



FACULDADE DE ENFERMAGEM NOVA ESPERANÇA

CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

SAMUEL JOSÉ DA SILVA

**RENDIMENTO AGROINDUSTRIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB APLICAÇÃO
DE VINHAÇA ENRIQUECIDA COM MACRO E MICRONUTRIENTES**

JOÃO PESSOA – PB
2023

SAMUEL JOSÉ DA SILVA

**RENDIMENTO AGROINDUSTRIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB APLICAÇÃO
DE VINHAÇA ENRIQUECIDA COM MACRO E MICRONUTRIENTES**

TCC apresentado à Faculdade Nova Esperança como parte dos requisitos exigidos para a conclusão do Curso de Bacharelado em Agronomia.
Linha de Pesquisa: Fitotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Robson da Silva Ramos

JOÃO PESSOA – PB
2023

S583r

Silva, Samuel José da
Rendimento agroindustrial da cana-de-açúcar sob aplicação
de vinhaça enriquecida com macro e micronutrientes / Samuel José
da Silva. – João Pessoa, 2023.
25f.; il.

Orientador: Profº. Dº. Robson da Silva Ramos.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia)
– Faculdade Nova Esperança - FACENE

1. Biofertilizante. 2. Produção de Cana-de-Açúcar. 3. Setor
Sucroenergético. 4. Experimento. I. Título.

CDU: 633.61

SAMUEL JOSÉ DA SILVA

**RENDIMENTO AGROINDUSTRIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB APLICAÇÃO
DE VINHAÇA ENRIQUECIDA COM MACRO E MICRONUTRIENTES**

TCC (no formato artigo científico), apresentado à Faculdade Nova Esperança como parte dos requisitos exigidos para à conclusão do curso de Bacharelado em Agronomia.

João Pessoa, _____ de _____ de 2023.

Aprovado em _____ de _____ de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Robson da Silva Ramos
FACENE, João Pessoa-PB
(Orientador)

Prof^a. Dr^a. Débora Teresa da Rocha G. F. de Almeida
FACENE, João Pessoa-PB
(Examinadora)

Prof. Dr. Thyago Augusto Medeiros Lira
FACENE, João Pessoa-PB
(Examinador)

RESUMO

O desempenho da cana de açúcar sob a aplicação de vinhaça enriquecida com macros e micros nutrientes é um tema de interesse para os produtores e pesquisadores do setor sucroenergético. A vinhaça é um subproduto da produção de etanol rica em potássio e matéria orgânica, que podem beneficiar o crescimento e a produtividade da cana-de-açúcar. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a produtividade e qualidade da cana-de-açúcar sob níveis de adubação com vinhaça enriquecida com macro e micronutrientes. O experimento foi realizado em um ano, no ciclo de cana soca, em condições de campo na Fazenda Jatiúca no município de Pedras de Fogo - PB. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) com parcelas subdivididas, com quatro repetições e 06 tratamentos (T1 = 0,0; T2 = 400 kg ha⁻¹ de adubo granulado; T3 = 20 m³ ha⁻¹ de vinhaça enriquecida com macros e micros nutrientes; T4 = 40 m³ ha⁻¹ de vinhaça enriquecida com macros e micros nutrientes; T5 = 60 m³ ha⁻¹ de vinhaça enriquecida com macro e micronutrientes; T6 = 80 m³ ha⁻¹ de vinhaça enriquecida com macro e micronutrientes), totalizando 24 parcelas experimentais. As variáveis analisadas neste estudo foram: perfilhamento, altura de plantas, diâmetro de colmos, produtividade de colmos, pol % corrigida, fibra industrial da cana-de-açúcar, pureza do caldo extraído, teor de sólidos solúveis, açúcar total recuperável e toneladas de pol por hectare. Os resultados mostraram que, o uso de vinhaça enriquecida como biofertilizante nas doses de 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ mostraram-se equiparados ao método convencional de adubação da cana-de-açúcar em solo arenoso sob o manejo de sequeiro em relação ao rendimento agrícola.

PALAVRAS-CHAVE: Biofertilizante; Produção de cana-de-açúcar; Setor sucroenergético; Experimento.

ABSTRACT

The performance of sugar cane under the application of vinasse enriched with macro and micro nutrients is a topic of interest for producers and researchers in the sugar-energy sector. Vinasse is a byproduct of ethanol production rich in potassium and organic matter, which can benefit the growth and productivity of sugarcane. In this context, this work aims to evaluate the productivity and quality of sugarcane under fertilization levels with vinasse enriched with macro and micro nutrients. The experiment was carried out in one year, in the ratoon sugarcane cycle, under field conditions at Jatiúca Farm in the municipality of Pedras de Fogo - PB. The experimental design was in randomized blocks (DBC) with sub-divided plots, with four replications and 06 treatments (T1 = 0.0; T2 = 400 kg ha⁻¹ of granulated fertilizer; T3 = 20 m³ ha⁻¹ of enriched vinasse with macro and micro nutrients; T4 = 40 m³ ha⁻¹ of vinasse enriched with macro and micro nutrients; T5 = 60 m³ ha⁻¹ of vinasse enriched with macro and micro nutrients; T6 = 80 m³ ha⁻¹ of vinasse enriched with macro and micro nutrients), totaling 24 experimental plots. The variables analyzed in this study were: tillering, plant height, stalk diameter, stalk productivity, corrected pol%, sugarcane industrial fiber, purity of extracted juice, soluble solids content, total recoverable sugar and tons of inch per hectare. The results showed that the use of enriched vinasse as biofertilizer in doses of 20, 40 and 80 m³ ha⁻¹ were equivalent to the conventional method of fertilizing sugarcane in sandy soil under rainfed management in relation to agricultural income.

