

DESEMPENHO DO FEIJÃO-DE-CORDA *Vigna unguiculata* (L.)Walp.1832 SOB ESTRESSE QUÍMICO: IMPLICAÇÕES PARA O CULTIVO NO SUL DO PIAUÍ

Sabrine Monize da Rocha Morgado¹
Fernanda de Lima Camilo ²

RESUMO

O feijão-de-corda (*Vigna unguiculata*) desempenha um papel socioeconômico fundamental no Nordeste brasileiro, porém sua produtividade pode ser comprometida pela baixa eficiência da qualidade da água utilizada na irrigação, especialmente em regiões com saneamento precário podendo causar estresse químico nas plantas. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do estresse químico provocado pela irrigação com solução de detergente neutro (5% v/v) sobre o crescimento, desenvolvimento e produtividade do feijão-de-corda no sul do Piauí. O experimento foi realizado no Instituto Federal do Piauí (IFPI) – Campus Corrente, conduzido em campo aberto, com dois tratamentos: grupo controle (irrigado com água potável) e grupo químico (irrigado com uma solução de detergente). Foram analisados parâmetros como altura e haste da planta, comprimento e largura da vagem, N° de lóculos, peso dos 100 grãos e peso total dos grãos. Esses dados foram avaliados por testes estáticos normalidade de Shapiro-Wilk e de homogeneidade de variância de Levene. Os resultados demonstraram que o estresse químico exerceu um efeito negativo significativo em quase todas as variáveis analisadas. Observou-se uma redução no crescimento vegetativo, menor produção de vagens e grãos no grupo tratado com detergente em comparação ao controle. Conclui-se que a irrigação com água contaminada por detergentes compromete o desenvolvimento do feijão-de-corda, reforçando a importância do monitoramento da qualidade da água utilizada na agricultura familiar em regiões de saneamento insuficiente.

Palavras-chaves: Feijão-de-corda; Estresse químico; Detergente; Produtividade agrícola; Sul do Piauí.

¹ Graduanda em Tecnologia em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Corrente. sabrinemuniz716@gmail.com

²Mestra em Ciências Ambientais pela Universidade Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Brasil e docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Corrente. Fernanda.camilo@ifpi.edu.br.

ABSTRACT

Cowpea (*Vigna unguiculata*) plays a key socioeconomic role in Northeastern Brazil, but its productivity can be affected by poor-quality irrigation water, especially in regions with limited sanitation. This study evaluated the effects of chemical stress caused by irrigation with a neutral detergent solution (5% v/v) on the growth, development, and yield of cowpea plants in southern Piauí. The experiment was conducted in open field conditions with two treatments: a control group irrigated with potable water and a chemically stressed group irrigated with the detergent solution. Morphological and productive parameters—including plant height, stem length, pod length and width, number of locules, weight of 100 grains, and total grain weight—were analyzed using Shapiro–Wilk, Levene, ANOVA, and Mann–Whitney tests. Chemical stress significantly reduced plant height and the number of locules, indicating negative effects on vegetative growth and reproductive capacity. Other variables showed no significant differences, possibly due to plant mortality in the stressed treatment and the need for estimated values. The results demonstrate that irrigation with detergent-contaminated water compromises cowpea development, highlighting the importance of monitoring water quality in family farming systems in regions with inadequate sanitation

Keywords: Cowpea; *Vigna unguiculata*; Chemical stress; Detergent; Agricultural productivity; Southern Piauí.

1. INTRODUÇÃO

A produção mundial de feijão-caupi está concentrada principalmente em países africanos e no Brasil, que juntos respondem por cerca de 70% da produção global (EMBRAPA, 2023). Essa leguminosa apresenta elevada importância socioeconômica, especialmente em regiões de clima semiárido, por ser fonte acessível de proteína vegetal e constituir base alimentar de populações de baixa renda (FREIRE FILHO et al., 2011). No Brasil, o feijão-de-corda é amplamente cultivado nas regiões Norte e Nordeste, com destaque para os estados do Ceará, Piauí, Maranhão e Bahia (CONAB, 2021).

No estado do Piauí, o feijão-caupi possui papel estratégico na agricultura familiar, sendo cultivado tanto para subsistência quanto para comercialização em feiras e mercados locais (SANTOS et al., 2018). Entretanto, a produtividade dessa cultura sofre influência direta das condições ambientais, especialmente da disponibilidade hídrica e da qualidade da água utilizada na irrigação (NASCIMENTO et al., 2020).

