285,72 a	191,81 a	477,54 a
Doses Ni	0,02*	0,07	0,04*
Doses N	0,01**	0,15	0,02*
Dose 2,4d	0,52	0,97	0,69
N*2,4-d	0,13	0,23	0,34
Ni*N	0,18	0,11	0,67
Ni*2,4-d	0,70	0,51	0,41
CV (%)	15,46	8,92	5,17

* e ** representam significância a nível de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F e letras diferentes para a mesma variável, indicam significância ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Os teores de clorofila total também apresentaram significância a 5% de probabilidade para doses de níquel e nitrogênio, sendo evidenciado um ajuste linear positivo para as doses de níquel indicando que, o aumento nos pigmentos fotossintéticos aumentaram ao mesmo tempo em que se aumentaram as doses de níquel, para nitrogênio observa-se um ajuste quadrático mostrando que a dose 40 kg ha^{-1} foi a que obteve o maior aporte de clorofila total. Kramer e Kozlowski (1979) afirmam que as clorofilas estão diretamente ligadas com a eficiência fotossintética das plantas de maneira geral, o que confere a clorofila papel importante nas adaptações aos diferentes ambientes. Uma planta com alto teor de clorofila é capaz de atingir taxas fotossintéticas mais altas, pelo seu valor potencial de captação de luz por unidade de tempo (CHAPPELLE; KIM, 1992). Não foi observada significância na análise do teste de Tukey para 2,4-D para clorofila a, clorofila b e clorofila total.

O aumento evidenciado nos teores de clorofila a, tanto em doses crescentes de níquel quanto em doses crescentes de nitrogênio em confronto com os dados de altura, produtividade, teor de nitrogênio foliar, número de ramos, teor de aminoácidos e nitrato em tecidos de folha, levam a crer que há mudança no padrão fonte-dreno em plantas de algodoeiro visto que há diminuição em altura de plantas na dose 600 g ha^{-1} de níquel, mas esse decréscimo em altura não representou perdas em produtividade.

7 CONCLUSÕES

A dose hormética do herbicida 2,4-D provoca incrementos significativos na produtividade do algodoeiro nas condições avaliadas.

O aumento na dose de níquel até 600 g ha^{-1} juntamente com a adubação nitrogenada em doses crescentes associadas com o uso do 2,4-D em dose hormética aparentemente afetam o padrão fonte-dreno das plantas de algodoeiro favorecendo o pegamento de estruturas reprodutivas.

REFERÊNCIAS

- AMARANTE JUNIOR, O. P.; SANTOS, T. C. R.; NUNES, G. S.; RIBEIRO, M. L. Breve revisão de métodos de determinação de resíduos do herbicida ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D). **Química Nova**, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 223-229, 2003.
- AMÉRICO, G. P. **Crescimento e produtividade do algodoeiro em função da aplicação de subdoses de 2,4 D e cloreto de mepiquat**. 2015. 55 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista- UNESP, Ilha Solteira, 2015.
- AMÉRICO, G. H. P.; JUNIOR, E. F.; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; SANTOS, D. M. A. dos. Desenvolvimento e produtividade do algodoeiro em função da aplicação de subdoses de ácido diclorofenoxiacético e cloreto de mepiquat. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 91, n. 2, p. 117-129, 2016.
- ASHLEY, D. A. ¹⁴C-labeled photosynthate translocation and utilization in cotton plants. **Crop Sci**. Madison, v. 12, n. 1 p. 69-74, 1972.
- AZEVEDO, D. M. P.; VIEIRA, D. J.; BELTRÃO, N. E. de M.; NÓBREGA, L. B. **Efeito da adubação nitrogenada e do regulador de crescimento em algodoeiro irrigado**. Campina Grande: Embrapa- CNPA, 1998. 4 p.
- AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. de M.; VIEIRA, D. J.; NOBREGA, L. B. da. Manejo cultural. In: BELTRÃO, N. E. de M. (Org.). **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília Embrapa- CNPA, 1999. v. 2, p. 509-551.
- BAI, C.; REILLY, C. C.; WOOD, B. W. Nickel deficiency disrupts metabolism of ureides, amino acids, and organic acids of young pecan foliage. **Plant Physiology**, Rockville, v. 140, n. 2, p. 433-443, 2006.
- BALLAMINUT, C. E. C. **Seletividade da cultura do algodoeiro aos herbicidas Diuron, Clomazone, Trifloxysulfuron-sodium e Pirythiobac-sodium**. 2009. 86 f. Dissertação (Mestrado)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo- USP, Piracicaba, 2009.
- BARCELOS, J. Q. P. **Avaliação do desenvolvimento do algodoeiro *Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch cv. FMT 701 em função da aplicação de níquel e nitrogênio**. 2014. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade estadual Paulista- UNESP, Ilha Solteira, 2014.
- BARCELOS, J. P. Q.; JUNIOR, E. F.; REIS, H. G. P.; PUTTI, F. F.; REIS, A. R. dos. Diagnóstico da exigência do algodoeiro em nitrogênio e níquel pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, Tupã, v. 10, n. 1, p. 97-106, 2016.
- BARSUKOVA, V. S.; GAMZIKOVA, O. I. Effects of nickel surplus on the element content in wheat varieties contrasting in ni resistance. **Agrokhimiya**, Russia, v. 1, p. 80–85, 1999.
- BELTRÃO, N. E. de M.; AZEVEDO, D. M. P. de. **Defasagem entre as produtividades real e potencial do algodoeiro herbáceo: limitações morfológicas, fisiológicas e ambientais**. Campina Grande: Embrapa-Cnpa, 1993. 108 p.

