

Utilização de inoculante líquido solubilizador
de fosfato formulado a base dos isolados de
Bacillus megaterium (b119) e *Bacillus*
subtilis (b2084) no plantio da cana-de-açúcar



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agricultura Digital
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
49**

Utilização de Inoculante Líquido Solubilizador de Fosfato
Formulado a Base dos Isolados de *Bacillus megaterium* (b119)
e *Bacillus subtilis* (b2084) no Plantio da Cana-de-Açúcar

*Geraldo Magela de Almeida Cançado
Julio Cezar Souza Vasconcelos
Christiane Abreu Oliveira Paiva
Daniel Christofolletti
Francisco José Severino
Artur Soares Pinto Junior
Guilherme de Medeiros
Luiz Antonio Falaguasta Barbosa
Eduardo Antonio Speranza
João Francisco Gonçalves Antunes*

Embrapa Agricultura Digital

Av. Dr. André Tosello, 209 - Cidade Universitária
Campinas, SP, Brasil
CEP. 13083-886
Fone: (19) 3211-5700
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente
Stanley Robson de Medeiros Oliveira

Secretária-Executiva
Maria Fernanda Moura

Membros
Adriana Farah Gonzalez, membro nato, Alexandre de Castro, membro indicado, Carla Cristiane Osawa, membro nato, Debora Pignatari Drucker, membro eleito, Ivan Mazoni, membro eleito, João Camargo Neto, membro indicado, Joao Francisco Goncalves Antunes, membro eleito, Magda Cruciol, membro nato.

Supervisão editorial
Stanley Robson de Medeiros Oliveira

Revisão de texto
Adriana Farah Gonzalez

Normalização bibliográfica
Carla Cristiane Osawa

Normalização bibliográfica
Carla Cristiane Osawa

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Mariana Pilatti sob supervisão de Magda Cruciol

Foto da capa
Gustavo Porpino

1ª edição
Publicação digital - PDF (2021)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Agricultura Digital

Utilização de inoculante líquido solubilizador de fosfato formulado a base dos isolados de *Bacillus megaterium* (b119) e *Bacillus subtilis* (b2084) no plantio da cana-de-açúcar / Geraldo Magela de Almeida Cançado ... [et al.]. - Campinas : Embrapa Agricultura Digital, 2021.

PDF (25 p.) : il. color. - (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Agricultura Digital, ISSN 2764-2633 ; 49).

1. Cana-de-açúcar. 2. *Saccharum officinarum*. 3. Bioinsumo. I. Cançado, Geraldo Magela de Almeida. II. Embrapa Agricultura Digital. III. Série.

Sumário

Introdução.....	7
Materiais e métodos.....	9
Resultados e Discussão.....	17
Considerações Finais	30
Agradecimentos.....	30
Referências bibliográficas	30

Utilização de Inoculante Líquido Solubilizador de Fosfato Formulado a Base dos Isolados de *Bacillus megaterium* (b119) e *Bacillus subtilis* (b2084) no Plantio da Cana-de-Açúcar

Geraldo Magela de Almeida Cançado¹

Julio Cezar Souza Vasconcelos²

Christiane Abreu Oliveira Paiva³

Daniel Christofolletti⁴

Francisco José Severino⁵

Artur Soares Pinto Junior⁶

Guilherme de Medeiros⁷

Luiz Antonio Falaguasta Barbosa⁸

Eduardo Antonio Speranza⁹

João Francisco Gonçalves Antunes¹⁰

Resumo - O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e para obter altos índices de produtividade combinada à prática do cultivo sustentável dos canaviais, constantemente os produtores buscam e adotam novas tecnologias que sejam não apenas eficientes no que se refere à produção e qualidade de produto, como também capazes de dirimir o impacto ambiental. No presente estudo, foi testado em lavouras de cana-de-açúcar, o uso associado do inoculante líquido formulado com os isolados *Bacillus megaterium* (b119) e *Bacillus subtilis* (b2084) com a adubação fosfatada, aplicados diretamente nos colmos no sulco de plantio. O objetivo foi avaliar a eficácia do inoculante líquido comercial SolubPhos Cana[®] na cultura da cana-de-açúcar, em sistema de produção similar ao manejo comercial empregado em canaviais destinados à produção de açúcar, etanol e biomassa. Os resultados indicaram que as doses crescentes do inoculante líquido SolubPhos Cana[®], variando de 250 mL ha⁻¹ até 1 L ha⁻¹, foram capazes de promover de forma crescente, o aumento em Toneladas de Cana por Hectare (TCH) e Toneladas de Açúcar por Hectare (TAH), mesmo com a metade da dose de P₂O₅ recomendada, indicando que o inoculante líquido SolubPhos Cana[®] aumenta a disponibilidade de fósforo (P) para as plantas, o que refletiu de forma positiva e estatisticamente significativa nos parâmetros de produtividade avaliados nas condições experimentais e nas variedades de cana-de-açúcar empregadas nos experimentos de campo.

Termos para indexação: *Saccharum officinarum* L.; bioinsumos; solubilizador de fosfato; fósforo-lábil; produtividade.

¹ Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Biologia Molecular, pesquisador da Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP.

² Bacharel em Matemática, doutor em Estatística e Experimentação Agrônômica, bolsista de Estímulo a Inovação – Projeto CNPTIA/Coplacana/FAPED, Piracicaba, SP.

³ Engenheira-agrônoma, doutora em Biologia Vegetal, pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

⁴ Engenheiro-agrônomo, responsável técnico da Coplacana, Piracicaba, SP.

⁵ Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, gerente técnico da Coplacana, Piracicaba, SP.

⁶ Bacharel em Biologia, doutor em Agronomia, gerente de pesquisa e desenvolvimento, Simbiose - Indústria e Comércio de Fertilizantes e Insumos Microbiológicos, Santa Helena Cruz Alta, RS.

⁷ Engenheiro-agrônomo, técnico de pesquisa e desenvolvimento, Simbiose - Indústria e Comércio de Fertilizantes e Insumos Microbiológicos, Ribeirão Preto, SP.

⁸ Bacharel e mestre em Ciência da Computação, analista da Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP.

⁹ Bacharel e doutor em Ciência da Computação, analista da Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP.

¹⁰ Bacharel em Estatística, doutor em Engenharia-agrícola, pesquisador da Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP.

Use of liquid Inoculant formulated with *Bacillus megaterium* (b119) and *Bacillus subtilis* (b2084) involved with solubilization of phosphate during the cultivation of sugarcane

Abstract - Brazil is the world's largest producer of sugarcane and in order to achieve high levels of yield combined with sustainable practices of sugarcane cultivation, farmers are constantly looking for and applying new technologies that are focused not only in high production levels and better product quality but also in environmentally-friendly approaches. In the present study, the use of the liquid inoculant formulated with the isolates *Bacillus megaterium* (b119) and *Bacillus subtilis* (b2084), known as SolubPhos Cana[®], associated with the application of phosphate fertilizer was studied in three experimental fields of sugarcane. The inoculant and the fertilizer were applied directly over the stalks in the planting furrow. Thus, the aim of this work was to evaluate the efficiency of different doses of this inoculant during sugarcane growth and yield, keeping all procedures and practices similar to those applied in commercial fields of sugarcane. The results showed the increase of sugarcane yield and tons of sugar per hectare even when the half amount of recommended P₂O₅ fertilizer was used and it was to all doses of inoculant SolubPhos Cana[®] ranging from 250 mL ha⁻¹ to 1 L ha⁻¹. Besides that, it was also observed the increase of phosphorus (P) availability in the soils cultivated with different varieties of sugarcane and treated with the inoculant, reflecting in this way, positively and significantly in the plant parameters evaluated during the experiments.

Keywords: *Saccharum officinarum* L.; biostimulants; phosphate solubilizer; labile phosphorus; yield.

Introdução

A atividade agropecuária brasileira é notoriamente reconhecida pela sua alta eficiência e pelo desenvolvimento e adoção de tecnologias pioneiras para o setor. A exemplo disso, podemos mencionar o grande sucesso no uso de bactérias fixadoras de nitrogênio no cultivo de leguminosas como a soja (Hungria et al., 2001), o que tem proporcionado aumento de receita para os produtores, além de promover a adoção de práticas mais sustentáveis e menos agressivas para o meio ambiente, devido à redução no uso de insumos químicos.

Em face desse novo cenário de mudanças, o uso de inoculantes biológicos na agricultura amplia sua participação no agronegócio brasileiro a cada safra. Isso só tem sido possível graças a constante pesquisa por novas soluções no setor de bioinsumos, ampliando a disponibilidade de produtos com qualidade e eficácia comprovada. Atualmente o setor de bioinsumos movimentava perto de R \$1.0 bilhão por ano no Brasil e cresce a uma taxa anual superior a 10%. Entre 2015 e 2019, 40 novas empresas produtoras de bioinsumos ingressaram no setor no País, que, juntamente com as que já estavam operando antes de 2015, no final de 2019 totalizaram 80 biofábricas, indicando que mais da metade delas existem há menos de 5 anos. O registro de novos produtos biológicos, por sua vez, cresceu de apenas 3, em 2011, para 106, em 2018 (Dall’Agnoli; Nogueira, 2020), indicando espaço para ampliação.

O inoculante líquido formulado com os isolados *Bacillus megaterium* (b119) e *Bacillus subtilis* (b2084) foi desenvolvido a partir de um longo trabalho de pesquisa da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) na unidade da Embrapa Milho e Sorgo (Oliveira-Paiva et al., 2020) que em parceria com a empresa Simbiose, lançou o primeiro inoculante comercial capaz de promover a solubilização de fósforo não-lábil. Atualmente, esse inoculante líquido já é registrado e comercializado para culturas como a soja e o milho.

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) ocupa papel de destaque no agronegócio brasileiro, já que o País detém há décadas a posição de maior produtor mundial, associada à adoção de tecnologias de produção e processamento consideradas como as mais modernas e eficientes do mundo. Além do açúcar e etanol, a cana-de-açúcar também vem alcançando destaque em setores como o da bioeletricidade e de biopolímeros, com a produção de plásticos biodegradáveis. Portanto, a incorporação de bioinsumos na prática cultural dos canaviais se apresenta como uma alternativa viável e desejável.

