



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA
DOCTORADO EM AGRONOMIA

JOSUÉ VALENTE LIMA

**RIZOBACTÉRIAS PROMOVEM O CRESCIMENTO, MELHORAM A EFICIÊNCIA
DO USO DE NUTRIENTES, ALTERAM A ARQUITETURA DE RAIZ E REDUZEM
CUSTOS DE PRODUÇÃO DE MUDAS DE PALMA DE ÓLEO**

BELÉM
2020

JOSUÉ VALENTE LIMA

**RIZOBACTÉRIAS PROMOVEM O CRESCIMENTO, MELHORAM A EFICIÊNCIA
DO USO DE NUTRIENTES, ALTERAM A ARQUITETURA DE RAIZ REDUZEM
CUSTOS DE PRODUÇÃO DE MUDAS DE PALMA DE ÓLEO**

Trabalho de tese apresentado à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de doutorado em agronomia: Área de concentração Agronomia, para obtenção do título de doutor.
Orientador: Profa. Dra. Gisele Barata da Silva

BELÉM

2020

JOSUÉ VALENTE LIMA

**RIZOBACTÉRIAS PROMOVEM O CRESCIMENTO, MELHORAM A EFICIÊNCIA
DO USO DE NUTRIENTES, ALTERAM A ARQUITETURA DE RAIZ REDUZEM
CUSTOS DE PRODUÇÃO DE MUDAS DE PALMA DE ÓLEO**

Trabalho de tese apresentado à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de doutorado em agronomia: Área de concentração: Agronomia. Linha de concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Profa. Dra. Gisele Barata da Silva

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Gisele Barata da Silva - Orientadora
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

Sergio Yoshimitsu Motoike– 1º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA-UFV

Dalton Dias da Silva Júnior– 2º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS-UFAM

Fábio Lopes Olivares – 2º Examinador
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMIUNENSE-UENF

RICARDO SALLES TINOCO – 2º Examinador
CONSULTOR TECNICO DE PALMA DE ÓLEO

Aos meus pais Edgar de Souza Lima e Maria de Nazaré Valente lima, por sempre acreditarem em mim.

DEDICO

OFEREÇO

Ao meu filho Josué Edgar Bezerra Lima, minha fonte de inspiração

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar queria agradecer a Deus pela minha existência.

Aos meus pais Edgar de Souza Lima e Maria de Nazaré Valente Lima, por estarem sempre ao meu lado, pela confiança depositada, amor e apoio nas horas difíceis desta caminhada.

Ao meu filho Josué Edgar Bezerra Lima pela alegria, motivação pra continuar lutando.

Aos meus irmãos Maria do Socorro, Marília, Jaílson, Jairo, Jessé, Jesiel, Jhonatan, Ellen, Érika, Jobson pelo carinho, apoio e incentivo, e a toda minha família que de alguma forma torce para meu sucesso.

À professora Gisele Barata da Silva pela amizade, profissionalismo, compreensão, comprometimento e orientação para a condução deste trabalho. Pelo conhecimento repassado e confiança depositada em mim.

Ao Professor Fabio Lopes Olivares, pela contribuição, profissionalismo e disponibilidade para melhorar o trabalho.

Ao professor Marcos Antônio Souza dos Santos pelo apoio, conhecimento repassado e contribuição na tese.

A minha namorada Bruna Sayuri Fujiyama por todo amor, carinho, apoio, força, companheirismo e conhecimento. Obrigado por estar sempre ao meu lado em todos momentos desta fase acadêmica, e por acreditar no meu sucesso e crescimento profissional.

Aos professores Sergio Yoshimitsu Motoike, Flavio José Rodrigues Cruz e Fabio Lopes Olivares, pela participação na banca qualificação.

Aos colegas do Laboratório de proteção de plantas-LPP João Paulo Moraes, Thayná Cruz, Gleiciane Santos, Alessandra Moraes, Ricardo Machado, Fernando Souza e Ana Paula Amaral por compartilharem das alegrias e dos momentos de dificuldades durante o período.

Aos meus amigos Gledson Castro, Rodolfo Santos, Michel Sato pela amizade e conhecimento repassado, na qual pude dividir momentos de alegrias e dificuldades. Obrigado.

A Universidade Federal Rural da Amazônia, pela oportunidade de cursar o doutorado em Agronomia e desenvolver todos os meus trabalhos.

Ao Grupo Agropalma S/A pela parceria e apoio incondicional para condução do experimento.

Ao parceiro Gilson Chia pelo apoio e suporte para que pudesse desenvolver a atividade.

Aos colegas da sala de pós na qual compartilharam momentos de alegria, estudo e troca de conhecimento e experiência.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (PGAGRO), pela oportunidade concedida.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização dessa pesquisa.

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
1. CONTEXTUALIZAÇÃO	10
REFERÊNCIAS	14
2.ALTERAÇÃO HORMONAL DESENCADEADO PELAS RIZOBACTÉRIAS AUMENTA A EFICIÊNCIA DO USO DE NUTRIENTES E A BIOMASSA DE PALMA DE ÓLEO.....	16
RESUMO	16
ABSTRACT	17
2.1 Introdução	17
2.2 Material e métodos	20
2.3 Resultados	26
2.4. Discussão.....	28
2.5 Conclusão.....	32
REFERÊNCIAS	33
Tabelas.....	39
Figuras.....	41
3. EFICIÊNCIA ECONÔMICA DO USO DE RIZOBACTÉRIA NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE PALMA DE ÓLEO.....	45
RESUMO	45
ABSTRACT.....	45
3.1 Introdução	46
3.2 Material e métodos	48
3.3 Resultados e discussão	50
3.4 Conclusão.....	54
REFERÊNCIAS	55
Tabelas.....	58
Figura.....	60
4. DINÂMICA DE RAÍZES FINAS INFLUENCIADO PELA INOCULAÇÃO DE RIZOBACTERIAS EM MUDAS DE PALMA DE ÓLEO.....	61
4.1 HIPÓTESE.....	61
4.2 OBJETIVO.....	61
4.3 Materiais e métodos.....	61
4.5 Resultados e discussão.....	64
REFERÊNCIAS.....	65
Figuras.....	66
CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	69

RESUMO

A Palma de Óleo (*Elaeis guineensis* Jaq) é uma das espécies de palmeira mais produtivas do mundo. No Brasil, os principais plantios comerciais desta cultura estão concentrados principalmente no estado do Pará. A obtenção do padrão exige um longo período de viveiro, alto consumo de fertilizantes químicos e altos custos operacionais. Devido a esse problema, as rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPR) são microrganismo de vida livre que habitam o solo, colonizam as raízes das plantas hospedeiras e exercem efeitos favoráveis ao crescimento das plantas através de vários mecanismos diretos e indiretos. O objetivo do estudo foi avaliar a promoção de crescimento, níveis hormonais, teores nutricionais e analisar a eficiência econômica em mudas de palma de óleo em resposta à inoculação de rizobactéria. Foram realizados dois ensaios experimentais. O primeiro experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado nas condições de viveiro, com três tratamentos e 10 repetições. Os tratamentos: T1: sem inoculação + 50% da adubação (C-); T2: com inoculação + 50% da adubação (UFRAB01) e T3: sem inoculação + 100% da adubação (C+). Plantas inoculadas aumentaram os níveis hormonais em 66% ácido indol-3-acético (AIA), 44% ácido abscísico (ABA), bem como o incremento do conteúdo de macro e micronutrientes por planta. Houve uma redução de 24% nos níveis de ácido 1-aminociclopropano-carboxílico (ACC). A inoculação promoveu o crescimento das plantas, aumentando em 110% matéria seca da parte aérea (MSPA), 123% matéria seca da raiz (MSR), 39% altura da planta (AP) e 19% diâmetro do coleto (DC), todos em relação à planta controle. A análise de eficiência econômica mostrou que a tecnologia microbiana diminui o tempo de viveiro e reduz o custo de produção de mudas. O uso da inoculação reduziu em 11% no valor da muda de palma de óleo. O segundo ensaio objetivou avaliar as alterações no sistema radicular, na aquisição e alocação de nutrientes em mudas de palma de óleo inoculadas com rizobactérias. O delineamento foi em blocos casualizados (DBC), utilizando quatro tratamentos com 6 repetições. Os tratamentos foram: T1: (C-) sem inoculação +50% da adubação; T2: plantas inoculadas com *Burkholderia pyrrocinia* BRM32113 + 50% da adubação; T3: plantas inoculadas com *Bacillus subtilis* UFRA92 +50%; T4: (C+) sem inoculação+100% da adubação. A inoculação influenciou positivamente no volume de raiz com aumento médio de 81%, comprimento 24%, área de superfície total 46%, 35% no diâmetro médio, 160% numero de pontas e 63% na ramificações quando comparado ao controle. Diante disso, a tecnologia microbiana se apresenta como uma forma de manejo para aumentar o rendimento da produção agrícola

e otimizar o uso de fertilizantes químicos convergindo para uma agricultura mais sustentável.

Palavras-chaves: Microrganismos, *Elaeis guineensis*, biofertilizantes, eficiência econômica, arquitetura de raiz

ABSTRACT

Oil palm (*Elaeis guineensis* Jaq) is one of the most productive palm species in the world. In Brazil, the main commercial plantations of this crop are concentrated mainly in the state of Pará. Achieving the standard requires a long nursery period, high consumption of chemical fertilizers and high operating costs. Due to this problem, plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) are free-living microorganisms that inhabit the soil, colonize host plant roots and exert favorable effects on plant growth through various direct and indirect mechanisms. The objective of this study was to evaluate the growth promotion, hormonal levels, nutritional contents and to analyze the economic efficiency and dynamic of thin roots in oil palm seedlings in response to rhizobacteria inoculation. The first experiment was conducted in a completely randomized design under nursery conditions, with three treatments and 10 replications. Treatments: T1: no inoculation + 50% fertilization (C-); T2: with inoculation + 50% of fertilization (UFRAB01) and T3: without inoculation + 100% of fertilization (C +). Inoculated plants increased hormone levels by 66% indol-3-acetic acid (IAA), 44% abscisic acid (ABA), as well as increased macro and micronutrient content per plant. There was a 24% reduction in 1-aminocyclopropane carboxylic acid (ACC) levels. Inoculation promoted plant growth by increasing by 110% shoot dry matter (MSPA), 123% root dry matter (MSR), 39% plant height (AP) and 19% stem diameter (DC), all in relation to the control plant. Economic efficiency analysis showed that microbial technology reduces nursery time and reduces the cost of seedling production. The use of inoculation reduced by 11% the value of oil palm seedling. The second essay aimed to analyze the dynamics of thin roots in inoculated seedlings. The design was in randomized blocks (DBC), using four treatments with 6 replications. The treatments were: T1: (C-) without inoculation + 50% of fertilization;; T2: plants inoculated with *Burkholderia pyrocinia* BRM32113 + 50% fertilization; T3: plants inoculated with *Bacillus subtilis* UFRA92 + 50%; T4: (C +) without inoculation + 100% fertilization. The inoculation positively influenced the root volume with an average increase of 81%, length 24%, total surface area 46%, 35% in the average diameter, 160% number of tips and 63% in the branches when compared to the control. Therefore, microbial technology is

presented as a form of management to increase the yield of agricultural production and optimize the use of chemical fertilizers converging to a more sustainable agriculture.

Keyword: Microorganisms, *Elaeis guineensis*, biofertilizers, economic efficiency, root dynamics

CONTEXTUALIZAÇÃO

A palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) da família das Areacaceae tem seu centro de origem nos trópicos úmidos das planícies da África Ocidental (WOITTIEZ et al., 2017). Esta cultura foi introduzida no Brasil por escravos africanos no início do século XVII, dando origem aos plantios subespontâneos no litoral do estado da Bahia. A expansão capitalista da palma de óleo pelo nordeste do Pará, teve início do século XXII, onde algumas regiões se tornaram atrativas ao desenvolvimento desta cultura devido a processos históricos e condições edafoclimáticas favoráveis. No estado do Pará, o primeiro cultivo planejado iniciou-se na década de 1960 por iniciativa da Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (Sudam), com a colaboração do Institut de Recherches pour lês Huiles et Oleagineux (IRHO), situado na França (HOMMA et al., 2001).

A palma de óleo apresenta um ciclo produtivo que pode ocorrer durante um período de 25 a 30 anos, sendo uma espécie de elevado capacidade de realizar sequestro de carbono e pode ser usado como reflorestamento de áreas degradadas, além de ter uma participação efetiva no Movimento de Desenvolvimento Limpo (CDM) com a venda de créditos de carbono (QUEIROZ et al., 2012).

O aumento da população mundial gerou alta demanda por alimentos e bens de consumo, o que necessita maiores avanços na produção agrícola. Devido ao alto consumo na indústria alimentícia, farmacêutica, cosmética e biocombustível, a palma de óleo se destaca como uma das culturas oleaginosas mais cultivada e promissora do mundo e que apresenta alto valor econômico na produção de óleo vegetal. O óleo é o foco desta cultura sendo umas das commodity mais importantes do cenário agrícola mundial (HOMMA; VIEIRA, 2012).

A produção mundial de palma de óleo gira em torno de 317,5 milhões de toneladas do fruto (FAO, 2017). A Indonésia e Malásia são os maiores produtores de óleo de palma, ambos são responsáveis por 86% da produção mundial (MALHIA et al., 2019). O Brasil ocupa o nono lugar da produção global, produzindo cerca de 1.565.197 toneladas de

cacho, porém, o país ainda não é autossuficiente nessa commodity sendo necessário que se mantenha competitiva e sustentável. No Brasil, o estado Pará é o maior produtor desta cultura sendo responsável por 90% da produção brasileira com aproximadamente 207 mil hectares o que representa 85% da área total cultivada (SATO et al., 2017; SEDAP, 2018).

