UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

LÁZARO MATHEUS FRANCO DA SILVA

REMINERALIZADOR DE ROCHA GRANULITO COMO FONTE DE K E Mg NO CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR

AREIA
2024

LÁZARO MATHEUS FRANCO DA SILVA

REMINERALIZADOR DE ROCHA GRANULITO COMO FONTE DE K E Mg NO CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Trabalho de graduação apresentado à Coordenação do Curso de Agronomia, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Raphael Moreira Beirigo

Coorientador: Prof. Dr. Fábio Mielezrski

AREIA

2024

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586r Silva, Lazaro Matheus Franco da.
Remineralizador de Rocha Granulito como Fonte de K e Mg no Cultivo de Cana-de-Açúcar / Lazaro Matheus Franco da Silva. - Areia, 2024.
44 f. : il.

Orientação: Raphael Moreira Beirigo Beirigo.
Coorientação: Fábio Mielezrski Mielezrski.
TCC (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Rochagem. 3. Nutrientes. 4. Saccharum. 5. Officinarum. I. Beirigo, Raphael Moreira Beirigo. II. Mielezrski, Fábio Mielezrski. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA CDU 631/635 (02)

Elaborado por JUCCIA NATHIELLE DO NASCIMENTO OLIVEIRA - CRB-930/T

LÁZARO MATHEUS FRANCO DA SILVA

REMINERALIZADOR DE ROCHA GRANULITO COMO FONTE DE K E Mg NO CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Trabalho de graduação apresentado à Coordenação do Curso de Agronomia, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

.

Aprovado em: 23/10/2024.

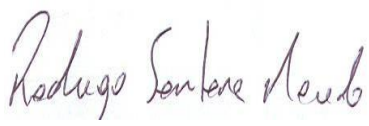
BANCA EXAMINADORA

Raphael Moreira Beirigo
(Orientador)
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

MANOEL BANDEIRA DE ALBUQUERQUE:02540236499

Assinado de forma digital por MANOEL BANDEIRA DE ALBUQUERQUE:02540236499

Prof. Dr. Manoel Bandeira de Albuquerque
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Prof. Dr. Rodrigo Santana Macedo
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família por todo o apoio e incentivo aos estudos durante esses cinco anos de graduação. Em especial, à minha avó (Maria José) e ao meu avô (José Franco), que, mesmo distantes, sempre estiveram presentes na minha memória, servindo como motivação nos momentos difíceis.

Agradeço à minha mãe, que foi responsável pela minha criação e formação. Com muito esforço, abdicação, dedicação e coragem, me deu a oportunidade de estudar e de chegar a este momento com uma profissão e perspectiva de futuro. Agradeço também à minha irmã, Jéssica Iris, que é um exemplo de esforço e dedicação aos estudos para mim. Espero um dia alcançar a sua competência profissional.

Sou grato ao Raphael Beirigo, meu orientador, que sempre me deu conselhos, cobrou e incentivou a busca pelo conhecimento, além de oferecer liberdade para que eu expressasse minhas ideias durante nossos projetos, o que aprimorou meu pensamento inovador. Ele me ensinou que o importante é focar no princípio gerador do fato, e não no fato em si.

Agradeço ao professor Edson Mauro, que me deu a oportunidade de conhecer vários lugares por meio das nossas viagens de pesquisa e extensão, e ao professor Fábio Mielezrski, que me acompanhou durante boa parte da graduação, especialmente durante meu período no Diretório Acadêmico de Agronomia, onde formamos uma excelente parceria na condução das atividades do curso.

Aos colegas de graduação, agradeço de coração: Mirelly Fidelis, Wellington Junior, João Antônio, Villar, Mayra Nascimento, Rhadija Sousa, Joel Marx, Thallis Teixeira, João Miguel, Joel Gregório, Vitória Macedo, Matheus Carneiro, Shayanne Almeida, Iris Chaves, Renália Militão... Em especial, ao meu amigo Silvio Lisboa, que foi um parceiro excepcional. Desejo todo sucesso do mundo a ele.

À turma de 2019.1, em especial: Túlio Santos, Samuel Bezerra, Luiz Nunes, Lucas Leridion, Rafaela Viturino, Sanges, Luan de Souza, Jailson Ferreira, Sr. Rômulo... Ao meu "irmão de graduação", Samuel Kenedi, que é um exemplo para mim, e ao meu amigo Santiago Oliveira, que tem um coração enorme e merece o mundo.

RESUMO

A rochagem em fundo de sulco no cultivo de Cana-de-Açúcar, é uma prática agrícola baseada na fertilização do solo por meio da adição de pó de rochas ricas em macro e micronutrientes para as plantas, promovendo a melhoria das propriedades físicas, químicas e da atividade biológica do solo. Sendo assim, objetivou-se avaliar o fornecimento de nutrientes do remineralizador de rocha granulito no desenvolvimento e produção da cana-planta em sistema de plantio convencional. A pesquisa foi realizada no Engenho Santa Vitória, no município de Alagoa Nova-PB. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, cinco tratamentos com quatro repetições, resultando em um total de 20 parcelas. Os tratamentos correspondiam a doses crescentes de pó de rocha, sendo T0 a testemunha sem aplicação, e de T1 a T4 doses crescentes de 1 a 4 t ha^{-1}. As variáveis analisadas foram: Diâmetro do Colmo (DC), N° de Entrenós (NE), N° de Plantas por Metro Linear (NPML), Altura de Planta (AP), Teor de Sólidos Solúveis (ºB), Toneladas de Cana por Hectare (TCH) e, disponibilidade de Potássio (K^+) e Magnésio (Mg^{2+}) no solo. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey (≤0.05), com o auxílio do software estatístico Sisvar® versão 5.8. As variáveis DC e NE não obtiveram diferença significativa. O NPML demonstrou significância na 2° avaliação, para os tratamentos 3 e 4, porém, na 3° avaliação, T4 foi o tratamento de maior significância. Para a variável AP, na 1° avaliação, os tratamentos com pó de rocha foram superiores a T0, na 2° e 3° avaliação o resultado de T3, foi o único a diferir da testemunha. Em relação a TCH os tratamentos T1 e T3 tiveram resultados superiores, já o ºB do T2 foi superior aos demais. Nos teores de K^+ e Mg^{2+} do solo, o T4 e T2 foram os tratamentos superiores respectivamente. O tratamento de fundo de sulco com remineralizador de rocha granulito, foi efetivo no ganho de produtividade e desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar, além de ter alterado positivamente os teores de K^+ e Mg^{2+}.

Palavras-Chave: rochagem; nutrientes; *Saccharum officinarum.*

ABSTRACH

Stonemeal application in planting furrow in sugarcane cultivation, is an agricultural practice based on soil fertilization through the addition of rock powder rich in macro and micronutrients for plants, promoting improvements in the physical, chemical, and biological properties of the soil. The objective was to evaluate the nutrient supply from granulitic remineralizer in the growth and production of plant-cane in a conventional planting system. The research was conducted at Engenho Santa Vitória, in the municipality of Alagoa Nova-PB. The experimental design was randomized blocks with five treatments and four replications, resulting in a total of 20 plots. The treatments corresponded to increasing doses of rock powder, with T0 as the control without application, and T1 to T4 being increasing doses from 1 to 4 t ha-1. The variables analyzed were: Stalk Diameter (SD), Number of Internodes (NI), Number of Plants per Linear Meter (NPLM), Plant Height (PH), Soluble Solids Content (°Brix), Tons of Cane per Hectare (TCH), and the availability of Potassium (K+) and Magnesium (Mg2+) in the soil. The data were subjected to analysis of variance, and means were compared by the Tukey test (≤0.05), with the aid of Sisvar® version 5.8 statistical software. Variables SD and NI showed no significant differences. NPLM showed significance in the second evaluation for treatments 3 and 4, and in the third evaluation, T4 had the highest significance. For the PH variable, in the first evaluation, the treatments with rock powder outperformed T0; in the second and third evaluations, T3 was the only one to differ from the control. For TCH, treatments T1 and T3 yielded superior results, while the °Brix of T2 was superior to the others. In terms of soil K+ and Mg2+ levels, T4 and T2 were the top treatments, respectively. The planting furrow application of granulitic rock powder effectively improved sugarcane productivity and vegetative development and positively affected the levels of K+ and Mg2+.

Keywords: stonemeal; nutrient; *Saccharum officinarum.*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 7

2. **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 9**

2.1 ORIGEM, MORFOLOGIA E DESCRIÇÃO BOTÂNICA 9

2.2 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA 12

2.3 ECOFISIOLOGIA 14

2.4 NUTRIÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR 16

2.5 FERTILIZANTES × MERCADO CONSUMIDOR INTERNO 16

2.6 ROCHAGEM 18

3. METODOLOGIA 22

3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO 22

3.2 DELINEAMENTO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO 23

3.3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO REMINERALIZADOR 24

3.4 VARIÁVEIS ANALISADAS 24

3.4.1 Teor de sólidos solúveis 25

3.4.2 Produção 25

3.4.3 Análises de potássio (K^+) e magnésio (Mg^{2+}) do solo 25

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 27

5. CONCLUSÃO 37

REFERÊNCIAS 38

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum L*.) é uma cultura de significativo valor econômico, destacando-se pela ampla gama de produtos que pode gerar. Como matéria-prima, a cana é fundamental para a produção de diversos itens, entre os quais se destacam, o etanol e o açúcar (Barbosa & Júnior, 2012), nos últimos 20 anos, aproximadamente 55% da cana foi destinada à produção de etanol e 45% ao açúcar. Além disso, a cana é fundamental para a geração de bioeletricidade através da queima do bagaço, e ainda é utilizada na produção de ração animal, cachaça e o melaço em pequenas agroindústrias (Guarenghi, 2023).

No entanto, o crescimento da produção agrícola, incluindo o da cana, enfrenta desafios significativos que precisam ser abordados. O principal deles é manter altos níveis de produtividade sem causar degradação aos ambientes, especialmente aos solos (Kopittke *et al*., 2019). Estima-se que aproximadamente 10 milhões de hectares de solo arável se tornem improdutivos a cada ano (Scherr, 1999; Hossain *et al*., 2020). Portanto, é crucial encontrar estratégias que promovam uma produção sustentável e minimizem os impactos ambientais.

Nesse contexto, para manter os níveis de produção de cana-de-açúcar, é fundamental repor os nutrientes exportados durante seus ciclos produtivos, na sua maioria essa reposição é feita com o uso de fertilizantes minerais. Em todo o território Nacional, a cana-de-açúcar utiliza, em média, 3,44 milhões de toneladas de fertilizantes, sendo responsável por absorver cerca de 16% de todo o adubo comercializado no Brasil (ANDA, 2016). Esse consumo está relacionado com a alta produção de biomassa, que extrai grandes quantidades de nutrientes do solo.

Em contrapartida, as fontes minerais se encontram cada vez mais indisponíveis e financeiramente inviáveis para agricultores de países em desenvolvimento, devido os seus preços terem aproximadamente dobrado desde o início do século XXI (Manning & Theodoro, 2020), além de que, a Rússia, Estados Unidos, China e Canada são os seus principais fornecedores, o que deixa o país dependente das flutuações do dólar, gerando insegurança no abastecimento nacional (CONAB, 2021).

Diante desse cenário, a agricultura moderna necessita para intensificação, diversificação e especialização da produção, de tecnologias inovadoras específicas

para solos e plantas (Lal, 2000). O desenvolvimento e aplicação de um manejo sustentável dos solos implicarão na redução da dependência de fertilizantes solúveis e, no incremento de fontes alternativas de nutrientes, como as rochas fosfatadas e potássicas na agricultura (FAO, 1995).

