PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM AGRONOMIA

LEONARDO VESCO GALDI

EXPLORANDO AS RELAÇÕES ANTAGÔNICAS ENTRE NITROGÊNIO, POTÁSSIO E BORO NA ADUBAÇÃO DO ALGODOEIRO EM SOLOS ARENOSOS E ARGILOSOS

Presidente Prudente – SP
2022

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM AGRONOMIA

LEONARDO VESCO GALDI

EXPLORANDO AS RELAÇÕES ANTAGÔNICAS ENTRE NITROGÊNIO, POTÁSSIO E BORO NA ADUBAÇÃO DO ALGODOEIRO EM SOLOS ARENOSOS E ARGILOSOS

Dissertação apresentada à Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia. – Área de concentração: Produção vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Rafael Echer

Presidente Prudente - SP
2022

Catalogação Internacional de Publicação (CPI)

631.51
G149e

Galdi, Leonardo Vesco.
Explorando as relações antagônicas entre nitrogênio, potássio e boro na adubação do algodoeiro em solos arenosos e argilosos. / Leonardo Vesco Galdi. -- Presidente Prudente, 2022.
34 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, SP, 2022.
Bibliografia.
Orientador: Fábio Rafael Echer

1. Nutrição de plantas. 2. Eficiência no uso dos nutrientes. 3. Qualidade da fibra. I. Título.

Bibliotecária: Sofia da Cunha Gonçalves – CRB 8\10943

Unoeste
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
18 3229-3286
prppg@unoeste.br
Campus II Rodovia Raposo Tavares, KM 572 - Bairro Limoeiro - CEP 19067-175 - Presidente Prudente-SP - www.unoeste.br

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "EXPLORANDO AS RELAÇÕES ANTAGÔNICAS ENTRE NITROGÊNIO, POTÁSSIO E BORO NA ADUBAÇÃO DO ALGODOEIRO EM SOLOS ARENOSOS E ARGILOSOS"

AUTOR(A): LEONARDO VESCO GALDI

ORIENTADOR(A): Dr. FÁBIO RAFAEL ECHER

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE em AGRONOMIA

Área de Concentração PRODUÇÃO VEGETAL, pela Comissão Examinadora:

Dr. Carlos Sérgio Tiritan
UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

Dr. Julio Cesar Bogiani
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária / Campinas (SP)

Dr. Fábio Rafael Echer Fabio Rafael Echer
UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

Data da realização: Presidente Prudente, 07 de novembro de 2022.

DEDICATÓRIA

Dedico essa dissertação e conclusão de mais um ciclo, aos meus pais Adilson e Simone, que sempre me apoiaram em todas circunstâncias e não mediram esforços principalmente para que eu continuasse os estudos, me dando suporte e confiança para acreditar estar no caminho certo. Dedico também a minha namorada Mariellen Mescolote que sempre incentivou minhas escolhas e admira além de minha profissão, a pesquisa e desenvolvimento acadêmico. Aos meus avós que sempre se mostraram felizes em me ver alcançando meus objetivos, assim como apoiando incondicionalmente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu professor e orientador Dr. Fábio Echer, por todas oportunidades disponibilizadas até aqui, concepção de ideia de trabalho e pesquisa, ensinamentos, correções e apoio. Também ao Grupo de Estudos do Algodão (GEA) e seus integrantes pela colaboração em diversas etapas desse estudo realizado, o qual não seria possível a realização sem ajuda dos mesmos. Ao amigo e parceiro de trabalho Carlos Felipe, que além de colaborar com o trabalho, prestou apoio e compartilhou conhecimento durante a condução da pesquisa. Á FAPESP que financiou todo o trabalho de mestrado através do processo 2019/25172-5. A todos que de alguma forma estiveram presentes e colaboraram de alguma forma com esse trabalho.

“A ciência é o grande antídoto do veneno do entusiasmo e da superstição.

(Adam Smith)

RESUMO

Explorando as relações antagônicas entre nitrogênio, potássio e boro na adubação do algodoeiro em solos arenosos e argilosos

A adubação equilibrada é necessária para melhorar a eficiência no uso dos nutrientes. Entretanto ainda não se sabe, se a melhor nutrição com boro pode reduzir a dose de nitrogênio e potássio do algodoeiro e se isso é dependente do ambiente de produção, principalmente em relação á textura do solo. O objetivo do estudo foi avaliar a nutrição, produtividade e qualidade de fibra do algodoeiro em função das doses de nitrogênio e K em diferentes disponibilidades de B em ambientes de solos arenosos e argilosos. Foram aplicadas no solo doses de boro de 1,5 e 3,0 kg ha^{-1}, nitrogênio entre 0 e 210 kg ha^{-1} e potássio entre 0 e 183 kg ha^{-1}. A melhor nutrição com boro reduziu a necessidade de nitrogênio e potássio pelo algodoeiro principalmente em ambientes com solos arenosos e baixo teor de boro (menor 0,3 mg dm^{-3}), onde nesse caso foi possível atingir produtividade acima de 1500 kg ha^{-1} de fibra com apenas 70 e 50 kg ha^{-1} de N e K, respectivamente. Quando o teor de boro no solo foi maior que 0,3 mg dm^{-3} houve pouco benefício pelo o incremento da dose de B (independente da textura do solo). Em ambientes de solos argilosos com produtividades acima de 2000 kg ha^{-1} de fibra houve uma tendência de aumentar a necessidade de N quando a dose de K foi superior a 100 kg ha^{-1}, e as maiores produtividades foram com doses de 70 kg ha^{-1} de N e entre 50 e 100 kg ha^{-1} de K. Em lavouras irrigadas com alta produtividade o teor de N nas folhas foi maior que 49 g kg^{-1}. O peso de capulhos aumentou pela melhor nutrição potássica, porém o aumento da dose de B para 3 kg ha^{-1} em ambiente de sequeiro com alto potencial produtivo é possível obter maior peso médio de capulho com menores doses de K (100 kg ha^{-1}), assim como em ambiente de menor potencial produtivo e solos arenosos é possível obter maior número de capulhos utilizando doses intermediárias de N (140 kg ha^{-1}) quando se aumenta a dose de B. O potássio, nitrogênio e o boro afetam diretamente a qualidade de fibra do algodoeiro, mas depende do ambiente de produção. O efeito do aumento da adubação com boro para reduzir a necessidade de N e K ocorre apenas em solos arenosos com baixo teor de boro e quando o algodoeiro foi cultivado em solo de alta fertilidade, altas doses de K aumentam a necessidade de N sem beneficiar a produtividade e qualidade da fibra.

Palavras-chave: Nutrição de plantas; eficiência no uso dos nutrientes; produtividade; qualidade de fibra.

ABSTRACT

Exploring the antagonistic relationships between nitrogen, potassium and boron in cotton fertilization in sandy and clayey soils

Balanced fertilization is necessary to improve nutrient use efficiency. However, it is not yet known whether better nutrition with boron can reduce the dose of nitrogen and potassium in cotton and if this is dependent on the production environment, mainly in relation to soil texture. The objective of the study was to evaluate the nutrition, yield and fiber quality of cotton as a function of nitrogen and potassium doses in different boron availability in sandy and clayey soil environments. Boron doses of 1.5 and 3.0 kg ha^{-1}, nitrogen between 0 and 210 kg ha^{-1} and potassium between 0 and 183 kg ha^{-1} were applied. Better nutrition with boron reduced the need for nitrogen and potassium by the cotton plant, especially in environments with sandy soils with low boron content (less than 0.3 mg dm-3), in this occasion it was possible to reach yield above 1500 kg ha^{-1} of fiber with only 70 and 50 kg ha^{-1} of N and K, respectively. When the boron content in the soil was higher than 0.3 mg dm^{-3}, increasing the B dose was not beneficial (regardless of the soil texture). In clayey soil environments with yields above 2000 kg ha-1 of fiber there was a tendency to increase the N requirement when the K dose was higher than 100 kg ha^{-1}, and the highest yields were with doses of 70 kg ha^{-1} of N and between 50 and 100 kg ha^{-1} of K. In the irrigated area with high yield, the N content in the leaves was higher than 49 g kg^{-1}. Boll weight increased due to better potassium nutrition, but increasing the dose of B to 3 kg ha^{-1} in a rainfed environment with high yield potential, it is possible to obtain a higher average boll weight with lower doses of K (100 kg ha^{-1}), as well as in an environment of lower yield potential and sandy soils, it is possible to obtain a higher number of bolls using intermediate doses of N (140 kg ha^{-1}) when increasing the dose of B. Potassium, nitrogen and boron directly affect the fiber quality of the cotton plant, but it depends on the production environment. The effect of increasing boron fertilization to reduce the need for N and K occurs only in sandy soils with low boron content and when cotton was grown in high fertility soil, high doses of K increase the need for N without benefiting the crop yield and fiber quality.

Keywords: Plant nutrition. Nutrients use efficiency. Yield. Fiber quality.