As mudanças climáticas têm intensificado eventos extremos, como longos períodos de seca e aumento da temperatura, o que agrava a necessidade de irrigação em regiões semiáridas (IPCC, 2021). Nessas áreas, é comum o uso de águas de qualidade inferior, muitas vezes oriundas de fontes contaminadas por resíduos domésticos e efluentes urbanos, devido à baixa eficiência no saneamento básico (ANA, 2022).

No Piauí, observa-se deficiência na coleta e tratamento de esgoto sanitário, o que favorece o lançamento de efluentes diretamente em corpos hídricos, como o Rio Parnaíba (MARÇAL; SILVA, 2017). Esses contaminantes podem ser reintroduzidos no solo agrícola por meio da irrigação, expondo as plantas a diferentes compostos químicos potencialmente tóxicos (MATTOS, 2003).

O uso de água contaminada na agricultura pode provocar estresse químico nas plantas, caracterizado por alterações fisiológicas, metabólicas e morfológicas, capazes de comprometer o crescimento e a produtividade das culturas (TAIZ et al., 2017). Substâncias presentes em detergentes, como surfactantes e compostos alcalinos, podem interferir na permeabilidade das membranas celulares e na absorção de nutrientes pelas raízes (LARCHER, 2006).

Em plantas leguminosas, como o feijão-de-corda, o estresse químico pode ainda afetar processos essenciais, como a fotossíntese, a formação de vagens e o enchimento de grãos, refletindo diretamente na produção final (FERREIRA et al., 2019). Além disso, a exposição contínua a soluções químicas pode causar necrose foliar, redução do crescimento radicular e, em casos mais severos, a morte das plantas (DIAS; MARENCO, 2016).

Apesar da importância do tema, ainda são escassos estudos que avaliem os efeitos diretos do estresse químico provocado por substâncias domésticas, como detergentes, sobre o desenvolvimento do feijão-caupi em condições de campo (SOUZA et al., 2022). Essa lacuna torna relevante a realização de experimentos que simulem situações de contaminação hídrica comuns em regiões com saneamento precário.

Diante desse cenário, torna-se fundamental compreender como o feijão-de-corda responde a condições de estresse químico, a fim de subsidiar práticas agrícolas mais seguras e sustentáveis, principalmente para agricultores

familiares que dependem de fontes alternativas de água para irrigação (OLIVEIRA et al., 2021).

Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho do feijão-de-corda (*VIGNA unguiculata*) submetido ao estresse químico induzido pela irrigação com solução de detergente, analisando seus efeitos sobre o crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura, bem como as possíveis implicações para o cultivo no sul do Piauí.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL:

- Analisar os efeitos do detergente sobre o crescimento, desenvolvimento e produtividade do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata*).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Avaliar os efeitos do estresse químico através de irrigação com detergente a 5% em ciclos sobre o desenvolvimento do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata*).
- Analisar a produtividade dos indivíduos submetidos a estresse químico.
- Determinar os impactos de estresse químico sobre o cultivo do feijão-de-corda com foco em possíveis implicações ambientais.

3. METODOLOGIA

O experimento foi realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí Campus Corrente. Localizado no município de corrente Piauí (10°26'36", /45°09'44"). Com uma população estimada de 27.278 habitantes, (IBGE, 2022). A cidade está situada, predominantemente, na área do bioma Cerrado e possui clima tropical subúmido quente - Aw (INMET, 2024).

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.