Além da monocultura, vários estudos apontam a implementação da palma de óleo nos sistemas agroflorestais em pequenas propriedades. Isso mostra a versatilidade desta cultura no consórcio com outras atividades agrícolas, onde a característica dos componentes envolve uma interação positiva entre plantações de palma de óleo e outras espécies vegetais. A diversidade, adaptação e a complexidade da espécie potencializaram com que os sistemas agroflorestais se tornassem uma abordagem sustentável para integrar-se nas pequenas propriedades de palma de óleo, caracterizando uma cultura recomendada muito importante no sistema agroflorestal (SALLEH; HARUN, 2015).

Para a produção de mudas de palma de óleo em viveiro, substratos terriço de mata e cacho vazio decomposto nos plantios são recomendados para esta cultura (VIÉGAS; MÜLLER, 2000; BARCELOS et al., 2001). Entretanto, um manejo adequado nesta fase torna-se um fator importante para obter uma muda de qualidade, precoce e de grande potencial produtivo quando atingir a fase adulta.

A palma de óleo é cultivada no mundo todo, principalmente em regiões tropicais. A produção de mudas de palma de óleo leva cerca de 8 a 12 meses em viveiro para atingir o padrão adequado para o plantio definitivo. Além disso, uso excessivo a longo prazo de fertilizantes químicos e pesticidas eleva o custo de produção e causam impactos ambientais devido ao resíduo deste produto sintético no solo (ASTRIANI et al, 2016).

Em virtude desta problemática há necessidade de buscar novas formas de manejo que vise minimizar o custo produção de palma de óleo. Diante disso, a tecnologia microbiana apresenta-se como um método alternativo para ser incrementado no sistema de produção. Esse método vem sendo muito utilizado na agricultura moderna com viés muito promissor para atender as demandas do sistema agrícola. Dentre as tecnologias microbiana o uso de biopromotores, como rizobactérias, vem sendo muito eficientes para promover o crescimento vegetal, melhorar a qualidade das plantas e pode ser um benefício extra para a economia de fertilizantes (NASCENTE et al 2019; SIVASAKTHI et al 2013; VIEIRA JÚNIOR et al 2013).

Apesar da grande importância econômica da cultura no estado do Pará, pesquisas sobre a interação da palma de óleo com microrganismo ainda são poucas. Entretanto,

estudos indicam que o uso de tecnologia microbiana tem influenciado positivamente na mitigação à diversos estresses ambientais aumentando desempenho das plantas. Esse feito ocorre através das interações simbióticas e assimbióticas entre o microrganismo e o vegetal. As plantas fornecem ácidos orgânicos, água entre outros compostos, e em contrapartida o microrganismo induzem a produção de metabólitos primários e secundários que podem conferir benefícios à planta (KHAN et al 2019; BHARTI et al 2013; WITZEL et al 2017).

A interação assimbiótica entre microrganismo e planta beneficia positivamente o desempenho das plantas resultando no incremento do crescimento vegetal, absorção e translocação de nutrientes e proteção contra ação de patógenos (FILIPPI et al., 2011; GOH et al., 2013). Desse modo, as plantas se tornam mais robustas, vigorosa, nutridas, associado ao aumento de biomassa (RÊGO et al., 2014), induzindo rusticidade e o aumento da taxa de sobrevivência quando submetidas em ambientes com condições desfavoráveis.

As rizobactérias podem induzir e produzir compostos que estão diretamente ligados ao crescimento da planta como auxinas, giberelinas, citocininas (GRAÇAS et al., 2015). Promovem ainda melhor desenvolvimento das raízes (e, conseqüentemente, da planta) por modificar propriedades físicas, químicas e biológicas do solo ou substrato (KLOEPPER, 1980; CHAUHAN, et al., 2013). Esses microrganismos também sintetizam antibióticos, sideróforos e ácido hidroxicinâmico (HCN) que reduzem a atividade de patógenos. As rizobactérias dos gêneros *Pseudomonas* e *Bacillus* são geralmente bactérias não simbióticas (MAHESHWARI, 2011).

A maioria dos isolados bacterianos sintetiza compostos indólicos. Entre os compostos o ácido indol-3-acético (AIA) é a molécula abundante e ativa do grupo das auxinas, sendo sintetizada principalmente pelas plantas e bactérias (ROSIER et al 2018; GAMALERO; GLICK 2011). A auxina é um dos cinco fitohormônios clássicos conhecido nos sistemas biológicos, denominado como o hormônio do crescimento. Dentre os efeitos do AIA destacam-se a iniciação de raízes laterais e adventícias, o estímulo à divisão celular e o alongamento de raízes. Em células bacterianas esta molécula não atua especificamente como um hormônio, porém, na relação bactéria-planta funciona na promoção de crescimento dos vegetais (PATTEN e GLICK, 2002)

Entende-se que inoculação das PGPR pode promover o crescimento, desencadear o estímulo hormonal, melhorar a aquisição de nutrientes. O objetivo do estudo foi avaliar

o crescimento, indução da síntese de fitohormônios, a eficiência do uso de nutrientes, alteração na arquitetura radicular e o acúmulo de biomassa em mudas de palma de óleo inoculadas com rizobactérias.

REFERÊNCIAS

BARCELOS, E. et al. Produção de Mudanças de Dendezeiro na Amazônia. Embrapa **Amazônia Ocidental-Circular Técnica**, p. 1–12, 2001.

CHAUHAN, H.; BAGYARAJ, D.J.; SHARMA, A. Plant growth promoting bacterial endophytes from sugarcane and their potential in promoting growth of the host under field conditions. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 49, p. 43-52, 2013.

DELAUX P.-M.; XIE X.; TIMME R. E.; PUECH-PAGES V.; DUNAND C.; LECOMPTE E. Origin of strigolactones in the green lineage. *New Phytologist*. v.195 p.857–871, 2013.

FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Databases. Disponível em <<http://www.fao.org>>. Acesso em 25 de maio de 2019.

FILIPPI, M. C. C. et al. Leaf blast (*Magnaporthe oryzae*) suppression and growth promotion by rhizobacteria on aerobic rice in Brazil. **Biological Control**, v. 58, n. 2, p. 160–166, 2011.

GOH, C. H., VALLEJOS, D. F. V., NICOTRA, A. B., MATHESIUS, U. The impact of beneficial plant-associated microbes on plant phenotypic plasticity. **Journal of chemical ecology**, v. 39, n. 7, p. 826-839, 2013.

GRAÇAS, J. P., RIBEIRO, C., COELHO, F. A. A., CARVALHO, M. E. A., CASTRO, P. R. D. C. **Microrganismos estimulantes na agricultura**, 2015.

HOMMA, A. K. O.; FURLAN JÚNIOR, J. Desenvolvimento da dendeicultura na Amazônia: cronologia. In: MULLER, A. A.; FURLAN JÚNIOR, J. *Agronegócio do dendê: uma alternativa social, econômica e ambiental para o desenvolvimento sustentável da Amazônia*. Belém **Embrapa Amazônia Oriental**, p. 193-207, 2001.

HOMMA, A. K. O.; VIEIRA, I. C. G. Colóquio sobre dendezeiro: prioridades de pesquisas econômicas, sociais e ambientais na Amazônia. Amazônia: **Ciência & Desenvolvimento**, Belém, PA, v. 8, n. 15, p. 79-90, 2012.

KLOEPPER, J.W. Plant growth-promoting rhizobacteria as biological control agents. In: **METTING, F.B.**, ed. Soil microbial ecology. New York, Marcel Dekker, 1993. p. 255-274.1980

MAHESHWARI, D.K. Bacteria in agrobiolgy: crop ecosystems. Heidelberg: Springer, 2011. 434 p.

MAHLIA, T.M.I.; ISMAIL, N.; HOSSAIN, N.; SILITONGA, A. S.; SHAMSUDDIN, A. H. Palm oil and its wastes as bioenergy sources: a comprehensive review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 1-18, 2019.

PATTEN, C.L.; GLICK, B.R. Role of *Pseudomonas putida* Indoleacetic Acid in Development of the Host Plant Root System. **Applied and Environmental Microbiology**, v.68, n.8, p.3795-3801, 2002.

QUEIROZ, A. G.; FRANÇA, L.; PONTE, M. X. The life cycle assessment of biodiesel from palm oil (“dendê”) in the Amazon. **Biomass and bioenergy**, v. 36, p. 50-59, 2012.

RÊGO, M. C. F.; ILKIU-BORGES, F.; FILIPPI, M. C. C. D.; GONÇALVES, L. A.; SILVA, G. B. D. Morphoanatomical and biochemical changes in the roots of rice plants induced by plant growth-promoting microorganisms. **Journal of Botany**, 2014.

SATO, M. K., LIMA, H. V. D., FERREIRA, R. L. D. C., RODRIGUES, S., SILVA, Á. P. D. Least limiting water range for oil palm production in Amazon region, Brazil. **Scientia Agricola**, v. 74, n. 2, p. 148-156, 2017.

SEDAP. Dados Agropecuários: Dendê. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca (Accessed 25 May 2019). <http://www.sedap.pa.gov.br/dados-agropecuarios/agropecuaria>, 2018.

SIVASAKTHI, S. SIVASAKTHI, S., KANCHANA, D., USHARANI, G., & SARANRAJ, P. Production of plant growth promoting substance by *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis* isolated from paddy rhizosphere soil of Cuddalore district, Tamil Nadu, India. **International journal of microbiological research**, v. 4, n. 3, p. 227-233, 2013.

VENKATESHWARAN M.; VOLKENING J. D.; SUSSMAN M. R; ANÉ J. M. Symbiosis and the social network of higher plants. **Current Opinion in Plant Biology** 16 118–127, 2013

VIÉGAS, I. J.; MÜLLER, A. A. A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira. 1. ed. Belém: Embrapa, 2000.

VIEIRA JÚNIOR, J. R.; FERNANDES, C. de F.; ANTUNES JÚNIOR, H.; SILVA, M. S. da; SILVA, D. S. G. da; SILVA, U. O. da. **Rizobactérias como agentes de controle biológico e promotores de crescimento de plantas**. (Embrapa Rondônia. Documentos, 155). Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2013.

WOITTIEZ, L. S., VAN WIJK, M. T., SLINGERLAND, M., VAN NOORDWIJK, M., GILLER, K. E. Yield gaps in oil palm: A quantitative review of contributing factors. **European Journal of Agronomy**, v. 83, p. 57-77, 2017.

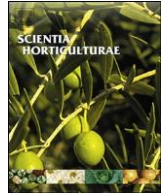
ASTRIANI, M., MUBARIK, N. R., TIAHJOLEKSONO, A. Selection of bacteria producing indole-3-acetic acid and its application on oil palm seedlings (*Elaeis guineensis* Jacq.). **Malaysian Journal of Microbiology**, v. 12, n. 2, p. 147-154, 2016.

CHIAPPERO, J., DEL ROSARIO CAPPELLARI, L., ALDERETE, L. G. S., PALERMO, T. B., BANCHIO, E. Plant growth promoting rhizobacteria improve the antioxidant status in *Mentha piperita* grown under drought stress leading to an enhancement of plant growth and total phenolic content. **Industrial Crops and Products**, v. 139, p. 111553, 2019.

NASCENTE, A. S., LANNA, A. C., DE SOUSA, T. P., CHAIBUB, A. A., DE SOUZA, A. C. A., DE FILIPPI, M. C. C. N Fertilizer Dose-Dependent Efficiency of *Serratia* spp.

for Improving Growth and Yield of Upland Rice (*Oryza sativa* L.). **International Journal of Plant Production**, p. 1-10, 2019.

KHAN, N., BANO, A., BABAR, M.D.A. Metabolic and physiological changes induced by plant growth regulators and plant growth promoting rhizobacteria and their impact on drought tolerance in *Cicer arietinum* L. **PloS one**, v. 14, n. 3, p. e0213040, 2019.



Hormonal imbalance triggered by rhizobacteria enhance nutrient use efficiency and biomass in oil palm

Josué Valente Lima^c, Ricardo Salles Tinôco^a, Fabio Lopes Olivares^b,
Alessandra Jackeline Guedes de Moraes^c, Gilson Sanchez Chia^d, Gisele Barata da Silva^{c,*}

^a OIL PALM CONSULTANT, BRAZIL

^b Center for Development of BIOLOGICAL Inputs for Agriculture (NUDIBA), North Fluminense STATE University Darcy Ribeiro (UENF), Av. Alberto LAMEGO 2000, CAMPOS dos GOYTACAZES, 28013-602, Rio de JANEIRO, RJ, BRAZIL

^c Institute of AGRICULTURAL Sciences, PLANT Protection LABORATORY (LPP), FEDERAL RURAL University of AMAZONIA (UFRA), Belém, PA, CEP 66077-830, BRAZIL

^d AGROPALMA Group S/A, TAILÂNDIA, PA, BRAZIL

ARTICLE INFO

Keywords:

Biostimulants
ELAEIS guineensis
Biofertilizer
Growth promotion

ABSTRACT

A bacterial isolate was investigated for its application in growth promotion of the palm plants seedlings (*ELAEIS guineensis* Jacq.) in the nursery. The isolate was identified as *BACILLUS AMYLOLIQUEFACIENS* UFRAB01 by sequencing of the 16S rDNA gene. The hormone stimulus strain increased by 66% Indole-Acetic Acid (IAA), 44% Abscisic Acid (ABA), as well as increased macro and micronutrients content per plant. In the inoculated plants there was a 24% reduction in 1-Aminocyclopropane-1-Carboxylic Acid (ACC) levels. Inoculation promoted plant growth by increasing shoot dry matter by 110%, 123% root dry matter, 39% plant height and 19% stem diameter (SD), as well as the Dickson quality index (IQD), all in comparison to the control plant. The results of this work reveal that the use of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) is able to alter the hormonal balance of the plant, increase the growth rates, as well as reduce chemical fertilizer use in palm oil plants by 50%. The improvement in the morphophysiological performance induces precocity, reducing the formation time of the seedlings in two months and the costs of production by reducing the use of chemical fertilization in the nursery period. The strain *B. AMYLOLIQUEFACIENS* UFRAB01 has the potential to promote the growth of palm oil plants.