BELTRÃO, N. E. de M. et al. **Recomendações técnicas para o cultivo do algodoeiro herbáceo de sequeiro e irrigado nas regiões Nordeste e Norte do Brasil**. 2. ed. Campina Grande: Embrapa Algodão, 1994. 73 p.

BELTRÃO, N. E. de M. Algodão brasileiro em relação ao mundo: situação e perspectivas. In: BELTRÃO, N. E. de M. **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. v. 1, p. 15-27.

BENEDICT, C. R.; KOHEL, R. J. Export of ^{14}C -assimilates in cotton leaves. **Crop Science**, Madison, v.15, n. 3, p. 367-372, 1975.

BIELESKI, R. L.; TURNER, N. A. Separation and estimation of amino acids in crude plant extracts by thin-layer electrophoresis and chromatography. **Analytical Biochemistry**, v. 17, n. 2, p. 278-293, 1966.

BROWN, P. H.; WELCH, R. M.; CARY, E. E. Nickel: a micronutrient essential for higher plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 85, n. 3, p. 801-803, 1987.

BROWN, P. H.; WELCH, R. M.; MADISON, J. T. Effect of nickel deficiency on soluble anion, amino acid and nitrogen levels in barley. **Plant and Soil**, The Hague - Netherlands, v. 125, n. 1, p. 19-27, 1990.

CALABRESE, E. J.; BALDWIN, L. A. Applications of hormesis in toxicology, risk assessment and chemotherapeutics. **Trends in Pharmacological Sciences**, Bruxelas, v. 23, n. 7, p. 331-337, 2002a.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F.; CASAGRANDE, J. C. Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos no solo. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B.; ABREU, C. A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: Legis Summa, 2001. p. 89- 124.

CAMPOS, T. G. da S.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, O. R. R. F.; SANTOS, J. W. Efeitos de doses e épocas de aplicação de nitrogênio Sulfato de amônio sobre o algodoeiro irrigado. In: REUNIÃO NACIONAL DO ALGODÃO, 8., Londrina, 1995. **Reunião...** Londrina: [s.n.], 1995. p. 118.

CARBONARI, C.; MESCHEDE, D. K.; VELINI, E. D. Efeitos da aplicação de glyphosate no crescimento inicial de mudas de eucalipto submetidas a dois níveis de adubação fosfatada. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GLYPHOSATE, 1., 2007, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Fepaf, 2007. p. 68-70.

CARIDAD-CANCELA, R. **Contenido de macromicronutrientes, metales pesados y otros elementos en suelos naturales de São Paulo (Brasil) y Galicia (España)**. 2002. 573 f. Tesis (Doctorado)- Universidad de la Coruña, A Coruña, 2002.

CARVALHO, M. C. S. **Adubação de cobertura do algodoeiro cultivado em condições de sequeiro na Região do Cerrado**. Campina Grande: Embrapa-CNPA, 2007. 5 p. (Documentos, 39).