LISTA DE SIGLAS

N — Nitrogênio
K — Potássio
B — Boro
PMC — Peso médio de capulho
RF — Rendimento de fibra
ha — Hectare

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Geolocalização dos experimentos em Presidente Bernardes (solo arenoso) e Paranapanema (solo argiloso) no Estado de São Paulo nas safras 2019/2020 e 2020/2021..... 14

Figura 2 — Precipitação, temperatura máxima e mínima do ar, durante o período estudado..... 15

Figura 3 — Produtividade em fibra em função da dose de boro (B), potássio (K) e nitrogênio (N) em Presidente Bernardes (solo arenoso) e Paranapanema (solo argiloso) nas safras 2019/20 e 2020/21..... 19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Informações edafoclimáticas, cultivares, data de semeadura e colheita nos dois ambientes de produção e duas safras..... 15

Tabela 2 — Características físico-químicas do solo antes da semeadura do algodão nos dois locais e safras..... 16

Tabela 3 — Análise de variância para peso médio de capulhos (PMC), número de capulhos e rendimento de fibra (RF) em função das doses de nitrogênio, doses de potássio e a interação entre as doses; nas doses de 1,5 e 3,0 kg ha-1 de B, para os dois ambientes de produção e safras..... 21

Tabela 4 — Análise de variância para teor de nutriente (nitrogênio, potássio e boro) na folha em pleno florescimento em função das doses de nitrogênio, doses de potássio e a interação entre as doses; nas doses de 1,5 e 3,0 kg ha^{-1} de B, para os dois ambientes de produção e safras..... 23

Tabela 5 — Micronaire, maturidade, comprimento, índice de fibras curtas, resistência e elongação em função da dose de boro (B), dose de potássio (K), e dose de nitrogênio (N) em Presidente Bernardes (solo arenoso) nas safras 2019/2020 e 2020/2021.... 25

Tabela 6 — Micronaire, maturidade, comprimento, índice de fibras curtas, resistência e elongação em função da dose de boro (B), dose de potássio (K), e dose de nitrogênio (N) em Paranapanema (solo argiloso) nas safras 2019/2020 e 2020/2021..... 26

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	14
2.1	Caracterização das áreas.....	14
2.2	Delineamento experimental.....	16
2.3	Manejo do algodoeiro.....	16
2.4	Avaliações e coletas.....	17
2.5	Análise dos dados.....	17
3	RESULTADOS.....	18
3.1	Produtividade do algodoeiro.....	18
3.2	Componentes de produção e rendimento de fibra.....	20
3.3	Teores de nutrientes na folha.....	22
3.4	Qualidade da fibra.....	24
4	DISCUSSÃO.....	27
5	CONCLUSÃO.....	31
	REFERÊNCIAS.....	32

1 INTRODUÇÃO

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum L*.) é uma cultura importante na economia agrícola mundial e uma das commodities mais negociadas, com cerca de um terço da produção global sendo direcionada para os canais de exportação (Adams, 2015). O Brasil é o segundo país que mais exporta a fibra (1,72 milhões de toneladas) atrás apenas dos Estados Unidos da América (Statista, 2022). No Brasil é reportado a maior produtividade em ambiente sem irrigação e as maiores produtividades estão associadas principalmente a ambientes com maior altitude e práticas de correção do solo, incluindo a melhor nutrição da planta (Santos *et al*., 2020).

A nutrição do algodoeiro vem sendo amplamente discutida, uma vez que regiões como o cerrado brasileiro e nas grandes regiões produtoras (Mato Grosso e Oeste da Bahia) a utilização de fertilizantes nitrogenados e potássicos têm sido com doses demasiadamente elevadas, o que consequentemente aumenta o custo de produção, principalmente com fertilizantes nitrogenados (Cordeiro; Rodrigues; Echer, 2022a; Raphael; Echer; Rosolem, 2022). O nitrogênio (N) é considerado um dos nutrientes fundamentais ao lado do potássio (K) para o algodoeiro devido à grande exigência da cultura considerando os aspectos de produtividade e qualidade da fibra produzida (Vieira *et al*., 2018).

O boro (B) é um micronutriente que quando em deficiência causa redução do número de estruturas reprodutivas, devido a maior taxa de abortamento, assim como aumenta a concentração interna de CO_2, porém diminui a taxa de transpiração, a condutância estomática e a fotossíntese (Bogiani; Amaro; Rosolem, 2013); sua deficiência ocorre principalmente em ambientes de solos arenosos com baixo teor de matéria orgânica, altamente intemperizados (Cordeiro; Rodrigues; Echer, 2022a), também a lixiviação de B é maior em solo arenoso em comparação com outros solos; assim como solos argilosos acumulam mais o nutriente (Dhassi *et al*., 2019).

O potássio está associado principalmente a tolerância aos estresses abióticos (Wang *et al*., 2022) e transporte de carboidratos (Zahoor *et al*., 2017). Em solos arenosos tem sido reportado com maior frequência a deficiência de K e isso tem limitado a produtividade e qualidade da fibra do algodoeiro (Echer; Peres; Rosolem 2020). Adicionalmente, o ajuste da dose de potássio melhora a eficiência no uso do nitrogênio e as maiores produtividades são reportadas com relação de 1:1 ou 1,2:1 de K_2O e N (Ali *et al*., 2019), ou seja, o equilíbrio no fornecimento dos nutrientes é

fundamental para aumentar a eficiência deles no sistema de produção. Nesse sentido, sabe-se que o aumento das doses de K demanda doses mais elevadas de N (Mondal, 1982) e a combinação adequada das doses de N e K representa economia de fertilizantes, uma vez que esses elementos atuam de forma sinérgica (Reddy; Zhao, 2005; Zhu; Chen, 2002).

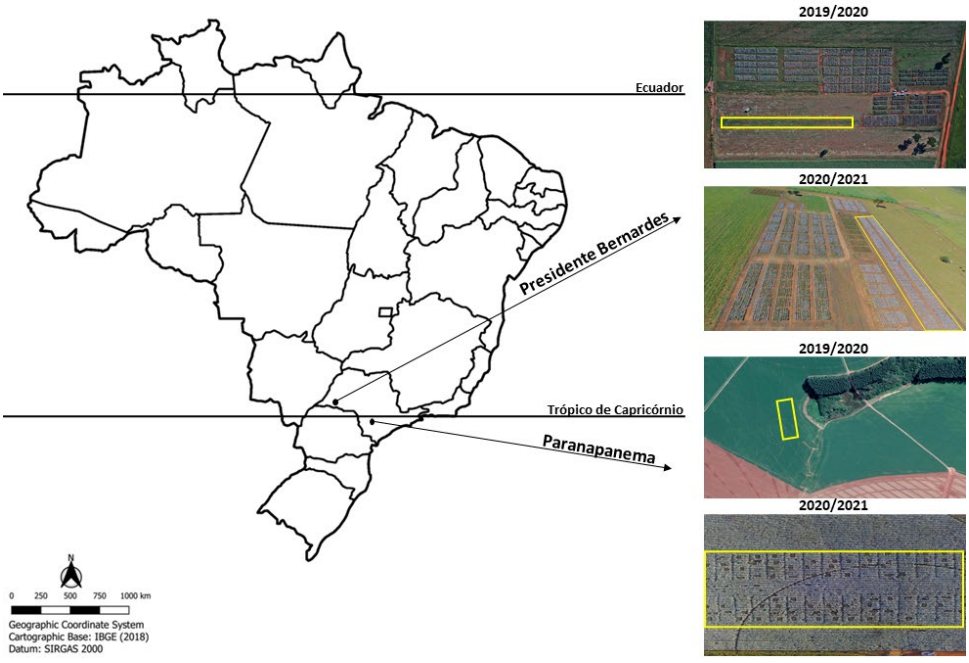
O boro por sua vez, afeta a absorção de nitrogênio e o metabolismo dos compostos nitrogenados assim como o teor de proteína das folhas jovens diminui, acumulando mais compostos nitrogenados solúveis, particularmente o nitrato, sob severa deficiência de B (Bonilla; Cadahia; Carpena, 1980). Contudo, existem poucos estudos sobre o efeito da nutrição com boro na cultura do algodão interagindo com outros nutrientes, tanto pela sinergia de K e N, assim como o antagonismo de B para N; uma vez que doses moderadas de N e K podem favorecer a absorção desses nutrientes, assim como o B, resultando em economia de fertilizantes e, portanto, no custo de produção. Assim o objetivo do estudo foi avaliar a nutrição, produtividade e qualidade de fibra do algodoeiro em função das doses de nitrogênio e potássio em diferentes disponibilidades de boro em ambientes de solos arenosos e argilosos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização das áreas

Os experimentos foram conduzidos em regiões produtoras de algodão no Brasil (Figura 1) nas safras 2019/2020 e 2020/2021 em dois locais, sendo Presidente Bernardes (Aw – Koppen – Clima tropical com inverno seco) ambas as safras em condições de sequeiro e Paranapanema (Cfa - Clima subtropical húmido com verão quente), onde em 2019/2020 foi instalado em sistema de sequeiro e em 2020/2021 com sistema de irrigação com pivô central, os dois municípios localizados no estado de São Paulo; os locais de condução do experimento foram diferentes em todas as safras e locais, portanto, não há efeito residual sobre os mesmo de um ano para outro. As coordenadas geográficas, tipo de solo, datas de semeadura e adubação estão apresentadas na Tabela 1. A distribuição de chuva, temperatura máxima e mínima do ar está apresentadas na Figura 2. Os solos foram classificados como latossolos, de textura arenosa em Presidente Bernardes e argilosa em Paranapanema (FAO, 2015) e a Tabela 2 mostra as características física e química dos mesmos.

Figura 1 — Geolocalização dos experimentos em Presidente Bernardes (solo arenoso) e Paranapanema (solo argiloso) no Estado de São Paulo nas safras 2019/2020 e 2020/2021.



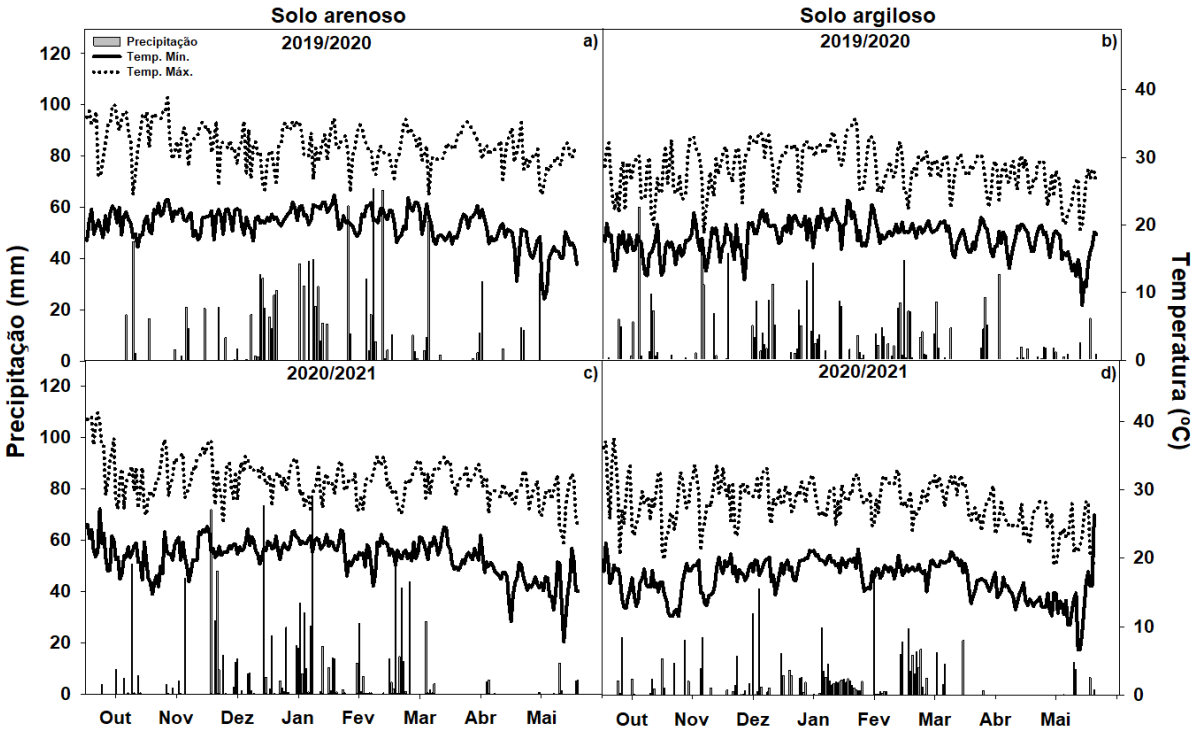
Fonte: O Autor.