KEYWORDS: Biofertilizer; Sugarcane production; Sugar-energy sector; Experiment.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Distribuição da precipitação pluviométrica na área experimental 12
- Figura 2** - Croquis da área experimental 14

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Composição química do solo utilizado no experimento – Fazenda Jatiúca, lote 34020 (Camadas de 0,0-0,25 e 0,25-050 m). Pedra de Fogo-PB, Brasil 12
- Tabela 2** - Resumo da análise de variância para as variáveis Diâmetro; Estatura; Stand referente a avaliações nos períodos entre 30 – 210 DAA 16
- Tabela 3** - Resumo da análise de variância para as variáveis: TPH; TCH; FIBRA; PCC; PZA; BRIX; ATR 18
- Tabela 4** - Resultados de rendimento da cana-de-açúcar (TCH e TPH). 18

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. MATERIAL E MÉTODOS	12
2.1 Condução Experimental	13
2.2 Delineamento Experimental	15
2.3 Variáveis Analisadas e Análise Estatística	15
3. RESULTADOS	16
4. DISCUSSÃO	19
5. CONCLUSÃO	21
AGRADECIMENTOS	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

RENDIMENTO AGROINDUSTRIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB APLICAÇÃO DE VINHAÇA ENRIQUECIDA COM MACRO E MICRONUTRIENTES

AGROINDUSTRIAL YIELD OF SUGAR CANE UNDER THE APPLICATION OF VINHASE ENRICHED WITH MACRO AND MICRONUTRIENTS

RESUMO

O desempenho da cana de açúcar sob a aplicação de vinhaça enriquecida com macros e micros nutrientes é um tema de interesse para os produtores e pesquisadores do setor sucroenergético. A vinhaça é um subproduto da produção de etanol rica em potássio e matéria orgânica, que podem beneficiar o crescimento e a produtividade da cana-de-açúcar. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a produtividade e qualidade da cana-de-açúcar sob níveis de adubação com vinhaça enriquecida com macro e micronutrientes. O experimento foi realizado em um ano, no ciclo de cana soca, em condições de campo na Fazenda Jatiúca no município de Pedras de Fogo - PB. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) com parcelas subdivididas, com quatro repetições e 06 tratamentos (T1 = 0,0; T2 = 400 kg ha⁻¹ de adubo granulado; T3 = 20 m³ ha⁻¹ de vinhaça enriquecida com macros e micros nutrientes; T4 = 40 m³ ha⁻¹ de vinhaça enriquecida com macros e micros nutrientes; T5 = 60 m³ ha⁻¹ de vinhaça enriquecida com macro e micronutrientes; T6 = 80 m³ ha⁻¹ de vinhaça enriquecida com macro e micronutrientes), totalizando 24 parcelas experimentais. As variáveis analisadas neste estudo foram: perfilhamento, altura de plantas, diâmetro de colmos, produtividade de colmos, pol % corrigida, fibra industrial da cana-de-açúcar, pureza do caldo extraído, teor de sólidos solúveis, açúcar total recuperável e toneladas de pol por hectare. Os resultados mostraram que, o uso de vinhaça enriquecida como biofertilizante nas doses de 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ mostraram-se equiparados ao método convencional de adubação da cana-de-açúcar em solo arenoso sob o manejo de sequeiro em relação ao rendimento agrícola.

PALAVRAS-CHAVE: Biofertilizante; Produção de cana-de-açúcar; Setor sucroenergético; Experimento.

ABSTRACT

The performance of sugar cane under the application of vinasse enriched with macro and micro nutrients is a topic of interest for producers and researchers in the sugar-energy sector. Vinasse is a byproduct of ethanol production rich in potassium and organic matter, which can benefit the growth and productivity of sugarcane. In this context, this work aims to evaluate the productivity and quality of sugarcane under fertilization levels with vinasse enriched with macro and micro nutrients. The experiment was carried out in one year, in the ratoon sugarcane cycle, under field conditions at Jatiúca Farm in the municipality of Pedras de Fogo - PB. The experimental design was in randomized blocks (DBC) with sub-divided plots, with four replications and 06 treatments (T1 = 0.0; T2 = 400 kg ha⁻¹ of granulated fertilizer; T3 = 20 m³ ha⁻¹ of enriched vinasse with macro and micro nutrients; T4 = 40 m³ ha⁻¹ of vinasse enriched with macro and micro nutrients; T5 = 60 m³ ha⁻¹ of vinasse enriched with macro and micro nutrients; T6 = 80 m³ ha⁻¹ of vinasse enriched with macro and micro nutrients), totaling 24 experimental plots. The variables analyzed in this study were: tillering, plant height, stalk diameter, stalk productivity, corrected pol%, sugarcane industrial fiber, purity of extracted juice, soluble solids content, total recoverable sugar and tons of inch per

hectare. The results showed that the use of enriched vinasse as biofertilizer in doses of 20, 40 and 80 m³ ha⁻¹ were equivalent to the conventional method of fertilizing sugarcane in sandy soil under rainfed management in relation to agricultural income.

KEYWORDS: Biofertilizer; Sugarcane production; Sugar-energy sector; Experiment.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma espécie vegetal da família Poaceae que possui grande importância econômica no Brasil, maior produtor global de cana-de-açúcar¹. Dessa cultura deriva à produção de açúcar, etanol e outros subprodutos, que juntos formam uma cadeia produtiva que gera empregos e renda para o setor do agronegócio². Toda a cadeia de produção beneficia 30% dos municípios brasileiros, sendo 70 mil produtores rurais independentes fornecedores de cana-de-açúcar, gerando 2,3 milhões de empregos diretos e indiretos¹.