1. Introduction

The oil palm (*ELAEIS guineensis* Jacq.) is an oleaginous crop vastly cultivated in tropical areas and is the most productive in the world with mean yield of 22 tons of fresh fruit bunch (FFB) (hectare.year⁻¹) and with mean productivity of 5 tons of oil (hectare.year⁻¹) (SEDAP, 2018). The extraction of the oil represents the main product of this culture, due to the high consumption in the food, pharmaceutical, cosmetic and biofuel industries, being very important economically for this culture to remain competitive and sustainable (Fakhrana et al., 2019; Johari et al., 2015; Mba et al., 2015). The world production is around 317.5 million tons of the fruit (FAO, 2017).

In the Brazilian Amazon, commercial oil palm plantations are concentrated in the northern region, mainly in the state of Pará, where it accounts for 90% of Brazilian production with approximately 198 thousand hectares, representing 85% of the total cultivated area (Sato et al., 2017; SEDAP, 2018).

Production of oil palm plantlets with qualities standard need a long

nursery period, high consumption of chemical fertilizer and high operating costs. However, there are studies that show that microbial technology is effective in minimizing the use of too much chemical fertilizer, in addition to producing an early and robust plant (Bender et al., 2016; Sattar et al., 2019).

PGPR (plant growth promoting rhizobacteria) are free-living microorganisms that inhabit the soil, colonize the roots of host plants and exert favorable effects on the growth and development of plants through various direct and indirect mechanisms (Grover et al., 2011; Kloepper and Schroth, 1978). This effect occurs through the biotic interaction, where different classes of biomacromolecules are exuded by the roots of the plants, attracting bacteria that colonize the rhizosphere, surface and occasionally the interior of the roots. These bacteria provide distinct primary and secondary metabolites to the plant. Among the compounds secreted by the most studied bacteria are phytohormones and other compounds with similar activity. The mechanisms of action associated with this supplementation are still poorly understood, but the impact on architecture, generation of electrochemical

* Corresponding author.

E-mail address: gisele.barata@ufra.edu.br (G.B.d. Silva).

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109161>

Received 4 September 2019; Received in revised form 23 December 2019; Accepted 27 December 2019

Available online 24 January 2020

0304-4238/© 2019 Published by Elsevier B.V.

gradients in the plasma membrane and absorption of nutrients in the root system have been reported (Olivares et al., 2017). These mechanisms induced by bactericide facilitate the acquisition of nutrients and can confer benefits to the plant (Asari et al., 2017; Rabbee et al., 2019). In addition to producing auxin, cytokinins, gibberellins, and increased activity of the enzyme ACC deaminase, which modulates ethylene levels in plant tissues (Bhattacharjee et al., 2012; Gupta et al., 2015; Patten and Glick, 2002), bacteria can synthesize siderophores and solubilize nutrients such as phosphorus, potassium, iron and zinc that are essential to plant development (Calvo et al., 2017; Zaidi and Khan, 2007).

The use of plant growth promoting bacteria represents a strategy that positively impacts modern agriculture by increasing yields of agricultural production and optimizing the use of chemical fertilizers converging towards a more sustainable agriculture. Among the PGPRs, *BACILLUS AMYLOLIQUEFACIENS* is a non-pathogenic bacterium that is native to the soil, usually associated with roots of higher plants and is used as a growth promoter, biofertilizer and biocontrol agent (Gautam et al., 2019). (Jamal et al., 2018) observed that population increases of *Bacillus AMYLOLIQUEFACIENS* in the soil promoted the growth of pepper plants (*CAPSIUM ANNUUM* L. Chungok); Similar results were found in *Glycine MAX* (Sharma et al., 2013). In biocontrol studies by (Raza et al., 2016) reported that *BACILLUS AMYLOLIQUEFACIENS* strain produced volatile organic compounds that reduced the growth of the pathogen *RALSTONIA SOLANACEARUM* by 40%.

Several plant species respond positively to inoculation with selected strains of PGPRs, such as increased yield and nutrient uptake in *ELAEIS guineensis* (Azri et al., 2018), improved yield in *ZEAMAYS* (Breedt et al., 2017), induction of heavy metal tolerance (Cd) in *SACCHARUM spp* (Rampazzo et al., 2018) and *ORYZA SATIVA* (Nascente et al., 2016), tolerance to abiotic stress in *SOLANUM tuberosum* (Gururani et al., 2013), tolerance induction to the heavy metal Cd in *Lycopersicon esculentum* (Khanna et al., 2019) suppression of disease in *Zingiber officinale* Rosc. (Dinesh et al., 2015) among others.

The hypothesis of this study is that bacterial isolate when inoculated via root system can significantly affect the development of oil palm plants, reflecting the alteration of phytohormone levels, resulting in increased on biomass production and nutrient concentration.

The objective of the present study is to evaluate the effect of the inoculation of *B. AMYLOLIQUEFACIENS* strain UFRAB01 and what are the implications that may occur in phytohormone levels, nutrient content and dry matter production in oil palm seedlings.

2. Materials and methods

2.1. LOCATION of the experiment

The experiment was carried out in the seedlings field of the Agropalma Group S/A, situated in the municipality of Tailandia, Pará, Brazil under the geographic coordinates (02° 33'04"W and 48° 42'32.4"S). The laboratory analyzes were conducted at the plant protection laboratory (LPP) of the Federal Rural University of Amazônia (UFRA), Belém-Pará, with geographic coordinates 01° 27'22" S and 48° 26'14"W.

2.2. PLANT MATERIAL AND growth conditions

The *ELAEIS guineensis* Jacq. vegetable material used in the research were bare-rooted PL10 oil palm clones, with an average height of 15 cm days obtained at 90 days by the micropropagation process. They were grown in pots of 6 dm³, containing 60% black soil and 40% organic matter, obtained from the empty bunch residue as the substrate.

The substrate used had the following chemical properties: pH (CaCl₂) = 5.8; N = 6029.8 ppm; P = 0.6 mg/dm³; K = 7.5 mmolc/dm³; Ca = 86 mmolc/dm³; Mg = 45 mmolc/dm³; S = 22 mg/dm³; Cl = 0003 ppm; Na = 1.1 mmolc/dm³; Fe = 98 mg/dm³; Cu = 0.7 mg/dm³; Zn = 9.5 mg/dm³; Mn = 28.5 mg/dm³; B = 2.06 mg/dm³.

The extractors used in the analysis of soil samples were: for K, Ca, Mg, Resin; N, salicylic acid; Na, P, Fe, Zn, Mn and Cu, Mehlich 1; Al, H + Al, KCl; pH 5.8; for B, hot water; for S, calcium phosphate.

The clones were nursed and irrigated to maintain the substrate moisture at around 80% of their maximum water retention capacity. The average daily air temperature varied between 21.51 °C and 32.68 °C during the experimental period.

2.3. Plant growth promoting rhizobacteria

The UFRAB01 rhizobacteria was isolated from a commercial palm tree area of Tenera variety oil, at 20 cm depth with conventional management and with approximately 45% incidence of fatal yellowing. To obtain the bacteria isolation was performed serial dilution method in medium 523 (kado and Heskett, 1970) and cultured for 24 h at 28 °C.

2.4. PLANT INOCULATION with *B. AMYLOLIQUEFACIENS* UFRAB01

Three inoculations were performed at 15, 45 and 75 days after planting, adding 100 mL of the suspension of *B. AMYLOLIQUEFACIENS* UFRAB01. The bacterial suspension was adjusted in the spectrophotometer for absorbance of 0.1 at 550 nm, which corresponds to a bacterial suspension density of 10⁻⁸ CFU. mL⁻¹ of the inoculum. The inoculation was carried out at the base of the plant to evaluate the response in the plant and the promotion of plant growth.

2.5. EXPERIMENTAL design AND STATISTICAL ANALYSIS

The treatments used in the experiment were: i) plants inoculated with UFRAB01 and with 50% of recommended fertilization; ii) negative control (C-) without inoculation and with 50% of recommended fertilization and iii) positive control (C+) without inoculation and with 100% of the recommended fertilization. The design was completely randomized, being composed of 3 treatments and 10 replications, totaling 30 experimental units.

All plants were fertilized. A positive control (C +) plants received 110 g of mineral fertilization from the NPK formulation 10-08-10 and 760 g foliar fertilization. All plants inoculated with UFRAB01 and negative control (C-) received 55 g and 380 g of leaf fertilization, both applied in parcels.

2.6. Biometric AND BIOMASS ACCUMULATION

For the biometric parameters, the following variables were analyzed: plant height (H), stem diameter (SD); and leaf area (LA) in oil palm seedlings at six months after planting (Benincasa, 1988). The vegetal material was separated in its components of shoot and roots and conditioned in paper bags, placed in a forced circulation oven at 70 °C, being weighed in an analytical balance of precision until reaching constant weight. Root dry matter (RDM), shoot dry matter (SDM), total dry mass (TDM) and Dickson quality index (IQD) were determined. The IQD is indicated as a good indicator of seedling quality that takes into account several morphological characteristics, since the higher the IQD, the better the seedling quality produced (Eloy et al., 2013). The IQD was determined as a function of H, SD, SDM and RDM, by the following formula (Dickson et al., 1960):

$$IQD = \frac{TDM}{\frac{H}{SD} + \frac{SDM}{RDM}}$$

In which: TDM, SDM, and RDM in g; H in cm; SD = in mm.

2.7. HORMONAL DETERMINATION

2.8. Endogenous hormones were extracted from tissues as described by

(Müller and Munné-bosch, 2011). Approximately 110 mg fresh leaf mass of each treatment was submitted to maceration in liquid nitrogen (N₂) in 2 mL microtube. Subsequently, 400 µL of the extraction solution (20% methanol: 79% isopropanol, 20:80 v/v and 1% glacial acetic acid - all reagents used were standard LC-MS) were added. After the extraction solution was added, the samples were sonicated (4 °C) for 10 min and centrifuged at 13000 g for 10 min at 4 °C. A 350 µL aliquot of the supernatant was put into new 2.0 mL microtubes. The last two previous steps were repeated to the remaining pellets and the supernatants collected. It was then centrifuged again at 20,000 g for 5 min and pass about 600 µL (leaving a leftover at the bottom of the tube to avoid pipetting dirt) into new 2.0 mL tubes. Aliquots were filtered in PVDF syringe (13 mm, 0.2 µm, Hexis brand, HX0097-02623). Being used only 250 µL in each path to be applied in the triple quadrupole. Afterwards the data were analyzed in the software Mass Hunter Workstation to obtain the areas of picograms obtained, with the final result expressed in ng / g FW.

2.9. *In vitro* ASSAYS to CHARACTERIZE PLANT growth promoting RHIZOBACTERIA

2.9.1. INDOLE-3-ACETIC ACID IAA

Rhizobacteria UFRAB01 was positive for IAA hormone production (Table 1). Indole-3-acetic acid (IAA) production was adapted as described by (Gordon, 1951). The bacterial strain was cultured in sterile nutrient broth liquid medium in conical tubes containing 10 mL of culture medium, adding tryptophan (100 mg/L) and placed on a rotary shaker for 72 h at 28 °C and 100 rpm. The cultures were centrifuged at 4000 rpm for 10 min. The 90 µL supernatant was transferred to a test tube containing 60 µL Salkowski reagent. Salkowski's reagent was prepared by slowly adding 2 mL 0.5 M FeCl₃, 49 mL deionized water and 49 mL 70% HClO₄. As a control, only Salkowski reagent was added to the sterile nutrient broth. The microtubes were conditioned in the dark for 30 min. A rosy color change in solution indicated the presence of IAA.

2.9.2. MINERAL PHOSPHATE SOLUBILIZATION

Rhizobacteria UFRAB01 was able to solubilize phosphate (Table 1). Phosphate solubilization was determined according to the procedures described by (Nautiyal, 1999) in NBRIP medium. The medium was prepared with 10 g L⁻¹ glucose, 2.5 g L⁻¹ Ca₃ (PO₄)₂, 5 g MgCl₂.6 H₂O, 0.25 g MgSO₄.7 H₂O, 0.2 g KCl, 0.1 g (NH₄)₂SO₄ and adjusting the pH to 7.0. The medium was autoclaved at 121 °C for 20 min and allowed to cool to handling temperature before pouring into sterile petri dishes in a laminar flow chamber. Rhizobacteria were inoculated with sterile loop in NBRIP medium. The isolate was inoculated on the plate using five replicates. The plates were incubated for 5 days at 25 °C. A positive reaction for phosphate solubilization was recorded when a clear halo developed around the rhizobacterial colony in the NBRIP medium.

