



REESMA, Humaitá - Amazonas, Volume XX, nº 2, jul-dez. 2026, p. 708-721.

SILÍCIO E BAGANA DE CARNAÚBA NO CRESCIMENTO DE MILHO SOB DÉFICIT HÍDRICO NO SEMIÁRIDO

SILICON AND CARNAUBA BAGASSE IN THE GROWTH OF CORN UNDER WATER DEFICIT IN THE SEMI-ARID REGION

Jefrejan Souza Rezende¹

Daniel de Moura Silva²

Maria do Socorro de Sousa Menezes²

Rhamon Lucas dos Santos Silva²

Resumo: Objetivou-se avaliar o efeito do silício e da bagana de carnaúba no crescimento de milho sob déficit hídrico no semiárido. O experimento foi realizado na Universidade estadual do Piauí, em Picos-PI. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial (2x2x2), formados por silício (com e sem), cobertura do solo com bagana de carnaúba (com e sem) e déficit hídrico (com e sem). Variáveis analisadas: altura de planta, diâmetro do colmo, massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, comprimento radicular, volume radicular, número de espigas por planta e temperatura do solo. Não houve efeito dos tratamentos para altura de planta, diâmetro do colmo, volume radicular, massa fresca e massa seca da parte aérea. A bagana de carnaúba isoladamente incrementou o número de espigas por planta e, quando utilizada associada ao déficit hídrico, contribuiu com o comprimento radicular. Na ausência de déficit hídrico, o silício proporcionou aumento do comprimento radicular. A temperatura do solo foi reduzida com a bagana de carnaúba e sem déficit hídrico. Recomenda-se o uso de bagana de carnaúba como cobertura de solo no cultivo de milho nas condições de estudo, e a aplicação de silício em plantas de milho sem déficit hídrico.

Palavras-chave: Escassez hídrica; *Zea Mays* L; Adubação silicatada; Cobertura vegetal.

¹ Doutor em Agronomia (Ciências do Solo), Universidade Federal Rural de Pernambuco. E-mail: jefrejansouza@pcs.uespi.br. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2606-9386>.

² Acadêmico(a) da Universidade Estadual do Piauí (UESPI). E-mail: danielmsilva@aluno.uespi.br.



Abstract: The objective was to evaluate the effect of silicon and carnauba bagana on maize growth under water deficit in the semi-arid region. The experiment was conducted at the State University of Piauí, in Picos-PI. A randomized block design was used, in a factorial scheme (2x2x2), consisting of silicon (with and without), soil cover with carnauba bagana (with and without), and water deficit (with and without). Variables analyzed: plant height, stem diameter, fresh weight of the aerial part, dry weight of the aerial part, root length, root volume, number of ears per plant, and soil temperature were evaluated. There was no effect of the treatments on plant height, stem diameter, root volume, fresh weight, and dry weight of the aerial part. Carnauba bagana alone increased the number of ears per plant and, when used in conjunction with water deficit, contributed to root length. In the absence of water deficit, silicon provided an increase in root length. Soil temperature was reduced with carnauba bagana and without water deficit. The use of carnauba bagana as a soil cover is recommended for corn cultivation under the study conditions, as is the application of silicon to corn plants without water deficit.

Keywords: Water scarcity; *Zea Mays* L; Silicate fertilization; Vegetation cover.



1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.), pertencente à família Poaceae, originou-se no continente americano e difundiu-se para todas as regiões do mundo sob condições ambientais variadas (LOPES *et al.*, 2020).

Essa espécie está entre as principais culturas agrícolas, possuindo grande relevância na nutrição animal e humana (BARAVIERA *et al.*, 2014), sendo o cereal mais produzido no mundo, devido ao seu alto potencial produtivo, composição química e valor nutritivo (LOPES *et al.*, 2020).

No cenário nacional, o milho cultivado na agricultura familiar e em grande escala ocorre em todas as unidades da federação (SANCHES *et al.*, 2018), onde atingiu uma produção de 114.953.303 toneladas e produtividade média de 5.426 kg ha⁻¹, em 21.186.816 ha colhidos na safra 2024 (IBGE, 2024).

Em nível regional, o Nordeste brasileiro obteve produção de 8.241.884 toneladas, em uma área colhida de 2.587.311 ha, com produtividade média de 3.186 kg ha⁻¹, valor aproximadamente 41% menor do que a média nacional (IBGE, 2024). No estado do Piauí, o rendimento médio foi de 3.874 kg ha⁻¹, o que representou uma redução de 29%, em relação à média nacional (IBGE, 2024).