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), o volume da produção de cana-de-açúcar no ciclo 2020/21 totalizou 654,6 milhões de toneladas, 1,8% superior à produção da safra 2019/20, mesmo com todas as limitações climáticas observadas no meio da safra em 2020. A região Sudeste é a principal produtora, com 428,6 milhões de toneladas, seguida pelo Centro-Oeste e Nordeste com 140 e 48,4 milhões de toneladas respectivamente (Acompanhamento..., 2021), demonstrando a pujança da canavicultura nacional e sua importância para o agronegócio brasileiro.

Entretanto, devido ao fato de a cultura da cana-de-açúcar ser muito produtiva, atingindo valores superiores a 100 toneladas de colmos colhidos por hectare, essa elevada taxa de exportação na lavoura torna a cultura extremamente exigente no quesito de fertilidade do solo, sendo, portanto, muito dependente da aplicação frequente e maciça de fertilizantes químicos. Isso impacta diretamente no custo de produção, visto que a maior parte dos fertilizantes adquiridos pelos produtores tem preços indexados à taxa cambial, o que gera oscilações de preço que podem comprometer a lucratividade e a sustentabilidade da atividade agrícola. O uso de bioinsumos relacionado à fixação natural de nitrogênio atmosférico e, mais recentemente, bioinsumos capazes de disponibilizar

fosfatos retidos de forma não-lábil no solo para as raízes das plantas, cada vez mais assume uma importância não só ambiental, como também comercial, mais vantajosa para os produtores.

O fósforo (P) é um macronutriente de grande importância para o metabolismo celular das plantas. A baixa disponibilidade de P no solo para a cana-de-açúcar afeta severamente a capacidade de perfilhamento, desenvolvimento de folhas, comprimento e diâmetro de entrenós, promovendo perdas significativas na produtividade (Zambrosi, 2012). Embora se argumente que as doses de P utilizadas no plantio seriam suficientes para atender as exigências da cultura durante vários ciclos de crescimento, a disponibilidade do nutriente é significativamente reduzida ao longo do tempo (Korndörfer; Alcarde, 1992; Korndörfer; Melo, 2009) pela ligação covalente nas partículas do solo. Desta maneira, é possível que os níveis de P no solo não sejam compatíveis com a demanda da cana-de-açúcar, e também, para a manutenção do máximo potencial produtivo em cortes subsequentes (Zambrosi, 2012).

Uma característica muito peculiar dos fosfatos é que a sua retenção nas frações de argila do solo, torna seu comportamento no solo imprevisível. Segundo Fernadéz et al. (2008), a formação de P não-lábil a partir de formas lábeis, adsorvidas aos oxihidróxidos de ferro e alumínio, é a verdadeira razão para o baixo efeito residual da fertilização fosfatada em solos tropicais.

De acordo com a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA) (Melo, 2020), a quantidade de fertilizantes entregues ao mercado nacional em março/2020 obteve incremento de 15,5% em comparação a março/2019. As importações de fertilizantes intermediários alcançaram em março/2020 a quantidade de 1.849 mil toneladas, indicando um aumento de 39,5% em relação ao mesmo período de 2019 (Melo, 2020). No entanto, ao longo das últimas décadas, a produção interna de fertilizantes minerais tem sido insuficiente para abastecer a forte demanda dos produtores, fazendo com que o País importe cerca de 70% de nitrogênio (N), 50% de fósforo (P) e mais de 90% de potássio (K) do total consumido. Soma-se a isso o fato de a matéria-prima para a elaboração dos fertilizantes ser escassa, com extração viável apenas em poucas localidades no mundo, e com uma alta demanda de energia para sua síntese. (Ogino et al., 2021).

Portanto, a identificação e seleção de microrganismos capazes de solubilizarem P a partir de fosfatos de rocha podem contribuir para reduzir a dependência de fertilizantes importados (Gomes et al., 2014), visto que o uso de fosfatos de rocha naturais como fertilizante fosfatado em solos tropicais, como os do Brasil, apresentam inúmeras vantagens, que vão desde a disponibilidade no mercado local, menor custo comparado a outras fontes de fosfatos e liberação fracionada do P ao longo dos anos. No entanto, a baixa solubilidade pode ser um problema para a disponibilização de níveis corretos de P para as culturas, principalmente as mais exigentes nesse nutriente.

Nesse contexto, microrganismos solubilizadores de fosfato, como o *Bacillus*, são a opção mais ecológica e econômica para aumentar a disponibilidade de P para as plantas, uma vez que são capazes de transformar o P insolúvel em formas solúveis, mais acessíveis às plantas (Sousa et al., 2021).

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência agrônômica do inoculante líquido formulado com os isolados de *Bacillus megaterium* (B119) e *Bacillus subtilis* (B2084), denominado SolubPhos Cana® (Simbiose Indústria e Comércio de Fertilizantes e Insumos Microbiológicos LTDA) aplicado no plantio da cana-de-açúcar em associação com a adubação fosfatada.

Materiais e métodos

Localização

Os experimentos de campo foram conduzidos em três localidades no ano-safra de 2020/2021 conforme a seguir: 1) área de produção comercial do canavicultor Diogo Santin, localizada no município de Piracicaba-SP (47W 50' 20", 22S 43' 30") – Essa área será identificada ao longo do texto como SANTIN; 2) área de produção experimental da Unidade de Grãos da Cooperativa de Plantadores de Cana – Coplacana, no município de Piracicaba-SP (47W 34' 52", 22S 46' 26") – Essa área será identificada ao longo do texto como COPLACANA; e 3) área de produção comercial da Usina Granelli, no município de Charqueada-SP (47W 43' 36", 22S 31' 51") – Essa área será identificada ao longo do texto como GRANELLI. As três áreas estão localizadas em região com forte predominância da atividade de canavicultura, representando ambiente adequado para os testes com a cultura.

A Figura 1 ilustra as localidades onde foram instalados os experimentos e o perímetro em pontilhado amarelo indica a posição e formato das áreas experimentais.

Material Vegetal

Para cada uma das áreas foi utilizada uma cultivar comercial de cana-de-açúcar, conforme a Tabela 1. A canavicultura de alta eficiência tem a sua disposição um grande portfólio de cultivares comerciais, com indicação de cultivo, manejo e aplicações específicas para as condições edafoclimáticas regionais, resistência e tolerância a incidência de doenças e pragas de ocorrência local e até mesmo para o destino final da matéria-prima (açúcar, etanol, bioeletricidade e, mais recentemente, celulose para indústria) (Triana et al., 2008).

Tendo como referência a premissa acima, optou-se por testar o produto em diferentes cultivares, com constituição genotípica e fenotípica distintas, ampliando assim a interpretação dos dados para um contexto mais amplo no que se refere ao material vegetal testado.

Manejo e tratos culturais nas lavouras

Como as áreas experimentais foram conduzidas dentro de canaviais comerciais, as práticas culturais e o manejo dos experimentos foram realizados de forma semelhante ao que se aplica na rotina das lavouras destinadas a produção comercial, tais como uso de defensivos no controle de plantas daninhas, pragas e doenças; capina mecânica; adubação nitrogenada de cobertura; e tombamento da linha na fase de perfilhamento. Todas operações foram conduzidas de forma homogênea ao longo das parcelas experimentais e o adubo fosfatado só foi aplicado na ocasião do plantio.