2.9.3. Siderophores production

The rhizobacterial strain UFRAB01 showed a positive response in the siderophores production assay (Table 1). The production of siderophores was verified using a test tube containing Chromo azurol S

medium (CAS) according to the universal method of determination described by (Schwyn and Neilands, 1987). The isolates were inoculated into test tubes containing tryptic soy (TSB) diluted 1/10 (4 g in 1000 ml distilled water) liquid Trypttic soybean medium followed by incubation at 28 °C for 24 h. Subsequently, 1 mL of this culture was collected and centrifuged for 10 min at 12,000 g. Then 1 ml of the supernatant was removed and inoculated into test tubes containing 1 mL CAS medium. The tubes were wrapped with aluminum foil and incubated for 15 min. Subsequently, the blue color of the CAS solution to yellow was observed, which indicated the production of siderophores.

2.10. TAXONOMIC IDENTIFICATION OF RHIZOBACTERIA by 16S r-DNA sequencing

The DNA was extracted using CTAB (cetyl trimethyl ammonium bromide) protocol described by (Doyle and Doyle, 1990) modified. The DNA concentration was determined using the Biodrop µLite spectrophotometer (Thermo Fisher Scientific, USA). For identification, the 16S rDNA gene was used with the primers 27 F (5'-AGAGTTTGATCMTGG CTCAG -3') and 1492R (5'-ACCTTGTTACGACTT-3') with approximately 1500 base pairs of amplification.

PCR amplifications in a 12.5 µL volumetric reaction containing 4 µL of water for PCR, 1 µL of DNA template, 0.625 µL of each primer (10 µM) and 6.25 µL of 2x PCR Master Mix (Promega GoTaq® Master Mix, Wisconsin, USA).

PCR was performed with a total volume of 25 µL of a reaction mixture consisting of 12.5 µL master mix of 2x PCR Master Mix (Promega GoTaq® Master Mix, Wisconsin, USA), 20 pmol of the primers and 100 ng/µL of bacterial DNA. PCR was performed in a thermocycler apparatus (Mastercycler, Eppendorf, Germany). PCR was performed in the following parameters:

Initial denaturation 4 min by 94 °C followed by 25 cycles of denaturation 94 °C for 1 min, annealing 55 °C for 1 min and extension 72 °C for 1 min and final extension 72 °C for 7 min. PCR amplification was analyzed by agarose gel electrophoresis (2% w/v). The run was performed in 0.5x TBE buffer at 120 V for 30 min. The visualization was performed using the transilluminator and the images captured through the UPV software (BioDoc-it TM). The PCR products were purified with proteinase K and sequenced by the company Myleus Biotechnology (www.myleus.com).

Sequences of the bacterial isolate along with other reference gene sequences were screened in the NCBI GenBank database and aligned and using the MEGA 7.0 software (Kumar et al., 2016). The strain of *B. AMYLOLIQUEFACIENS* was identified in our soil study of commercial palm oil plant in the municipality of Tailandia-Pará, Brazil and deposited under accession number MK967809 on GenBank.

The standard seedling for the definitive planting of the Agropalma Group S/A takes eight months in nursery, however, in this research, inoculated plants reached the standard at six months.

2.11. STATISTICAL ANALYSIS

The data were submitted to analysis of variance (ANOVA) and the means were later compared by the Duncan test (P < 0.05) using R

Table 1

In vitro characteristics of plant growth-promoting rhizobacteria traits exhibited by the UFRAB01 strain.

Rhizobacterial strain	Source	Identification (16S rRNA)	Biochemical test		
			^a IAA Production	^b Phosphate solubilization	^c Siderophores production
UFRAB01	PA/Brazil	<i>BACILLUS AMYLOLIQUEFACIENS</i>	+	+	+

^a IAA production was indicated by a color change to yellow-brown. + = IAA produced; - = no IAA production.

^b Phosphate solubilization was evaluated in Pikovskaya medium, where a compensation zone constituted a positive reaction.

^c Siderophores production was evaluated in medium where a clearing zone constituted a positive reaction.

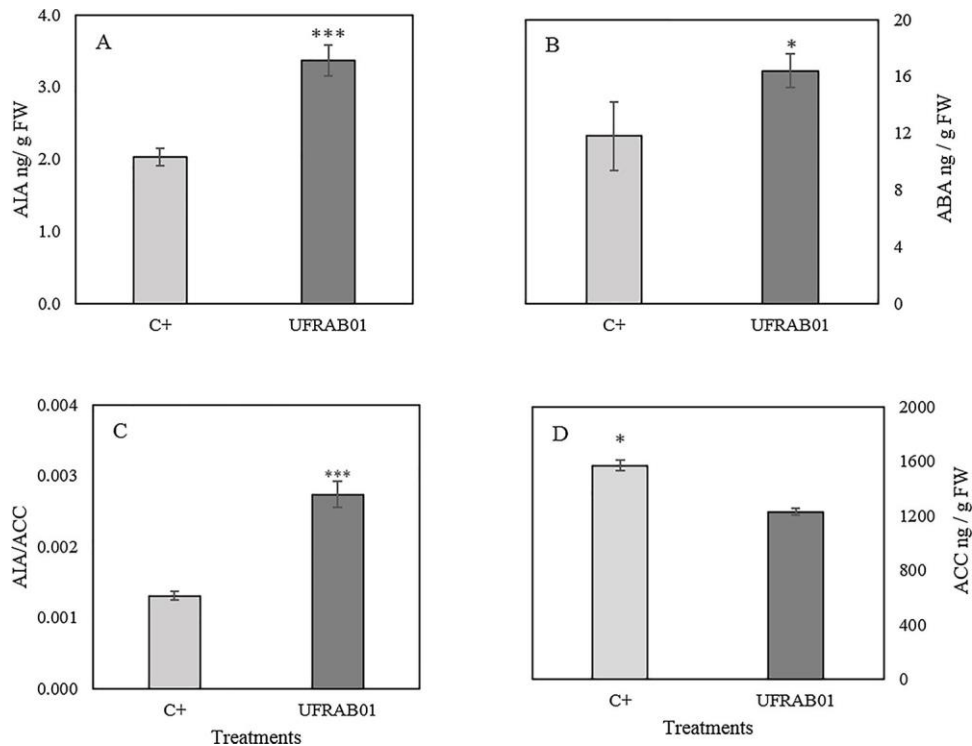


Fig. 1. Indole acetic acid (IAA) / 1-carboxylic acid-1-aminocyclopropane (ACC) and 1-carboxylic acid-1-aminocyclopropane (ACC) oil palm at six months after planting. The asterisks (*) and (***) indicate significant differences of ($p < 0.05$) and ($p < 0.001$) respectively by the F test.

programming language (Team, 2017). The results are presented with means \pm standard deviation (SD).

3. Results

3.1. HORMONAL profile

Inoculation with UFRAB01 in oil palm seedlings resulted in a significant increased phytohormone levels in leaf tissues analyzed in the experiment. The content of indole-acetic acid (IAA) (Fig. 1a) increased by 66%, for abscisic acid (ABA) the positive increase was 44% in relation to C+ (Fig. 1b). There was a significant 24% reduction in the concentration of 1-carboxylic acid-1-aminocyclopropane (ACC) and an increase in the ratio of indole-acetic acid (IAA)/1-carboxylic acid-1-aminocyclopropane (ACC) by 100% compared to C+ (Fig. 1c and d).

3.2. Biometry AND BIOMASS ACCUMULATION

The inoculation of the rhizobacteria positively influenced the biometric parameters evaluated in oil palm seedlings. For plant height, the seedlings that were inoculated with the UFRAB01 isolate had significantly higher performance than the negative control (C-) and positive (C+) control treatments, varying from 11% and 39%, respectively (Fig. 2a). The treatments inoculated with UFRAB01 obtained a respective significant increase of 21% and 19% of the stem diameter (SD) in relation to the control seedlings C- and C+ (Fig. 2b). For the leaf area, there was a significant increase of 285% and 154% for the treatment inoculated with the UFRAB01 rhizobacteria in relation to the C- and C+ treatment (Fig. 2c). There was a significant increase in Dickson quality index (IQD) when compared to C+ (Fig. 2d). A significant increase in the biomass content of the seedlings inoculated with UFRAB01 was observed, with a 202% and 110% SDM increase, 261% and 123% for RDM, and 214% and 112% TDM comparisons considered C- and C+, respectively (Fig. 3a, b and c).

Significant increase in seedling growth inoculated with UFRAB01

was observed in relation to the controls C- and C+ (Fig. 4), demonstrating all the potential that this isolate has to promote the growth of this crop of great commercial interest, aiming 50% reduction of fertilizers chemicals in the nursery.

3.3. NUTRITIONAL contents

The content of macro and micronutrients in oil palm seedlings was positively affected, with a significant increase in relation to C+ and C-, due to the inoculation of UFRAB01. It was observed an increase of 73% N, 76% P, 57% K, 73% Ca, 120% Mg, 38% S, 134% Fe, 370% Cu, 190% Zn and 27% of B in plants inoculated with UFRAB01 and compared to C+. When comparing the comparison is performed with C-, we observed the significant increase of 165% N, 230% P, 166% K, 186% Ca, 196% Mg, 176% S, 273% Fe, 527% Cu, 345% Zn and 153% B (Table 2).

4. Discussion

Changes in the hormonal levels caused by the application of rhizobacteria (UFRAB01) promoted the increase of root biomass, shoot and nutrient use efficiency in oil palm seedlings during the nursery phase. Results already described for other species (Asari et al., 2017; Astriani et al., 2016; de Andrade et al., 2019), suggest that the inoculated rhizobacteria colonize the rhizosphere, become dominant and contribute to the modulation of the response of the rhizosphere to the rhizosphere. plant the alteration of the microbial community in the rhizosphere in this environment, intensifying the chemo-trophic activity by the microorganism-plant interaction, promoting the growth and development of the plants (Acevedo et al., 2014; Han et al., 2019; Meena et al., 2017b).

In the rhizosphere, the amino acids, organic acid sugars and other carbon compounds that make up the organic substances of root exudates constitute the chemotactic attraction for the colonization of rhizobacteria in the roots. This selective modulation of populations of rhizosphere bacteria can result in metabolic alterations that promote

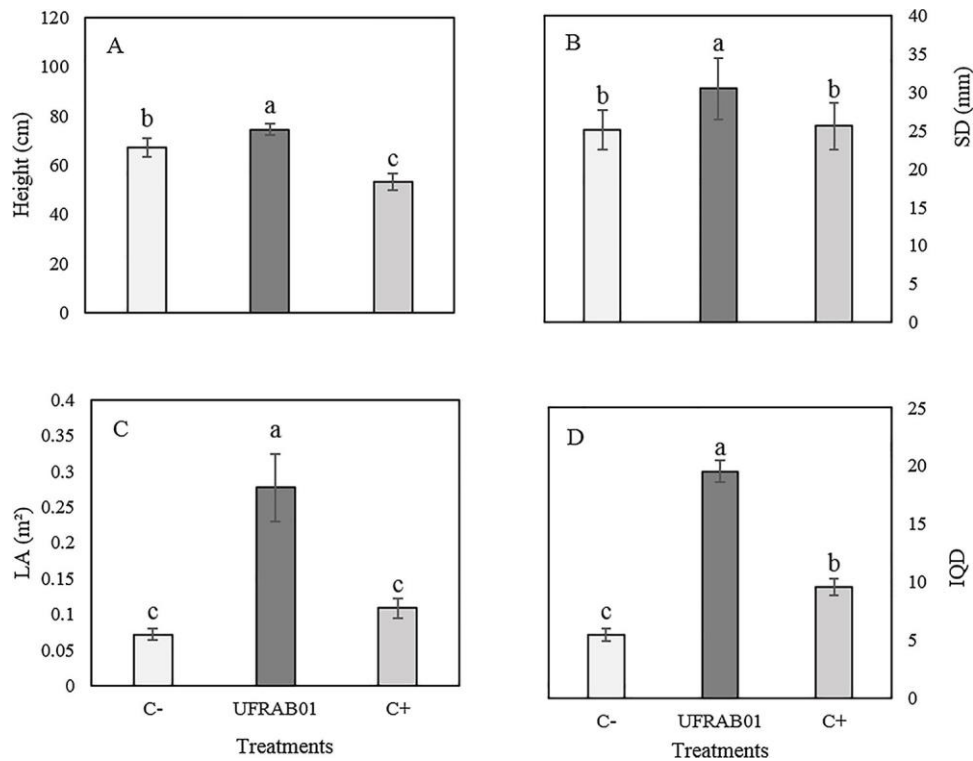


Fig. 2. Plant height (cm), stem diameter (mm), leaf area (m²) and Dickson quality index, evaluated within six months after planting. The different letters indicate significant differences by the Duncan test ($p < 0.05$).

plant growth through regulatory biochemical pathways that include hormone signaling in plants (Ibal et al., 2018; Mwitwa et al., 2016; Yssel et al., 2011), as observed in Fig. 1a. In the present study, the oil palm seedlings inoculated with UFRAB01 presented higher concentrations of IAA (Fig. 1a), a hormone that can be produced by the bacterium and/or produce signaling molecules that stimulate or regulate positively the biosynthesis and transport route of the IAA in the plant (Spaepen et al.,

2007; Zhang et al., 2019).