A tecnologia de aplicação de pó de rocha (rochagem) é uma excelente alternativa, devido ao Brasil apresentar uma enorme geodiversidade e que, portanto, pode viabilizar o uso de diferentes tipos de rochas, em diferentes regiões, para alcançar níveis de fertilidade compatíveis com as necessidades regionais, dentro dos padrões da sustentabilidade (Theodoro, 2000). Sendo assim, objetivou-se avaliar o fornecimento de nutrientes do remineralizador granulítico no desenvolvimento e produção da cana-planta em sistema de plantio convencional.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ORIGEM, MORFOLOGIA E DESCRIÇÃO BOTÂNICA

A origem da cana-de-açúcar é bastante controversa, contudo, a maioria dos autores relata que o centro de origem ocorre entre as proximidades da Oceania, sendo que para Lopes (2011) e Heerdt (2008), destaca-se as regiões do sudeste asiático (Java e Sumatra), Austrália, Nova Guiné e suas proximidades, porém com o passar do tempo, foi se propagando para as outras regiões. Os chineses foram os responsáveis por difundir a cultura em Java e Filipinas, já os árabes disseminaram a cultura no norte da África, sul da Europa e nas margens do mar Mediterrâneo (Azevedo *et al*., 2020)

Devido à baixa produção da cultura na Europa, foi necessário cultivá-la em outros locais (Silva, 2012), onde em 1532, trazida por Martim Afonso de Souza, a cultura chegou ao Brasil. Os primeiros centros de produção foram implantados nos estados de São Paulo e Pernambuco, porém, a cana logo se espalhou pelo litoral brasileiro, levando o Brasil a compor a lista dos maiores produtores, em 1650 (Azevedo *et al*. 2020)

A cana-de-açúcar pertence à família Poaceae, e é classificada como uma planta C4, por formar inicialmente compostos orgânicos com quatro carbonos no processo fotossintético. Em virtude da sua anatomia foliar ela apresenta boa adaptabilidade para intensa luminosa, elevadas temperaturas e a baixa disponibilidade de água (Segato *et al*., 2006). A classificação botânica da espécie é de acordo com Cronquist (1981).

Tabela 1 - Classificação botânica.

Divisão	Magnoliophyta	**Família**	Poaceae
Classe	Liliopsida	**Tribo**	Andropogonae
Subclasse	Commilinidae	**Subtribo**	Saccharininae
Ordem	Cyperales	**Gênero**	Saccharum

Fonte: Cronquist (1981).

Existem cinco principais espécies de cana-de-açúcar que são cultivadas para a obtenção de sacarose, bioenergia e no melhoramento genético, são elas:

-*Saccharum officinarum*: É a principal espécie cultivada no Brasil, pois apresentam baixo teor de fibras e alto teor de sacarose, além de colmos com mais de 3cm de diâmetro e altura média de 3 a 4 metro, o que a torna ideal para a extração de sacarose.

-*Saccharum barberi*: tem como principal característica a precocidade e resistência ao frio, porém, apresenta alto teor de fibra e médio teor de sacarose.

-*Saccharum robustum*: apresenta alto crescimento dos colmos, podendo chegar até 10 metros, boa adaptabilidade a diversas condições ambientais, porém, baixo teor de sacarose.

-*Saccharum sinenses*: desenvolve colmos compridos e finos podendo atingir aproximadamente 5 metros de comprimento e 2 centímetros de diâmetro, favorecendo o acamamento, e apresenta alto teor de fibras.

-*Saccharum spontaneum*: é amplamente utilizada em programas de melhoramento, devido a sua rusticidade, resistência a pragas, doenças e a condições climática adversas, possui sistema radicular bem desenvolvido e alto perfilhamento, porém, os colmos são finos, curtos e com alto teor de fibras (Silva, 2012).

A cana se desenvolve em forma de touceiras e sua parte aérea é composta por colmos, folhas e inflorescências (panículas), já a parte subterrânea é formada por raízes e o rizoma. O sistema radicular é muito amplo e bem desenvolvido, do tipo fasciculado, podendo chegar até 4 metros de profundidade, o colmo é provido de nós e entrenós, o nó é onde se encontram as gemas e anéis de crescimento da planta (Beauclair; Scarpari, 2007; Vilar, 2021).

Os rizomas são formados por nós, entrenós e gemas, sendo essa estrutura a responsável pela propagação da planta, devido ao perfilhamento (Mozambani, 2006). O colmo tem função estrutural e acumula a sacarose. Sua principal característica é a divisão entre os entrenós. Tem formato cilíndrico e crescimento ereto (Thomaz *et al*., 2009). O nó é composto pela cicatriz foliar, gema, pela zona radicular e pelo anel de crescimento. A gema é a estrutura onde se origina novas plantas, a partir do seu tecido meristemático (Manhães *et al*., 2015).

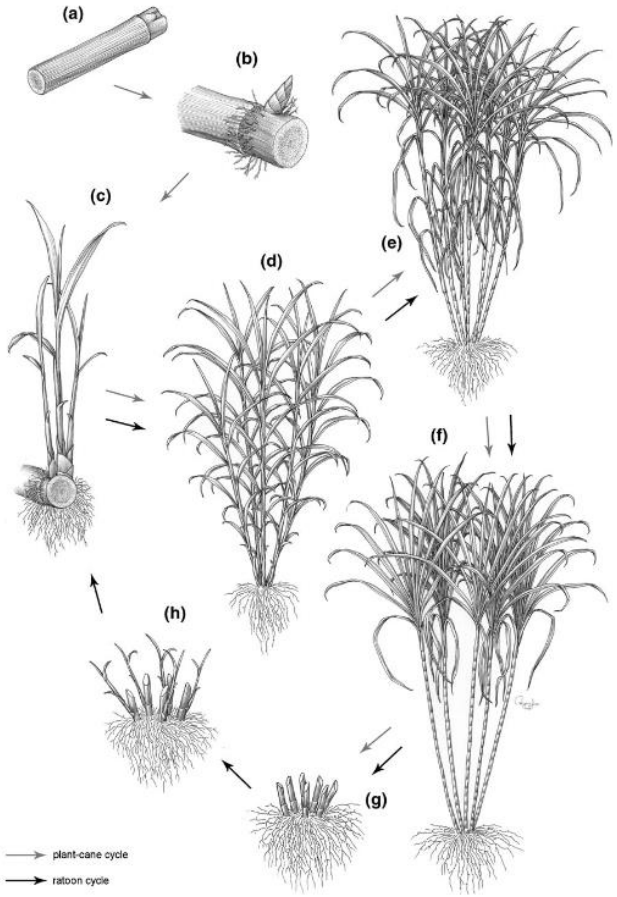
As folhas da cana-de-açúcar são dispostas de maneira alternada e oposta, fixando-se aos nós dos colmos, com uma folha por nó e apresentando uma coloração verde característica. Essas folhas podem ser divididas em duas partes: o limbo foliar,

que é a parte superior, e a bainha, que é a parte inferior (Lopes *et al*., 2018). O limbo foliar possui forma lanciolada, nervuras secundárias paralelas a nervura principal e bordas serrilhadas (Scarpari, 2019).

Conforme a análise de crescimento realizada por Marafon (2012), o ‘Sistema Juijpers’ estabelece que as folhas são organizadas de maneira hierárquica, de cima para baixo. A folha de inserção mais alta, completamente aberta e com a primeira aurícula visível, é designada como folha +1. As folhas abaixo dela são numeradas sucessivamente como +2, +3 e +4 (Figura 2). Essa numeração é crucial para a realização das análises de crescimento da planta, permitindo seguir os parâmetros morfológicos.

As fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar incluem: a germinação e brotação, que ocorrem até os 30 primeiros dias após o plantio (DAP); o perfilhamento, que se desenvolve normalmente entre 40 e 120 DAP; o crescimento de colmos, caracterizado pelo aumento sucessivo das folhas e a necessidade de grande luminosidade, que acontece aproximadamente entre 120 e 270 DAP; e, por fim, a fase de maturação, a mais longa, que pode durar até 6 meses, abrangendo de 270 a 360 DAP, momento em que ocorre o máximo acúmulo de sacarose (Duarte, 2020).

Figura 1 - Ciclo de desenvolvimento da cultura. (a) Colmos utilizadas no plantio; (b) Início da brotação e enraizamento; (c) Início do perfilhamento; (d) Perfilhamento intenso; e Início da maturação; (f) Colmos manufaturáveis; (g) Colheita; (h) Brotação da soca.



Fonte: Adaptado de Cheavegatti (2011).

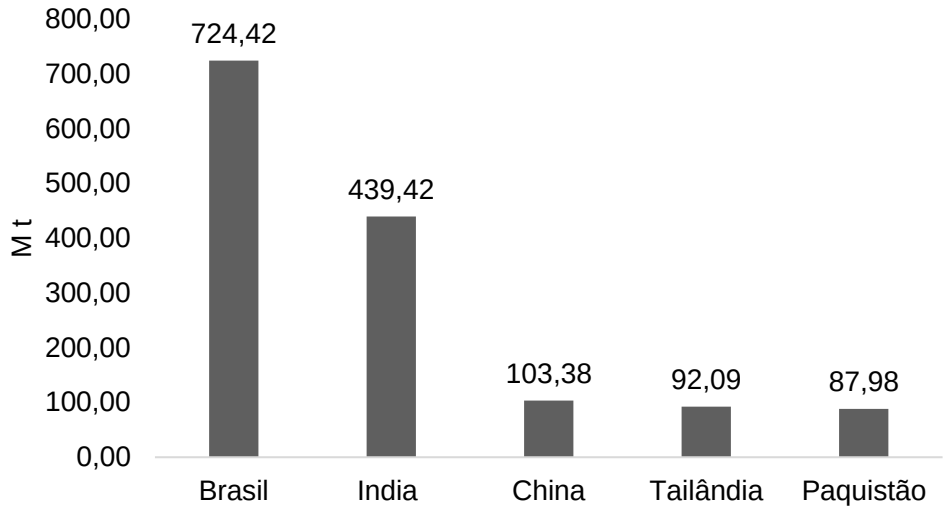
Em função da enorme extensão territorial do Brasil, existem diversas condições climáticas que interferem no ciclo da cana e propiciam duas épocas de colheita anualmente, que vai de setembro a abril no Norte e Nordeste e de maio a dezembro no Centro-Sul, correspondendo as épocas secas dessas regiões (Alfonsi *et al*., 1987). A colheita nessas épocas está associada com a maior concentração de açúcar e menor umidade nos colmos.

2.2 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

A produção mundial de cana-de-açúcar atingiu 1,922 bilhões de toneladas, cultivadas em aproximadamente 26 milhões de hectares. O Brasil lidera esse ranking,

com uma participação de 37,77% da produção global, seguido pela Índia, China, Tailândia e Paquistão (FAO, 2024).

Figura 2 - Os cinco maiores produtores de açúcar em 2022. M t – Milhões de toneladas.



Fonte: FAO (2024).