Essas baixas produtividades encontradas na região Nordeste do Brasil e no estado do Piauí pode estar associado a diversos fatores, entre eles a restrição hídrica, devido a chuvas irregulares e de baixo índice pluviométrico, comum no semiárido, fazendo com que ocorram secas prolongadas inibindo a produção agrícola na região (MARENGO *et al.*, 2016), além do uso insuficiente de insumos modernos na produção (IPEA, 2018).

Diante disso, o silício pode ser utilizado como potencial redutor de déficit hídrico em plantas, embora não seja um elemento essencial (CAO *et al.*, 2015). Isso ocorre pela diminuição da taxa transpiratória, potencializando assim o uso da água (ABD EL-MAGEED *et al.*, 2020). Desta forma, o silício promove a resistência aos desgastes impostos por fatores bióticos e abióticos, sendo considerado um ante estressante promotor de bons resultados frente a condições desfavoráveis às plantas, aumentando a eficiência e o rendimento das culturas (MENEGALE *et al.*, 2015).

Do mesmo modo, o uso de bagana de carnaúba, como cobertura morta no solo, surge como uma estratégia eficiente para a promoção do desenvolvimento da agricultura



no semiárido, uma vez que eleva os valores do carbono e quociente microbiano e carbono orgânico, auxilia no controle da perda de água do solo, por manter a umidade e aumentar a disponibilidade de água às culturas, especialmente em períodos de déficit hídrico (GONÇALVES *et al.*, 2020; NASCIMENTO *et al.*, 2021). Além disso, eleva a fertilidade do solo por meio da melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos (GONÇALVES *et al.*, 2020).

A carnaúba (*Copernicia prunifera* (Miller) H. E. Moore) é uma espécie nativa do Brasil, endêmica do semiárido nordestino, presente majoritariamente no Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte (SOUSA *et al.*, 2015). Essa espécie proporciona a extração da cera presente na sua palha, que gera um resíduo, que com o tempo de decomposição forma a bagana, que é um insumo comum, de fácil aquisição nas propriedades rurais da macrorregião de Picos, no semiárido piauiense.

No ano de 2022, o Piauí foi o maior produtor de pó de carnaúba do Brasil, com 10,2 mil toneladas, equivalente a 55,29% da produção nacional (IBGE, 2022), sendo a macrorregião de Picos, no semiárido piauiense destaque na produção de carnaúba, fato que tem acarretado no acúmulo da bagana, que pode ser utilizado pelos agricultores familiares da região, nas áreas de cultivo (SANTOS *et al.*, 2023).

Diante do estresse e do prejuízo imposto pelo clima semiárido sobre a cultura do milho, do potencial do silício e da bagana de carnaúba na atenuação desse estresse e da escassez de estudos sobre essa temática, o estudo em questão torna-se relevante e necessário.

Nesse contexto, objetivou-se avaliar o efeito da adubação silicatada e da bagana de carnaúba, como cobertura morta do solo, no desenvolvimento inicial de milho sob déficit hídrico no semiárido piauiense.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Universidade Estadual do Piauí, campus Professor Barros Araújo (07° 04' 47" S; 41° 26' 01" W e altitude de 214 m) no município de Picos, a 300 km de Teresina. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima é do tipo semiárido quente (BSh), caracterizado como semiárido seco, com estação úmida e chuvosa (ALVARES *et al.*, 2013), tendo como bioma



predominante a Caatinga. A precipitação média anual é de aproximadamente 461 mm, com ocorrência de meses de estiagem (INMET, 2023).

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial (2x2x2), formado pela combinação da adubação silicatada (com e sem adubação), cobertura do solo com bagana de carnaúba (com e sem cobertura) e aplicação do déficit hídrico (com e sem déficit hídrico), com quatro repetições, totalizando 32 unidades experimentais, as quais foram arranjadas em vasos preenchidos com 18 dm³ de solo.

Antes da instalação do experimento, uma amostra do solo utilizado no experimento foi coletada na camada de 0,00-0,20 m, seca à sombra e enviada ao laboratório da Universidade Federal do Piauí, Campus Prof. Cinobelina Elvas (UFPI/CPCE) para caracterização química e granulométrica (TEIXEIRA *et al.*, 2017). Os dados encontram-se na tabela 1.