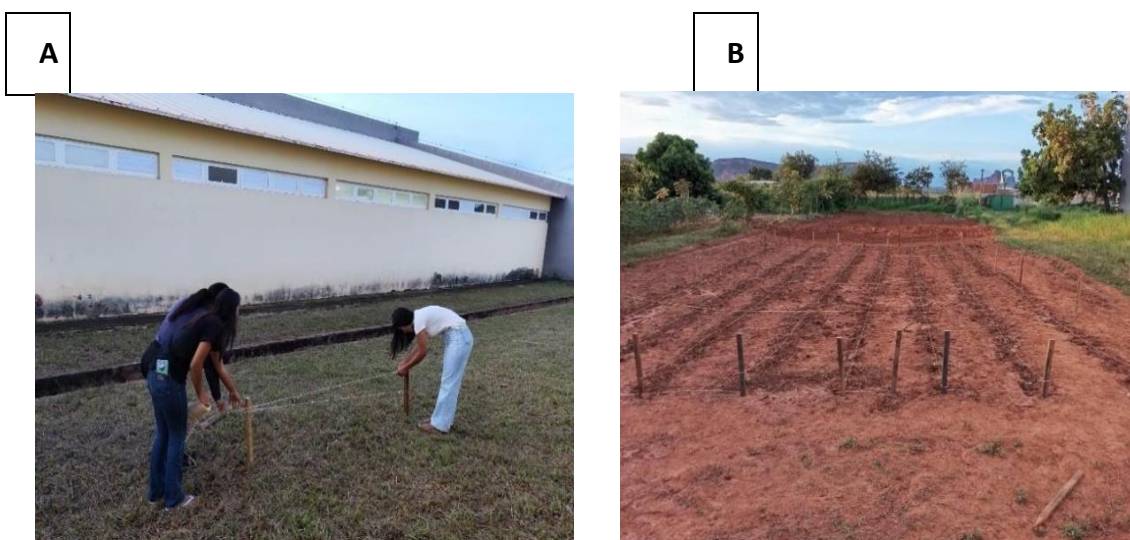


Fonte (Autora, 2026)

O experimento foi desenvolvido no período de 24 de abril a 15 de julho de 2025, conduzido em campo aberto, com o cultivo do feijão em solo. Inicialmente foi realizada a escolha da área (Figura 1 destacado em vermelho), para limpeza do local, foi necessário o uso de um trator disponibilizado pela Secretaria de Desenvolvimento Rural do município.

Em seguida, foram feitas as demarcações das células de plantio fora de campo com a utilização de barbantes, piquetes de madeira e tinta para barbante, e depois essas marcações foram levadas para área de plantio (Figura 2: A e B). A área total do experimento é de 13,5 m de comprimento e 8,0 m de largura, e dentro da parcela experimental 1 m entre linhas, 0,5 m entre plantas, na qual foram conduzidos diferentes tipos de estresse de forma simultânea.

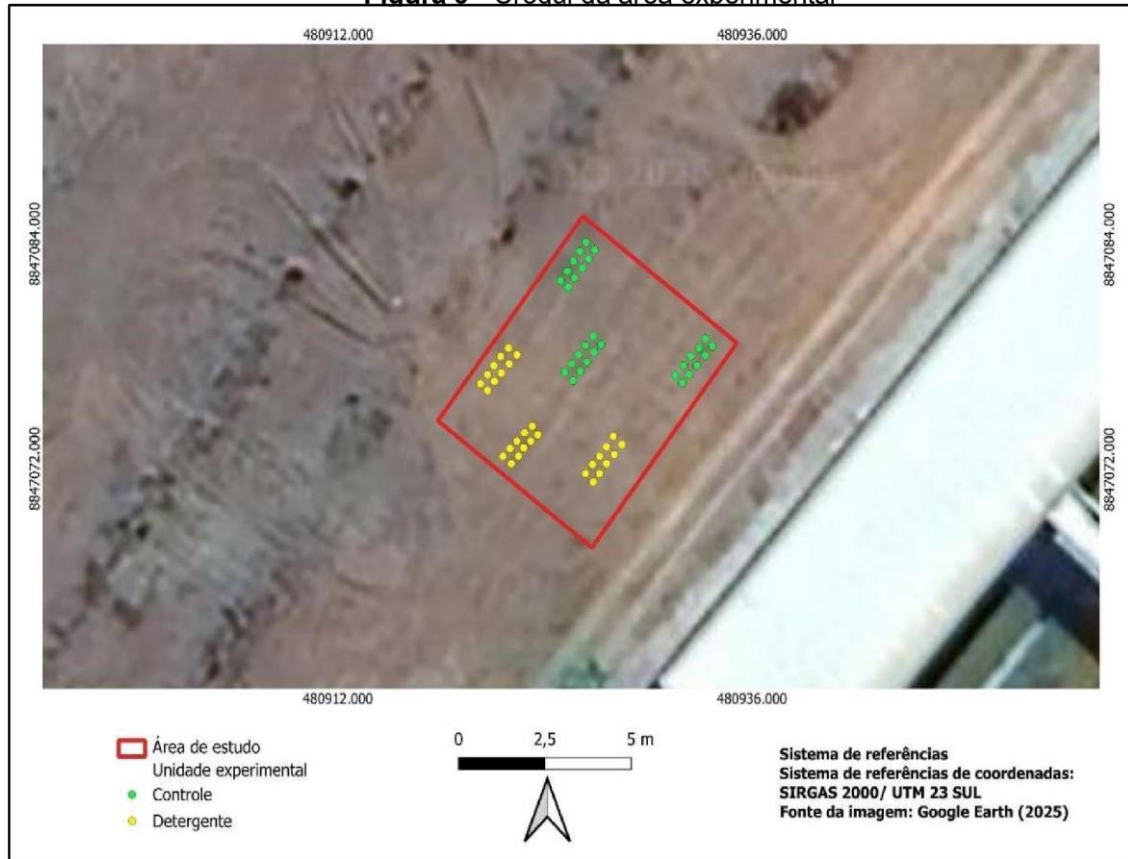
Figura 2. Demarcações das células de plantio (A) e visualização dos piquetes na área de estudo(B).