Tabela 1 — Informações edafoclimáticas, cultivares, data de semeadura e colheita nos dois ambientes de produção e duas safras.

	Presidente Bernardes		Paranapanema	
	2019/2020	2020/2021	2019/2020	2020/2021
Latitude	22°28′27.4″S		23°42′76.7″S	
Longitude	51°67′62″W		48°87′05″W	
Altitude (m)	409		640	
Clima (Koppen)	Aw		Cfa	
Temp. Média (°C)	25,9 (±6,8)	25,8 (±6,6)	23,1 (±5,9)	22,4 (±6,2)
Tipo de solo	Latossolo (arenoso)		Latossolo (argiloso)	
Semeadura	28/11/2019	10/12/2020	19/10/2019	28/10/2020
Tipo de cultivo	Safra		Safra	
Cultivar (ciclo)	FM 985GLT (tardio)		FM 954GLT (médio)	
Rad. solar média (MJ m^{-2})	2637		3510	
Colheita (DAE)	06/04/2020 (130)	22/04/2021 (133)	08/04/2020 (172)	11/05/2021 (195)

Fonte: O autor.

Figura 2 — Precipitação, temperatura máxima e mínima do ar, durante o período estudado.



Legenda: a) Presidente Bernardes 2019/2020, b) Paranapanema 2019/2020, c) Presidente Bernardes 2020/2021 e d) Paranapanema 2020/2021.
Fonte: O autor.

Tabela 2 — Características físico-químicas do solo antes da semeadura do algodão nos dois locais e safras.

Profundidade	pH	M.O	Presina	H+Al	K+	Ca++	Mg++	CTC	B	Areia	Silte	Argila
(cm)		g dm^{-3}	mg dm^{-3}	$mmol_c$ dm^{-3}					mg dm^{-3}	g kg^{-1}		
Presidente Bernardes (2019/2020)												
0-20	4,8	11,8	10,0	18,8	0,5	11,7	3,6	34,5	0,22	815	50	135
20-40	4,4	11,6	4,6	21,1	0,5	6,1	2,9	30,5	0,19	807	60	133
Presidente Bernardes (2020/2021)												
0-20	4,8	14,2	4,2	19,6	0,9	8,5	7,0	45,7	0,39	827	40	133
20-40	4,9	13,1	3,6	19,4	0,7	7,4	6,0	42,6	0,28	802	70	128
Paranapanema (2019/2020)												
0-20	6,0	30,0	22,3	21,8	6,6	32,5	28,1	89,0	0,25	215	330	456
20-40	5,6	27,9	13,3	25,5	5,2	31,3	20,6	82,6	0,32	202	370	428
Paranapanema (2020/2021)												
0-20	6,1	35,2	101,0	15,1	5,3	64,2	31,0	115,6	0,71	91	310	599
20-40	5,7	27,1	65,2	14,0	3,9	52,3	25,8	96,0	1,02	67	186	747

Fonte: O autor.

2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental consistiu em blocos casualizados com quatro repetições; em Presidente Bernardes nas safras 2019/2020, 2020/2021 (solo arenoso) e Paranapanema 2020/2021 (solo argiloso) foram em esquema fatorial 4x4, sendo os tratamentos resultados da combinação das doses de nitrogênio (0, 70, 140 e 210 kg ha^{-1} de N) e de potássio (0, 50, 100 e 150 kg ha^{-1} de K). Na safra 2019/2020 em Paranapanema (solo argiloso) também foi em esquema fatorial 4x4 tendo os tratamentos resultados da combinação das doses de nitrogênio (0, 70, 140 e 210 kg ha^{-1} de N) e de potássio (0, 100, 150 e 183 kg ha^{-1} de K). Em cada local e safra foram conduzidos dois experimentos, um com a dose de 1,5 kg ha^{-1} de boro (na semeadura) e outro com a dose de 3,0 kg ha^{-1} de boro (50% na semeadura e 50% aos 25 DAE) a fonte de boro utilizada foi a ulexita (10% de B).

2.3 Manejo do algodoeiro

A semeadura foi realizada com 12 sementes por metro linear com espaçamento de 0,9 metro entre linhas. Nos dois locais a adubação de semeadura realizada foi com aplicação de 250 kg ha^{-1} de fosfato monoamônico (25 kg ha^{-1} de N; 54 kg ha^{-1} de P_2O_5). Aos 25 e 50 DAE (dias após emergência), a adubação de N foi realizada via cobertura, usando ureia (45% de N). A adubação potássica também foi

realizada em cobertura aos 25 e 50 DAE utilizando o cloreto de potássio (60% de K_2O). O manejo do algodoeiro seguiu o mesmo utilizado pelos produtores de algodão nos dois locais, que incluiu o monitoramento de pragas e doenças, controle químico de plantas daninhas e aplicação de inseticidas, fungicidas, regulador de crescimento (cloreto de mepiquat e chlormequate) e desfolhantes.

2.4 Avaliações e coletas

No florescimento pleno do algodoeiro (76 e 70 DAE) em Presidente Bernardes 2019/2020; 2020/2021; e Paranapanema (90, 84 DAE) 2019/2020 e 2020/2021, respectivamente, foi realizada uma coleta de 10 folhas (quinta folha completamente expandida) de cada parcela, para diagnose foliar e concentração dos nutrientes (N, K, e B), onde as folhas foram lavadas em água destilada e deixadas secar em temperatura ambiente por 24h ; após este processo foram secadas em estufa com temperatura de 65 °C por 48 h conforme descrito por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

Ao atingir a maturidade (130 e 133 DAE) em Presidente Bernardes em 2019/2020; 2020/2021 e Paranapanema (172 e 195 DAE) em 2019/2020 e 2020/2021, respectivamente, os componentes de produção (número de capulhos e peso médio de capulhos) foram colhidos manualmente e avaliados em dois metros lineares de cada parcela (duas linhas centrais). Essas amostras foram pesadas em uma balança de precisão de 0,01g para determinar a produtividade de algodão em caroço. Subamostras de 100 g de cada parcela foram separadas e enviadas para o laboratório para que fossem descaroçadas, para determinação do rendimento de fibra e posteriormente estimar a produtividade em fibra e para avaliação da qualidade de fibra pelo método HVI (*High Volume Instruments*), como micronaire (µg pol^{-1}), comprimento (mm), índice de fibras curtas (%), resistência (gf/Tex) e rendimento de fibra (%).

2.5 Análise dos dados

Os dados coletados foram testados para homogeneidade e normalidade, e então submetidos a análise de variância e as médias de cada tratamento foi comparada pelo teste de Tukey a 5% de significância. Os gráficos foram plotados no software Sigmaplot®.