Tabela 1- Caracterização química e granulométrica do solo. Picos, PI

pH ¹	P ²	K ³	Ca ⁴	Mg ⁵	Al ⁶	H+Al ⁷	Sb ⁸	T ⁹	m ¹⁰	V ¹¹	MO ¹²
	mgdm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----							-----%-----		
8,62	13,50	0,38	6,19	2,09	0,00	0,65	8,66	9,31	0,00	93,0	1,6

¹Potencial hidrogeniônico; ²Fósforo; ³Potássio; ⁴Cálcio; ⁵Magnésio; ⁶Alumínio; ⁷(Hidrogênio + Alumínio); ⁸Soma de bases; ⁹Capacidade de troca catiônica; ¹⁰Saturação por alumínio; ¹¹Saturação por bases; ¹²Matéria orgânica. Areia: 90,7,8%; Silte:1,2%; Argila: 8,0%

Fonte: Elaboração pelos autores

Não houve necessidade de correção da acidez do solo, considerando a saturação por bases superior a 73% e o elevado pH do solo (SOUZA *et al.*, 2014).

A adubação foi realizada com base na exigência da cultura e no teor do nutriente no solo. O Nitrogênio foi aplicado no plantio e nos estádios fenológicos V4 e V8, na dose de 30 kg ha⁻¹, em cada aplicação. O fósforo e o potássio foram aplicados no plantio, na dose de 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 20 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente (CAVALCANTE, 2008). Como fontes de nitrogênio, fósforo e potássio foram utilizados a ureia (45% de N), o superfosfato simples (18% de P₂O₅; 12% de S e 26% de CaO) e o cloreto de potássio (60% de K₂O).

A bagana de carnaúba foi adquirida no município de Picos, em uma empresa local. Esta foi disposta sobre o solo de maneira uniforme com espessura de 2 cm, sobre as parcelas submetidas ao tratamento (MOURA FILHO *et al.*, 2009).



O semeio ocorreu de forma manual na densidade de três sementes por vaso. Utilizou-se a cultivar híbrida AG1051. A irrigação será feita de forma a atingir 60% da capacidade máxima de retenção de água. O desbaste ocorreu seis dias após a emergência das plântulas, mantendo uma planta por vaso. As plantas daninhas foram removidas por meio de capina manual.

A adubação silicatada ocorreu no estágio V8 da cultura, sobre as plantas das parcelas correspondentes ao tratamento (FREITAS *et al.*, 2011). Foi utilizada a dose de 1,0 L ha⁻¹, de acordo com a recomendação do fabricante, com o uso de pulverizador manual. Foi utilizado o adubo silicatado SUPA SILICA® (9,02 % de Si e 24,13 % de K₂O).

O déficit hídrico foi aplicado no estágio de florescimento. Para isso, a irrigação foi sessada por um período de sete dias. A escolha pela fase de florescimento se deu pela maior sensibilidade do milho ao déficit hídrico, com maior redução de produtividade (PEGORARE *et al.*, 2009).

Após 100 dias do plantio, foram avaliadas as seguintes variáveis: altura de planta, diâmetro do colmo, massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, comprimento radicular, volume radicular, número de espigas por planta e temperatura do solo.

A altura de planta foi determinada com uso de fita métrica, do solo até a inserção da primeira espiga. O diâmetro do colmo foi medido com uso de paquímetro digital a 2 cm do solo. O número de espigas por planta foi obtido por meio da contagem. Para a determinação da massa fresca da parte aérea, as plantas foram cortadas na região do colo para aferição de suas massas em balança semi-analítica. Em seguida, as plantas foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72h, para determinação da massa seca da parte aérea. Posteriormente, as raízes foram retiradas dos vasos com uso de água corrente e levadas ao laboratório de Biologia da Universidade Estadual do Piauí, Campus Prof. Barros Araújo, para determinação do comprimento radicular, com uso de uma fita métrica e para a determinação do volume radicular, por meio da imersão das raízes em proveta graduada, contendo água e então medido o volume deslocado. A temperatura do solo foi medida utilizando um termômetro digital portátil do tipo espeto, da marca "TP 101", com escala de medição variando de -50 a 300 °C, e precisão de 0,1