Fonte: (Autora, 2026).

A semeadura foi realizada manualmente, a variedade do feijão foi plantada a 5 cm de profundidade utilizando enxadões, as sementes foram colocadas individualmente em cada cova sendo três sementes por cova. Cada tratamento contou com 10 plantas por parcela, totalizando 30 plantas do grupo controle e 30 plantas do estresse químico. Para se orientar em campo na aplicação dos tratamentos foi feita a utilização de um croqui (Figura 3). A área delimitada em vermelho inclui a bordadura do experimento que é o método de proteger a área experimental de implicações externas, mas seus dados não foram analisados, sendo considerado para análise apenas as plantas centrais da área. Os pontos representados no croqui foram inseridos manualmente no software Qgis como finalidade ilustrativa.

Figura 3 - Croqui da área experimental



Fonte:(Autora, 2026).

Cada tratamento contou com três repetições, o grupo controle irrigado com água potável e o estresse químico Irrigação com uma solução contendo detergente neutro (composto por laurel éter sulfato de sódio, linear alquil benzeno sulfonato de sódio (LAS), glicerina, coadjuvantes, espessantes, conservantes, corante e fragrância). O poluente era diluído em água biodegradável (5% v/v) ou seja 5 mL a cada 100 mL de água (Tabela 1). Para fazer a medição da dosagem dos tratamentos era utilizado uma balança digital e copos medidores. O processo de rega ocorreu diretamente sobre a planta individualmente com volume padronizado. A rega foi registrada diariamente, considerando que o volume a ser dosado no sábado foi o dobro para não dosar no domingo.

A adoção de diferentes dosagens de água nos tratamentos foi baseada em estudos que demonstram a elevada sensibilidade do feijão-caupi às variações na lâmina de irrigação. Tagliaferre et al. (2013) avaliaram lâminas distintas e verificaram que pequenas diferenças no volume aplicado ao longo do ciclo resultam em alterações significativas em características como número de vagens por planta, peso de grãos e produtividade. Esses autores destacam que tanto o déficit quanto o excesso hídrico afetam diretamente o desempenho da cultura, reforçando a importância de controlar rigorosamente a quantidade de água aplicada em experimentos com feijão-caupi.

Tabela 1: Volumes de água e detergente utilizados por fase de desenvolvimento da cultura.

FASE DA PLANTA	VOLUME DE ÁGUA VOLUME DE DETERGENTE		DURAÇÃO	JUSTIFICATIVA
Emergência / pós plantio	100 mL	5 mL	1 a 4 dias	Ocorreu um dia após o plantio
Desenvolvimento inicial	300 mL	15 mL	5 a 15 dias	Aumento pela demanda da planta
Crescimento vegetativo	500 mL	25 mL	16 a 30 dias	Plantas em maior porte
Floração	1000 mL	50 mL	31 a 41 dias	Maior necessidade de água
Enchimento das vagens e colheita	500 mL	25 mL	42 a 84 dias	Redução da demanda hídrica

Fonte:(Autora, 2026.)