Possibly, the accumulation of IAA in oil palm seedlings when inoculated with UFRAB01 may have occurred through the regulation and consequent expression of the *ysnE* gene encoding acetyltransferase in the tryptophan-dependent IAA synthesis pathway. (Idris et al., 2007; Shao et al., 2015), denote the importance that the gene *ysnE* is an intermediate gene that has greater relevance in the process of IAA of this

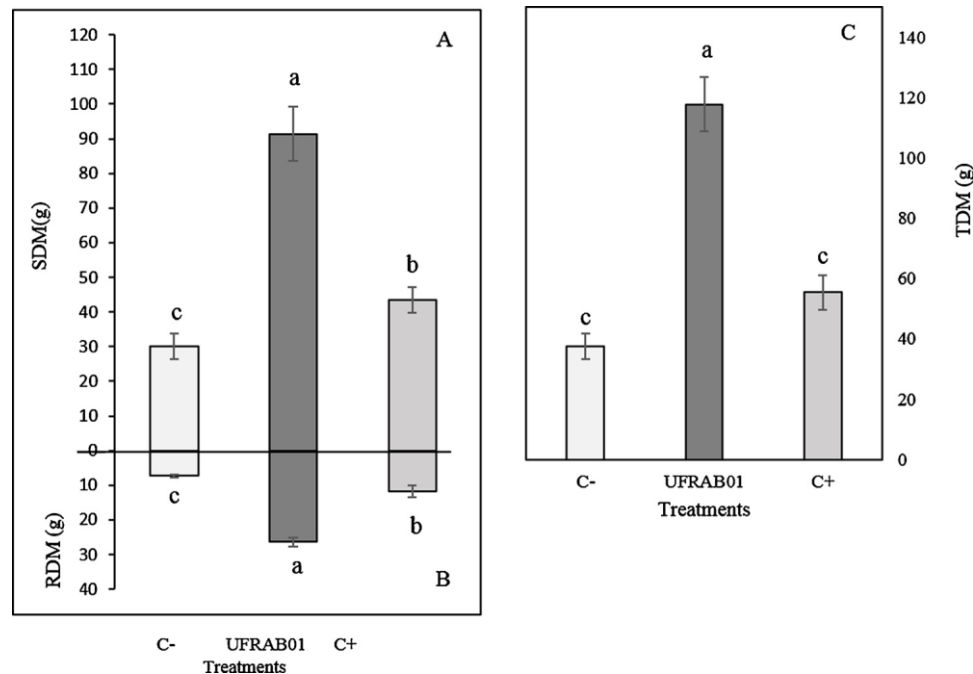


Fig. 3. Shoot dry matter (g), root dry matter (g) and total dry matter (g) evaluated within six months after planting. The different letters indicate significant differences by the Duncan test ($p < 0.05$).



Fig. 4. Effects of *BACILLUS AMYLOLIQUEFACIENS* UFRAB01 on *ELAEIS guineensis* Jacq. seedlings six months after planting.

species. The increase of the root biomass (Fig. 3b), may be associated with the production of IAA by the bacterium that is able to positively modulate the activity of the H^+ -ATPase of the plasma membrane of cells of the root tissue, which result in acidification of the apoplast and induction of (Olivares et al., 2017). In the present study, it is possible to determine the effect of the nutrient uptake and nutrient accumulation on plant biomass. In addition, the increase of ACC deaminase, the main enzyme related to the degradation of ACC that is the precursor of ethylene, which has the function of promoting the inhibition of root growth, can contribute to a more efficient exploitation of the substrate (Hameeda et al., 2006; Sharma et al., 2013).

The accumulation of IAA induced the root growth of the oil palm plants favoring a greater specific area of absorption and consequent soil exploration, thus benefiting the process of water and nutrient absorption, resulting in greater biomass accumulation in the seedlings that were inoculated with UFRAB01 and fertilized with 50% of the recommended dose. The optimization of the use of chemical fertilizer by bacterial inoculation was also verified in plants of *Pennisetum CLANDESTINUM* inoculated with bacteria of the genus *PARABURKHOLDERIA*, which induced increase of biomass and reduction of 50% of chemical fertilizer (Paungfoo-Lonhienne et al., 2019).

Inoculation of *B. AMYLOLIQUEFACIENS* UFRAB01 in oil palm also induced ABA accumulation in the leaves (Fig. 1b). Several studies report ABA's role as regulator of stomatal opening in water-deficient plants (Xing et al., 2019). However, the large leaf area observed in oil palm, under water availability, may have contributed to increased transpiration, as observed in seedlings inoculated with rhizobacteria (Castro

et al., 2019). High transpiration rate may be beneficial to exchange water loss for more assimilable carbon, but at excessive levels can lead to vessel collapse, embolism and / or cavitation (Nardini and Salleo, 2000; Sperry, 2003). Possibly, the increase in ABA in inoculated seedlings regulated stomatal conductance to maintain transpiration at normal levels and to prevent possible damage to water-conducting vessels (Secchi et al., 2013). ABA and IAA regulate the activity of the non-enzymatic, expansin protein, which may have influenced the relaxation and expansion of plant cells resulting in the growth of shoot of the plant (Cosgrove, 2015; Zhao et al., 2012). The increase in ABA may be associated with the ability of the *B. AMYLOLIQUEFACIENS* bacterium to express the *nced1* gene encoding a 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase that catalyzes the biosynthesis of this hormone which may have occurred after the inoculation of the *B. AMYLOLIQUEFACIENS* bacteria in the palm seedlings of oil (Tan et al., 2014; Wu et al., 2018).

The inoculation of UFRAB01 induced an increase in the efficiency of nutrient use since the accumulation of N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn and B nutrients was on average 2.3 times higher than the control plant, which received 100% of chemical fertilizer (Table 2). This result may be associated with morphophysiological aspects of moul, such as root system increase, positive modulation of protein transporters in nutrient uptake in roots, high ratio between roots and shoot, and the ability of the rhizobacterium to potentiate metabolism even though it received 50% there is less of chemical fertilizer, and also by the direct action of the bacterium *B. AMYLOLIQUEFACIENS* UFRAB01 on the solubilization of P, K and Zn and production of siderophores (Fageria and Baligar, 1993; Meena et al., 2017a; Wang et al., 2018; Wu et al., 2014).

Table 2

Nutritional content of macronutrients and micronutrients of oil palm seedlings at six months after planting.

Treatments	N g/Plant	P	K	Ca	Mg	S	Fe mg/Plant	Mn	Cu	Zn	B
C-	1.30 c	0.23 c	1.03 c	0.51 c	0.32 c	0.13 c	45.51 b	1.27 b	2.22 b	2.03 b	1.23 c
UFRAB01	3.45 a	0.76 a	2.74 a	1.46 a	0.95 a	0.36 a	169.93 a	5.07 a	13.98 a	9.04 a	3.12 a
C+	1.99 b	0.43 b	1.74 b	0.84 b	0.43 b	0.26 b	72.42 b	5.10 a	2.97 b	3.11 b	2.45 b
CV %	10.13	9.34	8.92	10.93	7.63	8.41	45.32	12.37	26.03	20.90	15.56

CV: Coefficient of variation. Different letters in the column indicate that mean values of treatments are significantly different at $p < 0.05$, according to Duncan's multiple comparison test.

The increased content of these nutrients in oil palm seedlings may have occurred due to the inoculation of *B. AMYLOLIQUEFACIENS* UFRAB01 to have caused metabolization of organic acids such as butyric acid, malic acetic and citric acid which can be sources of carbon and energy (Jha and Saraf, 2015), and oxidize ilite and feldspar minerals releasing K⁺ in the soil, which may have favored the absorption of these nutrients in the seedlings inoculated with UFRAB01 (Keven Vessey, 2003; Qureshi et al., 2018; Sindhu et al., 2014).

The positive increases in biometric and biomass parameters in plants inoculated with UFRAB01 due to hormonal alteration resulted in increased IQD in oil palm seedlings, suggesting that this index is an important indicator of seedling quality, due to the greater robustness and the balance in the distribution of biomass in the plant (Azevedo et al., 2010; Fonseca et al., 2002).

In this context, microbial technology has been used as an alternative method to promote plant growth with cost reduction and reduction of excessive use of chemical fertilizer and consequent reduction of environmental impact (Azri et al., 2018; Kumar and Sharma, 2017). In the seedlings of oil palm seedlings one of the main gaps is the duration of the nursery period, low standard seedling quality and high operating costs. In this way, the results of this research show that the use of PGPRs is able to stimulate the hormonal metabolism in plants, reduce the use of agricultural inputs in the form of synthetic fertilizers by more than 50%, and induce precocity to obtain seedlings. These gains translate into a system of production of palm oil seedlings with lower environmental costs, with optimization of resources from non-renewable sources and contribute to the bio-revolution of agricultural production (Babalola, 2014; Timmusk et al., 2017) by means of the access of native microorganisms to develop biofertilizers can be an alternative to improve the growth and development of plants subjected to several environmental stresses.

5. Conclusion

The inoculation of *B. AMYLOLIQUEFACIENS* UFRAB01 rhizobacteria strains in the soil resulted in increased plant growth with increased biomass and potential for nutrient accumulation by the plant. The bacterial strain triggered the stimulation of phytohormones in leaves of the oil palm plant. The combined use of the microorganism and 50% of the chemical fertilization can be used as an effective, economic and ecological alternative to accelerate the growth of the palm oil plant.

Funding

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

Declaration of Competing Interest

Authors whose names are listed immediately below certify that they have NO conflict of interest and agree with the materials discussed in this manuscript.

Josué Valente Lima.
Ricardo Salles Tinoco.
Fabio Lopes Olivares.
Alessandra Jackeline Guedes de Moraes.
Gilson Sanchez Chia.
Gisele Barata da Silva.

References

Azevedo, E., Galindo-Castañeda, T., Prada, F., Navia, M., Romero, H.M., 2014. Phosphate-solubilizing microorganisms associated with the rhizosphere of oil palm (*ELAEIS guineensis* Jacq.) in Colombia. *Agric. Ecosyst. Environ. Appl. Soil Ecol.* 80, 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.03.011>.

Asari, S., Tarkowská, D., Rolčík, J., Novák, O., Palmero, D.V., Bejai, S., Meijer, J., 2017. Analysis of plant growth-promoting properties of *BACILLUS AMYLOLIQUEFACIENS* UCMB5113 using *ARABIDOPSIS THALIANA* as host plant. *Planta* 245, 15–30. <https://doi.org/10.1007/s00425-016-2580-9>.

Astriani, M., Mubarik, N.R., Tjahjoleksono, A., 2016. Selection of bacteria producing indole-3-Acetic acid and its application on oil palm seedlings (*ELAEIS guineensis* Jacq.). *Malays. J. Microbiol.* 12, 147–154. <https://doi.org/10.21161/mjm.74615>.

Azevedo, M.I.G., de Alencar, R.M., Barbosa, A.P., de Almeida, N.O., 2010. Estudo do crescimento e qualidade de mudas de marupá (*SIMAROUBA AMARA* Aubl.). em viveiro 40, 157–164.

Azri, M.H., Ismail, S., Abdullah, R., 2018. Effects of *BACILLUS SALMALAYA* strain 139SI inoculation on yield and nutrients uptake of oil palm. *Int. J. Agric. Biol.* 20, 499–506. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0505>.

Babalola, O.O., 2014. Beneficial bacteria of agricultural importance. *Biotechnol. Lett.* 32, 1559–1570. <https://doi.org/10.1007/s10529-010-0347-0>.

Bender, S.F., Wagg, C., van der Heijden, M.G.A., 2016. An underground revolution: biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability. *Trends Ecol. Evol. (Amst.)* 31, 440–452. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.02.016>.

Benincasa, M.M., 1988. No Title Análise De Crescimento De Plantas: Noções Básicas. Jaboticabal: Funep.

Bhattacharjee, R.B., Jourand, P., Chaintreuil, C., Dreyfus, B., Singh, A., Mukhopadhyay, S.N., 2012. Indole acetic acid and ACC deaminase-producing *Rhizobium leguminosarum* bv. Trifolii SN10 promote rice growth, and in the process undergo colonization and chemotaxis. *Biol. Fertil. Soils* 48, 173–182. <https://doi.org/10.1007/s00374-011-0614-9>.

Breedt, G., Labuschagne, N., Coutinho, T.A., 2017. Seed treatment with selected plant growth-promoting rhizobacteria increases maize yield in the field. *Ann. Appl. Biol.* 171, 229–236. <https://doi.org/10.1111/aab.12366>.

Calvo, H., Marco, P., Blanco, D., Oria, R., Venturini, M.E., 2017. Potential of a new strain of *BACILLUS AMYLOLIQUEFACIENS* BUZ-14 as a biocontrol agent of postharvest fruit diseases. *Food Microbiol.* <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.11.004>.

Castro, G.L.S., Rêgo, M.C.F., Silvestre, W.V.D., Batista, T.F.V., Silva, G.B., 2019. Açai palm seedling growth promotion by rhizobacteria inoculation. *Braz. J. Microbiol.* 1–12. <https://doi.org/10.1007/s42770-019-00159-2>.

Cosgrove, D.J., 2015. Plant expansins: diversity and interactions with plant cell walls. *Curr. Opin. Plant Biol.* 25, 162–172. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2015.05.014>.

de Andrade, F.M., de Assis Pereira, T., Souza, T.P., Guimarães, P.H.S., Martins, A.D., Schwan, R.F., Pasqual, M., Dória, J., 2019. Beneficial effects of inoculation of growth-promoting bacteria in strawberry. *Microbiol. Res.* 223, 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.04.005>.

Dickson, A., Leaf, A.L., Hosner, J.F., 1960. Quality Appraisal of White Spruce and White Pine Seedling Stock in Nurseries. *Forest. Chron.* 36, 10–13. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>.