°C. Para isso, introduziu-se o eletrodo em dois pontos de cada vaso, esperando estabilizar e assim foi contabilizada a temperatura por meio da média dos dois pontos.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste f ($p \leq 0,05$). Observando significância para os fatores individuais e para a interação, foi empregado teste de comparação de médias de Tukey a 5% de probabilidade de erro, utilizando o programa estatístico Sisvar 5.0 (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância (tabela 2), houve efeito da interação entre Silício e déficit hídrico, bem como da interação entre bagana de carnaúba e déficit hídrico para o comprimento radicular (CR). A bagana de carnaúba, isoladamente, influenciou no número de espigas por planta (NE). Houve efeito da interação entre Silício, bagana de carnaúba e déficit hídrico para a temperatura do solo (T).

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para altura de planta (AP), diâmetro do colmo (DC), massa fresca da parte aérea (MFPA, g vaso⁻¹), massa seca da parte aérea (MSPA, g vaso⁻¹), comprimento radicular (CR, cm), volume radicular (VR, cm³), número de espigas por planta (NE) e temperatura do solo (T), em resposta à adubação silicatada, déficit hídrico e cobertura do solo com bagana de carnaúba. Picos, PI

Fontes de variação	Valor de P							
	AP	DC	CR	VR	MFPA	MSPA	NE	T
	--cm-	-mm-	-cm-	-cm ³ -	----g vaso ⁻¹ ----			-°C-
Silício (S)	0,24 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,04*	0,18 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,41 ^{ns}
Bagana (B)	0,79 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,02*	0,00*
Déficit Hídrico (D)	0,88 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,40 ^{ns}
S x B	0,93 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,76 ^{ns}
S x D	0,55 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,00*	0,86 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,16 ^{ns}
B x D	0,05 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,00*	0,38 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,00*
S x B x D	0,17 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,01*
CV ¹ (%)	34,91	11,33	13,70	29,48	29,93	31,08	51,57	6,57

* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

¹Coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração pelos autores

Para o NE, a cobertura de solo com bagana de carnaúba proporcionou maior valor médio, quando comparado com o tratamento sem bagana, com aumento de 53,36% (Tabela 3).

**Tabela 3** - Valores médios do número de espigas por planta (NE), em função da cobertura do solo com bagana de carnaúba. Picos, PI

Bagana de carnaúba	NE
Com	1,437 a
Sem	0,937 b
CV ¹ (%)	51,19

Médias com letras diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

¹Coefficiente de variação.

Fonte: Elaboração pelos autores

O aumento do NE, com a utilização de bagana de carnaúba como cobertura de solo, pode ser justificado pelo favorecimento da ação dos microrganismos decompositores, uma vez que cria um microclima favorável, por meio da manutenção da umidade e da temperatura, elevando os níveis de matéria orgânica do solo, potencializando sua fertilidade e a nutrição da planta (DUARTE *et al.*, 2014). A bagana de carnaúba, a partir do seu processo de degradação lento e constante, apresentando matéria em vários estágios de decomposição, torna-se fonte de elementos essenciais, como o nitrogênio e o fósforo durante todo o ciclo das culturas (GUIMARÃES *et al.*, 2018; ANDRADE *et al.*, 2022), podendo ter contribuído com o aumento do número de espigas.

Em relação ao CR, a presença de silício na ausência de déficit hídrico proporcionou o maior valor médio para essa variável em comparação ao tratamento sem silício. Assim como, na presença de silício, o tratamento com déficit hídrico resultou em um menor CR. Na ausência de silício, o fornecimento hídrico, não influenciou. Além disso, não houve efeito do silício na presença de déficit hídrico (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores médios de comprimento radicular (CR) em função da aplicação de Silício e do déficit hídrico. Picos, PI

Silício	Déficit hídrico		CV¹ (%)
	Com	Sem	
Com	1,354 aB	1,671 aA	20,63
Sem	1,445 aA	1,288 bA	16,78
CV (%)	21,19	18,22	

Médias com letras minúsculas diferentes nas colunas e maiúsculas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

¹Coefficiente de variação.

Fonte: Elaboração pelos autores



A utilização de silício, em condição de fornecimento hídrico adequado, proporcionou incremento no CR das culturas do sorgo (HATTORI *et al.*, 2003), milho (VACULÍK *et al.*, 2012) e feijão (TATAGIBA *et al.*, 2024), fato que foi atribuído, para a cultura do sorgo, ao estímulo proporcionado pelo silício no aumento da extensibilidade da parede celular na zona apical. Isso indica a importância do silício associado ao fornecimento suficiente de água para o crescimento radicular.