Nesse estudo, as dosagens de água utilizadas foram adaptadas à escala experimental, mantendo o conceito de variação hídrica controlada. Assim como no estudo de referência, a aplicação de volumes diferenciados permite simular condições contrastantes de disponibilidade de água, garantindo que as respostas observadas sejam atribuídas ao estresse químico provocado pela solução detergente (5% v/v), e não a diferenças na irrigação.

As plantas foram avaliadas diariamente para a determinação do ciclo fenológico. Para avaliação, se utilizou a escala de Oliveira et al. (2018) (Tabela 2). Onde a fase vegetativa contemplou os estádios:

Tabela 2. Escala Fenológica proposta por Oliveira et al. (2018), e utilizada para aplicação e dosagem do detergente nos diferentes estádios.

Código	Estádio	Descrição
V0	Germinação	Início da protrusão da radícula
V1	Emergência	Plântula emerge do solo
V2	Folhas primárias	Folhas primárias visíveis e expandidas
V3	Primeira folha composta	Primeira folha trifoliada completamente aberta
V4	Terceira folha trifoliada	Terceira folha trifoliada completamente aberta
R5	Pré-floração	Botões florais visíveis, ainda fechados
R6	Floração	Primeiras flores abertas
R7	Formação de vagens	Vagens jovens visíveis
R8	Enchimento de vagens	Vagens com sementes em formação
R9	Maturação	Vagens secas/amareladas, folhas em senescência

Fonte: Oliveira et al. (2018)

Em seguida, com a utilização fita métrica posicionada verticalmente ao lado da planta foi feita a medição da altura a 1 cm acima do solo até o ponto mais alto da planta e a medição da haste medida a (1 cm acima do solo) até o ápice principal da planta.

Em seguida, foi realizado o desbaste que é a remoção das plantas em excesso pois as plantas precisam de espaço para acessar luz solar, água e nutrientes do solo. Se elas estiverem muito próximas, competem entre si, o que pode resultar em plantas fracas, menores e com menor produção de vagens. O desbaste garante que as plantas restantes tenham mais espaço para se desenvolverem. Com menos competição, as plantas que ficam produzem vagens maiores.

Figura 5: Medição da altura e haste das plantas de feijão em campo.



Fonte: (Autora, 2026).

Por tanto após o amadurecimento das vagens foi feita a colheita manualmente. Em seguida as vagens foram transportadas até o laboratório de química, onde foi realizada a seleção aleatória das vagens. Posteriormente, foram realizadas a medição do comprimento e largura da vagem, a contagem do N° de lóculos por vagem e a pesagem dos 100 grãos e o peso total dos grãos.

No software PAST, para fins de comparação entre os tratamentos, foram utilizados os testes de normalidade de Shapiro-Wilk e de homogeneidade de variância de Levene. Para as variáveis, que atenderam aos pressupostos, aplicou-se a ANOVA ($p > 0,05$) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Na terceira parcela do estresse químico houve uma perda de três pés de feijão em decorrência disso o estresse não atingiu o peso dos 100 grãos, sendo necessária a aplicação de regra de três para chegar a um peso estimado.

Para as variáveis que não apresentaram homogeneidade, utilizou-se o teste não paramétrico de Mann-Whitney ($p < 0,05$) para a comparação entre os tratamentos. A (Tabela 3) mostra quais parâmetros foram submetidos aos testes de normalidade e de homogeneidade.

Tabela 3: Testes de normalidade Shapiro-Wilk e Homogeneidade Levene aplicados

PARÂMETRO	NORMALIDADE NORMALIDADE (SHAPIRO-CONTROLE) (SHAPIROQUÍMICO)		HOMOGENEIDADE (LEVENE)	TESTE ESTATÍSTICO
Altura	0,432	0,166	0,093	ANOVA
Haste	0,161	0,322	0,007	Mann-Whitney
Comprimento	0,432	0,262	0,030	Mann-Whitney
Largura	0,059	0,659	0,029	Mann-Whitney
Nº de Lóculos	0,365	0,262	0,582	ANOVA
Peso 100	0,596	0,624	0,561	ANOVA
Peso total	0,096	0,950	0,557	ANOVA

Fonte: (Autora, 2026).