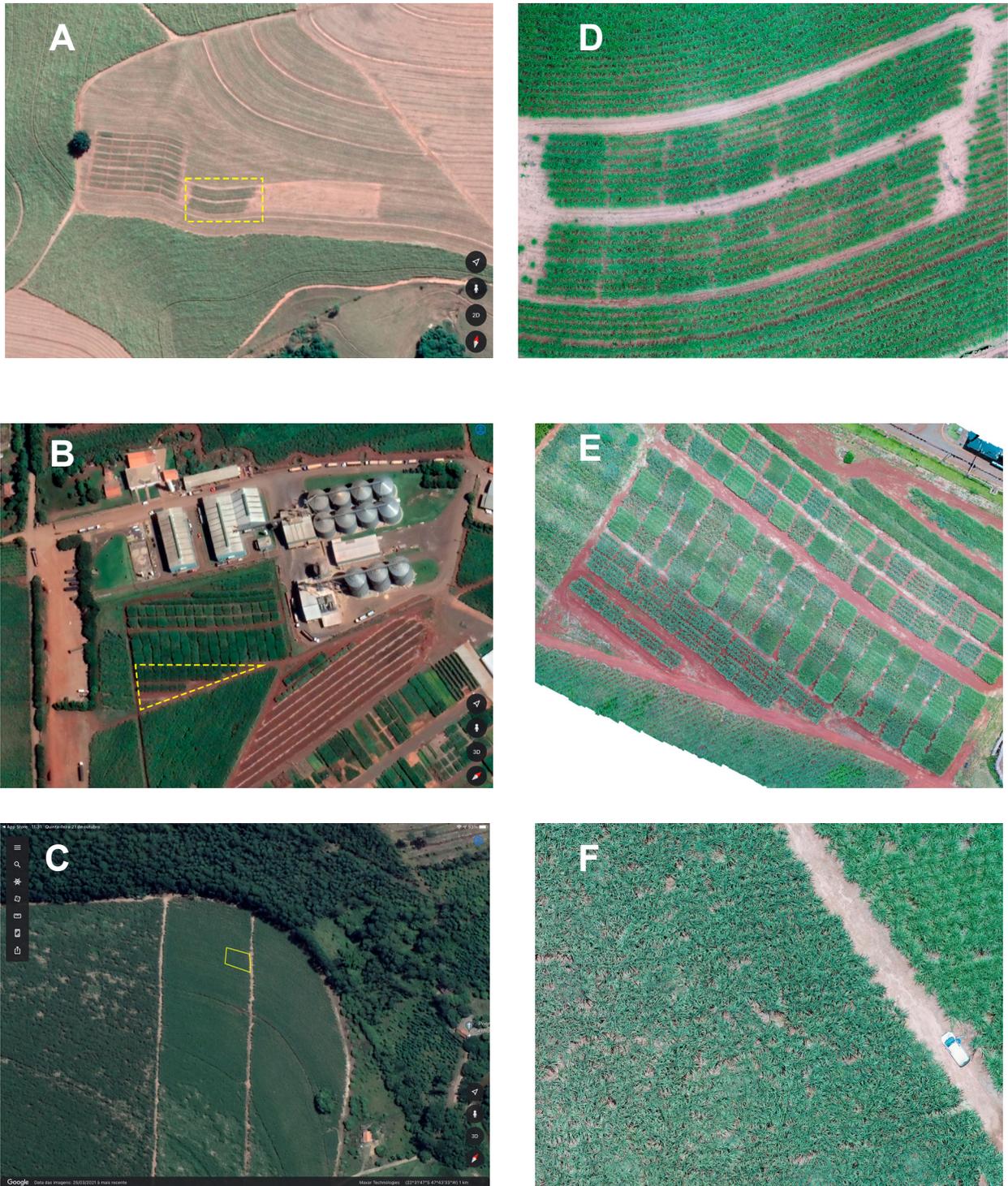


Figura 1. Localização das áreas experimentais: área experimental em lavoura de cultivo comercial do agricultor Diogo Santin, Rodovia Samuel de Castro Neves, município de Piracicaba-SP (A e D); área experimental na Unidade de Grãos da Coplacana, Rodovia do Açúcar, município de Piracicaba-SP (B e E); área experimental na Usina Granelli, SP-191, município de Charqueada-SP (C e F).

Tabela 1. Localização das áreas experimentais, datas de plantio e colheita e duração da lavoura no campo.

Local	Cultivar	Ciclo de maturação	Data de plantio	Data de colheita	Duração da lavoura (meses)
Santin	RB867515	Precoce a Médio	17/03/2020	01/06/2021	14,5
Coplacana	CTC9001	Precoce a Médio	06/04/2020	28/05/2021	11
Granelli	SP 80-3280	Médio	02/07/2020	13/04/2021	9,5

Delineamento experimental e tratamentos

Foram conduzidos três experimentos independentes, em delineamento em blocos casualizados com 7 tratamentos e 4 repetições por tratamento, totalizando 28 parcelas experimentais por experimento e um total de 84 parcelas experimentais para os três experimentos.

Os experimentos foram constituídos pelos seguintes tratamentos: T1- Controle - sem adubação fosfatada e sem inoculação no sulco; T2- 50% de adubação fosfatada (Super Triplo) e sem inoculação no sulco; T3- 100% de adubação fosfatada (Super Triplo) e sem inoculação no sulco; T4- 50% de adubação fosfatada (Super Triplo) e inoculação dos colmos no sulco com o inoculante SolubPhos Cana®, na dose de 250 mL ha⁻¹; T5- 50% de adubação fosfatada (Super Triplo) e inoculação dos colmos no sulco com o inoculante SolubPhos Cana®, na dose de 500 mL ha⁻¹; T6- 50% de adubação fosfatada (Super Triplo) e inoculação dos colmos no sulco com o inoculante SolubPhos Cana®, na dose de 750 mL ha⁻¹; T7- 50% de adubação fosfatada (Super Triplo) e inoculação dos colmos no sulco com o inoculante SolubPhos Cana®, na dose de 1 L ha⁻¹.

Após a aplicação, os sulcos foram imediatamente cobertos por cultivador mecânico para evitar a incidência de raios solares sobre a superfície tratada dos colmos.

Referente à área experimental e espaçamento entrelinhas adotados, foram utilizados os espaçamentos de 1,4 m na área da Granelli e de 1,5 m nas áreas do Santin e da Coplacana. Os comprimentos de linhas nas parcelas foram de 7 m na área da Coplacana e 10 m nas áreas do Santin e da Granelli. Na Figura 2 há uma representação genérica do croqui da área experimental e na Tabela 2, detalhes do volume de inoculante líquido aplicado e peso do fertilizante Super Simple aplicados nas parcelas.

Cada parcela experimental foi constituída por quatro linhas, perfazendo respectivamente, área útil total por parcela e área total por experimento conforme se segue: 1) Santin: 60 m²/parcela e 1.680 m²/experimento; 2) Coplacana: 42 m²/parcela e 1.176 m²/experimento; e 3) Granelli: 56 m²/parcela e 1.568 m²/experimento.

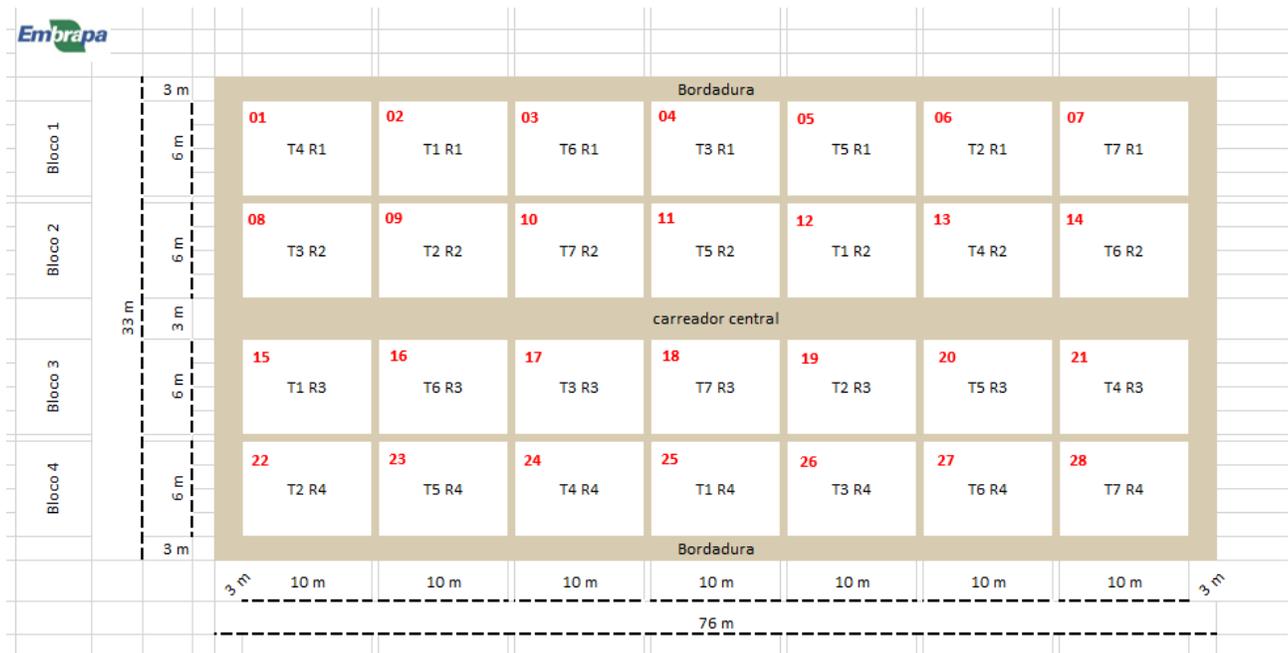


Figura 2. Delineamento experimental em blocos, adotado nas áreas onde foram instalados os testes. O croqui na ilustração se trata de uma representação genérica, tendo em vista que houve variações no comprimento/largura das parcelas e disposição dos blocos em função da área disponível para alocar cada um dos experimentos.

Tabela 2. Descrição dos tratamentos, volumes de inóculo líquido e pesos de Super Simples aplicados nas parcelas em seus respectivos tratamentos.

Tratamentos	Quantidade de fertilizante e doses de Inóculo	Descrição	Super Simples (Kg)/Tratamento (parcela)	Super Simples (Kg)/Tratamento (4 repetições)	Dose de inóculo (mL)/Tratamento (parcela)	Dose de inóculo (mL)/Tratamento (4 repetições)
T1	0%P	Sem adubação e sem inóculo	0	0	0	0
T2	50%P	50% de super triplo (130 Kg SS com 46% P ₂ O ₅ /ha)	0,78	3,12	0	0
T3	100%P	100% de super triplo (260 Kg SS com 46% P ₂ O ₅ /ha)	1,56	6,24	0	0
T4	50%P + 250 mL/ha inóculo	50% de super triplo (130 Kg SS com 46% P ₂ O ₅ /ha) + 250 mL/ha inóculo	0,78	3,12	1,5	6
T5	50%P + 500 mL/ha inóculo	50% de super triplo (130 Kg SS com 46% P ₂ O ₅ /ha) + 500 mL/ha inóculo	0,78	3,12	3,0	12
T6	50%P + 750 mL/ha inóculo	50% de super triplo (130 Kg SS com 46% P ₂ O ₅ /ha) + 750 mL/ha inóculo	0,78	3,12	4,5	18
T7	50% + 1000 mL/ha inóculo	50% de super triplo (130 Kg SS com 46% P ₂ O ₅ /ha) + 1000 mL/ha inóculo	0,78	3,12	6,0	24

Os resultados da análise de fertilidade do solo nas três áreas onde foram instalados os experimentos, antes da aplicação dos tratamentos, são mostrados na Tabela 3. Foram coletadas com auxílio de trado, 4 subamostras na camada superficial de 0 a 40 cm para cada parcela da área experimental, gerando ao final uma amostra composta por parcela experimental. Com exceção da área da Granelli, que apresentou nível médio de fertilidade para P, as demais áreas apresentaram baixa disponibilidade desse nutriente em condição nativa. Para avaliação dos níveis de P no solo após a aplicação dos tratamentos, novas amostragens para cada parcela experimental foram realizadas cerca de 4 meses após a instalação dos experimentos.

Tabela 3. Resultados analíticos da amostragem dos solos onde foram instalados os experimentos.