A cobertura do solo com bagana de carnaúba, na ocorrência de déficit hídrico proporcionou maior CR em relação ao tratamento sem bagana. Quando não submetido ao déficit, houve diminuição desta variável sob o uso da cobertura de solo (Tabela 5).

Tabela 5 - Valores médios de comprimento radicular (CR) em função do uso de bagana de carnaúba como cobertura do solo. Picos, PI

Bagana de carnaúba	Déficit hídrico		CV ¹ (%)
	Com	Sem	
Com	1,571 aA	1,356 bA	16,75
Sem	1,271 bB	1,648 aA	22,44
CV (%)	21,19	18,22	

Médias com letras minúsculas diferentes nas colunas e maiúsculas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

¹Coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração pelos autores

A bagana de carnaúba atua na manutenção da umidade do solo para as raízes, prolongando o tempo de disponibilidade de água (NASCIMENTO *et al.*, 2021). Somado a isso, características adequadas de aeração e retenção de umidade promovem um melhor desenvolvimento do sistema radicular, uma vez que geram um maior equilíbrio entre estes parâmetros (BRITO *et al.*, 2017). Assim, a bagana de carnaúba pode ter servido como retentor de umidade diante do déficit hídrico, proporcionando a continuidade do crescimento radicular. No entanto, quando não houve déficit hídrico, a bagana de carnaúba pode ter sido responsável por reter umidade demasiada provocando diminuição do alongamento radicular. Resultado semelhante foi observado na cultura da grama bermuda, onde o excesso de água no solo reduziu o alongamento radicular da grama (NASCIMENTO FILHO, 2013).

O fluxo de oxigênio da atmosfera para o solo é necessário para suprir diversos processos, incluindo a respiração aeróbica de raízes de plantas que utilizam o oxigênio para obtenção de energia via cadeia respiratória, assim a limitação do oxigênio pode



influir direta ou indiretamente na atividade respiratória do solo e no crescimento vegetal (NEIRA *et al.*, 2015).

A temperatura do solo (T), na ausência de déficit hídrico, foi reduzida na presença de bagana de carnaúba (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores médios de temperatura do solo (T) em função da cobertura do solo com bagana de carnaúba, aplicação de silício e déficit hídrico. Picos, PI

Bagana de	Silício/Déficit Hídrico				CV ¹ (%)
	Com/Com	Com/Sem	Sem/Com	Sem/Sem	
Com	38,725 a	35,075 b	37,200 a	35,650 b	5,99
Sem	37,225 a	44,950 a	39,800 a	40,325 a	9,82
CV (%)	7,84	13,34	7,23	9,71	

Médias com letras diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

¹Coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração pelos autores

Resultados semelhantes foram encontrados em um estudo, também com a cultura do milho, onde a utilização da bagana de carnaúba como cobertura do solo proporcionou redução nos valores de temperatura e aumento dos valores de umidade do solo (NASCIMENTO *et al.*, 2021). Com isso, infere-se que a aplicação da bagana de carnaúba como cobertura morta, age na atenuação da temperatura do solo.

A umidade do solo, proporcionada pela cobertura morta, afeta o fluxo de calor do solo, diminuindo a sua amplitude térmica (VIEIRA *et al.*, 2020), indicando que a água age como regulador térmico absorvendo calor do ambiente e reduzindo a temperatura máxima.

4 CONCLUSÕES

A bagana de carnaúba, independentemente do fornecimento hídrico, maximizou o número de espigas de planta de milho.

A bagana de carnaúba maximizou o crescimento radicular de milho na presença de déficit hídrico e reduziu o crescimento radicular sem déficit hídrico.

A bagana de carnaúba reduziu a temperatura do solo, na ausência de déficit hídrico.

A aplicação de silício proporcionou o crescimento radicular de plantas de milho, na ausência de déficit hídrico.



Recomenda-se o uso de bagana de carnaúba e de silício no cultivo de milho, nas condições de estudo.