3 RESULTADOS

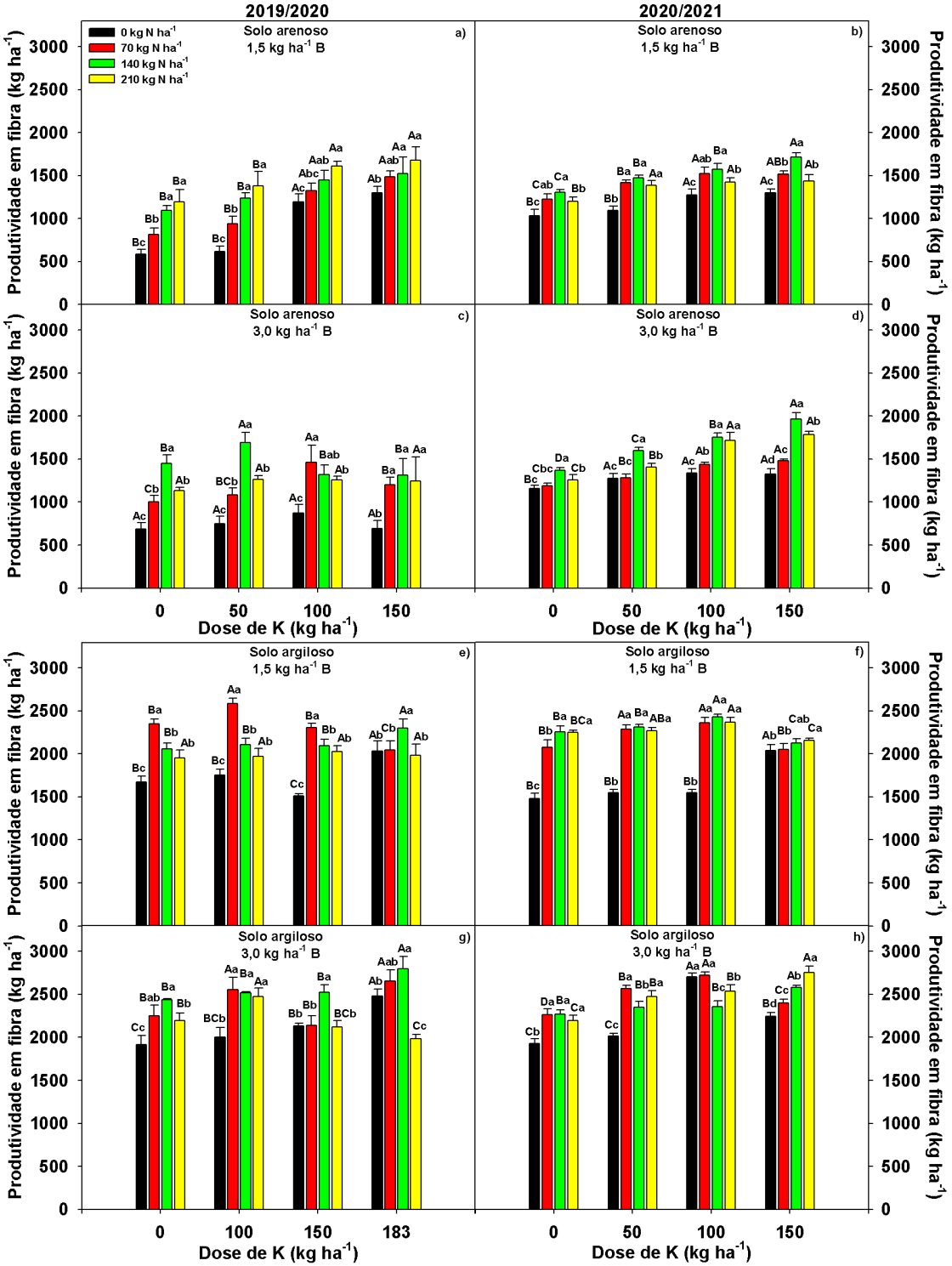
3.1 Produtividade do algodoeiro

De modo geral a melhor nutrição de boro (dose 3 kg ha^{-1}) reduziu a necessidade de fertilizantes potássicos e nitrogenados pelo algodoeiro principalmente em ambientes de solos arenosos com baixo teor de B (Figura 3). Por exemplo na safra 2019/2020 em solo arenoso (teor de B solo de 0,22 mg dm^{-3}) com aplicação de 1,5 kg ha^{-1} de B a máxima produtividade de fibra foi com dose de N entre 140 e 210 kg ha^{-1} (dependente da dose de K), enquanto que com 3,0 kg ha^{-1} de B e dose de K maior que 50 kg ha^{-1}, a máxima produtividade foi obtida com apenas 70 kg ha^{-1} de N. Na safra 2020/2021 (teor de B solo 0,39 mg dm^{-3}) o efeito da aplicação de 3,0 kg ha^{-1} de B sobre a resposta da adubação nitrogenada e potássica foi menor.

A melhor nutrição com K também reduziu a necessidade da adubação nitrogenada, onde é possível observar que maiores produtividades foram obtidas com o uso da dose de 140 kg ha^{-1} de N, mesmo sem o aumento da dose de B. Em solo argiloso na safra 2020/2021, ambiente com maior teor de argila (70%) e matéria orgânica, quando não houve aplicação de nitrogênio e houve aplicação de 3,0 kg ha^{-1} de B também se obteve uma boa produtividade (acima de 2500 kg ha^{-1} de fibra).

Em ambientes com maior teor de matéria orgânica como Paranapanema, a dose de 3 kg ha^{-1} de B aumentou a produtividade do algodoeiro somente com maiores doses de N como 140 kg ha^{-1}, no entanto com 1,5 kg ha^{-1} de B é possível obter altas produtividades mesmo com doses menores de nitrogênio (70 kg ha^{-1}) e potássio (100 kg ha^{-1}).

Figura 3 — Produtividade em fibra em função da dose de boro (B), potássio (K) e nitrogênio (N) em Presidente Bernardes (solo arenoso) e Paranapanema (solo argiloso) nas safras 2019/20 e 2020/21.



Fonte: O autor.
Legenda: Barras verticais representam o erro padrão da média. Letras maiúsculas comparam a produtividade entre as doses de K e letras minúsculas comparam a produtividade entre as doses de N.

3.2 Componentes de produção e rendimento de fibra

Em todos os ambientes de produção e safras, tanto com 1,5 e 3,0 kg ha^{-1} de B o peso médio de capulhos (PMC) e o número de capulhos foram afetados tanto pelas doses de nitrogênio e potássio isoladas, quanto com a combinação de diferentes doses dos nutrientes, com exceção de ambiente de solo argiloso na safra 2020/2021 com 3,0 kg ha^{-1} de B cujo NC não foi afetado pelas doses de K (Tabela 3). Em solo arenoso de modo geral, a adubação nitrogenada e potássica se mostrou fundamental nas duas safras, independente da dose de B; a maior adubação com potássio por sua vez aumentou o peso médio de capulho. Em 2019/2020 o número de capulhos aumentou com a maior nutrição com N, no entanto, com 3,0 kg ha^{-1} de B a maior quantidade de capulhos foi obtida com 140 kg ha^{-1} de N, e com 1,5 o maior número de capulhos foi obtido somente com a maior dose de N aplicada (210 kg ha^{-1} de N). O rendimento de fibra também foi afetado pelas doses de N e K em solo arenoso, sendo que a adubação com N melhorou o rendimento de fibra, porém, somente até a dose 140 kg ha^{-1} de N, assim como a adubação com potássio também aumentou, somente até a dose de 100 kg ha^{-1} de K, com as duas doses de B. Somente na safra 2020/2021 com 3,0 kg ha^{-1} de B que houve aumento do rendimento de fibra com aplicação de apenas 50 kg ha^{-1} de K e 70 kg ha^{-1} de N (Tabela 3).

Nas duas safras com solo argiloso, tanto com irrigação ou sequeiro, o maior peso médio de capulho foi obtido com adubação nitrogenada, principalmente com a dose de 70 kg ha^{-1} de N e a melhor nutrição com potássio fez com que o peso médio aumentasse; foi observado em 2019/2020 um aumento constante no peso médio de capulhos com o aumento da adubação com potássio com 1,5 kg ha^{-1} de B, já com 3,0 kg ha^{-1} de B o maior PMC foi obtido com apenas 100 kg ha^{-1} de K, por outro lado em 2020/2021 a melhor nutrição com B potencializou o peso médio de capulhos; assim como o número de capulhos com 3,0 kg ha^{-1} de B em área de sequeiro (2019/2020). Fica evidente também que a adubação potássica e nitrogenada aumenta o número de capulhos quando comparadas com a ausência de cada nutriente. O rendimento de fibra em 2020/2021 foi maior com a realização de adubação potássica, independente da dose de N e B.

Tabela 3 — Análise de variância para peso médio de capulhos (PMC), número de capulhos e rendimento de fibra (RF) em função das doses de nitrogênio, doses de potássio e a interação entre as doses; nas doses de 1,5 e 3,0 kg ha^{-1} de B, para os dois ambientes de produção e safras.

Tratamentos	2019/2020						2020/2021					
	PMC	Capulhos	RF	PMC	Capulhos	RF	PMC	Capulhos	RF	PMC	Capulhos	RF
	g	m^{-2}	%	g	m^{-2}	%	g	m^{-2}	%	g	m^{-2}	%
	1,5 kg ha^{-1} B			3,0 kg ha^{-1} B			1,5 kg ha^{-1} B			3,0 kg ha^{-1} B		
	Solo arenoso						Solo arenoso					
N (kg ha^{-1}) (N)												
0	4,00 c	54,85 d	41,36 b	4,15 b	43,26 d	41,41 ab	3,97 bc	70,96 c	41,57 b	4,01 c	75,78 c	41,72 a
70	4,22 b	64,18 c	41,90 a	4,32 a	65,09 c	41,92 a	4,06 ab	82,83 b	42,06 a	4,15 b	77,52 c	41,68 a
140	4,23 b	74,37 b	41,89 a	4,35 a	80,18 a	41,34 b	4,11 a	89,10 a	41,17 c	4,28 a	94,10 a	41,25 b
210	4,46 a	80,19 a	40,75 c	4,25 ab	70,86 b	40,50 a	3,96 c	84,87 b	40,41 d	4,10 bc	89,80 b	41,48 ab
K (kg ha^{-1}) (K)												
0	3,90 c	57,50 c	40,95 b	4,07 b	63,80 ab	40,89 b	3,74 c	77,28 b	41,16 bc	3,93 c	77,03 c	41,05 b
50	4,24 b	59,00 c	41,16 b	4,28 a	66,92 a	41,45 a	4,06 b	79,53 b	41,37 ab	4,13 b	80,71 b	41,61 a
100	4,25 b	73,49 b	41,82 a	4,30 a	68,37 a	41,52 a	4,12 ab	84,14 a	41,67 a	4,21 ab	88,38 a	41,70 a
150	4,52 a	83,60 a	41,95 a	4,43 a	60,29 b	41,32 ab	4,18 a	86,82 a	41,00 c	4,28 a	91,08 a	41,78 a
valor de p												
N	0,0000	0,0000	0,0000	0,0091	0,0000	0,0000	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
K	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0004	0,0110	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
N*K	0,0003	0,0000	0,0000	0,0039	0,0000	0,0000	0,0014	0,0427	0,0000	0,0000	0,0160	0,0000
	Solo argiloso						Solo argiloso					
N (kg ha^{-1}) (N)												
0	4,12 c	94,79 c	44,34 ab	4,17 c	110,19 c	44,10 a	3,60 b	107,53 c	42,28 b	4,19 b	120,48 c	42,69 a
70	4,54 ab	113,65 a	44,97 a	4,45 ab	120,32 b	44,75 a	3,97 a	128,56 b	42,86 a	4,46 a	131,37 b	42,41 b
140	4,63 a	100,91 b	44,28 ab	4,52 a	126,59 a	44,84 a	4,04 a	131,62 ab	42,86 a	4,24 b	131,65 b	42,76 a
210	4,46 b	100,91 b	43,99 b	4,38 b	112,04 c	44,69 a	3,97 a	133,43 a	42,65 a	4,13 b	141,84 a	42,36 b
K (kg ha^{-1}) (K)												
0	4,22 c	106,12 a	44,45 a	4,10 b	119,82 a	44,48 a	3,81 b	123,99 ab	42,26 b	3,87 c	131,61 a	42,31 c
100/50*	4,30 c	108,70 a	44,64 a	4,41 a	118,94 a	45,32 a	3,88 ab	126,72 ab	42,44 b	4,17 b	130,78 a	43,10 a
150/100**	4,51 b	98,54 b	44,35 a	4,54 a	108,67 b	45,08 a	3,94 a	127,68 a	42,96 a	4,53 a	132,84 a	42,78 b
183/150***	4,71 a	100,17 b	44,13 a	4,47 a	121,71 a	45,49 a	3,96 a	122,75 b	42,99 a	4,45 a	130,11 a	43,02 ab
valor de p												
N	0,0000	0,0000	0,0577	0,0000	0,0000	0,0012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
K	0,0000	0,0000	0,5497	0,0000	0,0000	0,0583	0,0043	0,0184	0,0000	0,0000	0,4617	0,0000
N*K	0,0001	0,0000	0,0983	0,0029	0,0000	0,2078	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Fonte: O autor.