Na safra 2022/2023 a produção de cana-de-açúcar foi de 610,1 milhões de toneladas. Abrangendo uma área de colheita de 8.288,9 mil ha, com produtividade nacional de 73.61 t ha⁻¹. A produção de açúcar foi de 37 milhões de toneladas, enquanto a produção do etanol atingiu 27,37 bilhões de litros nesta safra³.

Para cada litro de álcool produzido são gerados cerca de 07 a 15 litros de vinhaça, com diferentes concentrações de potássio, de acordo com o material de origem (mosto). Nas últimas décadas, a cultura passou por uma revolução tecnológica, com ampliação de práticas sustentáveis. Nessa ótica, a vinhaça passou a ser utilizada na fertirrigação da cana-de-açúcar, uma solução sustentável para o descarte racional deste subproduto⁴.

A vinhaça originária da fermentação do melaço, resíduo da fabricação do açúcar, possui uma maior concentração de Potássio em relação à vinhaça gerada na fermentação do caldo de cana-de-açúcar^{5,6}. O potássio é considerado o segundo nutriente mineral mais abundante exigido pelas espécies vegetais, depois do nitrogênio. Já para a cana-de-açúcar, a maioria das variedades cultivadas hoje, requer mais potássio para absorção do que até mesmo nitrogênio⁷. A vinhaça é capaz de fornecer geralmente todo o potássio demandado pela cana-de-açúcar⁸.

Portanto, o enriquecimento da vinhaça com os demais macros e micronutrientes e o seu uso como fertilizante é uma inovação que vem sendo amplamente utilizada por algumas empresas no setor sucroenergético. Isso se deve ao fato de que a vinhaça enriquecida contém

altas concentrações de nutrientes, sendo suficiente para atender a demanda da planta durante todo o seu desenvolvimento, além de ser uma alternativa sustentável e econômica em relação aos fertilizantes químicos convencionais ⁹.

Compreende-se que é importante conduzir novas pesquisas acerca do uso da vinhaça enriquecida com macro e micronutrientes na cultura da cana-de-açúcar¹¹. No entanto, este estudo demonstra que o emprego desse subproduto como fertilizante pode aumentar a produtividade da cana-de-açúcar em função desse novo manejo de fertilização.

Essa modalidade consiste na aplicação homogênea e controlada de vinhaça enriquecida com macros e micronutrientes essenciais para o desenvolvimento da planta de forma direcionada na linha de cultivo da cana-de-açúcar, gerando ganhos agrônômicos, ambientais e econômicos¹². Outro grande benefício é a possibilidade de aplicação em áreas mais distantes, uma vez que a aplicação via aspersão não consegue atender a toda extensão, limitação contornada pelos conjuntos aplicadores de vinhaça desenvolvidos.

O objetivo deste trabalho foi comparar o efeito de diferentes doses de vinhaça enriquecida com macros e micronutrientes na produtividade agrícola e nas variáveis agroindustriais da cana-de-açúcar cultivada por um ano em socaria do segundo corte.

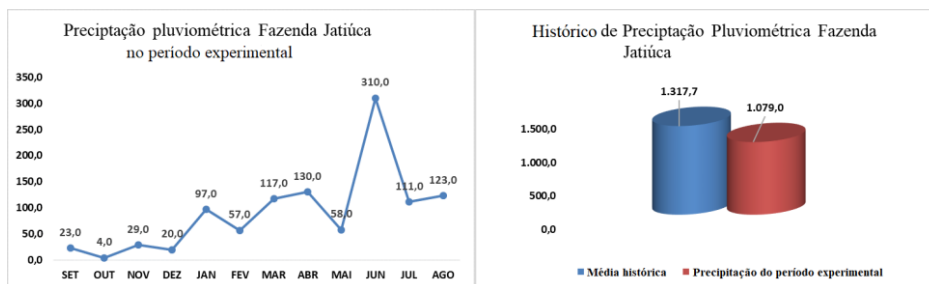
MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa de cunho experimental com abordagem analítica e quantitativa foi conduzida em condições de campo na Fazenda Jatiúca, pertencente ao grupo Olho D'água que fica localizada no município de Pedras de fogo, Paraíba, na latitude 7° 15' 26" S, longitude 35° 14' 77" W, a 157 m de altitude, distando 39 km da capital João Pessoa¹³. O clima predominante da região é o As'- tropical chuvoso, quente e úmido com chuvas de outono-inverno, segundo Köppen¹⁴. O município apresenta temperatura média anual variando de 21 a 31°C, e pluviosidade média anual de 1100 - 1600 mm. No entanto, na Fazenda Jatiúca a precipitação anual média é de 1.317,7 mm. Ressalta-se que durante o período experimental, de setembro de 2022 a agosto de 2023, esse índice pluviométrico ficou abaixo da média, com 1.079,0 mm, obtido através da coleta da chuva em um pluviômetro localizado na área do estudo (FIGURAS 1A e B), respectivamente.

FIGURA 1 - Distribuição da precipitação pluviométrica na área experimental.

A

B



Dados obtidos pelo posto fixo de observação da fazenda Jatiúca e fornecidos pela Usina Central Olho D'Água.

O solo predominante é o Neossolo quartizarênico¹⁵, conforme classificação proposta pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS. O manejo de adubação padrão adotado pela Usina, consiste no fornecimento de nutrientes através de adubação de cobertura com formulação (14-06-21).