5 AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual do Piauí (UESPI), por conceder a estrutura para realização do experimento e a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROP), da Universidade Estadual do Piauí, pela concessão da bolsa de pesquisa.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD EL-MAGEED, T. A.; SHAABAN, A.; ABD EL-MAGEED, S. A.; SEMIDA, W. M.; RADY, M. O. A. Silicon Defensive Role in Maize (*Zea mays* L.) against Drought Stress and Metals - Contaminated Irrigation Water. **Silicon**, v. 13, n. 105831, p. 1-12, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12633-020-00690-0>

ALVARES C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

ANDRADE, H. A. F.; MACHADO, N. A. F.; OLIVEIRA, A. R. F.; SILVA, T. F.; SANTOS, L. R.; GARRETO, V. C.; MATOS, R. R. S. Effect of substrate of carnauba residue with humic substances on seedling production of papaya cultivar 'Golden'. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 53, n.7, p. 902-912, 2022. <https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2034846>

BARAVIERA, C. M.; CANEPPELE, C.; DOURADO, L.; AGUERO, N. Avaliação de propriedades físicas de grãos de híbridos de milho. **Enciclopédia biosfera**, v. 10, n. 19, p. 291-297, 2014. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2014b/AGRARIAS/avaliacao%20das%20propriedades.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2026.

BRITO, L. P. S.; CAVALCANTE, M. Z. B.; AMARAL, G. C.; SILVA, A. A.; AVELINO, R. C. Reutilização de resíduos regionais como substratos na produção de mudas de cultivares de alface a partir de sementes com e sem peletização. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 116, n. 1, p. 51-61, 2017. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/61830>

CAO, B. L.; MA, Q.; ZHAO, Q.; WANG, L.; XU, K. Effects of silicon on absorbed light allocation, antioxidant enzymes and ultrastructure of chloroplasts in tomato leaves under simulated drought stress. **Scientia Horticulturae**, v. 194, p. 53-62, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.037>

CAVALCANTI, F. J. A. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco**. 2. aproximação. 2. ed. rev. Recife: IPA, 2008.



DUARTE, I. B.; GALLO, A. S.; GOMES, M. S.; GUIMARÃES, N. F.; ROCHA, D. P.; SILVA, R. F. Plantas de cobertura e seus efeitos na biomassa microbiana do solo. **Acta Igazu**, v. 3, n. 2, p. 150-165, 2014. <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v3i2.10625>

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>

FREITAS, L. B.; COELHO, E. M.; MAIA, S. C. M.; SILVA, T. R. B. Adubação foliar com silício na cultura do milho. **Revista Ceres**, v. 58, n. 2, p. 262-267, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2011000200020>

GONÇALVES, M. P. M.; FELICIANO, A. L. P.; SILVA, A. P.; SILVA, L. B.; SILVA, K. M.; SILVA JÚNIOR, F. S.; GRUGIKI, M. A.; SILVA, M. I. O. Desenvolvimento em campo de espécies da Caatinga com o uso de resíduo de carnaúba/Field development of Caatinga species using carnauba waste. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 1188-1200, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n1-083>

GUIMARÃES P. P.; BOTREL, R. T.; NOGUEIRA, N. W.; CASTRO, V. G.; AGUIAR, G. P.; CARMO, F. C. S. Produtos florestais não madeireiros do nordeste brasileiro: Carnaúba. **Nativa**, v. 6, n. 2, p. 213-218, 2018. <https://doi.org/10.31413/nativa.v6i2.4732>

HATTORI, T.; INANAGA, S.; TANIMOTO, E.; LUX, A.; LUXOVÁ, M.; SUGIMOTO, Y. Silicon-Induced changes in viscoelastic properties of sorghum root cell walls. **Plant and Cell Physiology**, v. 44, n. 7, p. 743 - 749, 2003. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcg090>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal**. 2023. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?utm_source=landing&utm_medium=explica&utm_campaign=producao_agropecuaria. Acesso em: 29 jan. 2026.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**, 2023. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/#>. Acesso em: 29 jan. 2026.

IPEA. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, 2018. Disponível em: acesse.one/EeTEX. Acesso em: 29 jan. 2026.

LOPES, J. R. F.; DANTAS, M. P.; FERREIRA, F. E. P. Identificação da influência da pluviometria no rendimento do milho no semiárido brasileiro. **Revista brasileira de agricultura irrigada**, v. 13, n. 5, p. 3610-3618, 2020. <https://doi.org/10.7127/rbai.v13n5001119>



MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil - past, present and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, p. 1189-1200, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>

MENEGALE, M. L. C.; CASTRO, G. S. A.; MANCUSO, M. A. C. Silício: interação com o sistema solo-planta. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 4, n. especial, p. 435-454, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1025188/silicio-interacao-com-o-sistema-solo-planta>. Acesso em: 04 mar. 2026.