CATALDO, D. A.; MAROON, M.; SCHRADER, L. E.; YOUNGS, V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid **Communications in Soil Science & Plant Analysis**, Philadelphia, v. 6, n. 1, p. 71-80, 1975.

CEDERGREEN, N.; RITZ, C.; STREIBIG, J. C. Improved empirical models describing hormesis. **Environmental Toxicology and Chemistry**, Bruxelas, v. 24, n. 12, p. 3166-3172, 2005.

CHANG, A. C.; HINESLY, T. D.; DONER, H. E.; DOWDY, R. H.; RYAN, J. A. Effects of long-term sludge application on accumulation of trace elements by crops. In: PAGE, A. L.; LOGAN, T. J. RYAN, J. A. **Land application of sludge-food chain implications**. Chelsea: Lewis Publisher, 1987. cap.4, p. 53-66.

CHAPPELLE, E. W.; KIM, M. S. Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): an algorithm for a remote estimation of the concentrations of chlorophyll A, chlorophyll B, and carotenoids in soybean leaves. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 39, n. 3, p. 239- 247, 1992.

CHAVES, L. H. G.; MESQUITA, E. F.; ARAUJO, D. L.; FRANÇA, C. P. Crescimento, distribuição e acúmulo de cobre e zinco em plantas de pinhão-manso. **Rev. Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 167-176, 2010.

CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S; FAGLIARI, J. R.; PAGLIARI, P. H.; ARANTES, J. G. Z.; CAVALIERI, S. D.; FRAMESQUI, V. P.; GONÇALVES, D. A Efeito de subdoses de 2,4-D na produtividade do algodão e suscetibilidade da cultura em função de seu estágio de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n.1, p. 24-29. 2007.

CORDÃO SOBRINHO, F. P.; ARAÚJO, J. M. de; SILVA, M. B., Avaliação do sistema de cultivo do algodoeiro herbáceo integrado a indústria de beneficiamento ano 2002. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 4., 2003, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: Embrapa, 2003. 1CD-ROM.

DAVIES, P. J. **Plant hormones: biosynthesis, signal transduction, action**. 3. ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 2004. 750 p.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G. R. III Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R .B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 91- 132.

DIXON, N. E.; GAZZOLA, C.; BLAKELEY, R. L.; ZERNER, B. Jack bean urease (EC 3.5.1.5) a metalloenzyme: simple biological role for nickel. **Journal of the American Chemical Society**, Washington, v. 97, n. 14, p. 4131-4133, 1975.

DUKE, S. O. et al. Hormesis: is it an important factor in herbicide use and allelopathy? **Outlooks on Pest Management**, New York, v. 17, n. 1, p. 29-33, 2006.

ECHER, F. R.; OOSTERHUIS, D. M ; LOKA, D. ROSOLEM, C. A. High night temperatures during the floral bud and flowering stages increase the abscission of reproductive structures in cotton. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Hoboken, v. 200, n. 3, p. 191-198. 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. ampl. Brasília, DF: [s.n.], 2013. 353 p.

FARIAS, F. J. C. **Índice de seleção de cultivares de algodoeiro herbáceo**. 2005. 121

f. Tese (Doutorado)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo- USP, Piracicaba, 2005.

FELTRIN, E. B. **Produtividade e qualidade de fibra de cultivares de algodoeiro em função de doses de nitrogênio**. 2007. 55 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2007.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do sisvar para windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

GOMES, P. F. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: Nobel. 2000. 460 p.

GROSSMAN, K. Auxin herbicide action: lifting the veil step by step. **Plant Signaling and Behavior**, Georgetown, v. 2, n. 5, p. 421- 425, 2007.

HALTER, S. História do herbicida agrícola glyphosate. In: VELINI, E. D. et al. **Glyphosate**. Botucatu: Fepaf, 2009. p. 11-16.

HAVLIN, J. L.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. Soil fertility and fertilizers. **Upper saddle river**: pearson education. 6th ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. p. 515.

HOWITT, S. M.; UDVARDI, M. K. Structure, function and regulation of ammonium transportes in plants. **Biochim Biophys Acta**, Howitt, v. 1465, n. 1-2, p. 152-170, 2000.