4. RESULTADOS

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A (Tabela 4) mostra os resultados das medidas da altura e haste do controle (C), e do estresse químico (Q) das parcelas (P1, P2, P3) de cada tratamento. Observa-se que as plantas submetidas ao controle apresentaram um desempenho melhor quando comparadas ao estresse químico.

Tabela 4 - Altura e haste das plantas nos tratamentos controle e estresse químico.

PLANTA	CONDIÇÃO	P1 ALTURA/ HASTER(CM)	P2 ALTURA/ HASTER(CM)	P3 ALTURA/ HASTER(CM)
P1	C	27/35	20/35	20/29
	Q	23/30	20/25	18/23
P2	C	30/31	19/28	15/24
	Q	20/22	20/27	26/28
P3	C	27/30	16/27	20/33
	Q	25/34	-	30/32
P4	C	26/30	-	20/28
	Q	22/28	15/20	26/29
P5	C	24/25	17/24	16/23

	Q	25/25	15/20	25/30
P6	C	19/34	20/35	12/24
	Q	20/22	30/37	37/40
P7	C	23/29	22/29	16/25
	Q	24/28	22/25	22/27
P8	C	23/29	17/32	13/20
	Q	30/34	24/39	23/27
P9	C	24/29	-	15/20
	Q	32/36	42/45	30/36
P10	C	20/30	20/30	-
	Q	30/32	37/42	29/33

Fonte: Autora (2026)

A seguir são apresentados os dados obtidos nas três parcelas de cada tratamento, referentes às medições de comprimento e largura das vagens, número de lóculos peso dos 100 grãos e peso total dos grãos. As (Tabelas 5 a 10) reúnem os valores brutos coletados em campo e no laboratório, servindo como base para as análises estatísticas realizadas posteriormente.

Tabela 5 resultados referentes a 1º parcela do estresse químico

VAGEM	CM	LARGURA	Nº LOCULOS	PESO DOS GRÃOS
1.	15	2 CM	7	P 100 = 15,92
2.	14	2 CM	5	PT = 29,37
3.	15	2 CM	7	
4.	15	2 CM	11	
5.	11	1,5 CM	9	
6.	11	2 CM	5	
7.	16	2 CM	10	
8.	16	2 CM	8	
9.	15	1,5 CM	5	
10.	17	2 CM	12	

Fonte: (Autora, 2026).

Tabela 6 resultados referentes a 1º parcela do controle

VAGEM	CM	LARGURA	Nº LOCULOS	PESO DOS GRÃOS
1.	17,8	1,8 CM	17	P100 = 12,92
2.	16,6	2 CM	12	PT = 24,73
3.	17	2 CM	16	
4.	13,8	2 CM	9	
5.	18	2,5 CM	13	
6.	16	2 CM	14	
7.	14,5	1,5 CM	12	
8.	14	1 CM	13	
9.	16	1,7 CM	13	
10.	16	2 CM	13	

Fonte: (Autora, 2026).

Tabela 7 resultados referentes 2º parcela químico

VAGEM	CM	LARGURA	Nº LOCULOS	PESO DOS GRÃOS
1.	12	2 CM	5	P 100 = 12,82
2.	11	2 CM	5	PT = 18,75
3.	19	2,5 CM	12	
4.	11	2 CM	8	
5.	17	2,5 CM	15	
6.	14	1,9 CM	7	
7.	12,5	2,5 CM	6	
8.	12,5	2 CM	7	
9.	15	2CM	10	
10.	8	2 CM	5	

Fonte: (Autora,2026)

Tabela 8 resultados referentes 2º parcela controle

VAGEM	CM	LARGURA	Nº LOCULOS	PESO DOS GRÃOS
1.	17	2,5CM	11	P100 = 15,19
2.	13,8	2,5 CM	8	PT = 25,59
3.	19,8	2CM	15	
4.	13,5	1,7 CM	11	
5.	18,5	2 CM	16	
6.	17	2 CM	11	
7.	14,5	2 CM	9	
8.	13	2 CM	7	
9.	13,8	1,7 CM	6	
10.	15,6	1,6CM	10	

Fonte: (Autora, 2026).