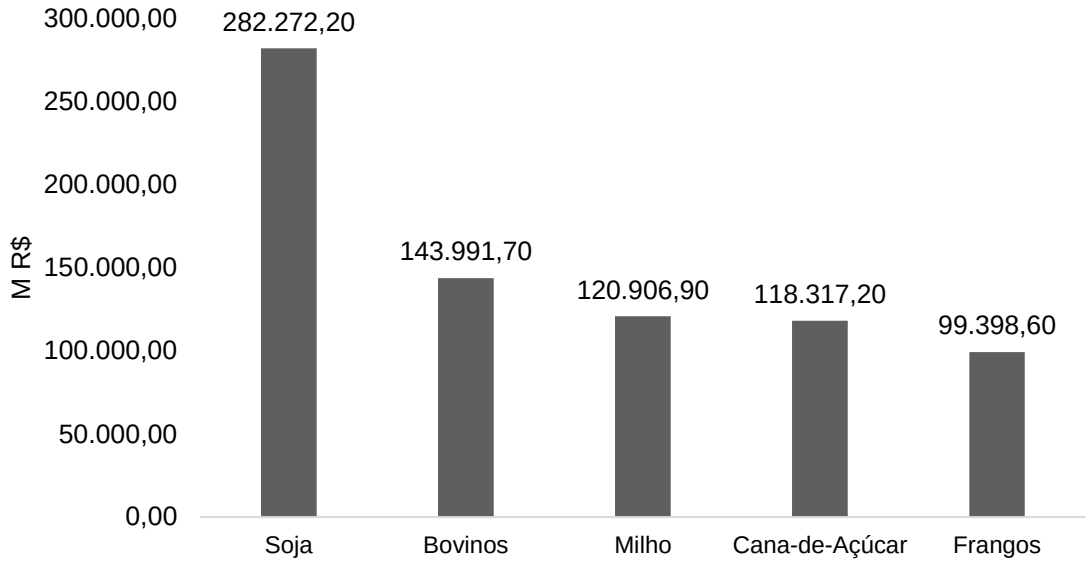
No quarto levantamento da safra 2023/2024, feito pela CONAB, a produção brasileira foi de 713.214,1 mil toneladas, representando um crescimento de 16,8% quando comparada aos dados da safra anterior. Apenas a região Sudeste é responsável por cerca de 65,5% da produção brasileira, devido ao estado de São Paulo, que produziu sozinho cerca de 383 milhões de toneladas, ser o maior produtor brasileiro (CONAB, 2024).

No Nordeste, a safra 23/24 teve uma queda de 0,7% em comparação com a anterior, produzindo cerca de 56.477,8 mil toneladas. A Paraíba contribuiu com 7.605,7 mil toneladas, sendo a terceira maior produção da região. Para isso, o estado alcançou uma produtividade média de 60,539 toneladas por hectare (t/ha), sendo está 29,26% menor que a média brasileira (85,580 t/ha), em uma área de 125,6 mil hectares (CONAB, 2024).

Esses valores contribuem para manter a cana entre os principais produtos agropecuários do país. Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA/Esalq/USP) e da Fundação Getúlio Vargas (FGV), que buscavam estimar o Valor Bruto da Produção Mostra a cana de açúcar na quarta

colocação entre os produtos agropecuários, perdendo apenas para a soja, bovinos e o milho, contribuindo com 118.317,2 milhões de reais (MAPA, 2024).

Figura 3 - Valor bruto da produção agropecuária em milhões de reais.



Fonte: MAPA, 2024.

No período entre janeiro e setembro de 2023, os derivados da cana, tiveram um papel significativo na balança comercial da Paraíba. Esses produtos representaram 16% do valor total exportado pelo estado nesse período, o que equivale a cerca de US$ 19.917.117,6. Além disso, o setor sucroenergético, que inclui tanto o açúcar quanto outros derivados da cana, foi responsável por 41% do volume total de exportações do estado. Esses dados indicam a importância do setor para a economia paraibana, tanto em termos de geração de receita quanto de participação no total das exportações do estado (SINDALCOOL, 2023).

2.3 ECOFISIOLOGIA

A precipitação, a temperatura, a umidade relativa e a insolação são fatores climáticos cruciais que afetam o comportamento fisiológico da cana-de-açúcar. Porém outros elementos podem influenciar o desenvolvimento dessa cultura, incluindo: fatores genéticos e fisiológicos (como genótipo, idade e sanidade das gemas); e fatores fito técnicos (relacionados ao manejo adotado durante o ciclo produtivo) (Manhães *et al*., 2015).

Sua fisiologia C4 possibilita alta capacidade fotossintética favorecendo seu crescimento em regiões mais quentes, porém, pode-se adaptar a diferentes variações de condições climáticas (Matsuoka, 1996; Thorburn *et al.*, 2003). A radiação solar influencia a fotossíntese favorecendo a produção de biomassa da cana-de-açúcar (Silva *et al*., 2014).

Embora seja adaptada a diferentes condições climáticas, a cultura apresenta algumas exigências. Em relação ao uso da água pela cana-de- açúcar, é fundamental identificar a necessidade hídrica durante os estádios do ciclo produtivo da cultura e, dessa forma, obter melhores produtividades (Wiedenfeld & Enciso, 2008), que pode variar entre 1500 e 2000mm (Doorenbos & Kassam, 1979). Nas principais regiões produtoras, o consumo hídrico diário da cultura altera a depender da variedade, do estádio de desenvolvimento, da evapotranspiração, dos meses do ano e da região; apresentando valores entre 2,0 e 6,0 mm dia^{-1} (Avilez *et al*, 2018).

A temperatura média é outro fator meteorológico que afeta o crescimento da cana-de-açúcar. Sendo o intervalo de 25° e 33°C considerado o ideal para o crescimento vegetativo, já temperaturas abaixo de 20°C são deletérias (Almeida *et al*, 2008). Já Morais (2015) utiliza valores médios anuais entre 19°C e 21°C como o limite ideal para o ciclo. Segundo Fauconier & Bassereau (1970) há uma elevação na atividade fotossintética nas condições de 23°C até 32°C sendo máxima a respiração da cultura nos pontos de 36 a 38°C. Embora exista algumas divergências, entre as faixas ideais de temperatura, a cana tende a cair de produção com a queda da temperatura.

Outro fator fundamental é a isolação que influencia o desenvolvimento vegetativo, devido a sua forte ligação com fotossíntese. Quanto maior a insolação, maior é a emissão de novos perfilhos (Santos, 1977). Magalhães (1987) relata que o auto sombreamento inibe o perfilhamento e estimula o crescimento do colmo principal. A insolação entre de 18 a 36 MJ m^{-2} dia^{-1}, é considerada ideal para o perfilhamento, assim como no crescimento dos colmos que aumentam em fotoperíodo de 10 a 14 horas dia^{-1} (Vianna, 2014). No geral, a radiação solar influencia a fotossíntese que favorece a produção de biomassa da cana-de-açúcar (Silva *et al*., 2014).

2.4 NUTRIÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR

O conhecimento da exigência nutricional é fundamental para o manejo da adubação, indicando a quantidade de nutrientes que deve ser fornecida a cultura (Coleti *et al*., 2006), porém, as exigências e a eficácia podem variar de acordo com diversos fatores, como à época de aplicação, idade do canavial, pluviosidade, modo de aplicação e comportamento do nutriente, tanto no solo quanto na planta (Duarte, 2020). Esse manejo é fundamental, uma vez que a maioria dos solos brasileiros apresenta sérias limitações de fertilidade (Malavolta, 1980), juntamente com outras práticas como a calagem, rochagem e adubação verde. Associado a isso deve-se conhecer a disponibilidade de nutrientes do solo, para uma boa recomendação de adubação

Em estudo realizado por Oliveira (2010), onde comparava a exigência nutricional de 11 variedades de cana-de-açúcar durante o ciclo da cana-planta, encontrou valores de 179, 25, 325, 226 e 87 kg ha^{-1} de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente, o que proporcionou a seguinte ordem decrescente de extração: K > Ca > N > Mg > P. Já Franco *et al*. (2007) mostrou que o acúmulo de nutrientes na parte aérea da variedade SP81-3250 na colheita de cana-planta apresentou a seguinte ordem decrescente: K > N > Ca > S > Mg > P. Para cana-soca, Moura Filho (2006) verificou que a extração total média por tonelada de colmo em três variedades de cana-de-açúcar foi de 0.83 kg, 0,20 kg, 1,08 kg, 0,24 Kg, 0.24 kg de N, P, K, Ca e Mg respectivamente, seguindo a ordem de K > N > Ca > Mg > P. A mesma ordem também foi observada em cana-soca por Orlando Filho, (1980). Dessa forma, percebesse que o potássio é o elemento exigido em maior quantidade, tanto em cana-planta quanto na socaria, porém os demais podem variar a depender da variedade e condições ambientais.

Outro fator que está intimamente ligado com o fornecimento de nutrientes às plantas, é o pH, pois o mesmo interfere na dinâmica disponibilidade de nutrientes no solo. A cana é tolerante a um grande intervalo de pH, podendo se desenvolver em condições acidas e alcalinas, com pH entre 4 e 8,5, porém o valor ideal seria próximo a 6,5 (Marin, 2019).

2.5 FERTILIZANTES × MERCADO CONSUMIDOR INTERNO

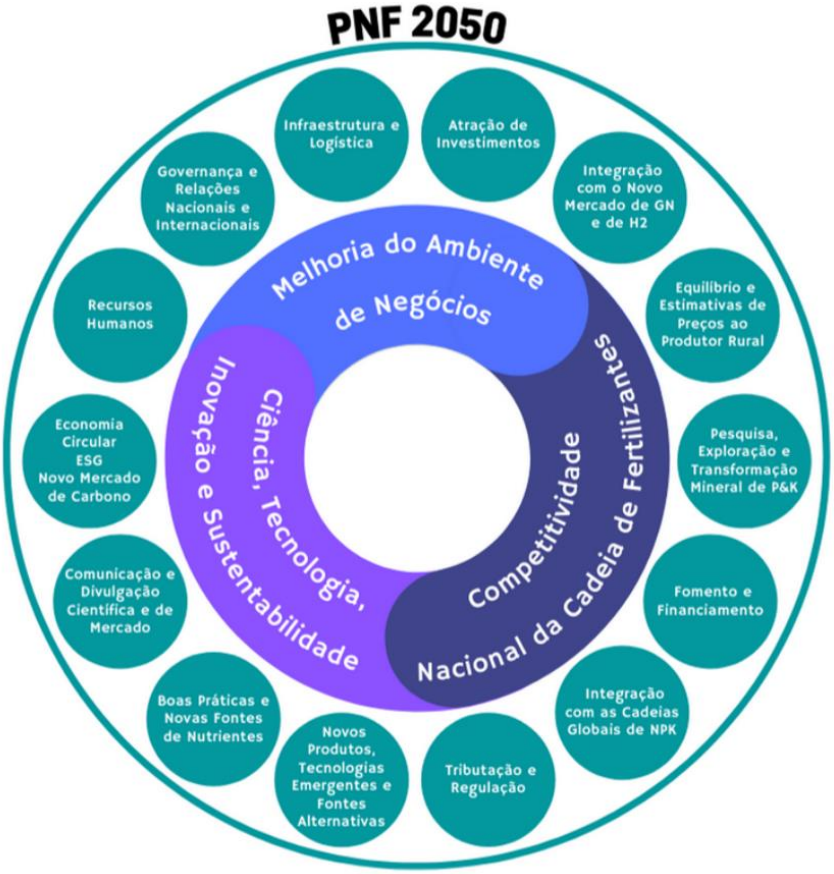
O uso de fertilizantes na agricultura vem contribuindo para garantir a produtividade de diferentes lavouras no Brasil e no mundo. Porém, existe discussões a respeito das fontes alternativas de nutrientes, principalmente o P_2O_5 e K_2O, devido a restrição das fontes primárias desses elementos (MAPA 2022). Ademais, mudanças no perfil de consumo da população, questões ambientais emergentes e a necessidade de maior eficiência dos sistemas de produção têm levado o setor agrícola a uma movimentação no sentido da sustentabilidade, em sintonia com o conceito de Environmental, Social and Governance (ESG).