KRAMER, T.; KOZLOWSKI, T. **Physiology of woody plants**. New York: Academic Press, 1979. 811 p.

KUTMAN, B. Y.; KUTMAN, U. B.; CAKMAK, I. Nickel-enriched seed and externally supplied nickel improve growth and alleviate foliar urea damage in soybean. **Plant and Soil**, The Hague – Netherlands, v. 363, n. 1-2, p. 1-15, 2012.

KUTMAN, B. Y.; KUTMAN, U. B.; CAKMAK, I. Effects of seed nickel reserves or externally supplied nickel on the growth, nitrogen metabolites and nitrogen use efficiency of urea- or nitrate-fed soybean. **Plant and Soil**, The Hague – Netherlands, v. 376, n. 1-2, p. 261-276, 2013a.

LEAL, A. J. F. et al. Comportamento de algodoeiro cultivado em região de Cerrado com diferentes espaçamentos e densidades de plantas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 7., 2009, Foz do Iguaçu. **Resumos...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2009. 1CD-ROOM.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in enzymology**, Washington, v. 148, p. 350-382.1987.

LIMA, M. M.; AZEVEDO, C. A. V.; BELTRÃO, N. E. M.; LIMAS, V. L. A.; NASCIMENTO, M. B. H.; FIGUEIREDO, I. C. M. Níveis de adubação nitrogenada e bioestimulante na produção e qualidade do algodão BRS verde. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 619–623, 2006.

- MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: Internacional Plant Nutrition Institute, 2007. 722 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MCCULLOUGH, H. The determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. **Clinical chemical Acta**, Amsterdã, v. 17, n. 2, p. 297-304, 1967.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 4th. ed. Bern: IPI, 1987. 686 p.
- MESCHEDE, D. K.; CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D. Efeito de subdoses de glyphosate sobre o crescimento e desenvolvimento de *Commelina benghalensis*. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GLYPHOSATE, 1., 2007, Botucatu. **Simpósio...** Botucatu: Fepaf, 2007. p. 65-67.
- MEYER, S. E.; ROSA L. **Woody plant seed manual**. Washington: USDA Forest Service, 1974. 1236 p.
- MOUSDALE, D. M.; COGGINS, J. R. Amino acid synthesis. In: KIRKWOOD, R. C. **Target sites for herbicide action**. New York: Premium, 1991.
- OLIVEIRA, F. A.; CAMPOS, T. G. S.; SOUZA, J. G.; CARVALHO, O. S. Efeitos de nitrogênio e fósforo na cultura do algodoeiro herbáceo. In: REUNIÃO NACIONAL DO ALGODÃO, 5., 1988, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: EMBRAPA, 1988. p. 88.
- POULIK, Z. The danger of accumulation of nickel in cereals on contaminated soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 63, n. 1, p. 25-29, 1997.
- REBELO, R. M.; VASCONCELOS, R. A.; BUYS, B. D. M. C.; REZENDE, J. A.; MORAES, K. O. C.; OLIVEIRA, R. P. **Produtos agrotóxicos e afins comercializados em 2009 no Brasil: uma abordagem ambiental**. Brasília, DF: IBAMA, 2010. 84 p.
- RAHMAN, A.; BANNIGAN, A.; SULAMAN, W.; PECHTER, P.; BLANCAFOR, E. B.; BASKIN, T. I. Auxin, actin, and growth of the *arabidopsis thaliana* primary root. **The Plant Journal**, Oxford, v. 50, n. 3, p. 514-528, 2007.
- RAVEN, J. A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, Cambridge, v. 58, n. 1, p. 179-207, 1983.
- RAVEN P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 2001. 928 p.
- REIS, A. R.; RODAK, B. W.; PUTTI, F. F.; MORAES, M. F. Papel fisiológico do níquel: essencialidade e toxidez em plantas. **Informações Agronômicas**, Lavras, v. 147, p. 10-24. 2014.
- RIGON, J. P. G.; BRITO NETO, J. F.; CAPUANI, S.; BELTRÃO, N. E. M.; SILVA, F. V. F. Utilização de nitrogênio e níquel durante o crescimento do Algodão. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 1019- 1026. 2011.