*Dose de K utilizada na safra 2019/2020 em solo argiloso = 100 kg ha^{-1} e 2020/2021= 50 kg ha^{-1}/**Dose de K utilizada na safra 2019/2020 em solo argiloso= 150 kg ha^{-1} e 2020/2021= 100 kg ha^{-1}/***Dose de K utilizada na safra 2019/2020 em solo argiloso = 183 kg ha^{-1} e 2020/2021= 150 kg ha^{-1}.

3.3 Teores de nutrientes na folha

A aplicação de N aumentou o teor de N na folha independente da dose, mas, principalmente com 1,5 kg ha^{-1} de B em solo arenoso, já em solo argiloso o aumento do teor foi demonstrado com as duas doses de B, notando também que nem sempre a maior dose de N (210 kg ha^{-1}) foi a que obteve maior teor de N na folha (Tabela 4). Com a adubação com N, a menor dose (70 kg ha^{-1}) em solo argiloso com 3,0 kg de B ha^{-1} nas duas safras aumentou no teor de potássio na folha.

O aumento do teor de K na folha na safra 2019/2020 em solo arenoso ocorreu com o aumento da dose de K, principalmente com 3,0 kg ha^{-1} de B, já na safra 2020/2021 a dose de 100 kg ha^{-1} de K foi suficiente para elevar o teor de K na folha, independente da dose de B. Além disso a interação entre as doses de N e K afetaram os teores na folha principalmente de K, independente da dose de B, local e safra; o teor de N na folha, por sua vez foi afetado pela interação das doses de N e K somente na primeira safra, em ambos locais e doses de B, já na segunda safra com solo argiloso, o teor de N foi afetado pela interação somente em ambiente irrigado (2020/2021) com a dose de 3 kg ha^{-1} de B.

Na ausência de nitrogênio em solo arenoso em 2019/2020, com 3,0 kg ha^{-1} de B o teor de B na folha foi maior, sendo o oposto de quando houve a adubação com 210 kg ha^{-1} de N com 1,5 kg de B ha^{-1}; assim como, com 100 kg de K ha^{-1} aumentou o teor de B na folha. O teor de B na folha não foi afetado em solo arenoso na dose de 1,5 kg ha^{-1} de B; por outro lado em solo argiloso os teores de B na folha foram afetados por combinações de doses de N e K com as duas doses de B em ambiente irrigado (2020/2021).

Tabela 4 — Análise de variância para teor de nutriente (nitrogênio, potássio e boro) na folha em pleno florescimento em função das doses de nitrogênio, doses de potássio e a interação entre as doses; nas doses de 1,5 e 3,0 kg ha^{-1} de B, para os dois ambientes de produção e safras.

	2019/2020						2020/2021					
	N	K	B	N	K	B	N	K	B	N	K	B
Tratamentos	g kg^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	g kg^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	g kg^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	g kg^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}
	1,5 kg ha^{-1} B			3,0 kg ha^{-1} B			1,5 kg ha^{-1} B			3,0 kg ha^{-1} B		
	Solo arenoso						Solo arenoso					
N (kg ha^{-1}) (N)												
0	37,4 c	16,1 a	42,9 b	48,8 b	12,2 a	47,5 a	39,6 b	7,2 a	23,1 a	44,5 a	6,8 a	24,2 a
70	45,7 b	16,9 a	44,2 ab	48,6 b	12,5 a	46,2 b	45,3 a	7,2 a	23,3 a	44,7 a	7,4 a	24,0 a
140	47,7 a	14,3 b	44,6 ab	49,4 ab	11,5 a	45,8 b	46,3 a	7,5 a	23,3 a	44,9 a	7,5 a	24,2 a
210	48,4 a	14,2 b	45,3 a	50,5 a	12,2 a	45,7 b	46,5 a	6,6 a	23,9 a	45,0 a	6,9 a	24,7 a
K (kg ha^{-1}) (K)												
0	46,1 a	17,4 a	43,0 b	50,0 a	10,2 c	45,3 b	45,2 a	5,9 b	23,4 a	44,9 a	5,7 c	23,6 b
50	44,2 b	15,1 b	44,3 ab	50,2 a	12,4 b	45,9 b	43,3 b	5,6 b	24,1 a	45,2 a	6,8 bc	24,0 ab
100	44,5 b	15,0 b	45,3 a	47,6 b	11,3 bc	47,6 a	45,2 a	8,1 a	22,8 a	44,4 a	7,6 ab	24,8 a
150	44,4 b	14,0 b	44,5 ab	49,5 a	14,5 a	46,3 b	43,9 ab	9,0 a	23,2 a	44,5 a	8,4 a	24,8 a
valor de p												
N	0,0000	0,0001	0,0598	0,0002	0,3747	0,0004	0,0000	0,2066	0,6033	0,6585	0,3038	0,3170
K	0,0097	0,0000	0,0629	0,0000	0,0000	0,0001	0,0008	0,0000	0,2786	0,2258	0,0000	0,0149
N*K	0,0001	0,0000	0,4040	0,0008	0,0018	0,0001	0,1779	0,0000	0,5021	0,3109	0,0005	0,1601
	Solo argiloso						Solo argiloso					
N (kg ha^{-1}) (N)												
0	47,7 c	23,3 b	49,8 ab	48,0 b	16,7 b	48,3 a	49,8 c	22,7 a	65,8 a	55,0 b	17,9 b	65,2 a
70	49,3 a	19,8 c	48,7 b	48,6 b	20,6 a	48,1 a	51,6 b	19,0 b	64,2 ab	55,7 ab	20,6 a	65,0 a
140	49,2 ab	23,3 b	51,5 a	48,2 b	17,4 b	47,8 a	55,3 a	19,5 b	66,4 a	56,7 ab	18,5 ab	64,8 a
210	48,6 b	28,2 a	50,5 ab	50,2 a	19,2 ab	48,4 a	55,4 a	21,7 ab	61,9 b	57,5 a	17,4 b	64,4 a
K (kg ha^{-1}) (K)												
0	47,8 c	20,6 b	50,5 ab	50,2 a	22,7 a	49,5 a	52,2 b	16,1 c	62,8 b	56,4 ab	19,1 a	65,5 a
100/50*	49,4 a	24,6 a	51,3 a	48,9 b	19,2 b	48,6 a	54,0 a	19,3 b	63,8 ab	54,9 b	16,4 b	64,4 ab
150/100**	49,1 ab	25,8 a	49,7 ab	47,6 c	16,6 bc	47,8 ab	53,2 ab	24,2 a	65,4 ab	56,5 ab	18,5 ab	65,4 ab
183/150***	48,6 b	23,5 ab	48,9 b	48,3 bc	15,5 c	46,8 b	52,7 ab	23,3 a	66,3 a	57,1 a	20,3 a	64,0 b
valor de p												
N	0,0000	0,0000	0,0098	0,0000	0,0018	0,8024	0,0000	0,0055	0,0002	0,0173	0,0052	0,4560
K	0,0000	0,0011	0,0251	0,0000	0,0000	0,0012	0,0100	0,0000	0,0055	0,0470	0,0009	0,1290
N*K	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,8303	0,0193	0,0000	0,0000	0,0079	0,0000	0,0008

Fonte: O autor.

*Dose de K utilizada na safra 2019/2020 em solo argiloso = 100 kg ha^{-1} e 2020/2021= 50 kg ha^{-1}/**Dose de K utilizada na safra 2019/2020 em solo argiloso= 150 kg ha^{-1} e 2020/2021= 100 kg ha^{-1}/***Dose de K utilizada na safra 2019/2020 em solo argiloso = 183 kg ha^{-1} e 2020/2021= 150 kg ha^{-1}.

3.4 Qualidade da fibra

Na ausência da adubação potássica, o índice micronaire foi menor independente da dose de B, mas também, a maior dose de nitrogênio também diminuiu o micronaire, principalmente com 1,5 kg ha^{-1} de B em todos os ambientes (Tabela 5 e 6). De modo geral, o índice de fibras curtas também foi afetado pela falta de adubação potássica, assim como a ausência da adubação nitrogenada, em solo arenoso na safra 2019/2020. Baixa dose de N (70 kg ha^{-1}) combinada com 0 de K resultou em maior índice de fibras curtas com as duas doses de B. Em solo argiloso nas duas safras, a melhor nutrição por B reduziu o índice de fibras curtas na falta de adubação nitrogenada e dose de K entre 0 e 100 kg ha^{-1} em 2019/2020 e 0 e 50 kg ha^{-1} de K em 2020/2021.

Fibras mais resistentes são obtidas quando se aduba com altas doses de N (210 kg ha^{-1}) combinadas com doses elevadas de potássio (150 kg ha^{-1}) com 1,5 kg ha^{-1} de B em solo arenoso nas duas safras; no entanto com 3,0 kg ha^{-1} de B a maior resistência na dose de 140 kg ha^{-1} de N pode ser obtida com menos potássio (100 kg ha^{-1}). Em solo argiloso a maior dose de N (210 kg ha^{-1}) também demandou maiores doses de potássio (183 e 150 kg ha^{-1} de K) em 2019/2020 e 2020/2021, respectivamente, porém somente na dose de 3,0 kg ha^{-1} de B (Tabela 6).