Estima-se que no mundo, exista aproximadamente 816 milhões de pessoas em situação de insegurança alimentar, de forma que quase uma sexta parte ainda não consegue se alimentar de forma digna (Assis *et al*., 2013). Segundo o art 3° da lei n° 11.346/2006, que criou o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (SISAN), a segurança alimentar e nutricional consiste na realização do direito de todos ao acesso regular e permanente a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente, sem comprometer o acesso a outras necessidades essenciais, tendo como base práticas alimentares promotoras de saúde que respeitem a diversidade cultural e que sejam ambiental, cultural, econômica e socialmente sustentáveis. Já o art 5º, a consecução do direito humano à alimentação adequada e da segurança alimentar e nutricional requer o respeito à soberania, que confere aos países a primazia de suas decisões sobre a produção e o consumo de alimentos.

A segurança alimentar brasileira pode estar em risco devido a dependência a importação de fertilizantes solúveis, que ainda é a base do sistema agrícola do país. Estimasse que cerca de 85% dos fertilizantes solúveis utilizados na produção agrícola brasileira são importados (MAPA, 2022) No caso das fontes de potássio, essa dependência alcança cerca de 96% do volume consumido. Devido a Rússia, Estados Unidos, China e Canada serem os principais fornecedores, temos alta instabilidade dos preços, que está relacionado com fretes, variação do dólar, sanções, acordos econômicos e conflitos sociais.

Em resposta a esse cenário o foi instituído o Grupo de Trabalho Interminiserial com a finalidade de desenvolver o Plano Nacional de Fertilizantes (PNF), que tem o objetivo de fomentar políticas de incremento da competitividade da produção e distribuição de fertilizantes no brasil, baseado no conceito de ESG. Esse grupo foi estabelecido a partir do Decreto n° 10.605, de 22 de janeiro de 2021. Na construção do plano foi instituída algumas diretrizes norteadoras disposta na figura 4.

Figura 4 - Diretrizes norteadoras do Plano Nacional de Fertilizantes (PNF).



Fonte: MAPA, 2022.

Diante dos problemas econômicos e sociais que a problemática ocasiona, se faz necessário uma análise multidisciplinar dos aspectos que influenciam no uso, compra e comercialização de fertilizantes. Em paralelo, uma das diretrizes do PNF é, estimular a pesquisa sobre novos produtos, tecnologias e fontes alternativas de fertilizantes. Uma das linhas de pesquisa que vem ganhando espaço na comunidade científica é o uso de diferentes rochas como fonte de nutrientes alternativa aos fertilizantes solúveis.

2.6 ROCHAGEM

A “Rochagem” é considerada uma prática agrícola baseada na incorporação de rochas moídas em partículas finas ao solo (Leonardos, *et. al*., 1976). Também pode ser considerada um tipo de remineralização, onde o insumo é utilizado para rejuvenescer solos pobres ou lixiviados, com a adição de minerais primários.

Fundamentando-se na combinação entre, conservação dos recursos naturais e produtividade sustentável (Theodoro, 2000).

A tecnologia chegou ao Brasil na década de 1950, trazidas pelos pesquisadores Josué Guimarães e Vlademir Ilchenko, ao estado de Minas Gerais. Em seguida o professor Othon Leonardos, da Universidade de Brasília (UNB), iniciou diversas pesquisas relacionadas ao tema, sendo hoje considerado um grande precursor da prática e referência para este e diversos outros trabalhos. O seu objetivo é testar diferentes tipos de rochas, incorporando uma visão social e ambiental dos aspectos mineralógicos e agronômicos da pesquisa (Cola *et al*, 2012).

O uso das rochas na reposição de nutrientes e recuperação do solo, pode ser uma alternativa capaz de auxiliar na redução do uso de químicos, principalmente os altamente solúveis, como é o caso dos adubos NPK (Theodoro, 2000). A alta solubilidade, também, pode se mostrar inapropriada para alguns sistemas produtivos, visto que, os nutrientes, comumente são lixiviados devido à características químicas e físicas do solo. Em regiões tropicais, como o Brasil, as condições de intemperismo formam solos com baixa capacidade de trocas catiônicas (CTC), que favorece a lixiviação, principalmente do potássio (Cola *et al*, 2012). Dessa forma, a liberação gradual se mostra uma característica favorável a ser explorada nos remineralizadores de solo.

Do ponto de vista legislativo, remineralizador é um “material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo” (MAPA, 2013).

Esse conceito foi incluído pela Lei nº 12.890/2013, que atualizou a Lei nº 6.894/1980, que regula a inspeção e fiscalização da produção e comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes, biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura.

Para a comercialização desse material é necessário a adequação do mesmo em alguns critérios que visam garantir a idoneidade dos remineralizadores que são destinados a produção agrícola. Esses padrões são estabelecidos pela Instrução Normativa N° 5, de 10 de março de 2016, emitida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Nesse documento são delimitadas as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro,

embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores, que são classificados na Classe “E”: produto que utiliza, em sua produção, exclusivamente matéria-prima de origem mineral ou sintética, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

Os remineralizadores devem atender a especificações e garantias mínimas, incluindo requisitos físicos conforme o quadro 1 adaptada da IN n° 5, e químicos: Soma de bases (CaO, MgO, K_2O) igual ou superior a 9% em peso, teor de óxido de potássio (K2O) de pelo menos 1% em peso, potencial hidrogeniônico (pH) conforme declarado pelo próprio registrante. O teor do macronutriente fósforo e de micronutrientes que podem ser declarados estão dispostos no quadro 2. Além disso, não serão registrados no MAPA produtos que tenham mais de 25% de SiO2 livre ou que excedam os limites de elementos potencialmente tóxicos, como arsênio (15 ppm), cádmio (10 ppm), mercúrio (0,1 ppm) e chumbo (200 ppm) (MAPA, 2016).

Quadro 1 - Especificações de Natureza Física dos remineralizadores.

Natureza Física	Garantia Granulométrica	
	Peneira	Partículas Passantes (peso/peso)
Filler	0,3 mm (ABNT nº 50)	100%
Pó	2,0 mm (ABNT nº 10)	100%
	0,84 mm (ABNT nº 20)	70% mínimo
	0,3 mm (ABNT nº 50)	50% mínimo
Farelado	4,8 mm (ABNT nº 4)	100%
	2,8 mm (ABNT nº 7)	80% mínimo
	0,84 mm (ABNT nº 20)	25% máximo

Fonte: Instrução Normativa N°5 de 2016, MAPA.

Quadro 2 - Teores mínimos do macronutriente fósforo e de micronutrientes que podem ser declarados nos remineralizadores.

Nutriente	Teor total mínimo (% em peso/peso)
Fósforo (P_2O_5)	1
Boro (B)	0,03
Cloro (Cl)	0,1
Cobalto (Co)	0,005
Cobre (Cu)	0,05
Ferro (Fe)	0,1
Manganês (Mn)	0,1
Molibdênio (Mo)	0,005
Níquel (Ni)	0,005
Selênio (Se)	0,03
Silício (Si)	0,05
Zinco (Zn)	0,1

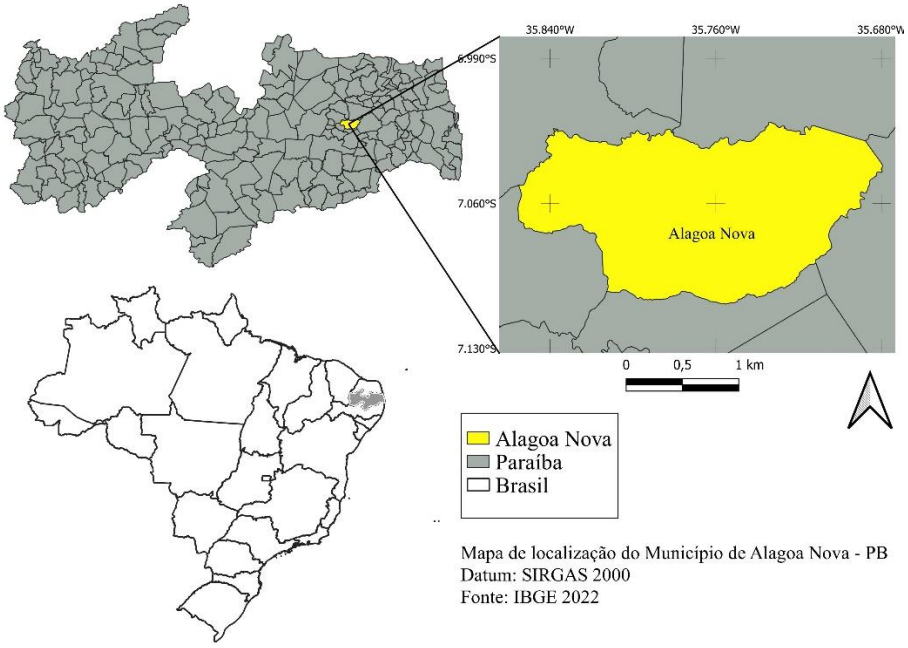
Fonte: Instrução Normativa N°5 de 2016, MAPA.

3. METODOLOGIA

3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O trabalho foi conduzido no Engenho Santa Vitória, que fica localizado na cidade Alagoa Nova-PB, na Microrregião do Brejo Paraibano. A área experimental está entre a Latitude -7.0369580 e Longitude -35.7369364, com uma altura de 464,29 m em relação ao nível do mar Figura 5.

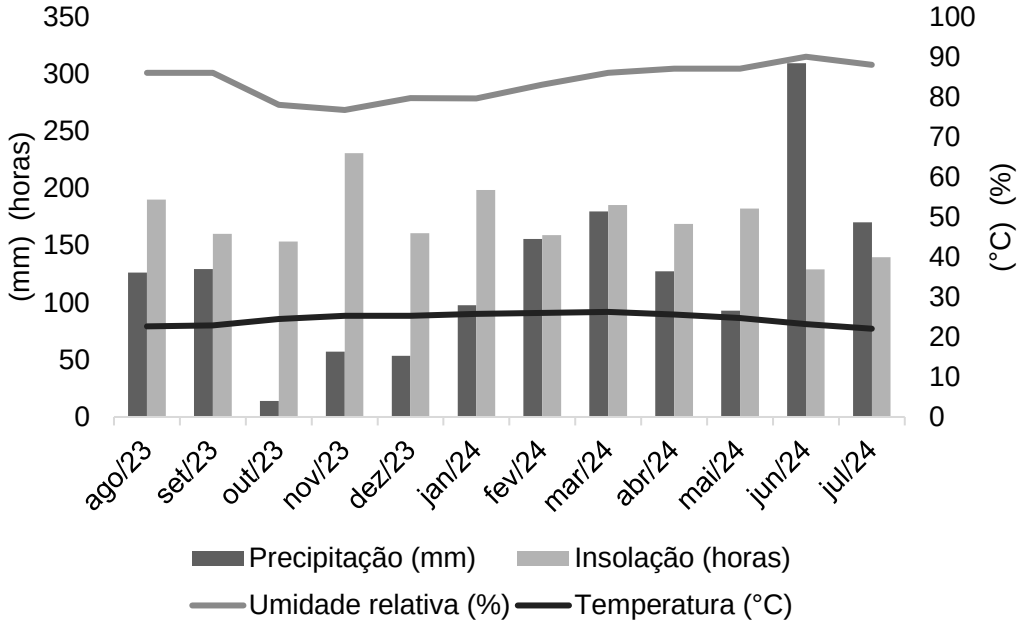
Figura 5 - Mapa de localização do município de Alagoa Nova - PB.