Área	pH Solução CaCl ₂	M.O. Solução Sulfurosa g/dm ³	P Resina mg/dm ³	K Resina mmolc/dm ³	Ca Resina mmolc/dm ³
Santin	5,05	7	14	0,675	8
Coplacana	5,1	36,5	16	2,35	18
Granelli	5,1	36	26,5	9,85	20,5

Área	H+Al Tampão SMP mmolc/dm ³	Al KCl mmolc/dm ³	S Fosfato de Cálcio mg/dm ³	B Água Quente mg/dm ³	Cu DTPA-TEA* mg/dm ³
Santin	19,25	0,25	2,75	0,193	0,2
Coplacana	40	0,25	8,75	0,238	3,3
Granelli	36,5	0	25	0,308	0,6

Área	Mn DTPA-TEA* mg/dm ³	Zn DTPA-TEA* mg/dm ³	S.B. (s/extrator) mmolc/dm ³	CTC (s/extrator) mmolc/dm ³	V (s/extrator) %
Santin	4	0,75	12,425	31,675	39,75
Coplacana	30,5	1,1	30,6	70,6	43,5
Granelli	18,75	1,65	44,35	80,85	55,25

Área	K/CTC (s/extrator) %	Ca/CTC (s/extrator) %	Mg/CTC (s/extrator) %	C.O. Solução Sulfurosa mg/dm ³
Santin	2,5	25,5	11,75	4
Coplacana	3,5	25,5	14,5	21,25
Granelli	12	25,5	17,5	20,75

*Solução contendo ácido dietileno-triaminopenta cético e trietanolamina (Camargo et al, 2009).

Condições climáticas

Os registros de precipitação pluviométrica e as temperaturas máximas e mínimas para as regiões onde os experimentos foram instalados, e para o período de cultivo das lavouras no campo, estão indicados na Figura 3.

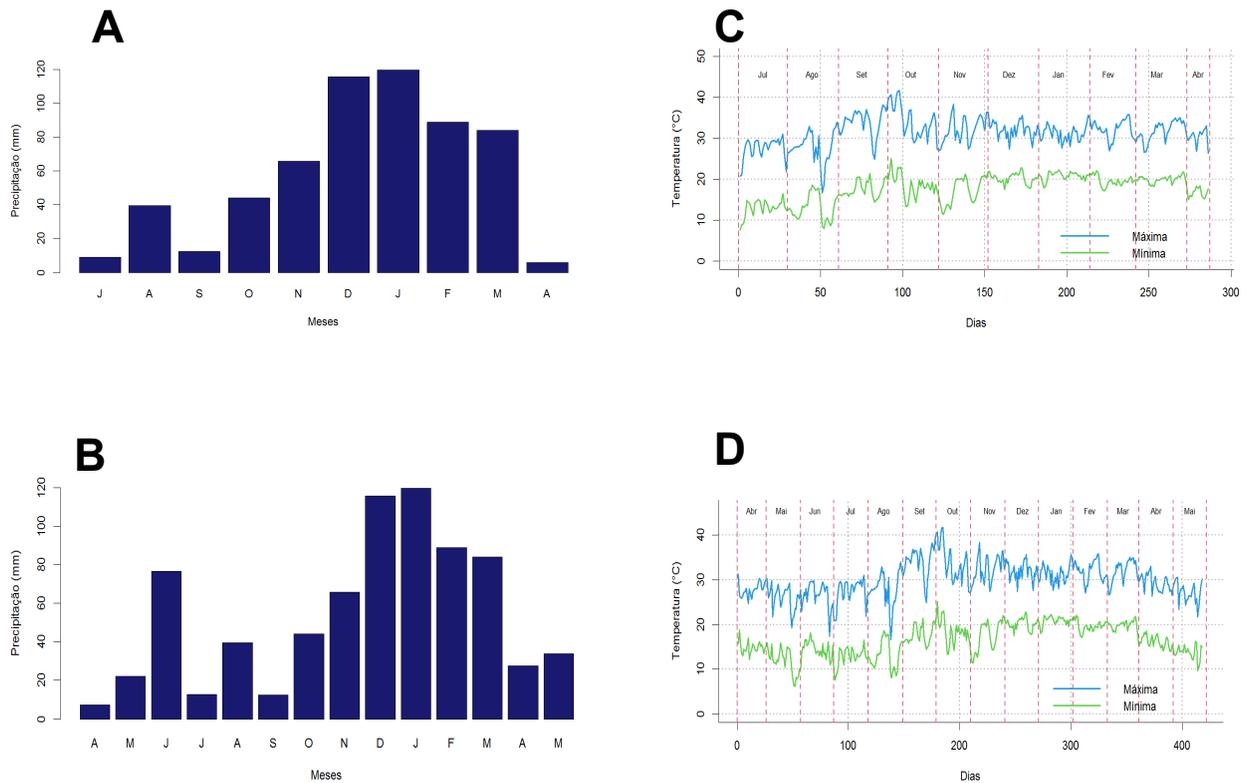


Figura 3. Volume de chuva de precipitação e temperaturas máximas e mínimas registradas durante o período de condução dos experimentos. Precipitação em Charqueada-SP (A); temperaturas máximas e mínimas em Charqueada-SP (B); precipitação em Piracicaba-SP (C); temperaturas máximas e mínimas em Piracicaba-SP (D).

Fonte: Elaborado com dados de The Power Data Access Viewer (2021).

Colheita, pesagem e análise tecnológica dos colmos

Ao final da safra, nos meses de abril a junho de 2021, para cada um dos experimentos foram colhidas as parcelas de forma individualizada, utilizando o corte manual dos colmos com facão e posterior desponte e despalha. Colmos, palhada e ponteiros foram separados e os colmos foram empilhados para a pesagem. O processo simulou a operação de colheita que é realizada em lavouras comerciais quando não se utiliza colhedoras de cana. Antes da pesagem, foi colhido uma amostra de cinco colmos escolhidos ao acaso na pilha de cada parcela. Essa amostra de cinco colmos/parcela, foi encaminhada para o laboratório de Análises de Maturação de Cana-de-açúcar da Associação dos Fornecedores de Cana de Piracicaba (AFOCAPI) para análise de brix, fibra e Açúcares Totais Recuperáveis (ATR). A pesagem das pilhas de colmos foi realizada utilizando a garra hidráulica do trator carregador, com auxílio de um sensor de pressão da marca Velki, instalado na linha hidráulica de acionamento da garra. Posteriormente, os valores de pressão registrados foram convertidos para valores de TCH. A partir dos dados de TCH e ATR, calculou-se os dados TAH, sendo, este último, o índice mais importante para os canavicultores, visto que a remuneração das lavouras de cana-de-açúcar pelas usinas é feita com base nos valores de TAH.

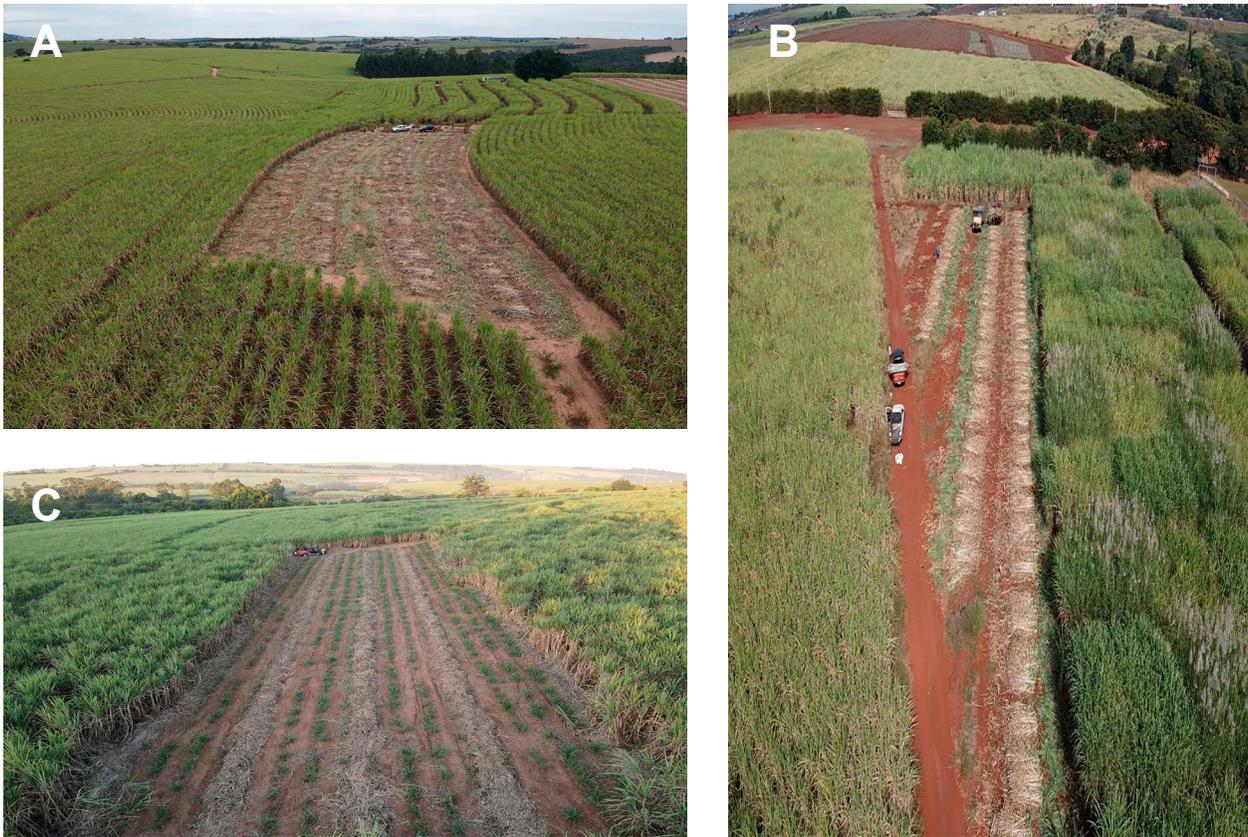


Figura 4. Aspecto das áreas experimentais depois do corte cana, separação de colmos, palha e ponteiros, para início do processo de pesagem das parcelas em: Santin (A); Coplacana (B); Granelli (C).

Análise estatística

Utilizou-se o software estatístico R para a análise de variância dos dados gerados e os testes de média que foram realizados.