Tabela 5 — Micronaire, maturidade, comprimento, índice de fibras curtas, resistência e elongação em função da dose de boro (B), dose de potássio (K), e dose de nitrogênio (N) em Presidente Bernardes (solo arenoso) nas safras 2019/2020 e 2020/2021.

K	2019/20								2020/21							
	1,5 kg B ha^{-1}				3,0 kg B ha^{-1}				1,5 kg B ha^{-1}				3,0 kg B ha^{-1}			
	0	70	140	210	0	70	140	210	0	70	140	210	0	70	140	210
kg ha^{-1}	Dose de N (kg ha^{-1})															
	Micronaire (µg pol^{-1})															
0	3,32 Cc	4,56 Aa	3,94 Ab	3,36 Bc	4,01 Ca	3,58 Db	3,53 Cb	3,17 Cc	3,00 Ba	3,09 Aa	2,89 Aa	2,67 Ba	3,02 Aa	2,90 Aa	2,90 Aa	2,61 Ba
50	4,05 Bb	4,50 Aa	4,11 Aab	3,75 ABb	4,21 Ba	3,92 Cb	4,02 Bab	3,70 Bc	3,66 Aa	3,05 Aab	3,02 Ab	2,97 ABb	3,17 Aa	3,18 Aa	3,30 Aa	3,05 ABa
100	4,98 Aa	3,94 Bb	4,15 Ab	3,83 Ab	4,58 Aa	4,23 Bb	4,28 Ab	4,23 Ab	3,52 ABa	3,36 Aa	3,13 Aa	3,21 ABa	3,18 Aa	3,33 Aa	3,27 Aa	3,27 Aa
150	4,07 Bab	4,17 ABa	4,21 Aa	3,71 ABb	4,30 Bb	4,55 Aa	4,33 Ab	3,79 Bc	3,43 ABa	3,16 Aa	3,40 Aa	3,34 Aa	3,26 Aa	3,29 Aa	3,11 Aa	3,22 Aa
	Comprimento (mm)															
0	28,14 Bb	28,60 Bab	29,30 Aa	29,65 Aa	29,31 Ab	29,08 Cb	30,5 Aa	29,68 Bb	30,85 Aa	30,46 Aa	30,3 Ba	30,26 Aa	30,07 Aa	30,28 Aa	30,86 Aa	30,98 Aa
50	28,26 Bb	29,15 ABab	29,53 Aa	29,84 Aa	29,46 Aa	29,84 Ba	30,22 Aa	29,91 Ba	30,99 Aa	31,05 Aa	30,6 ABa	30,45 Aa	30,22 Aa	31,07 Aa	30,58 Aa	31,22 Aa
100	28,13 Bb	29,90 Aa	29,78 Aa	29,40 Aa	29,97 Aa	30,23 ABa	30,60 Aa	30,64 Aa	30,63 Aa	30,86 Aa	31,4 Aa	30,89 Aa	30,53 Aa	30,93 Aa	31,39 Aa	31,45 Aa
150	29,78 Aa	29,08 ABa	28,84 Aa	29,65 Aa	29,77 Ab	30,67 Aa	30,67 Aa	30,73 Aa	30,58 Aa	30,73 Aa	31,0 ABa	30,40 Aa	30,91 Aa	30,89 Aa	30,73 Aa	30,96 Aa
	Fibras curtas (%)															
0	10,66 Aa	10,56 Aa	7,92 Bc	9,02 Ab	9,32 Ab	9,53 Ab	7,86 Ac	10,71 Aa	9,08 Aa	9,24 Aa	9,30 Aa	9,37 Aa	9,85 Aa	9,88 Aa	8,99 Aa	9,89 Aa
50	9,32 Ba	9,35 Ba	7,17 Bb	8,62 Aa	8,70 ABa	8,32 Bab	7,72 Ab	9,05 Ba	7,94 Aa	8,17 Aa	8,42 ABa	8,95 Aa	9,19 Aa	8,62 Aa	8,83 Aa	8,35 Aa
100	7,72 Cb	9,22 Ba	7,75 Bb	8,40 Aab	6,42 Cb	7,75 Ba	7,02 Aab	7,10 Cab	8,34 Aa	8,51 Aa	7,25 Ba	8,71 Aa	9,21 Aa	8,47 Aa	7,93 Aa	7,83 Aa
150	8,15 Cb	9,46 Ba	9,62 Aa	9,10 Aa	8,00 Ba	6,60 Cb	7,42 Aab	7,27 Cab	8,38 Aa	8,41 Aa	8,12 ABa	8,74 Aa	8,58 Aa	8,62 Aa	8,78 Aa	8,77 Aa
	Resistência (gf/Tex)															
0	30,01 Aa	28,87 Aab	30,32 ABa	27,84 Bb	28,85 Bb	27,34 Bc	29,02 Bb	30,25 ABa	31,99 Aa	31,04 Ba	31,06 Ba	30,72 Ba	30,7 Aa	30,52 Ba	30,32 Ba	30,96 Aa
50	30,15 Aab	30,42 Aab	31,95 Aa	28,72 Bb	28,40 Bb	29,25 Ab	29,27 Bb	30,72 Aa	32,13 Aa	32,7 ABa	32,7 ABa	31,69 ABa	30,27 Ab	32,65 Aa	30,6 ABab	31,4 Aab
100	27,67 Bb	30,40 Aa	29,27 Bab	29,90 Ba	30,12 Ab	29,90 Ab	31,62 Aa	29,52 Bb	32,50 Aa	33,0 Aa	32,5 ABa	32,55 Aa	30,93 Aa	32,3 ABa	32,58 Aa	32,05 Aa
150	29,82 Ab	30,35 Aab	31,50 Aab	32,35 Aa	28,32 Bb	29,92 Aa	30,97 Aa	30,30 ABa	32,31 Aa	32,6 ABa	33,48 Aa	32,04 ABa	32,39 Aa	31,8 ABa	31,5 ABa	32,34 Aa

Fonte: O autor.

Legenda: Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste de Tukey ($p<0,05$). Letras minúsculas comparam doses de N e letras maiúsculas comparam dose de K.

Tabela 6 — Micronaire, maturidade, comprimento, índice de fibras curtas, resistência e elongação em função da dose de boro (B), dose de potássio (K), e dose de nitrogênio (N) em Paranapanema (solo argiloso) nas safras 2019/2020 e 2020/2021.

Dose de K	2019/20								2020/21							
	1,5 kg B ha^{-1}				3,0 kg B ha^{-1}				1,5 kg B ha^{-1}				3,0 kg B ha^{-1}			
(kg ha^{-1})	0	70	140	210	0	70	140	210	0	70	140	210	0	70	140	210
	Dose de N (kg ha^{-1})															
	Micronaire (µg pol^{-1})															
0	3,71 Bb	3,57 Bb	3,76 Bb	4,04 Aa	3,93 Bab	3,84 Bab	3,79 Bb	4,05 Aa	3,94 Ba	3,81 Cb	3,82 Cb	3,74 ABb	4,10 Aa	4,00 Aa	3,96 Aa	4,08 Aa
100/50*	3,94 ABab	3,79 ABb	3,94 ABab	4,15 Aa	4,19 Aa	4,04 ABa	3,97 ABa	4,08 Aa	4,19 Aa	4,03 ABb	4,00 ABb	3,84 Ac	4,36 Aa	4,21 Aa	4,14 Aa	4,10 Aa
150/100**	3,98 Aa	4,00 Aa	4,07 Aa	4,00 Aa	3,73 Bc	3,95 ABbc	4,12 Aab	4,19 Aa	3,99 Ba	4,01 Ba	4,07 Aa	3,67 Bb	3,90 Aa	4,13 Aa	4,11 Aa	4,18 Aa
183/150***	4,10 Aa	3,96 Aa	4,14 Aa	3,69 Bb	4,23 Aa	4,11 Aab	3,97 ABb	3,95 Ab	4,27 Aa	4,13 Ab	3,90 BCc	3,64 Bd	4,12 Aa	3,99 Aa	4,13Aa	4,01 Aa
	Comprimento (mm)															
0	31,41 Bab	32,05 Aa	31,32 Ab	31,07 Bb	31,1 ABb	33,34 Aa	32,01 Ab	31,75 Ab	30,01 Ca	30,63 Ba	30,35 Aa	30,27 Ba	29,28 Bb	31,38 Aa	30,57 Aa	30,47 Aa
100/50*	32,38 Aa	32,25 Aab	31,93 Aab	31,56 Bb	32,06 Aa	32,35 Aa	31,81 Aa	31,85 Aa	30,94 Ba	30,82 ABa	30,95 Aa	30,75 ABa	30,18 ABa	30,45 Aa	30,38 Aa	30,56 Aa
150/100**	30,33 Cb	30,28 Bb	31,94 Aa	32,40 Aa	30,73 Ba	30,91 Ba	31,74 Aa	31,49 ABa	30,53 BCa	30,48 Ba	30,65 Aa	30,90 Aa	30,70 Aa	30,88 Aa	30,95 Aa	31,17 Aa
183/150***	31,87 ABa	30,85 Bb	31,88 Aa	32,38 Aa	30,37 Bb	30,29 Bb	32,27 Aa	30,42 Bb	32,28 Aa	31,25 Ab	30,85 Ab	30,94 Ab	31,09 Aa	31,02 Aa	30,98 Aa	31,31 Aa
	Fibras curtas (%)															
0	4,05 Cb	5,51 BCa	4,21 Ab	6,58 Aa	7,15 Aa	4,10 Bb	6,23 Aa	6,82 ABa	6,94 Bc	9,43 Ab	9,49 Ab	9,86 Aa	14,48 Aa	8,31 Bc	8,68 ABbc	8,80 Ab
100/50*	4,10 BCb	5,07 Cab	4,10 Ab	6,12 Aa	7,22 Aa	4,12 Bb	6,50 Aa	6,65 ABa	7,01 Bc	8,68 Bb	9,24 Aa	9,18 Ba	14,63 Aa	8,35 Bc	9,04 Ab	8,58 Ac
150/100**	7,87Aa	7,55 Aa	4,62 Ab	3,55 Bb	5,10 Bb	6,90 Aa	6,82 Aa	5,72 Bab	8,98 Aa	8,61 Bb	8,75 Bab	8,60 Cb	6,45 Cb	8,73 ABa	8,48 Ba	8,55 Aa
183/150***	5,22 Bab	6,40 Ba	4,05 Abc	3,70 Bc	7,55 Aa	7,72 Aa	4,25 Bb	7,50 Aa	6,42 Cc	7,87 Cb	8,42 Ca	8,38 Ca	8,66 Bab	8,86 Aa	8,41 Bab	8,33 Ab
	Resistência (gf/Tex)															
0	29,51 Bb	30,36 Cb	32,42 ABa	31,96 ABa	29,14 Cd	35,43 ABa	32,85 Ab	30,86 Cc	29,73 Bc	30,59 Cab	31,12 Ba	30,46 Bb	27,34 Cc	33,26 Aa	31,19 Bb	31,60 Bb
100/50*	31,40 Abc	30,40 Cc	33,15 Aa	32,42 Aab	31,00 Bb	34,27 Ba	33,02 Aa	31,10 Cb	31,63 Aa	30,62 Cb	31,82 Aa	30,90 ABb	29,09 Bb	32,17 Ba	31,35 Ba	31,84 Ba
150/100**	31,60 Ab	33,92 Aa	32,07 BCb	31,30 Bb	33,07 Ab	35,90 Aa	34,17 Ab	33,60 Bb	29,16 Bb	31,31 Ba	30,98 BCa	31,34 Aa	29,30 Bb	31,81 Ba	32,51 Aa	31,92 Ba
183/150***	30,90 Aa	31,52 Ba	31,17 Ca	31,60 ABa	32,45 ABb	32,22 Cb	32,65 Ab	35,72 Aa	31,30 Ab	31,93 Aa	30,48 Cc	30,36 Bc	31,84 Ab	31,62 Bb	32,74 Aa	32,99 Aa