Dinesh, R., Anandaraj, M., Kumar, A., Bini, Y.K., Subila, K.P., Aravind, R., 2015. Isolation, characterization, and evaluation of multi-trait plant growth promoting rhizobacteria for their growth promoting and disease suppressing effects on ginger. *Microbiol. Res.* 173, 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.01.014>.

Doyle, J., Doyle, J.L., 1990. No Title Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus (Madison)* 12, 13–15.

Eloy, E., Caron, B.O., Schmidt, D., Behling, A., Schwers, L., Elli, E.F., 2013. Utilizando Parâmetros Morfológicos. pp. 373–384.

Fageria, N., Baligar, V., 1993. No title screening crop genotypes for mineral stresses. *Workshop on Adaptation of Plants to Soil Stresses* 94, pp. 142–159.

Fakhrana, I.N., Nurhafisza, A.R., Rasid, O.A., Parveez, G.K.A., 2019. Minimal inhibitory concentration of hygromycin for selecting transformed oil palm embryogenic calli. *J. Oil Palm Res.* 31, 14–27. <https://doi.org/10.21894/jopr.2018.0063>.

FAO, 2017. FAO publications catalogue 2017. *Food Agric. Organ. Stat. Databases*. Available . (Accessed 25 May 2019).

Fonseca, É. de P., Valéri, S.V., Miglioranza, É., Fonseca, N.A.N., Couto, L., 2002. Target seedlings of *TREMA MICRANTHA* (L.) Blume, grown under different periods of shading. *Rev. Árvore* 26, 515–523.

Gautam, S., Chauhan, A., Sharma, R., Sehgal, R., Shirkot, C.K., 2019. Potential of *BACILLUS AMYLOLIQUEFACIENS* for biocontrol of bacterial canker of tomato incited by *CLAVIBACTER MICHIGANENSIS* ssp. *MICHIGANENSIS*. *Microb. Pathog.* 130, 196–203. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.03.006>.

Gordon, Weber, 1951. Colorimetric estimation of indole-3-acetic acid. *Anal. Biochem.* 72, 134–138. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90514-5](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90514-5).

Grover, M., Ali, S.Z., Sandhya, V., Rasul, A., Venkateswarlu, B., 2011. Role of microorganisms in adaptation of agriculture crops to abiotic stresses. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 27, 1231–1240. <https://doi.org/10.1007/s11274-010-0572-7>.

Gupta, G., Parihar, S.S., Ahirwar, N.K., Snehi, S.K., Singh, V., 2015. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): current and future prospects for development of sustainable agriculture. *J. Microb. Biochem. Technol.* 7, 96–102. <https://doi.org/10.4172/1948-5948.1000188>.

Gururani, M.A., Upadhyaya, C.P., Baskar, V., Venkatesh, J., Nookaraju, A., Park, S.W., 2013. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Enhance Abiotic Stress Tolerance in *SOLANUM TUBEROSUM* Through Inducing Changes in the Expression of ROS-Scavenging Enzymes and Improved Photosynthetic Performance. *J. Plant Growth Regul.* 32, 245–258. <https://doi.org/10.1007/s00344-012-9292-6>.

Hameeda, B., Rupela, O.P., Reddy, G., K. S, 2006. ORIGINAL PAPER Application of Plant Growth-promoting Bacteria Associated With Composts and Macrofauna for Growth Promotion of Pearl Millet (*Pennisetum GLAUCUM* L.). pp. 221–227. <https://doi.org/10.1007/s00374-006-0098-1>.

Han, L., Wang, Z., Li, N., Wang, Y., Feng, J., Zhang, X., 2019. *BACILLUS AMYLOLIQUEFACIENS* B1408 suppresses Fusarium wilt in cucumber by regulating the rhizosphere microbial community. *Agric. Ecosyst. Environ. Appl. Soil Ecol.* 136, 55–66. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.12.011>.

Ibal, J.C., Jung, B.K., Park, C.E., Shin, J.H., 2018. Plant growth-promoting rhizobacteria used in South Korea. *Appl. Biol. Chem.* 61, 709–716. <https://doi.org/10.1007/>

CAPITULO 2

PRODUÇÃO DE PALMA DE ÓLEO COM REDUÇÃO DE CUSTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS POR MEIO DO USO DE BIOESTIMULANTE

Resumo

O Brasil produz cerca de 1,6 milhão de toneladas de cacho de frutos fresco de palma de óleo, desses 90% provém do Estado do Pará. O sistema de produção inicia com a produção de muda, e a qualidade está diretamente associada a precocidade de produção na fase jovem, assim como no maior potencial de produção na fase adulta. Por outro lado, a produção de mudas é uma das fases de alto custo no sistema de produção devido ao longo período no viveiro e ao alto uso de fertilizantes químicos. Nesse contexto, a inserção das rizobactérias surgem como tecnologia que pode minimizar o custo médio de produção de muda. O objetivo foi avaliar a eficiência econômica da inoculação com rizobactéria na produção de mudas de palma de óleo, comparativamente ao sistema convencional com uso de fertilizantes químicos. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizados, com 2 tratamentos e 10 repetições, sendo: 1) *Bacillus amyloliquefaciens* UFRAB01: plantas inoculadas com 45% da adubação; e 2) C+: sem inoculação e 100% da adubação. O uso da inoculação de rizobactérias promoveu o aumento do crescimento de mudas cultivadas em relação às plantas sem inoculação e com adubação total. No sistema tradicional de produção de mudas de palma de óleo durante o viveiro leva aproximadamente 8 meses para atingir as condições de plantio. No entanto, mudas inoculadas com rizobactéria atingiram as condições para o plantio definitivo aos 6 meses. O custo médio da muda em sistema convencional foi de R\$ 7,61; enquanto, a produzida com inoculação foi de R\$ 6,77 por unidade, mostrando que a adoção da tecnologia permitiu uma redução de 11,04% no custo de cada muda produzida. Essa redução ocorreu devido à queda de 13,91% nas despesas com insumos, 13,93% com mão de obra e 19,4% nas atividades de mecanização e irrigação. Conclui-se que a produção de mudas de palma de óleo utilizando tecnologia microbiana é economicamente viável, pois gera mudas de alta qualidade, em menor tempo de viveiro permitindo o uso da estrutura física duas vezes ao ano, com menor uso de fertilizantes químicos e com custo médio mais baixo, comparativamente ao sistema de produção convencional.

Palavras-chave: Custos de produção, *Elaeis guineensis*, fertilizantes, microrganismos, viabilidade econômica

1. Introdução

34 O cultivo da palma expandiu acima de 17 milhões de ha nos últimos anos e estima-
35 se que continue aumentando (Lan et al 2019; Pirker et al., 2016). Esta cultura assume
36 importância socioeconômica em países tropicais e com produtividade média de 22
37 toneladas de cacho de frutos frescos (CFF) (hectare ano⁻¹) e rendimento médio 5
38 toneladas de óleo ha⁻¹.ano (SEDAP, 2018). A palma de óleo produz mais óleo por unidade
39 de área em comparação com diversas culturas oleaginosas, cerca de 13 vezes mais
40 rendimento (Kg/ha) de óleo em relação a cultura da soja (Barcelos et al., 2015; Ibragimov
41 et al., 2019, Sheil et al., 2009).

42 Os maiores produtores de palma de óleo estão concentrados no continente
43 asiáticos como Indonésia e Malásia (FAO, 2017). O Brasil produz cerca de 1,6 milhão de
44 toneladas de cacho fresco de palma de óleo e ocupa a nona posição no ranking, sendo o
45 Estado do Pará o responsável por 90% da produção nacional (Abrapalma, 2018). Na
46 região amazônica há tendência de expansão dos cultivos e a necessidade de ampliação da
47 demanda por mudas de qualidade, para replantio, renovação de plantios ao final da vida
48 útil e implantação de novas áreas produtivas. Por outro lado, os sistemas de produção de
49 palma de óleo são em monocultivo e em larga escala gerando forte dependência de altos
50 insumos de fertilizantes sintéticos para alcançar e manter altos rendimentos gerando
51 elevado custo desde a fase de mudas.

52 O elevado consumo de adubos sintéticos na agricultura e estes são mais de 70%
53 provenientes de fontes não renováveis, indicam que uma crise dos fertilizantes sintéticos
54 pode ser considerada iminente que resultará em um grande déficit na produção agrícola
55 mundial, que em 2070 poderá ser maior que a produção atual (Cooper et al, 2011). Assim
56 é necessário os estudos científicos para o manejo produtivo com otimização dos adubos
57 sintéticos, principalmente em ações que resultem em menor custo e menor impacto
58 ambiental originado do efeito residual (Astriani et al. (2016), Daneshgar et al., 2018).

59 O uso de microrganismos na agricultura já é utilizado há mais de sete décadas
60 principalmente para redução do uso de adubos nitrogenados em leguminosas como soja e
61 feijão. Para a cultura da soja estima-se que o Brasil economize cerca de US\$ 7 bilhões
62 por ano devido aos benefícios dos inoculantes microbianos (Hungria et al., 2013). Estudos
63 realizado por Galindo et al (2018), reportaram que a co-inoculação com *Azospirillum*
64 *brasilense* em duas cultivares de soja apresentaram lucro médio superior de R\$ 540,13
65 ha⁻¹ em relação aos tratamentos não inoculados, o que representa incremento de 14,4%.

66 Estudos revelam que bactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPR) com
67 palma de óleo e PGPR, mostraram incremento em biomassa, no acúmulo de macro e
68 micronutrientes e precocidade utilizando apenas 45% da fertilização sintética (Lima et
69 al., 2020). Existe ampla literatura sobre os benefícios agronômicos induzidos por PGPR
70 (Chauhan et al., 2019; Gamez et al., 2019; Meng et al., 2012; Raza et al., 2016; Xu et al.,
71 2013), entretanto para que essa tecnologia seja inserida no sistema produtivo, é necessário
72 a análise da viabilidade econômica, que permite estimar e analisar as perspectivas de
73 desempenho econômico financeiro de um determinado empreendimento. Desta forma,
74 estudos de viabilidade econômica são essências para adequar uma nova tecnologia para
75 buscar altos rendimentos em um determinado empreendimento (Marques & Frizzone,
76 2005)

77 O objetivo deste trabalho foi realizar análise da eficiência econômica da produção
78 de mudas de palma de óleo inoculadas com rizobactérias comparada ao sistema
79 convencional.

80 2. Materiais e métodos

81 O estudo foi realizado no viveiro de mudas da empresa Grupo Agropalma S/A no
82 município de Tailândia, estado do Pará, Brasil, (02°33'04''W e 48°42'32,4''S). O solo

83 utilizado na pesquisa apresentava uma mistura de 60% terra preta e 40% de matéria
84 orgânica, obtido do resíduo de cachos vazios de palma de óleo. Essa área nunca havia
85 sido submetida a experimentos com rizobactérias promotoras de crescimento de plantas.
86 O clima na região é do tipo Af de acordo com a classificação de Köppen, caracterizada
87 como tropical seco úmido. Durante o período experimental a temperaturas mínima e
88 máxima foi de 21,51°C e 32,68°C, respectivamente, e precipitação média mensal de 335,5
89 mm.

90 Foram realizadas três inoculações aos 15, 45 e 75 dias após o plantio, adicionando
91 100 mL da suspensão bacteriana aplicada na base da planta. A suspensão foi ajustada no
92 espectrofotômetro para absorvância de 0,1 em 550 nm, que corresponde a uma densidade
93 óptica de 10^{-8} UFC.mL⁻¹ do inóculo conforme descrito por [Lima et al, \(2020\)](#).

94 O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizados (DIC),
95 utilizando dois tratamentos com dez repetições. Os tratamentos constituíram-se de plantas
96 inoculadas com rizobactérias e sem inoculação. Os tratamentos utilizados no experimento
97 foram: i) plantas inoculadas com UFRAB01 e com 50% de adubação recomendada; e ii)
98 sem inoculação e com 100% da adubação recomendada, ou seja, plantas do sistema
99 convencional, esse tratamento foi denominado de controle positivo (C+).

100 Todas as plantas receberam adubação química, porém, o que variou foram as
101 quantidades aplicadas. Até aos seis meses de cultivo as plantas do controle positivo (C+)
102 receberam 100 gramas da adubação mineral da formulação de NPK 10-08-10 e 760
103 gramas adubação foliar. As plantas inoculadas com UFRAB01 receberam 50g de adubo
104 NPK e 380g da adubação foliar também de forma parcelada. De acordo com essas
105 condições de manejo, estima-se que para a adubação padrão, aos oito meses, as plantas

106 recebem 190 gramas de adubo mineral e 1.080 gramas de adubação foliar, conforme a
107 dose recomendada.

108 As variáveis e parâmetros de crescimento das mudas foram altura (AP), diâmetro
109 do coleto (DC), número de folhas (NF), índice de robustez e matéria seca conforme
110 descrito em [Lima et al.2020](#)

111 *2.1 Análise da eficiência econômica*

112 Os custos de produção para mudas inoculadas com bactéria e não inoculadas
113 foram estimados para um de período de seis e de oito meses de viveiro, considerando a
114 produção de 400 mil mudas (Tabela 1). Os custos foram segmentados em três grupos de
115 atividade: (i) insumos, (ii) mão-de-obra e (iii) operações de mecanização. O valor do
116 bioestimulante (rizobactéria) das operações necessárias à sua aplicação foram incluídos
117 nas estimativas de custo do tratamento com plantas inoculadas com UFRAB01 e com
118 50% de adubação recomendada (Tabela. 2).

119 O preço do fertilizante químico NPK foi R\$1.900,00 ton⁻¹ e o adubo foliar R\$
120 50,00 kg⁻¹, valores comerciais baseados no mercado local.