Condução Experimental

O experimento foi desenvolvido em uma área de solo de “tabuleiro”, em regime de sequeiro. A variedade de cana-de-açúcar utilizada no estudo foi a RB021754. Sendo conduzido em socaria (segundo corte). A aplicação dos tratamentos foi realizada aos 90 dias após o corte, no mês de dezembro de 2022. O solo da área experimental foi analisado quanto aos atributos químicos nas camadas de (0,0 - 0,25 m) e (0,25 - 0,50 m) (TABELA 1).

TABELA 1 - Composição química do solo utilizado no experimento – Fazenda Jatiúca, lote 34020 (Camadas de 0,0-0,25 e 0,25-050 m). Pedra de Fogo-PB, Brasil.

Prof.	pH	M.O	P		S	Ca	Mg	Na	K	Al	H+Al	Soma	CTC	Sat.	Sat.
			Resina	Mehlich								Bases		Bases	Al
		CaCl ₂	mg dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³						V%	m%			
0-25	5,6	7	33	7	9	11	3	ns	0,4	0	13	14,5	27,4	53	0
25-50	5,2	4	21	5	12	6	2	ns	0,1	0	12	7,3	19,3	38	0

Avaliações realizadas pelo laboratório Athenas consultoria agrícola, Jaboticabal SP. Fonte: Autória Própria (2023).

A vinhaça utilizada no experimento passou pelo processo de enriquecimento na central de biofertilizantes, situada na fazenda Jurema-PE, as margens da PE 82 à 4,5 km de distância da Usina Central Olho D'água. Foi adicionado para cada m³ de vinhaça 3,75 kg de uréia, 1,25 kg de map, 0,375 l de Brennfeed Br 292, 0,1 l de Brennfeed boro, 0,025 l de

Brennfeed zinco e 0,25 l de Brennfeed Br 256. O transporte para área experimental foi feito por caminhão tanque, de capacidade de 20 mil litros por compartimento.

A vinhaça utilizada nesse estudo foi fornecida pela Usina Central Olho D'água. As suas características químicas foram: Vinhaça in natura: (N = 0,70; P₂O₅ = 0,10; K₂O = 4,70; Ca₂O = 1,30; MgO = 0,50 e SO₄ = 0,60) Kg m³. Vinhaça enriquecida: (N = 2,90; P₂O₅ = 0,90; K₂O = 4,90; Ca₂O = 1,40; MgO = 0,50 e SO₄ = 0,70) Kg m³. Os dados foram analisados pelo laboratório Athenas Consultoria Agrícola, Jaboticabal-SP.

Foram avaliados 6 tratamentos, sendo: T1 – (Testemunha absoluta), T2 – (Testemunha relativa), T3 – (20 m³ ha⁻¹ de vinhaça enriquecida), T4 - (40 m³ ha⁻¹ de vinhaça enriquecida), T5 – (60 m³ ha⁻¹ de vinhaça enriquecida) e T6 - (80 m³ ha⁻¹ de vinhaça enriquecida).

Os tratamentos 1 (T1) e 2 (T2) foram as testemunhas, sendo, T1 a testemunha absoluta que não recebeu nem um tipo de adubação e o no T2 foi aplicado 400 kg ha⁻¹ manual e a lançar o adubo granulado na formula 14-06-21, em cobertura direcionado na linha de cultivo, que é o padrão utilizado pela usina para socaria na área comercial da fazenda Jatiúca-PE.

No entanto, para os demais tratamentos com o uso da vinhaça enriquecida a aplicação se deu de forma mecanizada, localizada em jato dirigido na linha de cultivo da cana-de-açúcar via conjunto aplicador de vinhaça NONINO®.

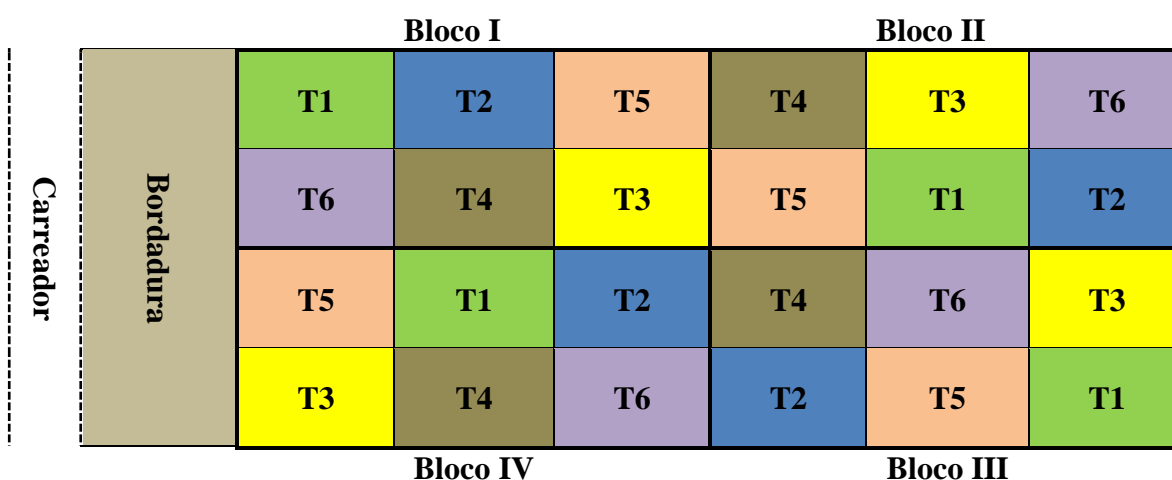
Para o tratamento 3 (T3) foi aplicado 20 m³ ha⁻¹, sendo necessário 448 litros de vinhaça enriquecida por parcela, no tratamento 4 (T4) foi aplicado 40 m³ ha⁻¹, sendo necessário 896 l de vinhaça enriquecida por parcela, no tratamento 5 (T5) foi aplicado 60 m³ ha⁻¹, sendo necessário 1.344 l de vinhaça enriquecida por parcela e no tratamento 6 (T6) foi aplicado 80 m³ ha⁻¹, sendo necessário 1.792 l de vinhaça enriquecida por parcela.