Resultados e Discussão

A seguir serão apresentados os dados obtidos durante a condução dos experimentos no ciclo de cana planta para a safra de 2020/2021, assim como as análises estatísticas dos dados gerados pelos experimentos e a discussão dos resultados.

Como se pode observar na Figura 3, para o ano-safra 2020/2021, os desempenhos das lavouras foram impactados pela baixa ocorrência de chuvas nos meses de julho e setembro de 2020 e pelos picos de temperatura elevada, observados principalmente nos meses de setembro e outubro de 2020. A partir do mês de novembro de 2020, com a predominância da estação das chuvas, foi observado a recuperação das lavouras no campo.

Mesmo com a ocorrência de períodos climáticos desfavoráveis para o desenvolvimento das plantas nas áreas experimentais, ainda assim, foi possível detectar efeitos significativos e positivos para os tratamentos que utilizaram o inoculante, conforme descrito a seguir.

Resultados da análise de variância (ANOVA) e Modelos Lineares Generalizados (MLG) e comparações múltiplas de médias para as características agronômicas

Os índices de TCH, ATR e TAH são os mais importantes para refletir a performance da lavoura de cana-de-açúcar no que se refere à produtividade, qualidade e lucratividade.

Para o parâmetro TCH ajustou-se um modelo de análise de variância, em seguida aplicou-se um teste de normalidade, e de acordo com o teste de Shapiro-Wilk a 5% de significância, os resíduos apresentam normalidade. A Tabela 4 exibe os valores da ANOVA para o parâmetro TCH.

Tabela 4. Resultados da análise da variância para TCH.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F _{calculado}	F _{tabelado}
Bloco	3	1103	368	2,35	0,08
Local	2	46791	23395	149,32	<0,01
Tratamento	6	4900	817	5,21	<0,01
Erro	72	11281	157		
Total	83	64075			

De acordo com a Tabela 4, os fatores: local e tratamento são significativos ao nível de 5%, assim o efeito de local e o efeito de tratamento afetaram de modo significativo o TCH. Em relação ao parâmetro ATR ajustou-se um modelo de análise de variância, em seguida aplicou-se um teste de normalidade e foi constatado que os resíduos não apresentam normalidade, então se ajustou um Modelo Linear Generalizado.

Tabela 5. Resultados do MLG ajustado para ATR.

Efeito	Estimativa	Erro padrão	valor-p
Intercepto	7,65E ⁺⁰	<0,01	<0,01
Bloco B2	-2,24E ⁻¹	<0,01	0,12
Bloco B3	-1,10E ⁻¹	<0,01	0,44
Bloco B4	-2,00E ⁻¹	<0,01	0,16
Local Granelli	3,10E ⁺⁰	<0,01	<0,01
Local Santin	-3,84E ⁻²	<0,01	0,73
Tratamento T2	-8,88E ⁻²	<0,01	64
Tratamento T3	-3,42E ⁻¹	<0,01	0,07
Tratamento T4	-6,34E ⁻³	<0,01	0,97
Tratamento T5	8,25E ⁻²	<0,01	0,66
Tratamento T6	-4,38E ⁻³	<0,01	0,98
Tratamento T7	-5,65E ⁻²	<0,01	0,76

A Tabela 5 exibe os resultados do MLG ajustado para o parâmetro ATR. Note que somente o efeito de local é significativo ao nível de 5%. Para o parâmetro TAH ajustou-se um modelo de ANOVA, em seguida aplicou-se um teste de normalidade, e de acordo com o teste de Shapiro-Wilk a 5% de significância, os resíduos apresentam normalidade. A Tabela 6 exibe os valores da ANOVA para o parâmetro TAH.

Tabela 6. Resultados da análise da variância para TAH.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F _{calculado}	F _{tabelado}
Bloco	3	23,1	7,7	2,38	0,08
Local	2	683,6	341,8	105,98	<0,01
Tratamento	6	68,4	11,4	3,53	<0,01
Erro	72	232,2	3,2		
Total	83	1007,3			

De acordo com a Tabela 6, os fatores local e tratamento são significativos, assim o efeito de bloqueio e o efeito de tratamento afetam de modo significativo o TAH. Já a Tabela 7 a seguir, apresenta as médias observadas dos parâmetros: TCH, ATR e TAH.

Tabela 7. Comparações múltiplas de médias dos dados de TCH, ATR e TAH para os locais Granelli, Coplacana e Santin.

Tratamentos	TCH	ATR	TAH
	t ha ⁻¹	Kg t ⁻¹	t.ha ⁻¹
T1	106,14 d	120,42 a	12,43 c
T2	110,17 cd	121,75 a	13,16 bc
T3	106,69 d	125,72 a	13,17 bc
T4	113,34 bcd	120,51 a	13,50 bc
T5	120,41 abc	119,20 a	14,19 ab
T6	122,25 ab	120,48 a	14,42 ab
T7	127,39 a	121,26 a	15,35 a

De acordo com a Tabela 7, para o TCH a maior média observada foi no T7, ou seja, na maior dose do inoculante líquido que foi de 1.000 mL ha⁻¹, seguidos por T6 e T5, superando em 20,02%, 15,18% e 13,44% o tratamento testemunha T1, respectivamente, tratamento esse que não teve aplicação do inoculante e nem do adubo fosfatado. Vale ressaltar também que o T7 superou em 12,40%, 19,4% e 15,63% os tratamentos T4, T3 e T2, respectivamente, indicando o efeito positivo do inoculante, mesmo quando comparado com as testemunhas onde foi realizada a aplicação do fertilizante fosfatado em dose igual e superior ao do tratamento T7.

Em relação ATR, os tratamentos não apresentam diferença de médias entre si, ao nível de 5% de significância. O que pode ser explicado pelo fato de a concentração de açúcares totais nesse parâmetro ser obtida por análise laboratorial padronizada, onde o mesmo peso de amostra é utilizado para as análises. Como não era esperado alterações na concentração de açúcar, mas sim alterações na quantidade de açúcar, isso foi posteriormente confirmado pelos valores do parâmetro de TAH que são calculados em função do TCH e ATR. Para o parâmetro de TAH, o maior valor médio foi obtido no T7 superando em 13,70%, 16,55%, 16,64% e 23,49% os T4, T3, T2 e T1, respectivamente. Vale ressaltar também que os tratamentos T6 e T5 superaram em 16% e 14,16%, respectivamente o tratamento T1, novamente foi observado um amplo efeito positivo nos tratamentos onde se aplicou o inoculante líquido (T4, T5, T6 e T7), quando comparado aos tratamentos onde não houve a aplicação dele (T1, T2, T3).

Os gráficos de médias das Figuras 5 a 11, gerados pelo software R, indicam a tendência de valores superiores para os tratamentos T4, T5, T6 e T7, quando comparados às testemunhas T1, T2 e T3, para os parâmetros ATR e TAH, tanto para a média global obtida a partir dos dados dos três experimentos como para as médias de cada experimento analisado individualmente.

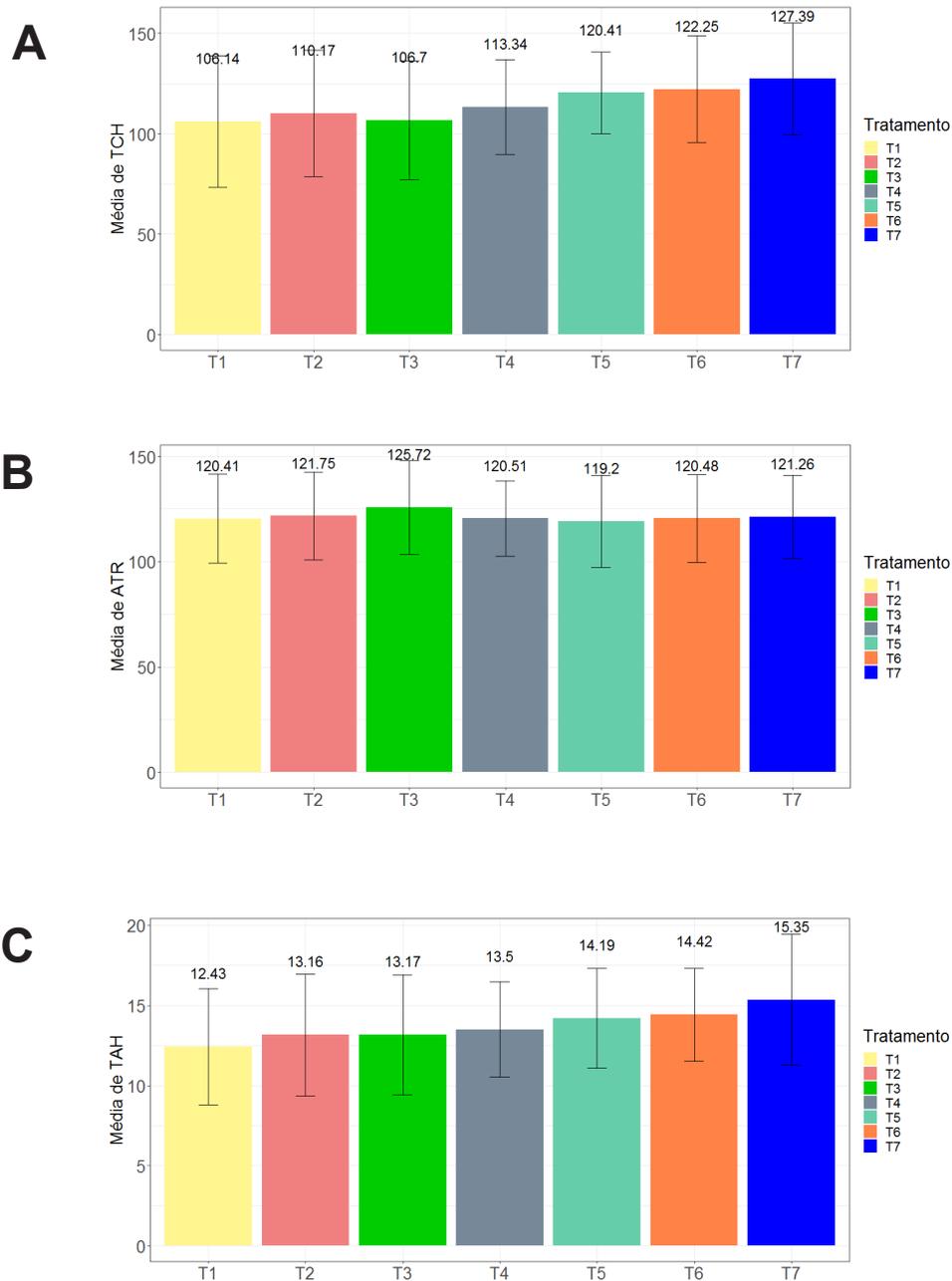


Figura 5. Gráficos de médias, para as três áreas experimentais analisadas conjuntamente, de TCH ($t\ ha^{-1}$) (A); ATR ($Kg\ t^{-1}$) (B); TAH ($t\ ha^{-1}$) (C). As barras verticais indicam o Desvio Padrão das Médias.