Fonte: IBGE 2022

De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo “As”, caracterizado como quente e úmido, com precipitação média anual de 1.200 mm, com maiores volumes observados entre março a agosto e temperatura média anual de 23° C (Alvares *et al*. 2013), o solo predominante na região é o Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico (Embrapa, 2018).

Figura 6 - Condições climáticas durante a condução do experimento.



Fonte: Estação Meteorológica Automática de Areia, PB, Brasil.

3.2 DELINEAMENTO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), com cinco tratamentos e quatro repetições, resultando em um total de 20 parcelas. Cada parcela possui uma área de 30m^2, compostas por quatro sulcos com um espaçamento de 1,5m x 6m de comprimento. A área útil total do experimento é de 600m^2. Para a implantação do experimento a área foi renovada, após sucessivos ciclos de cana-soca**.** Os sulcos foram abertos de forma mecanizada, a uma profundidade de 60cm, e o plantio de forma manual, usando o sistema convencional de cana-planta. O remineralizador foi aplicado no fundo de sulco, utilizando as dosagens 0 (T0), 1 (T1), 2 (T2), 3 (T3) e 4 t ha^{-1} (T4), indicada pelo fornecedor. O croqui da área e a disposição dos tratamentos, com as dosagens do produto, podem ser visualizadas no quadro 3.

Quadro 3 - Distribuição dos tratamentos de pó-de-rocha granulítica.

BLOCO 1	T2	T3	T4	T0	T1
BLOCO 2	T1	T0	T3	T4	T2
BLOCO 3	T2	T3	T4	T1	T0
BLOCO 4	T0	T1	T3	T4	T2

Fonte: Autor.

3.3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO REMINERALIZADOR

O produto utilizado foi o remineralizador “Vulcano Agrominerais”, registrado no Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) sob o número BA 000741-2.000001. Segundo o fabricante o material deriva de rochas granulíticas que possuem características típicas de rochas silicáticas. Os teores de K_2O, CaO, MgO, SiO_2, Fe_2O_3, P_2O_5, MnO e o pH de abrasão são apresentados na tabela 3. Vale destacar o teor de potássio 3 vezes maior que o mínimo exigido pela Instrução Normativa 5/2016 do MAPA.

Tabela 2 - Características químicas do remineralizador.

Soma de Bases	K_2O	CaO	MgO	SiO_2	Fe_2O_3	P_2O_5	MnO	pH
10,0%	2,8%	4,2%	3,0%	60,4%	7,5%	0,2%	0,1%	8,0

Fonte: Vulcano Agrominerais.

3.4 VARIÁVEIS ANALISADAS

Foi realizada 3 avaliações durante o ciclo da cultura, sendo a 1° avaliação aos 120 dias após o plantio (DAP), a 2° aos 210 DAP e a 3° avaliação aos 300 DAP, em 5 plantas marcadas na parcela experimental, na qual foi mensurado a altura da planta (AP) da base até a lígula da folha +1 com um auxílio de uma trena (m). O diâmetro do colmo (DC) foi mensurado usando o paquímetro com base na medição da altura média dos colmos de 5/plantas por parcela (mm), além do número de plantas por metro linear

(NPML), que é obtido a partir da contagem de todas as plantas dentro de um metro linear, nas duas linhas centrais e realizada a média, o número de entrenós (NE), a partir da segunda avaliação, sendo contado cada entrenó da base até o início do palmito.

3.4.1 Teor de sólidos solúveis

A estimativa foi realizada, no momento da colheita, a partir da utilização de um refratômetro de campo. Para tanto foram colhidas, de forma aleatória, cinco plantas de cada parcela para extração do caldo em dois pontos, da parte basal e apical. Em seguida, foi realizada a leitura no aparelho para posterior cálculo de média. O índice de maturação foi obtido a partir da divisão do °B da base da planta pelo °B do ápice do colmo. O índice de maturação quando < 0,60 a cana encontra-se Verde; 0,60 < IM < 0,85 ainda está amadurecendo; 0,85 < IM < 1,00 já se encontra madura, e quando > 1,00 em declínio da sacarose (CALDAS, 2012).

3.4.2 Produção

A produtividade da cana-de-açúcar expressa em tonelada de cana por hectare (TCH) foi determinada com o auxílio de uma balança industrial no momento da colheita. Foram pesadas plantas da área útil das parcelas e os valores, adquiridos em quilogramas (kg), posteriormente aplicados na equação 1 descrita abaixo, seguindo a metodologia determinada por Mariotti e Lascano (1969) citada por Arizono *et al*., (1998).

Equação1:

$$TCH = \frac{MTP}{AUP} * 100$$

Onde: TCH é tonelada de cana por hectare; MTP é a massa total da parcela (kg); AUP é a área útil da parcela (m2).

3.4.3 Análises de potássio (K^+) e magnésio (Mg^{2+}) do solo

Foram coletadas 4 amostras simples de solo (0,0 a 0,2m) nas linhas de plantio em cada parcela, formando uma amostra composta por parcela. O K^+ foi extraído com

Mehlich-1 e determinado por fotometria de chama. O Mg^{2+} foi extraído com KCl (1 mol L^{-1}) e determinado por complexometria com EDTA (Teixeira *et al*. 2017).

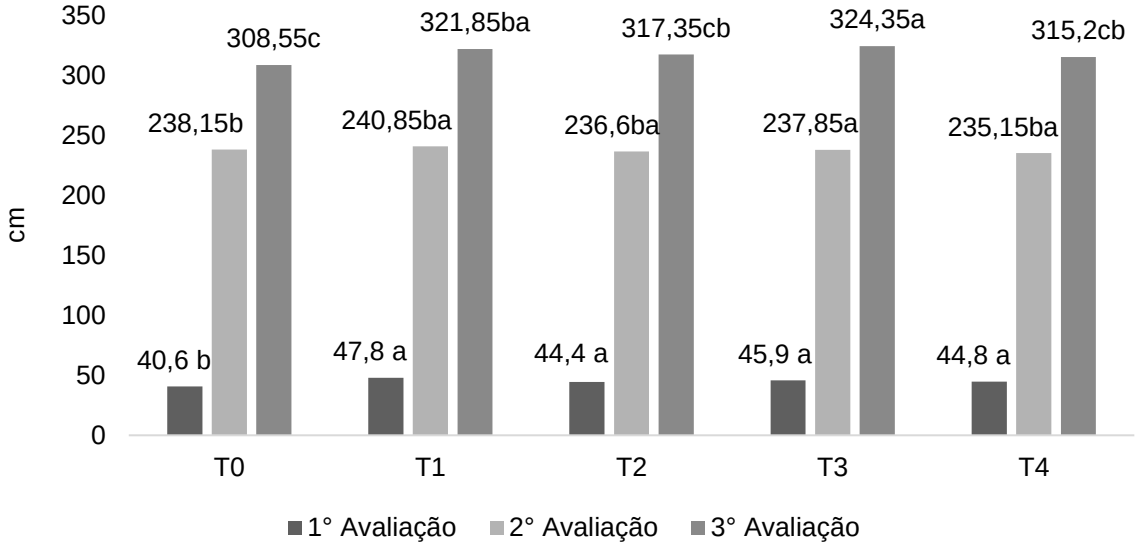
Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey (≤0.05). As análises foram realizadas pelo software estatístico Sisvar® versão 5.8.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira avaliação, aos 120 dias após o plantio (DAP), podemos notar que os tratamentos (T1), (T2), (T3) e (T4) se apresentaram superiores a testemunha, tratamento T0. Os resultados obtidos para a variável de altura de planta foram maiores em todos os tratamentos com aplicação do pó de rocha, porém, não diferiram entre si ($p > 0,05$). Dessa forma, a influência do pó de rocha nos primeiros 120 dias não diferiu entre as dosagens utilizadas (Figura 7).

Já na segunda avaliação, aos 210 DAP, o resultado de T3 (249,7 cm), foi o único a diferir significativamente ($p < 0,05$) da testemunha com um aumento de 8% na altura média das plantas. Aos 300 DAP, terceira avaliação, o tratamento T3 foi significativamente mais elevado (334,5 cm), diferindo de todos os tratamentos. Os tratamentos T4, T2 e T0 foram os que obtiveram a menor altura de planta (310,8 cm).

Figura 7 - Teste de médias da altura das plantas em diferentes estádios de desenvolvimento. Médias seguidas de letras diferentes, diferem estatisticamente pelo teste Tukey (P>0,05). T0- 0 t ha-1; T1 - 1 t ha-1; T2 – 2 t ha-1, T3 – 3 t ha-1 e T4 - 4 t ha-1.



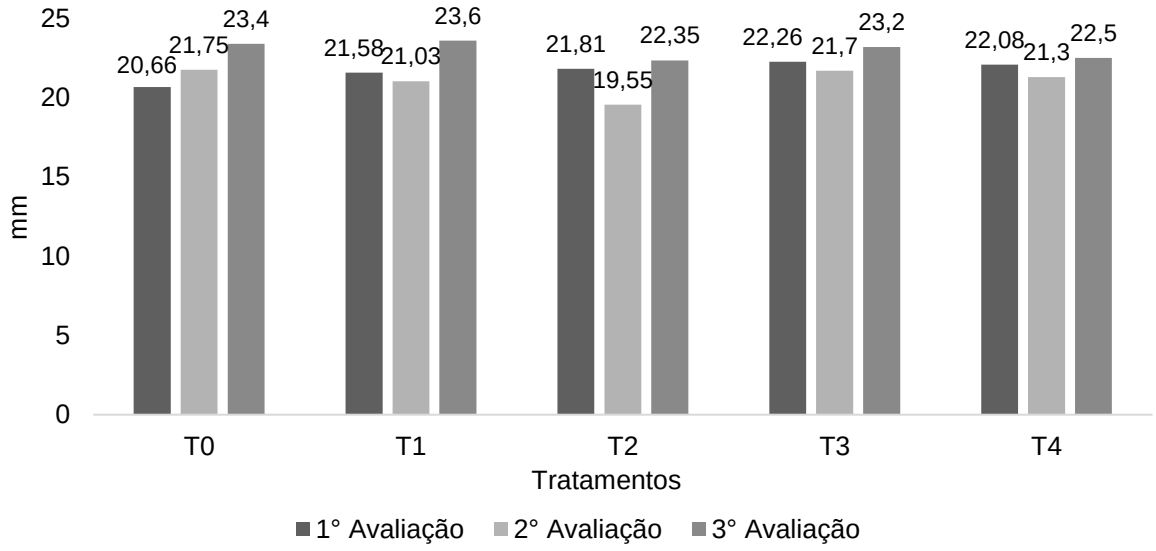
Fonte: Autor.

Seguindo a mesma tendência, Silva *et al*., (2013) encontrou diferença significativa nos tratamentos com uso de pó de rocha apenas quando comparado com a testemunha. Porém não houve significância entre as dosagens utilizadas. Já em

estudo realizado por Perozini *et al*., (2019), utilizando doses crescentes do condicionador pó de rocha de origem “basalto gabro”, não foi observado diferença estatística, em nenhum dos 11 tratamentos que variaram entre 0,0 t ha^{-1} a 30,0 t ha-1. O mesmo foi observado por Corrêa (2022), que não obteve diferença significativa em nenhuma das 4 doses utilizadas 0,5, 1, 1,5 e 2 t ha^{-1}, respectivamente. O que pode ter relação com a lenta taxa de solubilidade dos minerais no solo, o que leva a um efeito prolongado, porém, demorado.