Tabela 9 resultados referentes a 3° parcela do químico

VAGEM	CM	LARGURA	Nº LOCULOS	PESO DOS GRÃOS
1.	11	2 CM	3	P 100 =11,31 PT =7,13
2.	9,5	1,5 CM	2	
3.	12	2 CM	5	
4.	16	2 CM	13	
5.	16	2,5 CM	14	
6.	14,7	2 CM	12	
7.	11	2 CM	4	
8.	15,5	2 CM	9	
9.	10,4	2 CM	10	
10.	12	1,5 CM	7	

Fonte: (Autora, 2026).

Tabela 10 resultados referentes 3° parcela controle

VAGEM	CM	LARGURA	Nº LOCULOS	PESO DOS GRÃOS
1.	14,6	2 CM	13	P100 = 11,88 PT = 13,73
2.	13,5	2 CM	11	
3.	15,3	2 CM	16	
4.	11,8	2 CM	7	
5.	13,8	2 CM	10	
6.	16,6	2 CM	5	
7.	13,8	1,8 CM	15	
8.	16,6	2 CM	16	
9.	13,8	1,9 CM	12	
10.	14,2	2 CM	12	

Fonte: (Autora, 2026).

Após a organização dos dados brutos e das medições realizadas em campo e laboratório, foram aplicados os testes estatísticos para verificar se houve diferenças significativas entre o tratamento controle e o tratamento submetido ao estresse químico. Para as variáveis que atenderam aos pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias, utilizou-se o teste ANOVA, conforme apresentado na (Tabela 11).

Tabela 11: Resultados teste ANOVA

PARÂMETRO	VALOR F	P - VALOR	INTERPRETAÇÃO
Altura	13,2	0,0005	Diferença significativa
Nº Lóculos	12,33	0,0008	Diferença significativa
Peso 100	0,000143	0,991	Não significativo
Peso Total	0,1541	0,7146	Não significativo

Fonte: (Autora,2026)

Para as variáveis que não apresentaram homogeneidade de variâncias, conforme indicado pelos testes preliminares, foi aplicado o teste não paramétrico de MannWhitney conforme apresentado na (Tabela 12).

Tabela 12: Resultados teste de Mann-Whitney

PARÂMETRO	VALOR U	P-VALOR	INTERPRETAÇÃO
Haste	347	0,46	Não significativo
Comprimento	287,5	0,01	Diferença significativa
Largura	310	0,21	Não significativo

Fonte: (Autora, 2026).

Os resultados indicaram que o estresse químico provocou alterações significativas em algumas variáveis analisadas, especialmente na altura das plantas e no número de lóculos, conforme demonstrado pelos testes estatísticos aplicados. A variável altura apresentou diferença significativa entre o tratamento controle e o tratamento com estresse químico ($p = 0,0005$), evidenciando que a irrigação com detergente interferiu no crescimento vertical das plantas (TAIZ et al., 2017).

O menor desenvolvimento em altura observado nas plantas submetidas ao estresse químico pode estar associado à ação dos compostos presentes no detergente, que podem comprometer a absorção de água e nutrientes pelas raízes. Segundo Larcher (2006), substâncias químicas em contato com o sistema radicular alteram o equilíbrio osmótico das células, dificultando o transporte de íons essenciais para o metabolismo vegetal.

Quanto ao número de lóculos, também foi verificada diferença significativa entre os tratamentos ($p = 0,0008$). Esse resultado indica que o estresse químico afetou diretamente a capacidade reprodutiva das plantas, reduzindo a formação de estruturas responsáveis pela produção das vagens. Ferreira et al. (2019) destacam que estresses ambientais tendem a priorizar a manutenção das funções vitais da planta, em detrimento dos processos reprodutivos.

Em relação às variáveis haste, comprimento e largura, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas, sugerindo que essas características apresentaram menor sensibilidade ao estresse químico imposto. Esse comportamento pode estar relacionado à variabilidade individual das plantas e à adaptação parcial ao ambiente de cultivo (DIAS; MARENCO, 2016).

Os parâmetros peso dos 100 grãos e peso total não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Esse resultado pode ser explicado pela elevada mortalidade observada em algumas plantas do tratamento com estresse químico, o que reduziu o número de indivíduos produtivos e exigiu a aplicação de estimativas por regra de três. Essa limitação metodológica pode ter influenciado a capacidade de detecção de diferenças reais entre os grupos (ZAR, 2010).