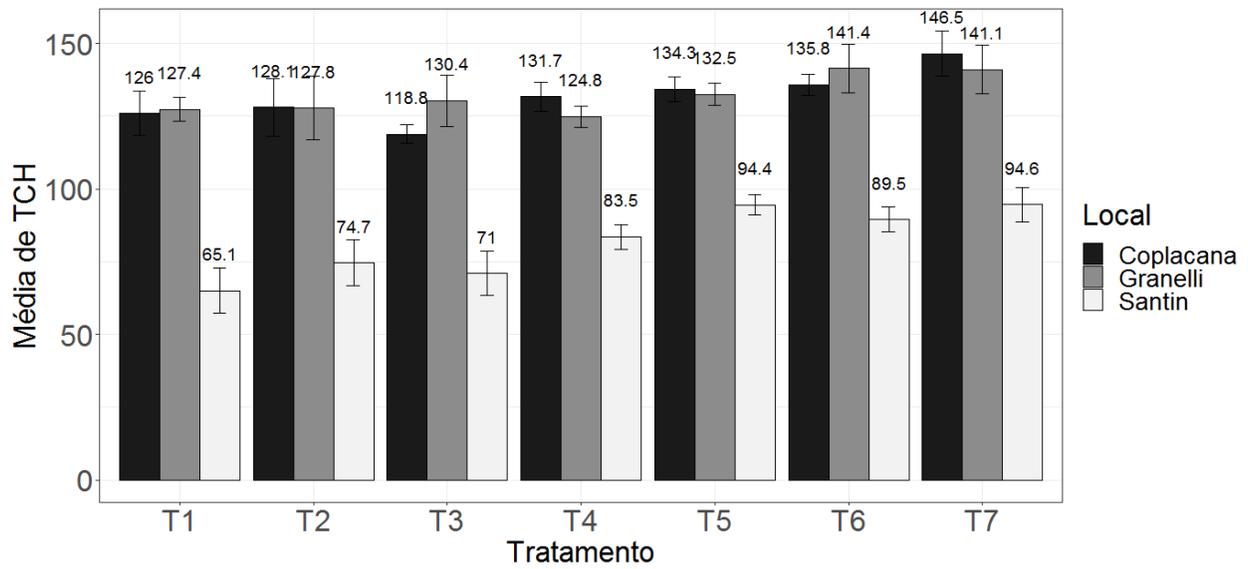


Figura 6. Gráficos de médias para TCH ($t\ ha^{-1}$) para as áreas experimentais do Santin, Coplacana e Granelli. As barras verticais indicam o Desvio Padrão das Médias.

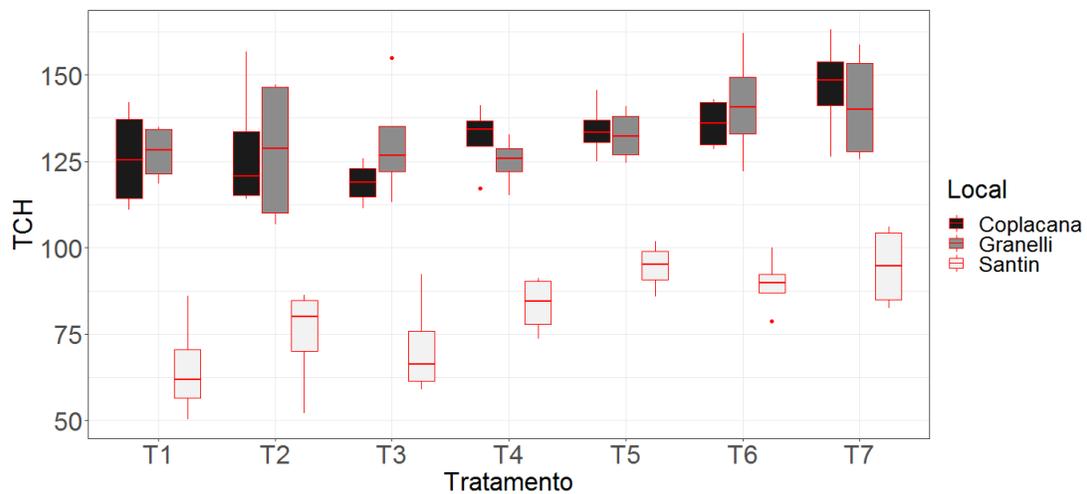


Figura 7. Boxplot do TCH ($t\ ha^{-1}$) para as áreas experimentais do Santin, Coplacana e Granelli.

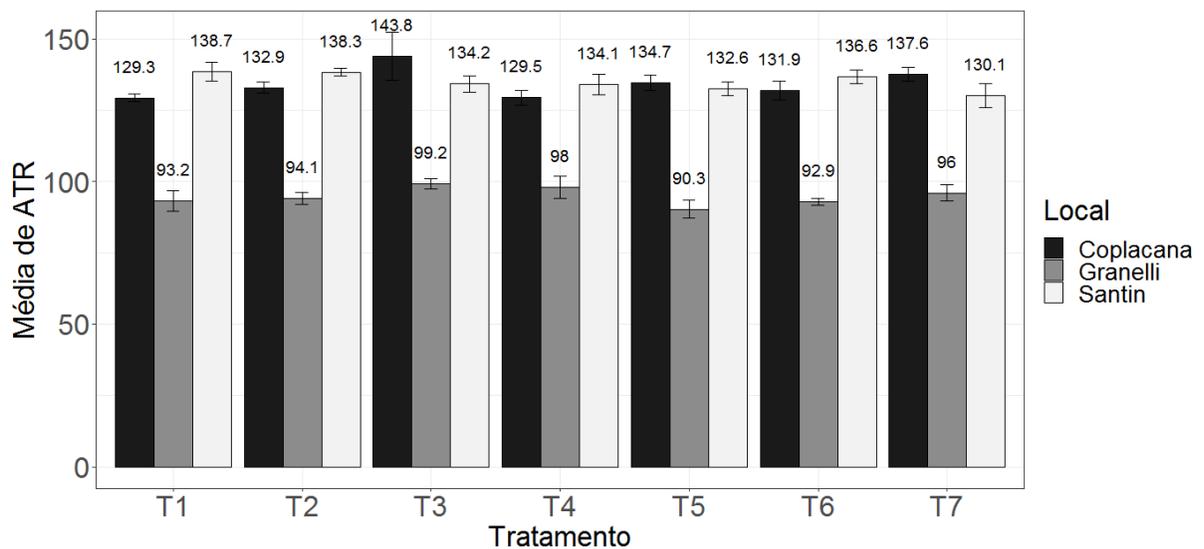


Figura 8. Gráficos de médias para ATR ($Kg\ t^{-1}$) para as áreas experimentais do Santin, Coplacana e Granelli. As barras verticais indicam o Desvio Padrão das Médias.

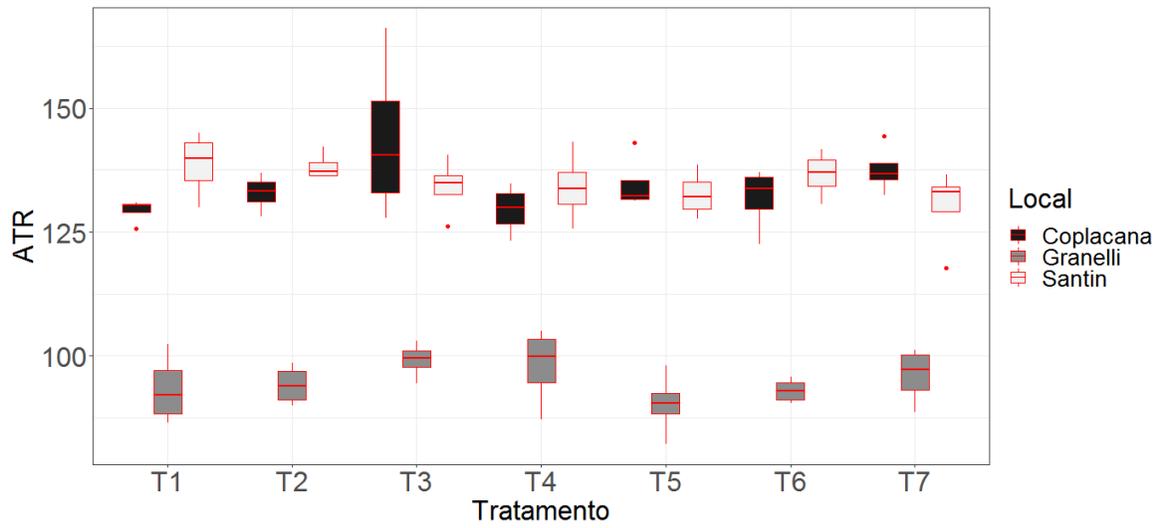


Figura 9. Boxplot do ATR (Kg t⁻¹) para as áreas experimentais do Santin, Coplacana e Granelli.