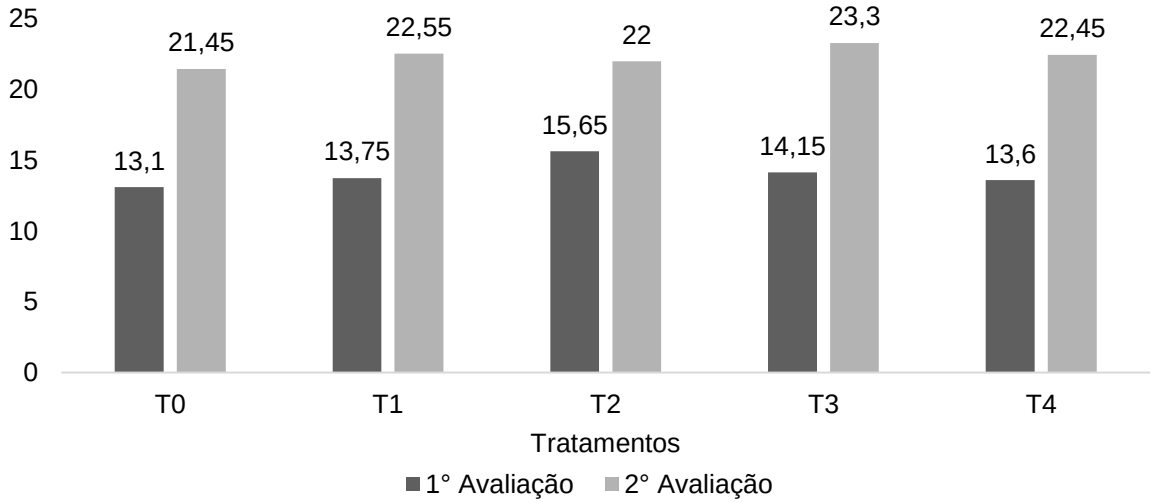
As variáveis diâmetro médio dos colmos (Figura 8) e o número médio de entrenós (Figura 9), não obtiveram diferença significativa, a 5% de probabilidade do teste Tukey. Essas características mostram-se pouco responsivas à aplicação de pó de rocha, pois o principal fator responsável pelo DC e o NE é o genótipo, que nesse caso foi a variedade CTC 14. Em estudos realizados por Tarumoto *et al*., (2016), utilizando 4 t ha^{-1} de pó de rocha ígnea, em duas áreas experimentais, com cana em segunda soca, não foi observada interação entre a aplicação de remineralizador e a características DC e NME. Já Perozini *et al*. (2019), observou diferença estatística entre os tratamentos utilizados.

Figura 8. Teste de médias do diâmetro de colmos em diferentes estádios de desenvolvimento. Médias seguidas de letras diferentes, diferem estatisticamente pelo teste Tukey (P>0,05). T0- 0 t ha-1; T1 - 1 t ha-1; T2 – 2 t ha-1, T3 – 3 t ha-1 e T4 - 4 t ha-1.



Fonte: Autor.

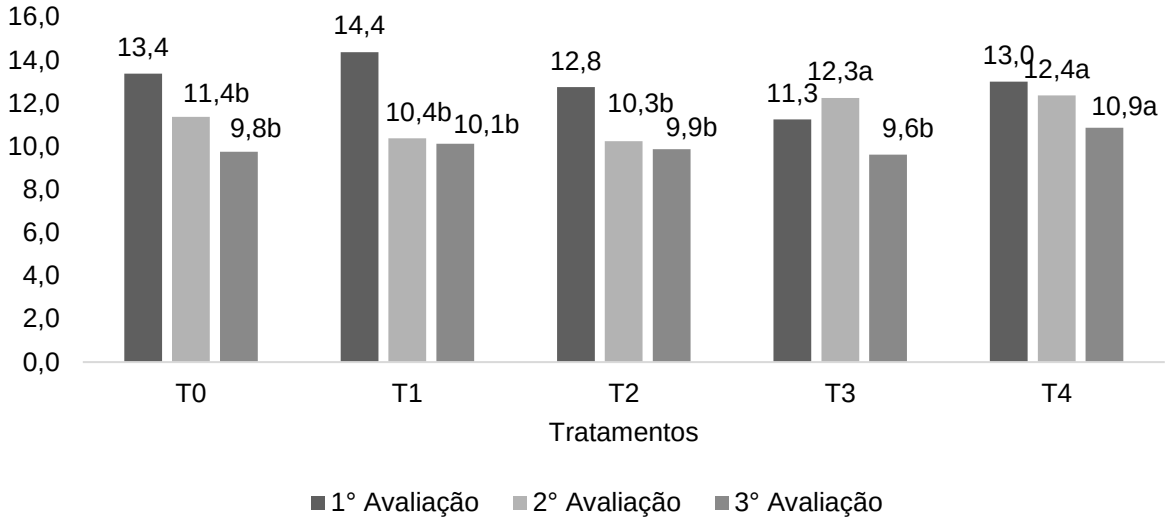
Figura 9 - Teste de médias do número de entrenós em diferentes estádios de desenvolvimento. Médias seguidas de letras diferentes, diferem estatisticamente pelo teste Tukey (P>0,05). T0- 0 t ha-1; T1 - 1 t ha-1; T2 – 2 t ha-1, T3 – 3 t ha-1 e T4 - 4 t ha-1.



Fonte: Autor.

Na primeira avaliação do número de plantas por metro linear, não foi notada diferença estatística entre os tratamentos. Já na segunda avaliação obtivemos diferença estatistica, onde o T3 e T4 foram os tratamentos com o melhor resultado, 14 e 13,2 (NPML) respectivamente, diferindo estatistica mente dos demais tratamentos. Na terceira avaliação apenas o tratamento T4 diferiu estatisticamente, com 12,3 plantas por metro, (Figura 10).

Figura 10. Teste de médias do número de plantas por metro linear em diferentes estádios de desenvolvimento. Médias seguidas de letras diferentes, diferem estatisticamente pelo teste Tukey (P>0,05). T0- 0 t ha-1; T1 - 1 t ha-1; T2 – 2 t ha-1, T3 – 3 t ha-1 e T4 - 4 t ha-1.



Fonte: Autor.

Estima-se que o perfilhamento máximo em cana planta ocorra até os 120 DAP, seguido de crescimento vegetativo até 300 DAP (Moura Filho, 2006). Christoffoleti (1986) relata que plantas que foram deixadas em casa de vegetação, com baixa luminosidade, apresentaram perfilhos mortos, o que não ocorreu quando a mesma variedade foi plantada em ambiente com luminosidade maior. Além disso, Machado (1987) comenta que a mortalidade dos colmos coincide com o período em que o índice de área foliar (IAF) aumenta rapidamente, sugerindo que, além da competição por água e nutrientes, o sombreamento é um dos fatores mais importantes na determinação deste comportamento.

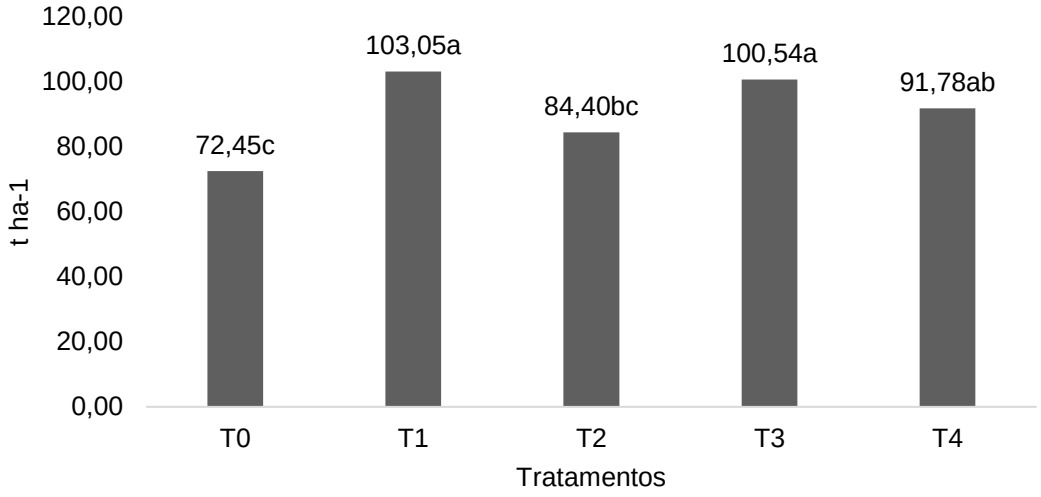
Portanto o decrescimo do numero de perfilhos no decorrer das avaliações pode ter relação com os fatores mencionados. Porém, nas avaliações de 210 DAP e 300 DAP verificou diferença significativa positiva nos tratamentos com maiores dosagens de pó de rocha, o que sugere uma maior resiliência da cana aos fatores estressores, fazendo com que mais plantas chegassem ao final do ciclo.

Para a variável de tonelada de canas por hectare (TCH) os resultados obtidos no experimento demonstram claramente a eficácia dos tratamentos em relação à produção de cana-de-açúcar, tendo a testemunha (72,45 t/ha), o resultado de menor significância para TCH. Os tratamentos T1 (103,05 t/ha) e T3 (100,54 t/ha) destacam-

se por apresentarem aumentos significativos na produção em relação à testemunha, evidenciando sua excelente eficácia. O tratamento T4 (91,78 t/ha) também apresenta uma melhoria considerável em relação a testemunha, embora não tenha atingido os níveis de T1 e T3. Por outro lado, T2 (84,40 t/ha), apesar de ser superior a T0, não alcançou o desempenho de T4, mostrando que, a eficiência desse tratamento é menor em comparação aos outros tratamentos com aplicação de doses de remineralizadores.

A diferença entre o tratamento de maior significância (T1) e o de menor significância estatística (T0) foi de 30,6 toneladas por hectare o que é extremamente atrativo para o sistema produtivo do engenho, esse ganho representa um acréscimo de 42,23% do volume produzido no sistema atual do engenho. Apesar dos tratamentos com uso do pó de rocha apresentar resultados superiores à testemunha, a dinâmica de ganho de produtividade não apresenta uma correlação direta com à crescente de dosagens aplicadas, indicando que outros fatores estão envolvidos na interação entre o material e a planta.

Figura 11 - Teste de médias das toneladas de cana por hectare. Médias seguidas de letras diferentes, diferem estatisticamente pelo teste Tukey (P>0,05). T0- 0 t ha-1; T1 - 1 t ha-1; T2 – 2 t ha-1, T3 – 3 t ha-1 e T4 - 4 t ha-1.



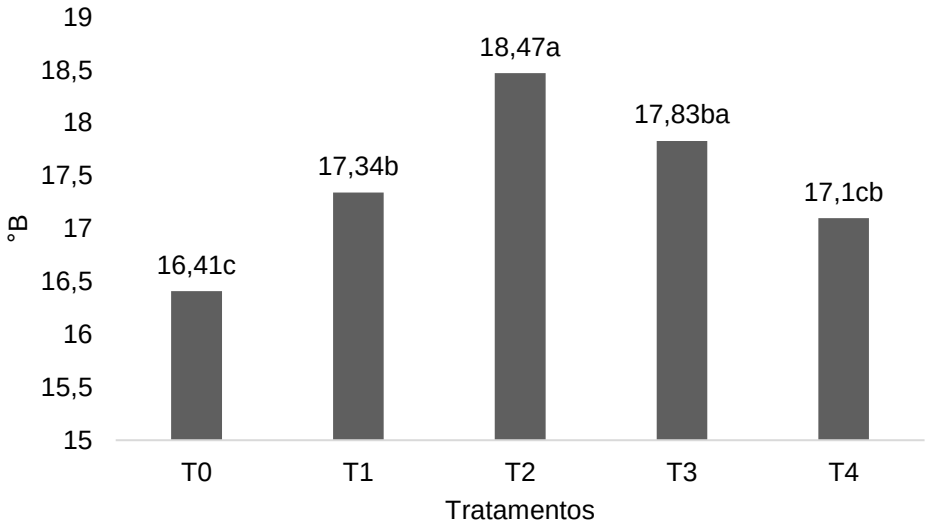
Fonte: Autor.