Os produtos utilizados para o enriquecimento da vinhaça foram: BRENNFEED Br 292, BRENNFEED Boro, BRENNFEED Zinco, BRENNFEED Br 256, Uréia e MAP.

Delineamento Experimental

O experimento seguiu um delineamento em blocos casualizados (DBC), com 06 tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 parcelas experimentais (Figura 2). Cada parcela apresentando 08 sulcos (espaçamento: 1,40 m entre sulcos), medindo 11,2 m de largura e 20 m de comprimento, totalizando 224 m². A área total do experimento foi de 5.376 m² ou 0,54 ha.

FUGURA 2 - Croquis da área experimental.



Legenda: T1 (Tratamento 1) = Testemunha – não recebeu adubação alguma; T2 (Tratamento 2) = Testemunha - 400 kg ha⁻¹ de adubo formulado 14-06-21; T3 (Tratamento 3) = 20 m³ ha¹ de vinhaça enriquecida; T4 (Tratamento 4) = 40 m³ ha¹ de vinhaça enriquecida; T5 (Tratamento 5) = 60 m³ ha¹ de vinhaça enriquecida; T6 (Tratamento 6) = 80 m³ ha¹ de vinhaça enriquecida. Fonte: Autória própria (2023).

Variáveis Analisadas e Análise Estatística

As variáveis analisadas foram: stand, altura de plantas, diâmetro de colmos, produtividade de colmos e as qualidades tecnológicas pol % corrigida (PCC), fibra industrial da cana-de-açúcar (FIBRA %), pureza do caldo extraído (PZA), teor de sólidos solúveis (°BRIX), açúcar total recuperável (ATR) e toneladas de pol por hectare (TPH).

As avaliações biométricas foram realizadas aos 30, 60,90, 120, 150, 180 e 210 dias após a aplicação (DAA), nas plantas presentes em 10 metros lineares das 4 linhas centrais de cada parcela experimental. Utilizou-se 40 plantas por parcela para fazer as aferições das variáveis, sendo 10 canas por linha, nas 4 linhas centrais. Determinou-se o perfilhamento através da contagem do número de plantas totais presentes na área. As alturas das plantas foram determinadas com um auxílio de uma fita métrica, sendo a leitura realizada da base da planta até a inserção da folha +1 (terceira folha do cartucho),

utilizando-se do sistema Kuijper¹⁶, e os dados foram obtidos em metros.

O diâmetro dos colmos foram mensurados com o auxílio de um paquímetro manual. A medida foi realizada em três pontos: na base, no meio e no topo do colmo, os dados foram obtidos em milímetros.

O rendimento agrícola em TCH foi determinado no final do ciclo de cultivo, os colmos da área útil da parcela depois de queimados foram cortados manualmente, rente a base, e em seguida os colmos foram pesados com auxílio de uma máquina carregadora, usando um dinamômetro ou balança industrial de gancho com capacidade para 1000 kg. A produtividade foi estimada com base na equação:

$$TCH = MTP \times 10/AUP$$

sendo: TCH: Tonelada de colmo por hectare ($t \text{ ha}^{-1}$); MTP: Massa total da parcela (kg); AUP: Área útil da parcela (m^2).

Os dados obtidos foram submetidos a Análise de Variância (ANOVA) com teste F e posterior teste de agrupamento de médias scott e knott a 5% de probabilidade, além de análise de regressão, com auxílio dos programas estatístico GENES e SISVAR.

RESULTADOS

Para a variável diâmetro, os resultados da análise de variância (ANOVA) revelaram que a variação atribuída ao fator “Tratamento” demonstrou um efeito não significativo. Já para o fator “Tempo”, o teste f indicou uma diferença significativa a 1% de probabilidade, indicando que a espessura do colmo obteve aumento significativo no decorrer das avaliações para todos os tratamentos e na mesma magnitude. Tal resultado é confirmado pela variação não significativa na interação “Tratamento x Tempo” (TABELA 2).

TABELA 2 - Resumo da análise de variância para as variáveis Diâmetro; Estatura; Stand referente a avaliações nos períodos entre 30 – 210 DAA.

Fonte de Variação	Quadrados Médios		
	Diâmetro	Estatura	Stand
Bloco	2,4412	0,0664	24,0088
Tratamento	4,6977 ns	0,0726 ns	38,7658 ns
Erro a	6,4713	0,0824	16,9871
Tempo	22,9608 **	5,4646 **	2124,2797 **
Interação Tratamento x Tempo	0,2686 ns	0,0104 ns	18,2713 **
Erro b	0,9153	0,0187	7,1706
Média	23,0958	1,2245	17,4530
Coeficiente de variação - Tratamento (%)	11,0144	23,4362	23,6151
Coeficiente de variação - Tempo (%)	4,1424	11,1752	15,3429

ns: não significativo; **significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste f.

Nas avaliações realizadas entre os 90 e 210 dias após a aplicação (DAA), o tratamento T3 exibiu um crescimento em diâmetro superior em comparação com o tratamento T4. No entanto, aos 210 DAA, constatou-se que o tratamento T4 apresentou um crescimento superior em relação ao T3.