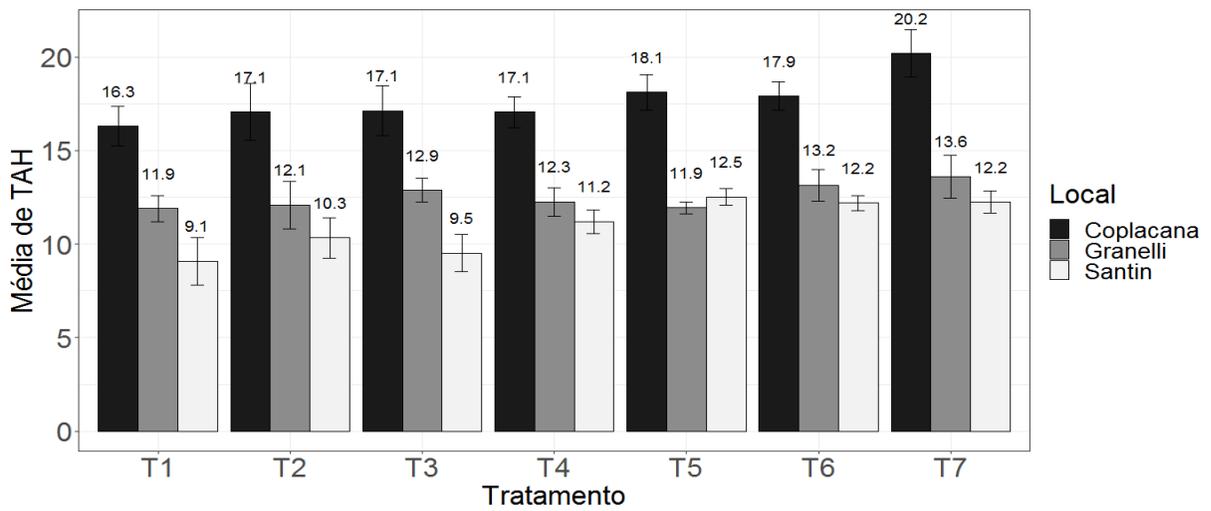


Figura 10. Gráficos de médias para TAH (t ha⁻¹) para as áreas experimentais do Santin, Coplacana e Granelli. As barras verticais indicam o Desvio Padrão das Médias.

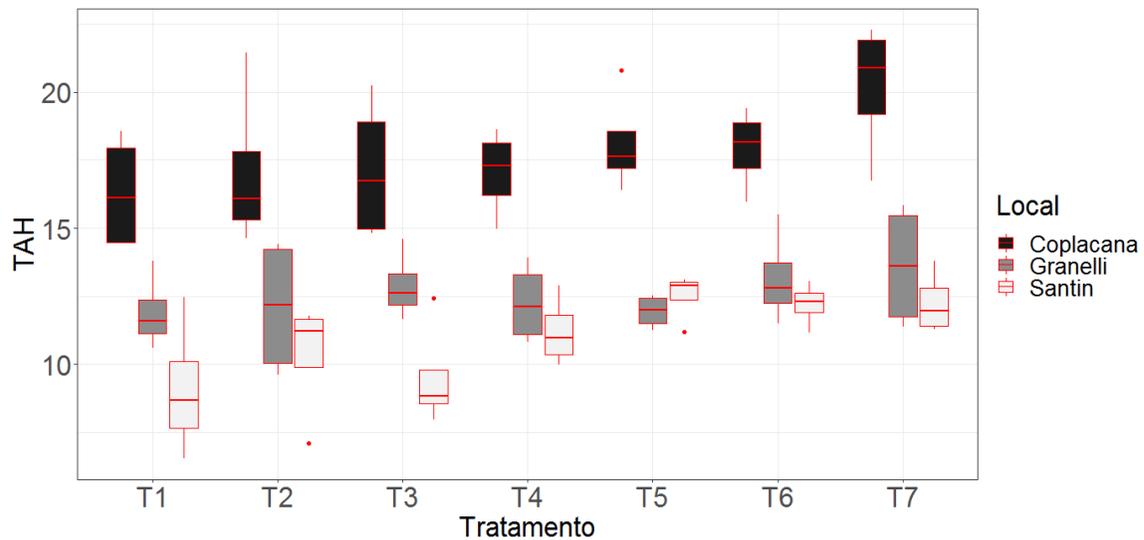


Figura 11. Boxplot do TAH (t ha⁻¹) para as áreas experimentais do Santin, Coplacana e Granelli.

Resultados da ANOVA e MLG e comparações múltiplas de médias para níveis de P₂O₅ no solo

Um aspecto importante para qualquer produto com capacidade de solubilizar fosfatos do solo é a constatação do aumento nos níveis de fosfatos solúveis, detectados em análises de solo após a aplicação do produto.

A seguir são apresentados os resultados da análise de variância (Tabela 8) e o teste de médias para os dados de P encontrados no solo (Tabela 9). De acordo com a Tabela 8, todos os fatores: bloco, local e tratamento diferem ao nível de 5% de significância, ou seja, todos os fatores afetaram de modo significativo o nível de P₂O₅ no solo, nota-se também que mesmo considerando diferentes locais é necessário realizar a blocagem nas áreas experimentais.

Com exceção do P, os demais elementos não apresentaram variações significativas entre os tratamentos, o que foi indicado também pelo teste de médias, pois as médias para potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) não apresentaram diferenças estatística entre os sete tratamentos conforme indicado na Tabela 9.

Tabela 8. Resultados da análise da variância para P_2O_5 em solos cultivados com cana-de-açúcar.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	F tabelado
Bloco	3	1579	526	2,81	0,05
Local	2	8031	4016	21,43	<0,01
Tratamento	6	2764	461	2,46	0,03
Erro	72	13492	187		
Total	83	25866			

Tabela 9. Teste de média para macronutrientes na análise de solo para os locais Granelli, Coplacana e Santin.

Tratamentos	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre
	Resina (mg/dm ³)	Resina (mmolc/dm ³)			
T1	18.83 b	4.29 a	15,50 a	9,33 a	12,17 a
T2	27.58 ab	5.10 a	17,50 a	9,25 a	11,50 a
T3	37.25a	4.81 a	16,25 a	9,58 a	15,08 a
T4	29.00 ab	4.53 a	14,33 a	8,33 a	12,50 a
T5	30.08 ab	4.69 a	15,75 a	9,58 a	12,92 a
T6	36.58 a	4.87 a	17,58 a	9,16 a	11,50 a
T7	31.75 a	4.67 a	14,16 a	8,25 a	13,25 a

Com exceção do tratamento T3, onde se aplicou o dobro da dose de Super Simplex daquela aplicada nos tratamentos T4, T5, T6 e T7, os tratamentos com as testemunhas T1 e T2 apresentaram os menores valores para o nível de P_2O_5 , considerando as três áreas de forma conjunta (Figura 12).

Avaliando se isoladamente cada área experimental (Figuras 13 e 14), observa-se uma maior flutuação nos níveis encontrados para P_2O_5 , com a maioria dos tratamentos onde foi aplicado o inoculante líquido (T4, T5, T6 e T7) apresentando valores similares, levemente superiores ou altamente superiores (significativos), quando comparados com as duas testemunhas onde não foi aplicado nenhuma fonte de P_2O_5 (T1) ou aplicado apenas 50% da dose de P_2O_5 (T2), respectivamente.

Variações nesse parâmetro eram esperadas, tendo em visto que os solos onde foram instalados os experimentos possuíam níveis de fertilidade distintos e características físicas diferentes: o tipo de solo na área do Santin é arenoso com baixa fertilidade enquanto o solo na área da Granelli é argiloso com elevada fertilidade nativa.

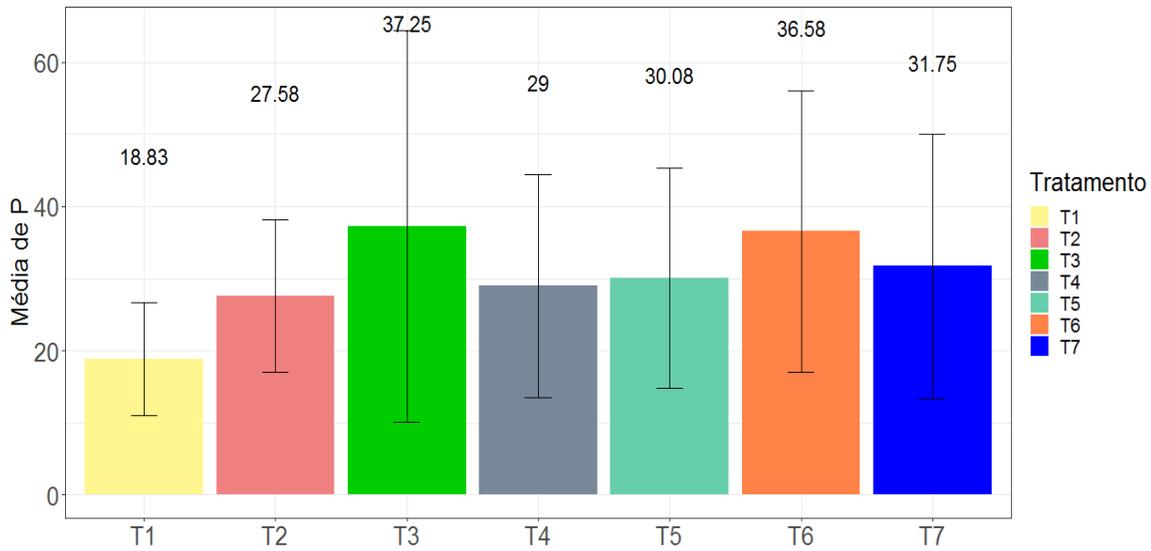


Figura 12. Teores médios de fósforo (P_2O_5) obtidos em análise de solo para os três experimentos analisados conjuntamente. As barras verticais indicam o desvio padrão das médias.