Em pesquisa realizada por Silva *et al*., (2013), usando rejeito de mineração com 3% de K_2O, o melhor resultado foi obtido com a dosagem de 120kg ha^{-1} de K_2O, que corresponde a 4 toneladas do pó de rocha por hectare, chegando a produzir 107 t ha^{-}

^{1} no ciclo de cana-planta e 127 t ha^{-1} na cana-soca. A produtividade é uma característica sujeita à interferência de diferentes fatores, porém, observando apenas a influência do pó de rocha na produção, notamos uma expressiva vantagem do material granulítico utilizado nesta pesquisa, visto que o mesmo chegou a uma produtividade de 103,05 t ha^{-1} com apenas 28 kg ha^{-1} de K_2O, correspondente a dosagem de 1 t ha^{-1} (T1). A economia de 3 t ha^{-1} é extremamente vantajosa no processo produtivo, pois reflete em menor carga sobre os implementos, maior rendimento operacional e menores custos de produção.

Os resultados dos tratamentos em termos de °B mostram que o T2 apresentou teores significativamente maiores de sólidos solúveis ($p < 0,05$), indicando maior concentração de sólidos solúveis, apresentando o maior valor (18,47), indicando uma maior concentração de sólidos solúveis. O T0, por outro lado, teve o menor valor (16,41). Os tratamentos T1 (17,34) e T3 (17,83) estão em níveis intermediários, com T3 ligeiramente acima, enquanto T4 (17,1) se aproxima de T1, porém estatisticamente não difere de T0 (Figura 12).

Figura 12 - Teste de médias do teor de sólidos solúveis. Médias seguidas de letras diferentes, diferem estatisticamente pelo teste Tukey (P>0,05). T0- 0 t ha-1; T1 - 1 t ha-1; T2 – 2 t ha-1, T3 – 3 t ha-1 e T4 - 4 t ha-1.



Fonte: Autor.

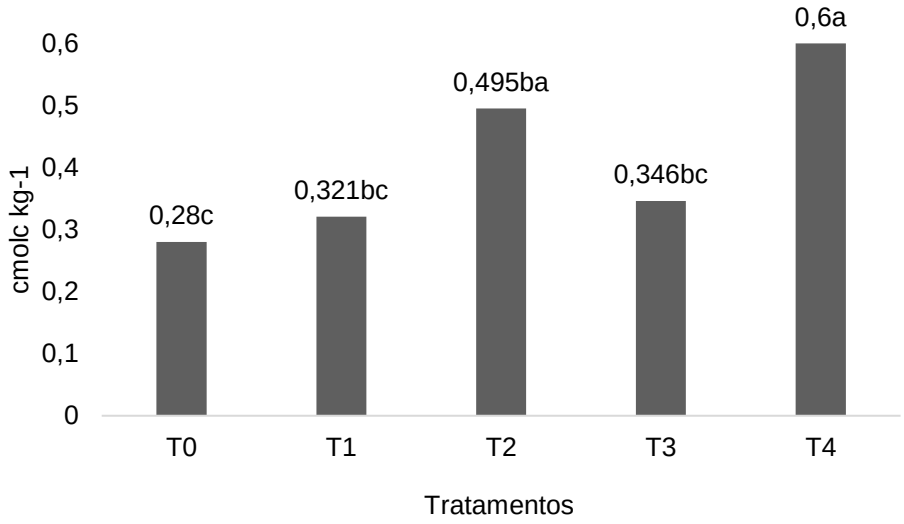
Um fator crucial para o acúmulo de açúcares no colmo é a adequada nutrição da planta, pois a maturação, como é chamado esse processo, ocorre a partir da

translocação de foto assimilados para os órgãos de reserva (Colmos), durante todo o ciclo a planta acumula açucares, porém, o pico de armazenamento é induzido em períodos em que a cana está sujeita a estresses ambientais que cessam o crescimento vegetativo e, estimulam a maturação fisiológica (Fugalli *et al*., 2023).

Um dos nutrientes de maior impacto nesse processo é o potássio pois está envolvido em diferentes processos fisiológicos, como o controle da abertura de estômatos transporte de substâncias e a fotossíntese. Em estudo realizado por Oliveira *et al*., (2011) observou-se que o potássio favoreceu a síntese, o acúmulo e a translocação da sacarose, aumentando a qualidade do caldo de diferentes variedades utilizadas. Verificou-se ainda que a variação do °B foi influenciada diretamente pelos diferentes níveis de potássio, uma vez que estava mais disponível para a planta e participa de diversas funções indispensáveis na cana-de-açúcar.

A análise dos dados de potássio (K) revela variações significativas na disponibilidade desse nutriente. O tratamento T0, com 0,28 cmolc kg^{-1}, apresenta a menor concentração e é significativamente inferior aos demais, sugerindo que plantas sob esse tratamento podem enfrentar limitações nutricionais. Já o T1 (0,321 cmolc kg^{-1}) e T3 (0,346 cmolc kg^{-1}) mostram níveis intermediários de potássio, sem diferenças significativas entre si. O tratamento T2 (0,495 cmolc kg^{-1}), indica um aumento significativo em relação a T0 e T1, sugerindo uma melhor condição nutricional que pode favorecer o desenvolvimento da planta. Por fim, T4, com 0,6 cmolc kg^{-1}, é o tratamento com a maior concentração de potássio, demonstrando que a maior dosagem de pó de rocha resultou na maior disponibilidade no solo (Figura 13).

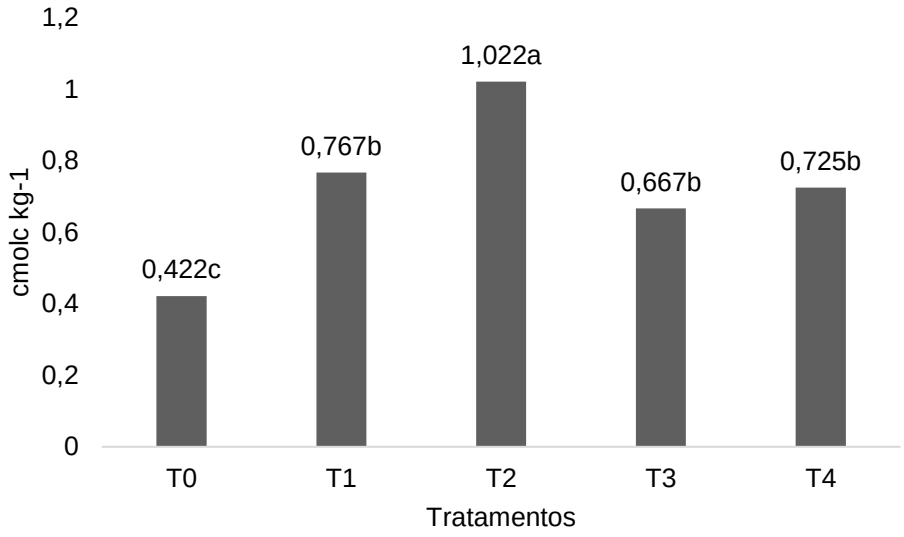
Figura 13 - Teste de médias do teor de Potássio (K^+) em cmolc kg^{-1}. Médias seguidas de letras diferentes, diferem estatisticamente pelo teste Tukey (P>0,05). T0- 0 t ha-1; T1 - 1 t ha-1; T2 – 2 t ha-1, T3 – 3 t ha-1 e T4 - 4 t ha-1.



Fonte: Autor.

Já os dados de magnésio (Mg^{2+}) (Figura 14), nos tratamentos T0 a T4, revelam variações significativas na disponibilidade desse nutriente. O tratamento T0, com 0,422 cmolc kg^{-1}, apresenta a menor concentração de magnésio e é estatisticamente inferior aos demais. Os tratamentos T1 (0,767 cmolc kg^{-1}), T3 (0,667 cmolc kg^{-1}) e T4 (0,725 cmolc kg^{-1}) mostram concentrações intermediárias de magnésio, sem diferenças significativas entre si, porém, superiores ao T0. O tratamento T2, com 1,022 cmolc kg^{-1}, se destaca como o mais elevado.

Figura 14 - Teste de médias do teor de Magnésio (Mg^{2+}) em cmolc kg^{-1}. Médias seguidas de letras diferentes, diferem estatisticamente pelo teste Tukey (P>0,05). T0- 0 t ha-1; T1 - 1 t ha-1; T2 – 2 t ha-1, T3 – 3 t ha-1 e T4 - 4 t ha-1.



Fonte: Autor.

O °B encontrado no tratamento T2 pode ter relação com os teores de Mg^{2+} encontrados no mesmo tratamento. Visto que, esse elemento participa de diferentes rotas metabólicas, como é o caso da fotossíntese, já que o mesmo é o átomo central da molécula de clorofila.

O magnésio (Mg) é um nutriente crucial na concentração de açúcares nos colmos, especialmente por sua função nas atividades enzimáticas. Plantas que recebem a quantidade adequada de Mg^{2+} conseguem exportar até 87% mais sacarose do que aquelas com suprimento insuficiente. Isso destaca a importância desse nutriente na transferência de sacarose das folhas para os colmos, conforme evidenciado pelo estudo de Garcia *et al*. (2020).

Assim, garantir a disponibilidade desses nutrientes é crucial para maximizar a produtividade e a qualidade da cana-de-açúcar, evidenciando a importância de práticas agrícolas, como a rochagem, que prioriza a saúde do solo e a adequada nutrição das plantas.

As reações químicas do intemperismo ocorrem a partir dos seguintes processos: troca iônica, hidrolise, dissolução, difusão, oxi-redução e absorção, sendo a água essencial para que todas essas reações ocorram, pois, atua como solvente e fonte de ions de H^+ e OH^-, responsáveis pela de solubilização dos minerais durante o

intemperismo (Theodoro *et al*., 2000). A taxa em que ocorre essas reações é altamente dependente de numerosos fatores, tais como: tamanho das partículas, permeabilidade, composição, influência do lençol freático, presença de oxigênio e outros gases no sistema, presença de micro flora e fauna, além dos mecânicos de intemperismo (Theodoro *et al*., 2000).

Os resultados de disponibilidade dos nutrientes não seguiram a ordem crescente de dosagens aplicadas do pó de rocha, o que pode ser compreendido a partir do entendimento dos diferentes fatores que influenciam a liberação dos elementos presentes na rocha. Em síntese, a disponibilidade de potássio aumentou progressivamente dos tratamentos T0 a T4, embora tenha-se observado uma queda no T3, com T4 se destacando como o mais positivo, enfatizando a importância do manejo adequado de potássio para otimizar o crescimento e a produtividade das plantas. Já a disponibilidade de magnésio aumentou dos tratamentos T0 a T2, com T2 sendo o mais vantajoso, pois o aumento da dosagem pode provocar uma menor disponibilidade desse elemento.