Todavia, para variável “Estatura” a análise de variância indicou que não houve diferença estatística em relação ao fator “Tratamento”. No entanto, o fator “Tempo” teve um efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste f (TABELA 2). Isso implica no tempo desempenhar um papel importante na variação da estatura, com ganho de crescimento ao longo das avaliações de acordo com as mudanças de fases fenológicas da cultura (brotação, perfilhamento, crescimento vegetativo e maturação). No entanto, não foi encontrada uma variação significativa na interação “Tratamento x Tempo”. O teste de média de Scott-Knott a 5 % de probabilidade aos 210 dias DAA indicou a formação de dois grupos distintos, o primeiro grupo foi formado pelo T5 e T6 que foi estatisticamente superior ao segundo formado por T1, T2, T3, e T4.

Para a variável “Stand”, a variação não foi estatisticamente significativa em relação ao fator “Tratamento”. No entanto, o fator “Tempo” e a interação entre o tratamento e o tempo foram estatisticamente significativa ao nível de 1% de probabilidade pelo teste f. Isso implica que o efeito dos tratamentos foram influenciados pelo tempo em magnitude diferente, indicando que o tratamento (1, 2 ou 3) tiveram aumento do perfilhamento

(TABELA 2).

Para variável “Estatura” (TABELA 2), o teste de agrupamento de médias de Scott-Knott a 5% de probabilidade, indicou que nas avaliações com 30, 60, 90 150 e 180 DAA não houve formação de grupos distintos. Todavia, na quarta e na sétima avaliações aos 120 e 210 DAA respectivamente houve a formação de dois grupos distintos, aos 120 DAA o primeiro grupo foi formado pelo T1, T2, T4, T5 e T6 que foram estatisticamente superior ao segundo grupo composto apenas pelo T3. Enquanto aos 210 dias, o primeiro grupo foi formado pelo T5 e T6 que foi estatisticamente superior ao segundo formado por T1, T2, T3, e T4.

Para a variável TPH o teste (f) indicou que o fator Tratamento teve um efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade. Isso sugere que diferentes tratamentos tiveram impactos significativamente diferentes na produção de tonelada de açúcar por hectare (TABELA 3). De forma semelhante, para a variável TCH o teste (f) mostrou que também teve um efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade. Isso implica que os diferentes tratamentos resultaram em níveis distintos de produtividade de colmos por hectare. O teste (f) revelou para variável FIBRA% teve um efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade na quantidade de fibra industrial da cana-de-açúcar. Ainda, a variável pol % corrigida (PCC) não demonstrou significância estatística.

O PCC não significativo contribuiu para que as variáveis PZA e BRIX também não apresentassem valores significativo. Pois são parâmetros que predominam a sacarose com fator primário na estimativa, assim como a variável açúcar total recuperável (ATR) (TABELA 3). Os coeficientes de variação (CV%) para TPH e TCH foram considerados altos, porém, por se tratar de variáveis quantitativas esse valor é considerável aceitável. Já para as variáveis FIBRA, PCC, PZA, °BRIX e ATR os valores de CV% foram considerados baixos, indicando uma ótima precisão experimental (TABELA 3).

TABELA 3 - Resumo da análise de variância para as variáveis: TPH; TCH; FBRA; PCC; PZA; BRIX; ATR.

Fontes de Variação	TPH	TCH	FIB	PCC	PZA	BRIX	ATR
Bloco	1,6631	103,6703	0,2200	0,2566	0,3901	0,2387	7,9569
Tratamento	5,3539 *	297,1440 *	0,6137 ns	0,4153 ns	2,7073 ns	0,5340 ns	16,2001 ns
Resíduo	1,7584	88,9069	0,8017	0,8670	2,9202	0,6378	24,1031
Média	6,4157	45,5788	26,4298	17,8283	88,9932	20,0288	141,1419
Coeficiente de Variação (%)	20,6690	20,6873	3,3878	5,2227	1,9202	3,9873	3,4784

*Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste f; ns – não sigficativo a 5% de probabilidade pelo teste f.

Para as variáveis TPH e TCH, a significância estatística do fator Tratamento sugere que diferentes tratamentos tiveram efeitos significativos na produtividade de tonelada de açúcar por tonelada de cana e produtividade de colmos de cana por hectare, respectivamente. Na TABELA 4, observa-se os resultados quanto ao rendimento da cana-de-açúcar (TCH e TPH).

TABELA 4 – Resultados de rendimento da cana-de-açúcar (TCH e TPH).

Tratamentos	TCH t ha ¹	TPH t ha ¹	Custo ha ⁻¹	Custo TCH t ⁻¹	Custo TPH t ⁻¹
T1	31,84	4,50	0,00	0,00	0,00
T2	49,42	6,99	1468,00	29,70	210,01
T3	49,23	7,01	664,10	13,49	94,74
T4	55,93	7,69	1328,20	23,75	172,72
T5	39,11	5,62	1992,30	50,94	354,50
T6	47,95	6,67	2656,40	55,40	398,26

DISCUSSÃO

Quanto ao resultado obtido no diâmetro, essa variável pode não ter sido influenciada pelos tratamentos devido uma série de fatores, incluindo a variedade da cana-de-açúcar, o ambiente de produção, o manejo da adubação, o fornecimento adequado de água, que desempenha um papel crucial na determinação da produtividade dessa cultura¹⁷. Conforme observado por Manhães et al.¹⁸, durante o estágio de desenvolvimento vegetativo da planta

de cana-de-açúcar, sob condições de estresse hídrico, ocorre uma redução no alongamento dos colmos, o que contribui para a diminuição do diâmetro. Ressalta-se ainda, a influência do fator tempo no crescimento do diâmetro da cana-de-açúcar, pois, a cultura da cana-de-açúcar apresenta colmos com diâmetros uniformes com maiores reservas¹⁹, a fim de assegurar níveis produtivos satisfatórios²⁰. Essa variável se mostra importante, especialmente por estar relacionada com a produção de biomassa²¹. Ainda, os resultados significativos de estatura obtidos com o fator tempo, estão diretamente relacionados as fases da cultura, sendo uma variável importante para a indústria de produção de açúcar e etanol, pois plantas mais altas geralmente resultam em maior produção por unidade de área cultivada²².