- RODAK, B. W. **Níquel em solos e na cultura de soja**. 2014. 101 f. Dissertação (Mestrado)– Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- RODRIGUES, M. V. N.; SERRA, G. E. Determinação de resíduos de 2,4D em amostras vegetais. **Pesticidas**, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 99-104, 1996.
- RODRIGUES, T. L.; FURLANI JUNIOR, E.; BENKE, F. M.; SCUCUGLIA JUNIOR, R. Doses de nitrogênio e parcelamento da cobertura para diferentes cultivares de algodoeiro In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 30., 2004, Lages. **Resumos...** Lages: Joinville, 2004. p. 182. 1CD-ROM.
- RODRIGUEZ-SERRANO, M. et al. 2, 4- Diclorophenoxyacetic acid promote s-nitrosylation and oxidation of actin affectin cytoskeleton and peroxisomal dynamic. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 50, n. 17, p. 4783-4793, 2014.
- SAGAN, L. A. Radiation hormesis: evidence for radiation stimulation and speculation regarding mechanisms. **Radiation Physics and Chemistry**, Melbourne, v. 37, n. 2, p. 313-317, 1991.
- SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiologia vegetal**. México: Iberoamérica, 1994. 59 p.
- SILVA, N. M.; KONDO, J. I.; SABINO, N. P Importância da adubação na qualidade do algodão e outras plantas fibrosas. In: SÁ, M. E.; BUZZETI, S. (Ed.) **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Incone, 1994. p. 189-216.
- SILVA, N. M. Nutrição e adubação do algodoeiro. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 43, p. 12, 1988.
- SMITH, N. G.; WOODBURN, J. Nickel and ethylene involvement in the senescence of leaves and flowers. **Naturwissenschaften**, Berlin, v. 71, n. 4, p. 210-211, 1984.
- STEVENSON, F. J. **Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. New York: John Wiley, 1986. 380 p.
- STUART, B. L.; ISBELL, V. R.; WENDT, C. W.; ABERNATY, J. R. Modification of cotton relations and growth with mepiquat chloride. **Agronomy Journal**, Madison, v. 76, n. 4, p. 651- 5, 1984.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 719 p.
- TERRY, N.; BAÑUELOS, G. (Ed.). **Phytoremediation of contaminated soil and water**. Boca Raton: Lewis Publishers, 2000. p. 85-107.
- VELINI, E. D.; ALVES, E.; GODOY, M. C.; MESCHEDE, D. K.; SOUZA, R. T.; DUKE, S. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. **Pest Management Science**, Chichester, v. 64, n. 4, p. 489-489. 2008
- WAGNER, R.; KOGAN, M.; PARADA, A. M. Phytotoxic activity of root-absorbed glyphosate in corn seedlings (*Zea mays* L.). **Weed Biology Management**, Danvers, v. 3, n. 4, p. 228-232, 2003.

WALKER, C. D.; GRAHAM, R. D.; MADISON, J. T.; CARY, E. E.; WELCH, R. M. Effects of ni deficiency on some nitrogen metabolites in cowpeas (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Plant Physiology**, Rockville, v. 79, n. 2, p. 474–479, 1985.

WENDEL, J. F.; BRUBAKER, C. L.; SEELANAN, T. The origin and evolution of *Gossypium*. In: STEWART, J.; OOSTERHUIS, D.; HEITHOLT, J. J.; MAUNEY, J. (Ed.). **Physiology of cotton**. New York: Netherlands, 2010. 563 p.

WILLIAMS, L. E.; MILLER, A. J. Transporters responsible for the uptake and partitioning of nitrogenous solutes. **Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology**, Palo Alto, v. 52, p. 659 – 688, 2001.

YEMM, E. W.; COCKING, E. C. The determination of amino acids with ninhydrin. **Analyst**, Cambridge, v. 80, n. 948, p. 209-213, 1995.

YORK, A. C. Cotton cultivar response to mepiquat chloride. **Agronomy Journal**, Madison, v. 75, n. 4, p. 663-7, 1983.

ZHENG, Q. L.; NAKATSUKA, A.; MATSUMOTO, T.; ITAMURA, H. Pre-harvest nickel application to the calyx of Saijo persimmon fruit prolongs postharvest shelf life. **Postharvest Biology and Technology**, Belgium, v. 42, n. 1, p. 98-103, 2006.