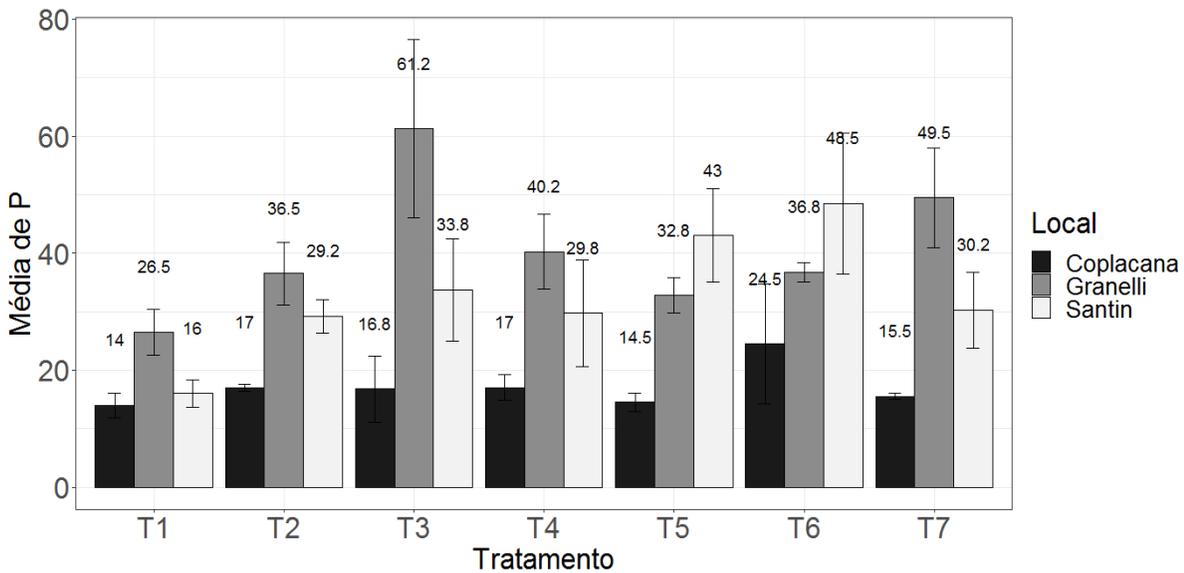


Figura 13. Gráficos de médias do parâmetro fósforo (P_2O_5) no solo para as áreas experimentais Santin, Coplacana e Granelli. As barras verticais indicam o Desvio Padrão das Médias.

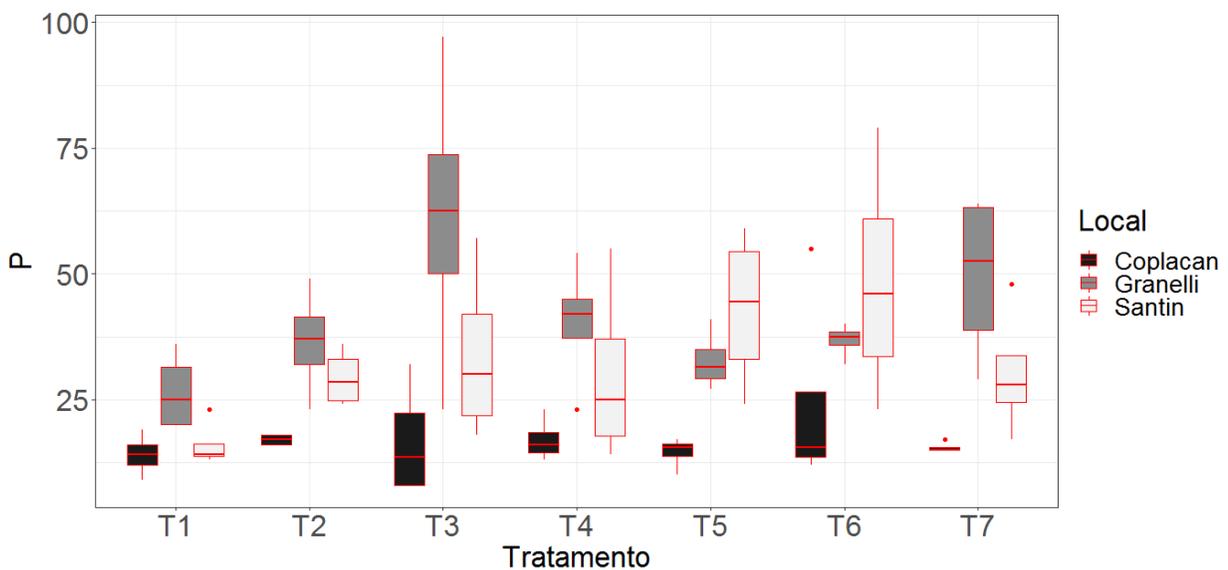


Figura 14. Boxplot do parâmetro fósforo (P_2O_5) no solo para as áreas experimentais Santin, Coplacana e Granelli.

Considerações Finais

Podemos concluir que para as condições experimentais aplicadas no presente estudo:

1) Foi observado efeito positivo e crescente para os parâmetros de toneladas de cana por hectare e toneladas de açúcar por hectare com a aplicação do inoculante líquido SolubPhos Cana® nas doses de 250 mL ha⁻¹; 500 mL ha⁻¹; 750 mL ha⁻¹; e 1 L ha⁻¹, respectivamente, para o conjunto de variedades testadas.

2) Foi observado para os tratamentos de 500 mL ha⁻¹, 750 mL ha⁻¹ e 1 L ha⁻¹ de inóculo líquido SolubPhos Cana®, teor de P₂O₅ no solo igual ou superior às testemunhas sem a aplicação do inóculo e sem/com aplicação de 50% da quantidade de P no sulco. Já o tratamento com a dose de 750 mL ha⁻¹ de SolubPhos Cana® associado a 50% da quantidade de P aplicado no sulco, foi superior à testemunha sem aplicação do inóculo mas com 100% da quantidade de P aplicado no sulco, para as áreas experimentais do Santin e da Coplacana.

3) De modo geral, o uso combinado de doses superiores a 500 mL ha⁻¹ do inóculo líquido SolubPhos Cana® associada a 50% da quantidade de adubação fosfatada recomendada foi capaz de promover aumento significativo para os parâmetros de TCH e TAH, associados respectivamente a produtividade e qualidade de matéria-prima na cultura da cana-de-açúcar, indicando a eficácia do inoculante SolubPhos Cana® para essa cultura.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro concedido pelo projeto EMBRAPA/FAPED/SIMBIOSE - SEG 30.21.90.005.00.00 e as bolsas concedidas pelo edital EMBRAPA/CNPq e projeto EMBRAPA/FAPED/COPLACANA – SEG 30.19.90.005.00.00.

Referências

ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA [DE] CANA-DE-AÇÚCAR: safra 2021/2022: 1º levantamento, v. 8, n. 1, p. 1-55, maio 2021.

CAMARGO, O. A. de; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2009. 77 p. (Boletim técnico, 106).

DALL'AGNOL, A.; NOGUEIRA, M. A. **Bioinsumos**: a terceira onda da agricultura brasileira. 16 jul. 2020. Disponível em: <<https://blogs.canalrural.com.br/embrapasoja/2020/07/16/bioinsumos-a-terceira-onda-da-agricultura-brasileira/>>. Acesso em: 11 jun. 2021.

FERNADÉZ R., I. E.; NOVAIS, R. F.; NUNES, F. N.; KER, J. C. Reversibilidade de fósforo não-lábil em solos submetidos à redução microbiana e química. II - Extrações sucessivas do fósforo pela resina de troca aniônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2319-2330, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000600010.

GOMES, E. A.; SILVA, U. de C.; MARRIEL, I. E.; PAIVA, C. A. de O.; LANA, U. G. de P. Rock phosphate solubilizing microorganisms isolated from maize rhizosphere soil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 1, p. 69-81, 2014. DOI: 10.18512/1980-6477/rbms.v13n1p69-81.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. de C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 48 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 35; Embrapa Cerrados. Circular técnica, 13). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/459673/1/circTec35.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2021.

KORNDÖRFER, G. H.; ALCARDE, J. C. Aplicação de fósforo e rendimento de cana soca e resso-ca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, n. 2, p. 183-186, maio/ago. 1992.

KORNDÖRFER, G. H.; MELO, S. P. de. Fontes de fósforo (fluída ou sólida) na produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 1, p. 92-97, jan./fev. 2009.

MELO, A. A. de. **Mercado de insumos agropecuários: fertilizantes e máquinas agrícolas**. [2020]. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj2gc-29eP0AhXfq5UCHWfoAtMQFnoECAYQAw&url=https%3A%2F%2Fwww.conab.gov.br%2Fcomponent%2Fk2%2Fitem%2Fdownload%2F32909_69142a69ca857b356d408edd612761de&usq=AOvVaw3EZxTXrmHDtxT6_cnHjmBZ>. Acesso em: 30 set. 2021.

OGINO, C. M.; COSTA JUNIOR, G.; POPOVA, N. D.; MARTINES FILHO, J. G. Poder de compra, preço e consumo de fertilizantes minerais: uma análise para o centro-oeste brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 59, n. 1, p. 1-19, 2021. DOI: 10.1590/1806-9479.2021.220367.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; SANTOS, F. C. dos; PINTO JUNIOR, A. S.; ALVES, V. M. C. **Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas culturas de milho e soja**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 20 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 210). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1126348/1/Bol-210.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2021.

SOUSA, S. M. de; OLIVEIRA, C. A. de; ANDRADE, D. L.; CARVALHO, C. G. de; RIBEIRO, V. P.; PASTINA, M. M.; MARRIEL, I. E.; LANA, U. G. de P.; GOMES, E. A. Tropical *Bacillus* strains inoculation enhances maize root surface area, dry weight, nutrient uptake and grain yield. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, p. 867-877, 2021. DOI: 10.1007/s00344-020-10146-9.

THE POWER Data Access Viewer. Disponível em: <<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>>. Acesso em: 15 jun. 2021.

TRIANA, O.; ABRIL, A.; WONG, A. Energy varieties of sugarcane as a novel source of fibre for the cellulose and paper industry. **Appita: Technology, Innovation, Manufacturing, Environment**, v. 61, n. 5, p. 402-407, Sept. 2008.

ZAMBROSI, F. C. B. Adubação com fósforo em cana-soca e sua interação com magnésio. **Bragantia**, v. 71, n. 3, p. 400-405, 2012. DOI: 10.1590/S0006-87052012005000029.



Agricultura Digital