Fonte: O autor.

Legenda: Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste de Tukey ($p<0,05$). Letras minúsculas comparam doses de N e letras maiúsculas comparam dose de K. *Dose de K utilizada na safra 2019/2020 em solo argiloso = 100 kg ha^{-1} e 2020/2021= 50 kg ha^{-1}/**Dose de K utilizada na safra 2019/2020 em solo argiloso= 150 kg ha^{-1} e 2020/2021= 100 kg ha^{-1}/***Dose de K utilizada na safra 2019/2020 em solo argiloso = 183 kg ha^{-1} e 2020/2021= 150 kg ha^{-1}.

4 DISCUSSÃO

O maior efeito do boro para reduzir a necessidade de adubação nitrogenada e potássica no algodoeiro é encontrado em ambiente de solo arenoso sem irrigação com teor de boro no solo menor que 0,3 mg dm^{-3} (Tabela 2), uma vez que quando o teor de B no solo é maior que 0,3 mg dm^{-3} a aplicação de 3,0 kg ha^{-1} de B não reduz a necessidade de adubação nitrogenada pelo algodoeiro. Dessa forma, nossos dados sugerem que em solos com teor adequado de B, a adubação com B seja realizada com o objetivo de repor a exportação, que no caso do algodoeiro é de 130 g t^{-1} de caroço e fibra produzida (Vieira *et al*., 2018). Por outro lado, em solos arenosos com baixo teor de boro, os dados sugerem que seja realizada aplicação de 3,0 kg de B via ulexita, uma vez que em ambientes de solos arenosos, foi reportado recentemente, que a máxima produtividade do algodoeiro é obtida com 1 kg ha^{-1} de B, utilizando fontes de alta solubilidade (ex. ácido bórico) (Cordeiro *et al*., 2022b); portanto isso sugere que, quando se utiliza fontes de liberação lenta, como ulexita, a dose de boro deve ser maior em solos arenosos, mas com necessidade de novos estudos.

Em solo argiloso com teor adequado de B (0,71 mg dm^{-3}) e com irrigação, a aplicação de 3 kg ha^{-1} de B não melhorou a eficiência da adubação nitrogenada e potássica em relação a aplicação de 1,5 kg ha^{-1} de B (Figura 3 f; h). Em ambiente de solos argilosos, com baixo teor de boro (0,25 mg dm^{-3}) a melhor nutrição com B (3,0 kg ha^{-1}) não reduziu a necessidade da adubação potássica e nitrogenada, mas, potencializou a produtividade do algodoeiro em 10% (Figura 3 e; g). Adicionalmente, nesse ambiente houve uma maior necessidade da adubação potássica mesmo com teor adequado no solo. A maior exigência de potássio e boro nesse ambiente pode estar associada a maior tolerância a seca, uma vez que a melhor nutrição com B melhora o crescimento das raízes (Kohli *et al*., 2022) e a melhor nutrição com potássio melhora a eficiência do uso da água por meio do ajuste da abertura dos estômatos (Catuchi *et al*., 2012).

Foi reportado na literatura que a relação equilibrada entre potássio e nitrogênio (1:1 ou 1,2:1) melhorou o fluxo de carboidratos das folhas aos frutos e impactou a produtividade (Ali *et al*., 2019). Em nossos estudos isso ficou evidente na área de primeiro ano com teor de potássio menor que 0,6 $mmol_c$ dm^{-3}, pois com a aplicação de 100 kg de K ha^{-1} houve necessidade de aplicar apenas 70 kg ha^{-1} de N, enquanto com aplicação de apenas 50 kg ha^{-1} de K foi necessário aplicar 140 kg ha^{-1}

de N, ou seja, a melhor nutrição por potássio reduziu a demanda de N em 50% (Figura 3 a; c). Curiosamente, isso ocorreu apenas quando foi aplicado 3 kg ha^{-1} de B, ou seja, para que o potássio possa melhorar a eficiência do uso de N, é necessário a aplicação de maiores doses de B em solos com baixo teor de B. Ainda com respeito ao ajuste da dose de K e N, quando o teor de K no solo é alto (maior que 6,0 $mmol_c$ dm^{-3}) e se aplica dose de potássio elevada, há necessidade de se aplicar maior dose de N também. Isso pode ser observado na safra 19/20 em solo argiloso, sem irrigação. Ou seja, nesse caso pode estar havendo um consumo de luxo de K pois está aumentando a demanda por N (Figura 3 e; g). Em ambientes de alto potencial produtivo (~2000 kg ha^{-1} de fibra) a ausência de adubação nitrogenada, aumenta a necessidade de K e isso pode ser observado na safra de 2019/2020 em solo argiloso (ambas doses de boro) e safra 2020/2021 (1,5 kg ha^{-1} de B) (Figura 3 e; f; g). Isso ocorre, pois, a deficiência de N reduz a eficiência da adubação potássica (Read; Reddy; Jenkins, 2006).

Borin, Ferreira e Carvalho (2014) havia reportado que a faixa de suficiência de N na folha do algodoeiro é entre 40 e 45 g kg^{-1}. Porém em nossos estudos, observamos que na ausência de adubação nitrogenada em ambiente de alto potencial produtivo (Paranapanema, solo argiloso) os teores de N na folha estiveram com teor na folha acima de 45 g kg^{-1} (Tabela 4), e com aplicação de 70 kg ha^{-1} de N os teores foram maiores que 49 g kg^{-1} e houve incremento de produtividade (Figura 3 e; f; g; h). Ou seja, para lavouras de alto rendimento, os teores de N na folha em pleno florescimento deve ser maior que 49g kg^{-1}. Cordeiro, Rodrigues e Echer (2022a) já havia reportado que para lavouras de produtividade de fibra acima de 2000 kg ha^{-1} o teor foliar adequado está acima de 45g kg^{-1}. Mas para produtividades menores que 2000 kg ha^{-1} de fibra, teores entre 40 e 45 g kg são suficientes, o que vai de encontro com o que foi reportado por Borin, Ferreira e Carvalho (2014). Para o K, os teores nas áreas de alta produtividade em solo argiloso estão condizentes com os reportados por Borin, Ferreira e Carvalho (2014). Porém, em ambientes de solos arenosos com menor potencial produtivo, as maiores produtividades são reportadas com teor de K na folha em torno de 15 g kg^{-1} (Echer; Peres; Rosolem, 2020), esses valores estão de acordo com os dados da safra 2019/2020 em solo arenoso (Tabela 4); entretanto, na segunda safra os teores de K na folha nos tratamentos com maior produtividade

estiveram menores que 9 g kg^{-1} e isso pode estar relacionado com a baixa precipitação entre a adubação de cobertura de potássio e coleta das folhas (Figura 2).

A melhor nutrição por K melhora o peso de capulhos (Tariq *et al*., 2018) o que também foi encontrado em nossos estudos (Tabela 3), porém em solo argiloso em sistema de sequeiro (2019/2020) o maior peso de capulho é observado com 183 kg ha^{-1} de K e 1,5 kg ha^{-1} de B e já com 3,0 kg ha^{-1} de B o maior peso é obtido com 45% a menos (100 kg ha^{-1}) da dose de K o que pode indicar que uma melhor nutrição por B pode aumentar o peso de capulho, com menores doses de K. Ainda assim (Tariq *et al*., 2018) reportaram que adubação com K não melhora a qualidade e o rendimento de fibra quando o solo tem níveis adequados de K, o que condiz também com nossos resultados, uma vez que, principalmente em região de solo arenoso; não haviam níveis adequados de K no solo (Tabela 2), e a dose de K influenciou esses parâmetros (Tabela 3). Por outro lado, em ambiente de potencial produtivo menor (Presidente Bernardes, solo arenoso) em 2019/2020, o número de capulhos aumentou com a maior dose de N (210 kg ha^{-1}) assim como reportado por (Raphael; Echer; Rosolem, 2022); isso ocorreu com a dose 1,5 kg ha^{-1} de B, já com a dose de 3,0 kg ha^{-1} de B o maior número de capulhos foi obtido com 33,4% a menos de N (140 kg ha^{-1}) o que pode indicar que a melhor nutrição com boro pode aumentar a retenção de capulhos mesmo adubada com dose intermediária de N.