121 Os custos fixos relacionados à depreciação e manutenção foram rateados
122 proporcionalmente ao tempo de viveiro. A depreciação dos equipamentos foi calculada
123 pelo método linear, considerando o valor dos equipamentos e sua vida útil.

124 A sistematização dos dados para a estimativa do custo foi realizada utilizando a
125 metodologia proposta pelo Instituto de Economia Agrícola do estado de São Paulo (IEA-
126 SP), conforme descrito em ([Martin et al., 1998](#); [Nachiluk & Oliveira, 2012](#)). A partir
127 destes dados foi calculado o custo médio de produção, também denominado de custo
128 unitário, o qual permite identificar qual o custo de se produzir uma muda de palma de

129 óleo. Esse indicador foi utilizado para aferição da eficiência econômica da inoculação da
130 rizobactéria em relação ao tratamento sem inoculação.

131 **3. Resultados**

132 O custo de produção analisado nesta pesquisa foi determinado a partir da tabela 1.
133 Conforme detalhamento, observou-se que os maiores gastos são com insumos (65%),
134 mão de obra (28%) e operações de mecanização (7%) (Tabela 1).

135 Considerando os valores totais, a estimativa de custo de produção com
136 rizobactérias foi de R\$ 2.235.729,64 o que corresponde a uma redução média de 11% em
137 relação ao sistema convencional que é de R\$ 2.511.375,85 (Tabela 4). Dessa forma,
138 considerando o lote de 400 mil mudas de dendê com tecnologia microbiana e,
139 considerando uma perda de 17,5%, há uma economia de R\$ 146.146,21.

140 A associação microrganismo-planta na fase de muda de palma de óleo apresentou
141 resultados significativos para os parâmetros de crescimento vegetal. Contudo, a presença
142 da inoculação promoveu melhores respostas para a altura (AP) e diâmetro do coleto (DC),
143 aumentando em 40% e 19%, respectivamente. O número de folhas (NF) foi influenciado
144 positivamente pela inoculação da rizobactéria, na qual aumentou em 12% e 14% no índice
145 de robustez (IR). O acúmulo de biomassa nas plantas inoculadas exibiu maiores
146 resultados, incrementando 112% matéria seca total. Todos esses resultados obtidos foram
147 comparados com o controle positivo C+ (Tabela. 2).

148 Em relação ao C+, observou-se o crescimento de mudas de dendê inoculadas com
149 rizobactérias tanto no volume da raiz quanto na parte aérea (Fig. 1). Isso mostra a
150 capacidade dos microrganismos em promover o crescimento dessa cultura mesmo com
151 uma redução de 55% dos fertilizantes químicos no período de viveiro.

152

153 4. Discussão

154 Plantas inoculadas com rizobactérias apresentaram ganhos no volume radicular
155 acompanhado do aumento do crescimento da parte aérea com redução do uso de
156 fertilizantes e menor tempo em viveiro (figura 1 e 2). Os incrementos nos parâmetros
157 biométricos das mudas inoculadas resultaram no maior índice de robustez. Este aumento
158 sugere o maior vigor das mudas e aumento da performance das plantas inoculadas com
159 rizobactéria (George et al., 2013), o que pode ser um indicador de qualidade de muda em
160 viveiro, afim de atender o padrão ideal para plantio definitivo. Essa resposta indica que a
161 inoculação com rizobactérias apresentou eficiência para promover o crescimento de
162 plantas quando combinada com redução de fertilizantes químicos, evitando aplicação de
163 luxo e diminuindo custo de produção (Adesemoye et al., 2009; Nascente et al., 2019).

164 As rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPR), através de uma
165 interação simbiótica e/ou assimbiótica podem conferir benefícios ao vegetal, promovendo
166 incrementos no crescimento das plantas e no acúmulo de biomassa (Schmidt et al., 2019),
167 o que corrobora com os resultados observados neste estudo. Estudo realizado por Lima et
168 al., (2020) observaram ganhos significativos do uso de rizobactéria no crescimento
169 vegetativo, e acúmulo de biomassa em mudas de palma de óleo combinado com redução
170 da adubação química. Esses efeitos podem estar relacionado a vários mecanismos,
171 incluindo aumento da formação de pêlos radiculares, além da síntese de fitohormônios,
172 produção de sideróforos e solubilização de nutrientes como fósforo, potássio e zinco
173 (Kumar et al., 2019; Spaepen & Vanderleyden, 2011). Este sistema de cultivo demonstra
174 a potencialidade que esta tecnologia possui em promover o crescimento da planta (Figure
175 3), na qual apresenta grande importância, visando redução de custo em viveiro com
176 melhor qualidade de muda.

177 A inoculação combinada com redução de 45% da fertilização química atingiram
178 o padrão recomendado aos seis meses, o que sugere que a combinação melhora a
179 eficiência no uso de nutrientes pelo aumento do volume de raiz (Lima et al., 2020),
180 permitindo explorar eficientemente o solo na absorção de água e nutrientes, promovendo
181 aumento da parte aérea e maior número de folhas, tornando-a mais vigorosa (Batool and
182 Altaf, 2017). Essas respostas são fundamentais para obter uma muda de alto vigor e assim
183 facilitar a adaptação da planta em campo em casos de condições ambientais
184 desfavoráveis. Estudo realizado por Astriani et al (2016) observaram aumento no
185 comprimento radicular de plântulas de palma de óleo após a inoculação da rizobactéria.

186 De acordo com o detalhamento dos custos de produção observada na (tabela 1),
187 os resultados obtidos mostram que os gastos com insumos constituem o principal item
188 utilizado na produção de mudas de palma de óleo, seguido pela mão de obra. Entretanto,
189 o fertilizante químico (NPK) é o principal insumo responsável pelo alto custo de
190 produção, pois representa 95% dos custos variáveis (adubo foliar e herbicida). Os
191 insumos e mão de obra são os componentes que mais oneraram o custo de produção
192 agrícola de diversas culturas, que podem atingir 70% do custo total (V. M. Lima et al.,
193 2016).

194 Observou-se nesta pesquisa que a inoculação acelerou o crescimento da planta
195 permitindo que as mudas atingissem o padrão de desenvolvimento adequado para o local
196 definitivo aos seis meses, enquanto as mudas do sistema convencional atingiram aos oito
197 meses após o plantio. Ao estimar o custo total no período de seis meses comparado aos
198 de oito meses, houve redução no custo total de produção de 13,91% nos insumos, 13,93%
199 na mão de obra e 19,4% na mecanização e irrigação (Tabela 3). Vale ressaltar que o valor
200 do bioestimulante gira em torno de R\$ 70,00/litro, o que corresponde ao valor R\$
201 84.000,00 durante seis meses, considerando três aplicações de 100ml. O uso de

202 rizobactérias promotores de crescimento na agricultura atende as demandas modernas
203 de sustentabilidade na agricultura, por aumentar os rendimentos produtivos, e tornando
204 uma tecnologia mais barata e economicamente viável (Chaparro et al., 2012; Hungria et
205 al., 2013).

206 De acordo com o estudo, para se produzir uma (01) muda de palma de óleo aos
207 oito meses, no método convencional, o custo médio por muda é R\$ 7,61; entretanto, com
208 a tecnologia microbiana o custo reduziu para R\$ 6,77 com dois meses à menos, o que
209 gerou uma redução de R\$ 0,84/muda, ou seja, uma redução de 11,04% no custo médio
210 (Tabela X). Esse resultado está associado ao fato de que as bactérias promotoras de
211 crescimento recuperam a fertilidade do solo, melhoram a nutrição das plantas e permitem
212 maior eficiência econômica (Nguyen et al., 2019; Pii et al., 2015). Dessa forma, a adoção
213 dessas tecnologias é importante, principalmente, em um contexto de aumentos persistente
214 dos preços dos fertilizantes químicos (Batool & Ahsan Altaf, 2017; Galindo et al., 2017).

215 O crescimento da população mundial influencia diretamente no aumento da
216 demanda por alimentos. E essas demandas requer melhoria no sistema da produção
217 agrícola com redução da fertilização química por questões econômicas e ambientais o que
218 exigirá tecnologias de nova geração (Dobermann, 2005). A tecnologia microbiana
219 combinada com a quantidade adequada de fertilizantes, período e método de aplicação
220 pode resultar em maiores produtividade por meio do melhor manejo da cultura (Meena et
221 al., 2017).

222 Dessa forma, a combinação do uso da tecnologia microbiana com redução do
223 uso de fertilizantes químicos apresenta-se como alternativa economicamente viável pelo
224 menor tempo viveiro, redução de custo de produção e melhor qualidade da muda
225 destinada ao plantio definitivo.

226 **5. Conclusão**

227 A inoculação de mudas de palma de óleo com rizobactéria contribuiu para o
228 melhor desempenho das características agronômicas comparativamente às aquelas
229 produzidas em sistema convencional.

230 O uso dessa tecnologia microbiana apresenta eficiência econômica, pois permitiu
231 a produção de mudas de maior qualidade agronômica, mais precoces e a um custo médio
232 inferior às mudas que são utilizadas atualmente em plantios comerciais na Amazônia
233 Brasileira.

234 **1. Referencias**

- 235 Abrapalma. (2018). *Diagnóstico Da Produção Sustentável Da Palma De Óleo*.
- 236 Adesemoye, A. O., Torbert, H. A., & Kloepper, J. W. (2009). Plant growth-promoting
237 rhizobacteria allow reduced application rates of chemical fertilizers. *Microbial*
238 *Ecology*, 58(4), 921–929. <https://doi.org/10.1007/s00248-009-9531-y>
- 239 Astriani, M., Mubarik, N. R., & Tjahjoleksono, A. (2016). Selection of bacteria
240 producing indole-3-Acetic acid and its application on oil palm seedlings (*Elaeis*
241 *guineensis* Jacq.). *Malaysian Journal of Microbiology*, 12(2), 147–154.
242 <https://doi.org/10.21161/mjm.74615>
- 243 Barcelos, E., Rios, S. D. A., Cunha, R. N. V., Lopes, R., Motoike, S. Y., Babiychuk, E.,
244 Skirycz, A., & Kushnir, S. (2015). Oil palm natural diversity and the potential for
245 yield improvement. *Frontiers in Plant Science*, 6(MAR), 1–16.
246 <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00190>
- 247 Batool, S., & Ahsan Altaf, M. (2017). Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)
248 Reduces Application Rates of Fertilizers in Chili (*Capsicum frutescens* L.)
249 Cultivation. *Journal of Horticulture*, 04(04). [https://doi.org/10.4172/2376-](https://doi.org/10.4172/2376-0354.1000215)
250 [0354.1000215](https://doi.org/10.4172/2376-0354.1000215)
- 251 Chaparro, J. M., Sheflin, A. M., Manter, D. K., & Vivanco, J. M. (2012). Manipulating
252 the soil microbiome to increase soil health and plant fertility. *Biology and Fertility*
253 *of Soils*, 48(5), 489–499. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0691-4>
- 254 Chauhan, P. S., Lata, C., Tiwari, S., Chauhan, A. S., Mishra, S. K., Agrawal, L.,
255 Chakrabarty, D., & Nautiyal, C. S. (2019). Transcriptional alterations reveal
256 *Bacillus amyloliquefaciens*-rice cooperation under salt stress. *Scientific Reports*,
257 9(1), 11912. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48309-8>
- 258 Cooper, J., Lombardi, R., Boardman, D., & Carliell-Marquet, C. (2011). The future
259 distribution and production of global phosphate rock reserves. *Resources,*
260 *Conservation and Recycling*, 57(January), 78–86.
261 <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.09.009>
- 262 Daneshgar, S., Callegari, A., Capodaglio, A. G., & Vaccari, D. (2018). The potential
263 phosphorus crisis: Resource conservation and possible escape technologies: A
264 review. *Resources*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/resources7020037>

- 265 Dobermann, A. R. (2005). *DigitalCommons @ University of Nebraska - Lincoln*
 266 *Nitrogen Use Efficiency – State of the Art.*
- 267 FAO. (2017). FAO Publications Catalogue 2017. *Food and Agriculture Organization.*
 268 *Statistical Databases. Available in: <http://Www.Fao.Org>. (Accessed 25 May*
 269 *2019).*
- 270 Galindo, F. S., Teixeira Filho, M. C. M., Buzetti, S., Ludkiewicz, M. G. Z., Rosa, P. A.
 271 L., & Tritapepe, C. A. (2017). Technical and economic viability of co-inoculation
 272 with *Azospirillum brasilense* in soybean cultivars in the Cerrado. *Revista*
 273 *Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(1), 51–56.
 274 <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n1p51-56>
- 275 Gamez, R. M., Rodríguez, F., Vidal, N. M., Ramirez, S., Alvarez, R. V., Landsman, D.,
 276 & Mariño-ramírez, L. (2019). *Banana (Musa acuminata) transcriptome profiling*
 277 *in response to rhizobacteria : Bacillus amyloliquefaciens Bs006 and Pseudomonas*
 278 *fluorescens Ps006.* 1–20.
- 279 George, P., Gupta, A., Gopal, M., Thomas, L., & Thomas, G. V. (2013). Multifarious
 280 beneficial traits and plant growth promoting potential of *Serratia marcescens* KiSII
 281 and *Enterobacter* sp. RNF 267 isolated from the rhizosphere of coconut palms
 282 (*Cocos nucifera* L.). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29(1),
 283 109–117. <https://doi.org/10.1007/s11274-012-1163-6>
- 284 Hungria, M., Nogueira, M. A., & Araujo, R. silva. (2013). *Co-inoculation of soybeans*
 285 *and common beans with rhizobia and azospirilla : strategies to improve*
 286 *sustainability.* <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0771-5>
- 287 Ibragimov, A., Sidique, S. F., & Tey, Y. S. (2019). Productivity for sustainable growth
 288 in Malaysian oil palm production: A system dynamics modeling approach. *Journal*
 289 *of Cleaner Production*, 213, 1051–1062.
 290 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.113>
- 291 Kumar, A., Patel, J. S., Meena, V. S., & Ramteke, P. W. (2019). Plant growth-
 292 promoting rhizobacteria: strategies to improve abiotic stresses under sustainable
 293 agriculture. *Journal of Plant Nutrition*, 42(11–12), 1402–1415.
 294 <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1616757>
- 295 Lam, W. Y., Kulak, M., Sim, S., King, H., Huijbregts, M. A. J., & Chaplin-Kramer, R.
 296 (2019). Greenhouse gas footprints of palm oil production in Indonesia over space