MOURA FILHO, E. R.; FREIRE, J. O.; DANTAS, M. M.; OLIVEIRA, H. V. Efeito da cobertura do solo na produtividade da alface. **Cadernos de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 361-364, 2009.

NASCIMENTO, C. R.; RODRIGUES, A. C.; ARRUDA, F. P.; SOUSA, R. S.; NUNES, L. A. P. L. Efeito da bagana de carnaúba nos atributos microbiológicos, umidade e temperatura do solo. **Científica**, v. 49, n. 4, p. 174-182, 2021. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2021v49n4p174-182>

NASCIMENTO FILHO, A. A. **Excesso de água no solo sobre o desenvolvimento de grama bermuda**. 2013. 71 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Ceará, UFC, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Fortaleza, 2013. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/8944/1/2013_dis_aanascimentoofilho.pdf. Acesso em: 29 jan. 2026.

NEIRA, J.; ORTIZ, M.; MORALES, L.; ACEVEDO, E. Oxygen diffusion in soils: Understanding the factors and processes needed for modeling. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 75, supl.1, p. 35-44, 2015. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392015000300005>

PEGORARE, A. B.; FEDATTO, E.; PEREIRA, S. B.; SOUZA, L. C. F.; FIETZ, C. R. Irrigação suplementar no ciclo do milho “safrinha” sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 262-271, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000300007>

SANCHES, A.; ALVES, L. R. A.; BARROS, G. S. C. Oferta e demanda mensal de milho no Brasil: Impactos da segunda safra. **Revista de política agrícola**, v. 27, n. 4, p. 73-97, 2018. <https://rpa.sede.embrapa.br/RPA/article/view/1467>

SANTOS, C. M.; CARVALHO, A. C. C.; ARAÚJO, V. S.; NOBRE, R. S.; COSTA, A. K. S.; VELOSO, R. C.; NUNES, L. S.; SILVA, D. M.; MENEZES, M. S. S.; RÊGO, I. M.; REZENDE, J. S. Carnauba bagana improves the soil quality cultivated with corn in the semiarid piauiense. **Disciplinarum Scientia. Série: Naturais e Tecnológicas**, v. 24, n. 1, p. 33-46, 2023. <https://doi.org/10.37779/nt.v24i1.4494>



SOUSA, R. F.; SILVA, R. A. R.; ROCHA, T. G. F.; SANTANA, J. A. S.; VIEIRA, F. A. Etnoecologia e etnobotânica da palmeira carnaúba no semiárido brasileiro. **Cerne**, v. 21, n. 4, p. 587-594, 2015. <https://doi.org/10.1590/01047760201521041764>

SOUZA, H. A.; CAVALCANTE, A. C. R.; TONUCCI, R. G.; POMPEU, R. C. F. F.; SOUZA, M. C.M.R.; MAIA, C. E. Níveis críticos para atributos do solo pela distribuição normal reduzida em culturas anuais de subsistência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 425-430, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000400010>

TATAGIBA, S. D.; CARELLI, C.; FIGUEIREDO, A. L. P.; BRANCALEONI, L.; GARDIN, J. P.P.; SOUZA, A. C. M.; PADILHA, A. S. Uso do silício no crescimento e produção do feijoeiro submetido a diferentes condições hídricas. **Scientific Electronic Archives**, v. 17, n. 3, p. 1-13, 2024. <https://doi.org/10.36560/17320241930>

TEIXEIRA, C. P.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017.

VACULÍK, M.; LANDBERG, T.; GREGER, M.; LUXOVÁ, M.; STOLÁRIKOVÁ, M.; LUX, A. Silicon modifies root anatomy, and uptake and subcellular distribution of cadmium in young maize plants. **Annals of Botany**, v. 110, n. 2, p. 433-443, 2012. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs039>

VIEIRA, F. F.; DALLACORT, R.; BARBIERI, J. D.; DALCHIAVON, D. F.; DANIEL, D. F. Temperatura e umidade do solo em função do uso de cobertura morta no cultivo de milho. **Científica**, v. 48, n. 3, p. 188-199, 2020. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2020v48n3p188-199>