O índice micronaire foi menor quando não foi realizada a adubação potássica (Tabela 5 e 6), assim como encontrado por Echer, Peres e Rosolem (2020), também o aumento da dose de N (210 kg ha^{-1}) fez com que o micronaire fosse menor, efeito esse também relatado por (Hassanzadehdelouei; Ul-Allah; Madani, 2022) que teve a maior dose de nitrogênio reduzindo a qualidade de fibra, como micronaire e comprimento de fibra; no entanto em nossos estudos isso ocorreu somente com 1,5 kg ha^{-1} de B.

Ainda, em área de solo arenoso e menor ciclo da cultura na safra 2019/2020 (Tabela 5), a ausência ou dose baixa de N (0 e 70 kg ha^{-1}) associadas a falta de potássio aumentaram o índice de fibras curtas, independente da dose de B. Echer, Peres e Rosolem (2020) encontraram menor índice de fibras curtas quando se tinha mais K disponível, assim, para obtenção de fibras de melhor qualidade em ambientes como esse é necessária adubação nitrogenada moderada e que a adubação com potássio também seja realizada, ambas em condições de bom suprimento de B.

Fibra mais resistentes só foram obtidas com altas doses de N (210 kg ha^{-1}) quando se elevou também a adubação com potássio (150 kg ha^{-1}), principalmente em solo arenoso (Tabela 5) com 1,5 kg ha^{-1} de B, assim como reportados por Kappes, Zancanaro e Francisco (2016), que descreveu que altas doses de N diminuíram a resistência de fibra, e a melhor nutrição por potássio aumentou a mesma. Porém, com 3,0 kg ha^{-1} de B a maior resistência de fibra pode ser alcançada utilizando menos nitrogênio e potássio (140 e 100 kg ha^{-1} respectivamente); reforçando que o algodoeiro mais bem nutrido por B necessita de menores quantidade de fertilizantes. No entanto, a maior dose de N (210 kg ha^{-1}) em solo argiloso (Tabela 6) também necessitou do aumento da dose de K para que a fibra fosse mais resistente, porém, somente com a melhor nutrição com B, podendo significar que em ambientes com maior teor de M.O (30,0 e 35,2 g dm^{-3}) em 2019/2020 e 2020/2021 respectivamente e maior teor de argila não seja necessário uma suplementação de B para se obter fibra de maior resistência.

5 CONCLUSÃO

O efeito da melhor nutrição com boro (3,0 kg ha^{-1}) para reduzir a necessidade de nitrogênio e potássio no algodoeiro foi dependente do ambiente de produção, ocorrendo apenas em solo arenoso com baixo teor de boro. Em condições de solos de alta fertilidade (solo argiloso) aplicação de doses de K superior a 100 kg ha^{-1} aumentou a necessidade de N e isso não beneficiou a produtividade e qualidade de fibra. Apesar da interação entre as doses de N e K sob o teor de nutriente nas folhas, não foi possível observar relações com a suplementação de B nos ambientes. O potássio, nitrogênio e boro afetam diretamente a qualidade de fibra do algodoeiro, mas depende do ambiente de produção, ainda assim para maior qualidade de fibra é necessário o fornecimento de potássio, e a adubação nitrogenada deve ser moderada, uma vez que interferem no índice micronaire, comprimento, índice de fibras curtas e resistência de fibra.

REFERÊNCIAS

ADAMS, G. M. Marketing and economics. *In*: FANG, D. D.; PERCY, R. G. (orgs.). **Cotton**. 2. ed. v. 57. Madison, WI: American Society of Agronomy, 2015. p. 783-796. DOI: 10.2134/agronmonogr57.2013.0034.

ALI, S.; HAFEEZ, A.; MA, X.; TUNG, S. A.; CHATTHA, M. S.; SHAH, A. N.; …; YANG, G. Equal potassium-nitrogen ratio regulated the nitrogen metabolism and yield of high-density late-planted cotton (Gossypium hirsutum L.) in Yangtze River valley of China. **Industrial Crops and Products**, v. 129, p. 231-241, 2019. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.12.004.

BOGIANI, J. C.; AMARO, A. C. E.; ROSOLEM, C. A. Carbohydrate production and transport in cotton cultivars grown under boron deficiency. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 6, p. 442-448, 2013. DOI: 10.1590/S0103-90162013000600010. DOI: 10.1590/S0103-90162013000600010.

BONILLA, I.; CADAHIA, C.; CARPENA, O. Effect of boron on nitrogen metabolism and sugar levels of sugar beet. **Plant and Soil**, v. 57, p. 3-7, 1980.

BORIN, A. L. D. C.; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. C. S. **Adubação do algodoeiro no ambiente de Cerrado**. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2014. 8 p. (Embrapa Algodão. Comunicado Técnico, 375).

CATUCHI, T. A.; GUIDORIZZI, F. V. C.; GUIDORIZI, K. A.; BARBOSA, A. D. M.; SOUZA, G. M. Physiological responses of soybean cultivars to potassium fertilization under different water regimes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 519-527, 2012.

DHASSI, K.; DRISSI, S.; MAKROUM, K.; ER-REZZA, H.; AMLAL, F.; AÏT HOUSSA, A. Soil boron migration as influenced by leaching rate and soil characteristics: a column study. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 50, n. 14, p. 1663-1670, 2019. DOI: 10.1080/00103624.2019.1637192.

CORDEIRO, C. F. S.; RODRIGUES, D. R.; ECHER, F. R. Cover crops and controlled-release urea decrease need for mineral nitrogen fertilizer for cotton in sandy soil. **Field Crops Research**, v. 276, p. 108387, 2022a.

CORDEIRO, L. F. S.; SANTOS CORDEIRO, C. F.; FERRARI, S. Cotton yield and boron dynamics affected by cover crops and boron fertilization in a tropical sandy soil. **Field Crops Research**, v. 284, p. 108575, 2022

ECHER, F. R.; PERES, V. J. S.; ROSOLEM, C. A. Potassium application to the cover crop prior to cotton planting as a fertilization strategy in sandy soils. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1-10, 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-64998-4.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **World reference base for soil resources 2014**: international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome: FAO, 2015.

HASSANZADEHDELOUEI, M.; UL-ALLAH, S.; MADANI, A. Cotton fiber quality response to nitrogen depends on source-sink process, boll growth habit, and weather condition. **Industrial Crops and Products**, v. 186, p. 115279, 2022. DOI: 10.1016/j.indcrop.2022.115279.

KAPPES, C.; ZANCANARO, L.; FRANCISCO, E. A. B. Nitrogen and potassium in narrow-row cotton. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016.

KOHLI, S. K.; KAUR, H.; KHANNA, K.; HANDA, N.; BHARDWAJ, R.; RINKLEBE, J.; AHMAD, P. Boron in plants: uptake, deficiency and biological potential. **Plant Growth Regulation**, p. 1-16, 2022.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. D. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 1. ed. Piracicaba: Potafos, 1997.

MONDAL, S. S. Potassium nutrition at high levels of N fertilization on rice. **Potash Review**, v. 3, p. 1–4, 1982.

RAPHAEL, J. P.; ECHER, F. R.; ROSOLEM, C. A. Nitrogen fertilization can mitigate cotton yield loss by temporary shading at early flowering. **European Journal of Agronomy**, v. 140, p. 126593, 2022.
READ, J. J.; REDDY, K. R.; JENKINS, J. N. Yield and fiber quality of upland cotton as influenced by nitrogen and potassium nutrition. **European Journal of Agronomy**, v. 24, n. 3, p. 282-290, 2006. DOI: 10.1016/j.eja.2005.10.004.

REDDY, K. R.; ZHAO, D. Interactive effects of elevated CO2 and potassium deficiency on photosynthesis, growth, and biomass partitioning of cotton. **Field Crops Research**, v. 94, p. 201-213, 2005. DOI: 10.1016/j.fcr.2005.01.004. DOI: 10.1016/j.fcr.2005.01.004.

SANTOS, A.; SILVA MATOS, E.; SILVA FREDDI, O.; GALBIERI, R.; LAL, R. Cotton production systems in the brazilian cerrado: the impact of soil attributes on field-scale yield. **European Journal of Agronomy**, v. 118, p. 126090, 2020.

STATISTA. **Cotton production by country worldwide in 2021/2022 (in 1 000 metric tons)**. 2018. Disponível em: https://www.statista.com/statistics/263055/cotton-production-worldwide-by-top-countries/. Acesso em: 17 maio 2024.

TARIQ, M.; AFZAL, M. N.; MUHAMMAD, D.; AHMAD, S.; SHAHZAD, A. N.; KIRAN, A.; WAKEEL, A. Relationship of tissue potassium content with yield and fiber quality components of Bt cotton as influenced by potassium application methods. **Field Crops Research**, v. 229, p. 37-43, 2018. DOI: 10.1016/j.fcr.2018.09.003.

VIEIRA, J. L. V.; NARDI, K. T.; SILVA, G. R. A.; MOREIRA, L. A.; ZAVASCHI, E.; MOURA, T. A.; OTTO, R. Nutrient uptake by high-yielding cotton crop in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, 2018.

WANG, H.; LIU, X.; YANG, P.; WU, R.; WANG, S.; HE, S.; ZHOU, Q. Potassium application promotes cotton acclimation to soil waterlogging stress by regulating endogenous protective enzymes activities and hormones contents. **Plant**

Physiology and Biochemistry, v. 185, p. 336-343, 2022. DOI: 10.1016/j.fcr.2018.09.003

ZAHOOR, R.; DONG, H.; ABID, M.; ZHAO, W.; WANG, Y.; ZHOU, Z. Potassium fertilizer improves drought stress alleviation potential in cotton by enhancing photosynthesis and carbohydrate metabolism. **Environmental and Experimental Botany**, v. 137, p. 73-83, 2017..

ZHU, Z.; CHEN, D. Nitrogen fertilizer use in China: contributions to food production, impacts on the environment and best management strategies. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 63, p. 117–127, 2002.