A morte de três plantas na terceira fileira do tratamento com estresse químico pode ser justificada pela toxicidade direta do detergente aplicado via irrigação. Detergentes contêm surfactantes que reduzem a tensão superficial da água e podem penetrar com maior facilidade nos tecidos vegetais, causando danos às membranas celulares (LARCHER, 2006). Além disso, esses compostos podem alterar o pH do solo, interferindo na disponibilidade de nutrientes essenciais, como cálcio, magnésio e potássio (MARSCHNER, 2012).

Outro fator relevante é o acúmulo progressivo da solução detergente no solo ao longo dos ciclos de irrigação. Segundo Taiz et al. (2017), a exposição contínua a agentes químicos pode gerar efeito cumulativo, intensificando o estresse fisiológico e levando à perda de capacidade fotossintética, murcha e, em casos extremos, morte das plantas. Esse processo pode explicar a mortalidade observada ao longo do experimento, especialmente na fase de crescimento vegetativo e floração, quando a demanda metabólica é mais elevada.

A literatura aponta que o estresse químico pode causar desorganização do sistema radicular, reduzindo a absorção de água e nutrientes e comprometendo a sustentação da planta (FERREIRA et al., 2019). Assim, a morte dos indivíduos pode ser interpretada como resultado da soma de fatores fisiológicos adversos, associados à toxicidade do detergente e às condições ambientais do cultivo em campo aberto.

Dessa forma, os resultados obtidos demonstram que a irrigação com solução contendo detergente exerce efeito negativo sobre o desenvolvimento do feijão-de-corda, afetando principalmente o crescimento em altura e a formação de estruturas reprodutivas. Esses achados reforçam a necessidade de atenção quanto à qualidade da água utilizada na irrigação agrícola, especialmente em regiões onde o saneamento básico é precário e há risco de contaminação por resíduos domésticos (ANA, 2022).

5.CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que a irrigação com solução de detergente neutro (5% v/v) prejudica o desenvolvimento do feijão-de-corda, reduzindo principalmente a altura das plantas e o número de lóculos, variáveis que apresentaram diferenças estatisticamente significativas.

Como registrado no trabalho, *“o estresse químico provocou alterações significativas em algumas variáveis analisadas”*, evidenciando que os compostos presentes no detergente interferem no crescimento e na formação das vagens. Embora alguns parâmetros produtivos não tenham apresentado diferença significativa, a mortalidade de plantas no tratamento químico e a necessidade de estimativas indicam que o estresse afetou o desempenho geral da cultura. Conclui-se que a irrigação com água contaminada por detergentes compromete o desenvolvimento do feijão-de-corda, reforçando a importância do monitoramento da qualidade da água utilizada na agricultura familiar em regiões de saneamento insuficiente.

REFERÊNCIAS

- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2022**: relatório pleno. Brasília: ANA, 2022.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **A cultura do feijão no Brasil**: análise da conjuntura agropecuária. Brasília: CONAB, 2021.
- DIAS, D. P.; MARENCO, R. A. Fotossíntese e crescimento de plantas submetidas a estresses ambientais. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 39, n. 2, p. 347-360, 2016.
- EMBRAPA. **Feijão-caupi**: importância econômica e produção. Brasília: Embrapa, 2023.
- FERREIRA, J. M. S.; et al. Estresse abiótico em plantas cultivadas: impactos no crescimento e na produtividade. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 13, n. 4, p. 3610-3622, 2019.
- FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, P. D.; SANTOS, A. A. **Melhoramento genético do feijão-caupi no Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011.
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate change 2021: the physical science basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. 3. ed. São Carlos: Rima, 2006.
- MARSCHNER, P. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3. ed. London: Academic Press, 2012.
- MARÇAL, D. A.; SILVA, C. E. Avaliação do impacto do efluente da estação de tratamento de esgoto ETE-Pirajá sobre o Rio Parnaíba, Teresina (PI). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 4, p. 761-772, jul./ago. 2017.
- MATTOS, K. M. C. *Viabilidade da irrigação com água contaminada por esgoto doméstico na produção hortícola*. 2003. 146 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2003.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- TAGLIAFERRE, C. et al. Características agronômicas do feijão-caupi inoculado em função de lâminas de irrigação e de níveis de nitrogênio. **Revista Ceres**, v. 60, n. 2, p. 242-248, 2013.
- ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. 5. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010.