O uso de vinhaça enriquecida é uma prática que vem sendo estudada a pouco tempo, no entanto, os poucos trabalhos na literatura já enfatizam o seu benefício, como por exemplo, para a cana-de-açúcar, fornecendo água e nutrientes¹¹, além de influenciar as propriedades químicas e biológicas do solo que responderá para no desenvolvimento da planta, como no seu diâmetro²³.

Foi observado que todos os tratamentos apresentaram um aumento máximo no perfilhamento durante o estágio inicial do período vegetativo, isso pode ser atribuída em parte à elevada luminosidade da região, que está diretamente correlacionada a densidade de plantas, aliado ao uso da vinhaça enriquecida, que por conter macro e micronutrientes importantes, a cultura consegue expressar um melhor desempenho agrônômico, com resposta positiva no número de perfilhos²⁴. Ainda, em condições de alta luminosidade, é comum que a cultura da cana-de-açúcar apresente um maior número de perfilho²⁴.

Em estágios posteriores, houve uma notável diminuição no número de perfilhos, culminando no momento da colheita. Importante ressaltar que, mesmo com essa redução, os valores médios de perfilhos permaneceram dentro da faixa desejada para garantir níveis de produtividade conforme o esperado. Essa redução pode ser associada ao aumento da competição por recursos essenciais ao crescimento, como luz, água, nutrientes e espaço, levando à supressão dos perfilhos mais jovens e menos robustos^{26,27}.

Quanto a não significância da variável pol % corrigida (PCC), possivelmente, os diferentes tratamentos não influenciaram na capacidade das células parenquimatosas em acumular sacarose, fator corroborado pelo resultado não significativo da variável diâmetro²⁸.

Ainda, quanto aos resultados de TPH e TCH, estes são de grande importância em

aplicações que envolvem a produção e produtividade para o setor sucroenergético. A TCH é a medida mais importante na produção de cana-de-açúcar, visto ter várias implicações e importâncias para a produção sucroalcooleira, sendo um indicador-chave da eficiência da produção de cana-de-açúcar²⁹. A vinhaça enriquecida pode ser uma boa opção de aumento dessa variável, visto interferir de forma benéfica nas propriedades do solo, acarretando em benefícios para a cultura, visto seu elevado poder biofertilizante, gerando resultados promissores na produtividade dos canaviais³⁰.

Em relação à FIBRA, a influência significativa do Tratamento indica que os tratamentos tiveram um impacto substancial na quantidade de fibra bruta nos dados analisados. Isso pode ter implicações na qualidade dos produtos relacionados à fibra bruta. No entanto, para PCC, PZA, BRIX e ATR, a falta de significância estatística do Tratamento sugere que os diferentes tratamentos não tiveram um impacto estatisticamente significativo nessas variáveis. Isso pode indicar que essas variáveis são menos sensíveis aos tratamentos com vinhaça enriquecida utilizados no estudo.

Esses resultados contribuem para nossa compreensão das variáveis de interesse e têm implicações importantes para a otimização de práticas de cultivo e tratamento da cultura da cana-de-açúcar. No entanto, é importante notar que essas interpretações devem ser consideradas em conjunto com o contexto do estudo e suas implicações práticas. Além disso, é crucial considerar as limitações do estudo, como o tamanho da amostra e a seleção dos tratamentos, ao avaliar a relevância e aplicabilidade desses resultados em cenários de áreas comerciais.

CONCLUSÃO

O uso de vinhaça enriquecida como biofertilizante nas doses de 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ mostraram-se equiparados ao método convencional de adubação da cana-de-açúcar em solo arenoso sob o manejo de sequeiro em relação ao rendimento agrícola.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, sem ele nada seria possível.

A minha esposa, Sr^a. Héliadsa Sales Henrique, por nunca me abandonar em todos os momentos da minha vida.

A Faculdade de Enfermagem Nova Esperança e aos professores pelo comprometimento.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Robson da Silva Ramos, pela pessoa e profissional, sempre dedicado em orientar-me e ter depositado sua confiança nesse estudo.

A banca examinadora (Prof^a. Dr^a. Débora Teresa da Rocha G. F. de Almeida) e (Prof. Dr. Thyago Augusto Medeiros Lira) por contribuírem para a melhoria deste trabalho.