5. CONCLUSÃO

Para as variáveis diâmetro do colmo e n° de entrenós, submetidas a aplicação de pó de rocha granulítica, não foi observada diferença significativa.

Na variável NPML, na 2° avaliação, os tratamentos T3 e T4 obtiveram os melhores resultados. Já a AP, na 2° e 3° avaliação, o resultado de T3, foi o único a diferir da testemunha.

Em relação a TCH, os tratamentos T1 e T3 foram os melhores resultados. Já ao °B, o T2 foi superior aos demais. Nos teores de K^+ e Mg^{2+} do solo, o T4 e T2 foram os melhores tratamentos respectivamente. A partir dos resultados encontrados recomendasse a dosagem de 1 t ha-1, que agrupa alta produtividade, maior valor BRIX° e economia de remineralizador.

REFERÊNCIAS

ALFONSI, R. R. et al. **Condições climáticas para cana-de-açúcar**. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargil, v. 1, p.42-55. 1987.

ALVARES, C. A; Stape J. L; Sentelhas P. C; GonçalveS J. D. M; Sparovek G (2013) **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorol Z 22: 711-728. http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507.

ANDA. Associação nacional para difusão de adubos e corretivos agrícolas (Brasil) **Anuário estatístico do setor de fertilizantes: 2016**. São Paulo, 2016.

ARIZONO, H.; MATSUOKA, S.; GHELLER, Y.; MASUDA, H.P.; HOFFMANN, B.A.I.; MENESEZ, L.L. **Alternativas para avaliação de produção de cana-de-açúcar**. STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**,** Piracicaba, v.16, n.5, p.20, maio/jun. 1998.

ASSIS, L. B; BATISTA, N. T. F; RAGAGIN, V. A. **Desafios em Soberania e Segurança Alimentar: A Utilização Da Rochagem Como Fonte Alternativa e Sustentável**. Anais do II Congresso Brasileiro de Rochagem, [*S. l.*], p. 125-132, 2013. Congresso Brasileiro de Rochagem, 2013, Poços de Caldas - MG.

AVILEZ, A. M. A. **Necessidade hídrica da cana-de-açúcar no noroeste paulista. Irriga**: Edição Especial 30 anos PG Irriga, Botucatu, v. 1, ed. 1, p. 171-88, 10 set. 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2018v1n1p171-188.

AZEVEDO, M. C.; MIELEZRSKI, F. **Morfologia e fenologia da cana de açúcar**. In: CULTO DE CANA-DE-AÇÚCAR NA PARAÍBA. 1. ed. João Pessoa: Editora UFPB, 2020. p. 18-29.

BARBOSA, A. P. P. L.; JÚNIOR, W. G. **Cenários tecnológicos para a demanda por cana-de-açúcar**. Future Studies Research Journal. São Paulo, v. 4, n. 1, p. 92-113, 2012.

BEAUCLAIR, E.G.F. de; SCARPARI, M.S. **Noções fitotécnicas**. In: RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C.; CASAGRANDI, D.V.; IDE, B.Y. Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte. Piracicaba: T. C. C. Ripoli, 2007. p. 65-73.

BRASIL, Ministério da Agricultura. **Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba.** Rio de Janeiro; Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo (MA), 1972, 670p.

CALDAS, C. Caldos. In: **Novo manual para laboratórios sucroalcooleiros**. Piracicaba: STAB, cap. 4, p. 89-159, 2012.

CHEAVEGATTI-GIANOTTO, A., de Abreu, H. M. C., Arruda, P., Bespalhok Filho, J. C., Burnquist, W. L., Creste, S., … César Ulian, E. (2011**). Sugarcane (Saccharum X officinarum): A Reference Study for the Regulation of Genetically Modified Cultivars in Brazil**. Tropical Plant Biology, 4(1), 62–89. doi:10.1007/s12042-011-9068-3.

CLEMENTS, H.F. **Sugarcane nutrition and culture**. Lucknow, Indian Institute of Sugar Reseach, 1959. 189p.

CONAB. **Adubo e Fertilizantes**. Boletim logístico, ano V- julho 2021. Disponível em:< https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/boletim-logistico/>2021.

CORRÊA, V. M. B. **Pó de Rocha Basalto Aplicado À Lanço e no sulco de Plantio de Cana-de-Açúcar em Ambiente Restritivo de Cerrado**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Superior) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Unesp, [*S. l.*], 2022. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/50012bbb-ce3f-423d-ad50-2040975b9e5c/content. Acesso em: 18 out. 2024.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. FAO, **Yield response to water**. FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33. Rome, 1979. 193p.

DUARTE, G. R. B. **Nutrição e Adubação da Cana-de-Açúcar.** CHBAGRO**.** 2020. Embrapa (2018) Sistema brasileiro de classificação de solos. Embrapa Solos, Brasília.

FAO. **World agriculture: towards, by N**. Alexandratos, ed. New York. USA. John Wiley & Sons. 1995.

FUGALLI, Maurício; SILVESTRE, Wendel Paulo; PAULETTI, Gabriel Fernandes. **Evaluation of the effect of the application of two types of potassium fertilizers on the production and quality of ungrafted Isabel'grapes.** Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 7, n. 12, p. 1-6, 2023.

GOVERNO**: dependência externa de fertilizantes vai continuar nos próximos anos** Fonte: Agência Senado. Senado Notícias, [*S. l.*], p. 1-1, 24 maio 2022. Disponível em: https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2022/05/24/governo-dependencia-externa-de-fertilizantes-vai-continuar-nos-proximos-anos. Acesso em: 18 out. 2024.

GUARENGHI, M.M.; Garofalo, D.F.T.; Seabra, J.E.A.; Moreira, M.M.R.; Novaes, R.M.L.; Ramos, N.P.; Nogueira, S.F.; de Andrade, C.A. **Land Use Change Net Removals Associated with Sugarcane in Brazil**. *Land* 2023, *12*, 584. https://doi.org/10.3390/land12030584.

HEERDT, E. **Indução da embriogênese somático em cana-de-açúcar**. 2008. 39. Dissertação (Magister Scientiae) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2008.

HOSSAIN, A.; KRUPNIK, T.J.; TIMSINA, J.; MAHBOOB, M.G.; CHAKI, A.K.; FAROOQ, M., 2020. **Agricultural land degradation: processes and problems undermining future food security.** In: Fahad, S., Hasanuzzaman, M., Alam, M., Ullah, H., Saeed, M., Ali Khan, I., Adnan, M. (Eds.), Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth. Springer International Publishing, Cham, pp. 17–61.

KOPITTKE, P.M., Menzies, N.W., Wang, P., McKenna, B.A., Lombi, E., 2019. **Soil and the intensification of agriculture for global food security.** Environ. Int. 132, 105078.

LAL, R. **Soil management in the developing countries**. Soil Science**,** v.165, n.1, p. 57-72. 2000.

LOPES, F.C.C. **Mapeamento genético de cana-de-açúcar (saccharum spp.) por associação empregando marcadores SSR e AFLP**. 2011. 144. Tese (Doutorado em Ciências) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2011.

MAGALHÃES, A. C. N. **Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta**. In: CASTRO, P.R.C., FERREIRA, S. O., YAMADA, T. Ecofiologia da produção agrícola**.** Piracicaba: Assoc. Bras. de Potássio e do Fosfato. 1987. p. 113-18.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MANHÃES, C. M. C., GARCIA, R. F., FRANCELINO, F. M. A., FRANCELINO, H. O., COELHO, F. C. **Fatores que afetam a brotação e o perfilhamento da cana-de-açúcar. Vértices**, v. 17, n. 1, p. 163-181, 2015.

MAPA. **O Plano Nacional de Fertilizantes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, [*S. l.*], p. 1-1, 3 maio 2022. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/plano-nacional-de-fertilizantes/o-plano-nacional-de-fertilizantes. Acesso em: 18 out. 2024.

MARIN, Fábio Ricardo. **Cana: Solo**. Arvore do Conhecimento, Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 21 fev. 2022. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pre-producao/caracteristicas/solo. Acesso em: 6 out. 2024.

MATSUOKA, S. **Botânica e ecofisiologia da cana-de-açúcar**. Apostila: Curso de Qualificação em Plantas Industriais Cana-de-açúcar, São Paulo, 1996. 93 p.

MENDES, L. C. **Eficiência nutricional de cultivares de cana-de-açúcar**. 2006. 46 f. Dissertação – (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

OLIVEIRA, E. C. A. et al. **Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar**. Revista Ciência Agronômica, v. 42, n. 3, p. 579-588, 2011.

PEROZINI, A. C; JÚNIOR, J. J. A; SMILJANIC, K. B. A.; MATOS, F. S. A.; OLIVEIRA, S. M. A.; CAMARGO, H. A. **Avaliação das características agronômicas da cana-de-açúcar tratada com doses crescentes do condicionador pó de rocha de origem "basalto gabro".** IV Colóquio Estadual de Pesquisa Multidiciplinar II Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar, [*S. l.*], 2019. Mineiros, Goiás - 2019.

PRESIDÊNCIA, Da República Casa Civil Subchefia Para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 11.346, de 15 de setembro de 2006**. [*S. l.*], 15 set. 2006. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11346.htm>. Acesso em: 17 out. 2024.

ROSSETO, R. **Maturação** - Portal Embrapa. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacaotecnologica/cultivos/cana/producao/planejamento-da-colheita/colheita/maturacao>. Acesso em: 12 out. 2024.

SANTOS, D. **Ecofisiologia da cana-de-açúcar**. In: Recomendações técnicas para cultura da cana-de-açúcar no estado do Paraná. Londrina: Instituto Agronômico, 1977, 107 p. (Circular IAPAR, 6).

SCHERR, S.J., 1999. **Soil Degradation: A Threat to Developing-country Food Security by 2020**? Internat. Food Policy Research Inst, Washington, DC.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. **Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar**. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 19-36.

SILVA, J.P.N.; SILVA, M.R.N. **Noções da Cultura da Cana-de-Açúcar**. Inhumas – Go: Ifg, 2012. 106 p.

SILVA, T. G. F., MOURA, M. S. B., ZOLNIER, S., MOURA, L. S. B., CARMOS, J. F. A. **Índices Morfofisiológicos e Uso de Radiação Solar por um Cultivo de Cana-de-Açúcar Irrigada no Semiárido Brasileiro**. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 07, n. 4, p. 764-773, 2014.

SINDALCOOL. (Paraíba). **João Pessoa**, p. 1-9, 8 nov. 2023. Disponível em: https://sindalcool.com.br/wp-content/uploads/2023/11/Sindalcool-Informativo-set-2023-1.pdf. Acesso em: 1 out. 2024.

TEIXEIRA, P. C., DONAGEMMA, G. K., FONTANA A., and TEIXEIRA, W.G., 2017. **Manual de métodos de análise de solo**. 3nd ed. Brasília: Embrapa, 574 p.

THEODORO, S. C. H. **A fertilização da terra pela terra:** uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural. Brasília: UNB, 2000. p. 225. Tese Doutorado.

THORBURN. P. J.; DART, I. K.; BIGGS, I. M.; BAILLIE, C. P.; SMITH, M. A.; KEATING, B. A. **The fate of nitrogen applied to sugarcane by trickle irrigation.** Irrigation Science, v. 22, p. 201-209, 2003.

VIANNA, M. S. **Risco climático para a cultura da cana-de-açúcar e estratégias de manejo de irrigação complementar para a sua minimização em diferentes regiões brasileiras.** Piracicaba – São Paulo. 178p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2014.

WIEDENFELD, B.; ENCISO, J. **Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid south Texas**. Agronomy Journal, Madison, v. 100, p. 665-671, 2008.