A Usina Central Olho D'água, por contribuir com a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. UNICA. União das Indústrias Brasileiras de Cana-de-açúcar. Disponível em: <https://unica.com.br/setor-sucroenergetico/>. Acesso em: 25/08/2023.
2. Geraldeli AL.; Manejo de *Cyperus rotundus* L. em cana-de-açúcar no sistema de mudas pré-brotadas (MPB). Tese de Doutorado (Pós-Graduação em Fitotecnia). Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2019. 93 p.
3. CONAB. Companhia Nacional de abastecimento. Disponível em <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-cana-de-açúcar>. Acesso em 12/03/2023.
4. Cortez L, Magalhães P, Happi J. Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização. Revista Brasileira de Energia. 1992; 2(2):1-17.
5. EMBRAPA. Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana>. Acesso em 07/04/2023.
6. Salomon KR. Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás

- Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade, 2007 Itajubá, 219 p. Tese (Doutorado em Conversão de Energia) Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.
7. Rodrigues JD, Jadoski CJ, Fagan EB, Ono EO, Soares LH, Dourado Neto D. Fisiologia da produção de cana-de-açúcar. 2018; 64-66.
 8. Oliveira MW, Freire FM, Macêdo GA, Ferreira JJ. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. Informe Agropecuário. 2007; 28(239):30-43.
 9. SINDAÇÚCAR. Sindicato da indústria do açúcar e do álcool. 2021, no estado de Pernambuco. Utilização de vinhaça enriquecida aumenta produtividade do canavial. Disponível em: <https://www.sindacucaral.com.br/app/uploads/2021/11/121121.pdf>. Acesso em: 18 de abril de 2023.
 10. Araújo IS. Cultivo de cana de açúcar fertirrigada com vinhaça: uma revisão de literatura. 2021.
 11. Silva JHB, Almeida LJM, Silva ES, Barboza JB, Farias GMS, Dantas EA. Uso de vinhaça concentrada e enriquecida como biofertilizante na cana-de-açúcar: Uma revisão. Scientific Electronic Archives. 2023; 16(2).
 12. CANAOLINE, Vantagens da aplicação localizada de vinhaça concentrada. Disponível em <http://www.canaonline.com.br/conteudo/vantagens-da-aplicacao-localizada-de-vinhaca-concentrada.html>. Acesso em 25/02/2023.
 13. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades@. 2012, Brasília.

Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm>. Acesso em: abril de 2023.

14. Köppen W, Geiger R. Klimakarte der Erde (Climatic Map of the World). 1936.
15. SiBCS. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. Embrapa, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>. Acessado em: 15 agosto 2023.
16. Bono JAM, Santos Aguiar EB, Costa RM, Agüena FF, Ribeiro JD, Corrêa MPM. Avaliação da eficácia agrônômica do calcário fosfático no desenvolvimento fenológico e produtivo da cana-de-açúcar. *Research, Society and Development*. 2021; 10(7):e49210716762-e49210716762.
17. Rosseto R. A Cana de açúcar e a questão ambiental. In: Miranda LLD, Vasconcelos A CM, Landell MDA. Cana de açúcar, Campinas: Instituto Agrônômico, 2008.
18. Manhães CMC, Garcia RF, Francelino FMA, Francelino HO, Coelho FC. Fatores que afetam a brotação e o perfilamento da cana-de-açúcar. *Vértices*, 2015; 17(1):163-181.
19. Sathish D, Vasudevan V, Thebora J, Elayaraja D, Appunu C, Siva R, Manickavasagam M. Efficient direct plant regeneration from immature leaf roll explants of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) using polyamines and assessment of genetic fidelity by SCoT markers. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*. 2018; 54(4):399-412.
20. Araújo IS, Cultivo de cana de açúcar fertirrigada com vinhaça: uma revisão de literatura, 2021.
21. Han L, Yang G, Dai H, Xu B, Yang H, Feng H. et al. Modeling maize aboveground biomass based on machine learning approaches using UAV remote-sensing data. *Plant*

methods. 2019;15(1):1-19.

22. Reis V, Rios FA, Braz GBP, Constantin J, Hirata ES, Biffe DF. Agronomic performance of sugarcane inoculated with *Nitrospirillum amazonense* (BR11145). *Revista Caatinga*. 2020; 33:918-926.
23. Souza JKC, Oliveira Mesquita F, Neto JD, Souza MMA, Azevedo Farias CH, Mendes HC, Andrade Nunes RM. Fertirrigação com vinhaça na produção de cana-de-açúcar. *Agropecuária Científica no Semiárido*. 2015; 11(2):7-12.
24. CANAONLINE. Vantagens da aplicação localizada de vinhaça concentrada. 2021. Disponível em: <http://www.canaonline.com.br/conteudo/vantagens-da-aplicacao-localizada-de-vinhaca-concentrada.html>. Acesso em: 20/10/2023.
25. Bezuidenhout C, O'Leary GJ, Singels A, Bajic VB. A Process-based model to simulate changes in tiller density and light interception of sugarcane crops. *Agricultural Systems*. 2003; 76(2):589-599.
26. Singels A, Jackson F, Inman-Bamber G. Sugarcane. In: *Crop physiology case histories for major crops*. Academic Press,. 2021; 674-713.
27. Tian J, Tang M, Xu X, Luo S, Condrón LM, Lambers H, Wang J. Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) intercropping with reduced nitrogen input influences rhizosphere phosphorus dynamics and phosphorus acquisition of sugarcane (*Saccharum officinarum*). *Biology and Fertility of Soils*. 2020; 56:1063-1075.
28. Fugate KK, Eide JD, Martins DN, Grusak MA, Deckard EL, Finger FL. Colocalization of sucrose synthase expression and sucrose storage in the sugarbeet taproot indicates a potential role for sucrose catabolism in sucrose accumulation. *Journal of plant physiology*. 2019; 240:153016.

29. Silalertruksa T, Gheewala SH. Competitive use of sugarcane for food, fuel, and biochemical through the environmental and economic factors. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2020; 25:1343-1355.

30. Soto MA, Basso JB, Kiang CH. Impacto da fertirrigação da cana-de-açúcar por vinhaça nas propriedades físicas, químicas e hidráulicas do solo. In: Fontanetti CS, Bueno OC. (Org.). *Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica*. Bauru: Canal 6. 2017; 103-124.