- 297 and time. *Science of the Total Environment*, 688, 827–837.
298 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.377>
- 299 Lima, J. V., Tinôco, R. S., Olivares, F. L., Moraes, A. J. G. de, Chia, G. S., & Silva, G.
300 B. da. (2020). Scientia Horticulturae Hormonal imbalance triggered by
301 rhizobacteria enhance nutrient use efficiency and biomass in oil palm. *Scientia*
302 *Horticulturae*, 264(December 2019), 109161.
303 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109161>
- 304 Lima, V. M., Lima, J. A., Gusmão, S. A. L., Oliveira, C. F., Oliveira, F. C., & Martins,
305 I. C. F. (2016). Viabilidade econômica da produção de pimentinha-verde
306 submetida a diferentes lâminas de irrigação. *Revista de Ciências Agrárias -*
307 *Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 59(4), 326–332.
308 <https://doi.org/10.4322/rca.2210>
- 309 Marques, P. A. A., & Frizzone, J. A. (2005). Modelo computacional para determinação
310 do risco econômico em culturas irrigadas. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 27(4).
311 <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v27i4.1347>
- 312 Martin, N. B., Serra, R., Oliveira, M. D. M., Ângelo, J. A., & Okawa, H. (1998).
313 Sistema integrado de custos agropecuários - CUSTAGRI. *Informações*
314 *Econômicas v. 28, n.1*, 1–22.
- 315 Meena, V. S., Meena, S. K., Verma, J. P., Kumar, A., Aeron, A., Mishra, P. K., Bisht, J.
316 K., Pattanayak, A., Naveed, M., & Dotaniya, M. L. (2017). Plant beneficial
317 rhizospheric microorganism (PBRM) strategies to improve nutrients use
318 efficiency: A review. *Ecological Engineering*, 107, 8–32.
319 <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.058>
- 320 Meng, Q. X., Jiang, H. H., Hanson, L. E., & Hao, J. J. (2012). Characterizing a novel
321 strain of *Bacillus amyloliquefaciens* BAC03 for potential biological control
322 application. *Journal of Applied Microbiology*, 113(5), 1165–1175.
323 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2012.05420.x>
- 324 Nachiluk, K., & Oliveira, M. D. M. (2012). Custo de produção: uma importante
325 ferramenta gerencial na agropecuária. *Análise e Indicadores Do Agronegócio*, 7(5),
326 1–7.
- 327 Nascente, A. S., Lanna, A. C., De Sousa, Thatyane Pereira, Abdallah, A., Chaibub,
328 Souza, Carlos, A. A. De, De Filippi, C. M., & Corsi. (2019). N Fertilizer Dose -

329 Dependent Efficiency of *Serratia* spp . for Improving Growth and Yield of Upland
330 Rice (*Oryza sativa* L .). *International Journal of Plant Production*, 13(3), 217–
331 226. <https://doi.org/10.1007/s42106-019-00049-5>

332 Nguyen, M. L., Spaepen, S., du Jardin, P., & Delaplace, P. (2019). Biostimulant effects
333 of rhizobacteria on wheat growth and nutrient uptake depend on nitrogen
334 application and plant development. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65(1),
335 58–73. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1485074>

336 Pii, Y., Mimmo, T., Tomasi, N., Terzano, R., Cesco, S., & Crecchio, C. (2015).
337 Microbial interactions in the rhizosphere: beneficial influences of plant growth-
338 promoting rhizobacteria on nutrient acquisition process. A review. *Biology and*
339 *Fertility of Soils*, 51(4), 403–415. <https://doi.org/10.1007/s00374-015-0996-1>

340 Pirker, J., Mosnier, A., Kraxner, F., Havlík, P., & Obersteiner, M. (2016). What are the
341 limits to oil palm expansion? *Global Environmental Change*, 40, 73–81.
342 <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.06.007>

343 Raza, W., Ling, N., Yang, L., Huang, Q., & Shen, Q. (2016). Response of tomato wilt
344 pathogen *Ralstonia solanacearum* to the volatile organic compounds produced by a
345 biocontrol strain *Bacillus amyloliquefaciens* SQR-9. *Nature Publishing Group*, 1,
346 1–13. <https://doi.org/10.1038/srep24856>

347 Schmidt, T. M., Thomé, A. H. E., Sperotto, R. A., & Granada, C. E. (2019). Effect of
348 rhizobia inoculation on the development of soil-borne pathogens infecting common
349 bean plants. *European Journal of Plant Pathology*, 153(3), 687–694.
350 <https://doi.org/10.1007/s10658-018-1600-y>

351 SEDAP, (2018).

352 Sheil, D., Casson, A., Meijaard, E., Van Noordwijk, M., Gaskell, J., Sunderland-
353 Groves, J., Wertz, K., & M., K. (2009). The impacts and opportunities of oil palm
354 in Southeast Asia: What do we know and what do we need to know? In *The*
355 *impacts and opportunities of oil palm in Southeast Asia: What do we know and*
356 *what do we need to know?* <https://doi.org/10.17528/cifor/002792>

357 Spaepen, S., & Vanderleyden, J. (2011). *Auxin and Plant-Microbe Interactions*. 1–14.

358 Xu, Z., Shao, J., Li, B., Yan, X., Shen, Q., & Zhang, R. (2013). Contribution of
359 bacillomycin D in *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 to antifungal activity and

360 biofilm formation. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(3), 808–815.

361 <https://doi.org/10.1128/AEM.02645-12>

362

363

364

365

366

367

368

369

370

371

372

373

374

375

376

377

378

379

380

381

382

383

384

385

386

387

388

389

390

392 **Tabela 2.** Estimativa do custo operacional total de produção de 400 mil mudas de palma de óleo, sem
 393 inoculação com rizobactéria, durante o período de oito meses.

DESCRIÇÃO (8meses)	UNIDADE	QUANTIDADE	PREÇO (R\$)	VALOR (R\$)
INSUMOS				
Adubo foliar	kg	48	50	2.400,00
Adubo N. P. K	kg	76.000	1,9	144.400,00
Herbicida	litros	320	17,1	5.472,00
Outros				1.481.370,00
Subtotal				1.633.642,00
MÃO DE OBRA				
Abastecimento dos sacos	h/d	816	128,79	105.092,64
Plantio de sementes	h/d	364	128,79	46.879,56
Capina química	h/d	280	128,79	36.061,20
Capina manual da boca do saco	h/d	560	128,79	72.122,40
Adubação foliar	h/d	224	128,79	28.848,96
Adubação NPK	h/d	522	128,79	67.228,38
irrigação das mudas	diária	560	128,79	72.122,40
Outros (Serv. Diversos)				266.042,39
Subtotal				694.397,93
MÁQUINAS				
Nivelamento da área (M.N)	t/há	20	240,00	4800,00
Retirada de entulho (P.C)	h/trator	15	130,00	1.950,00
Retirada de entulho (BA)	diária	12	630,00	7.560,00
Retirada de Terra Preta (T E)	h/trator	29	250,00	7.250,00
Transporte de Terra Preta (P.C)	h/trator	30	100,00	3.000,00
Transporte de Terra Preta (BA)	diária	10	630,00	6.300,00
Mistura composto e Terra Preta	h/trator	28	130,00	3.640,00
Distribuição do substrato (P.C)	h/trator	40	100,00	4.000,00
Transporte de Fibras (CARR)	m3	392	7,00	2.744,00
Conjunto de Irrigação (P.C)	depreciação	25000	1,00	25.000,00
Irrigação (Motor Gerador	t/dia	1750	21,00	36.750,00
Irrigação (Motor Bomba)	t/dia	1750	42,00	73.500,00
Utensílios (carro de mão/pulverizadores, etc)	depreciação	3	4514,76	1.504,92
Outros (Serv. Diversos)	3%			5.337,00
Subtotal				183.335,92

394 *Tabela adaptada pelo autor

395

396

397

398 **Tabela 3.** Altura da planta (cm), diâmetro (mm), número de folhas, matéria seca da folha (g), matéria seca
 399 total (g), índice de robustez e custo unitário (R\$ planta⁻¹) de mudas de palma de óleo inoculadas e não
 400 inoculadas com *B. amyloliquefaciens* UFRAB01.

Variáveis	Planta inoculada (rizobactéria)	Planta não inoculada (Padrão Empresa)
Altura da planta (cm)	74.50 ± 2.19 A	53.22 ± 3.44 B
Diâmetro do coleto (mm)	30.47 ± 3.97 A	25.59 ± 3.08 B
Número de folhas	10.28 ± 0.49 A	9.10 ± 0.57 B
Matéria seca total (g)	117.75 ± 9.01 A	55.31 ± 5.87 B
Índice de robustez	2.41 ± 0.28 A	2.11 ± 0.21 B
Custo unitário (R\$ planta ⁻¹)	6.77	7.61

401 Médias seguidas pela letra diferente na linha, diferem estatisticamente pelo teste F ao nível de 0,05 de
 402 probabilidade.

403

404

405 **Tabela 4.** Custo total de produção de mudas de palma de óleo considerando o período de oito meses sem
 406 inoculação e seis meses com inoculação.

Descrição	Custos (R\$)		Redução de custo (%)
	8 meses	6 meses	
Insumos	1.633.642,00	1.406.274,00	13,91
Mão-de-obra	694.397,90	597.642,70	13,93
Mecanização e Irrigação	183.335,90	147.812,90	19,40
Bioestimulante	*	84.000,00	*
Custo total	2.511.375,85	2.235.729,60	11,00

407 *Sem valores devido à ausência do uso do bioestimulante durante o período de oito meses.

408

409

410

411

412

413

414

FIGURA

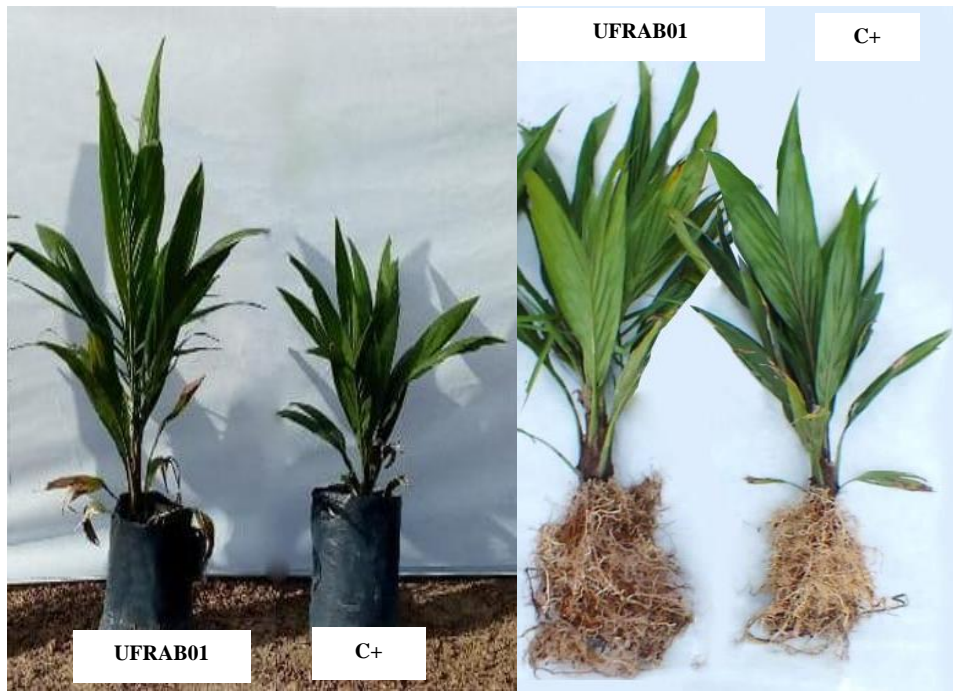


Figure 3. Efeito da inoculação da rizobactéria em mudas de palma de óleo aos seis meses após o plantio

CAPITULO 3

445

446 RIZOBACTÉRIAS ALTERA A ARQUITETURA RADICULAR E MELHORA A 447 AQUISIÇÃO DE NUTRIENTES EM MUDAS DE PALMA DE ÓLEO.

448

(Versão: completa)

449 **Resumo**

450 **Introdução**

451 A palma de óleo (*Elaeis guineenses* Jacq.) é cultivada em aproximadamente 20
452 milhões de hectares nos trópicos, incluindo o Norte da América do Sul e da América
453 Central (Cheng et al., 2018). É uma das culturas mais prolíficas de óleo vegetal do mundo
454 (World Bank 2010; Lam & Lee, 2011), uma oleaginosa muito importante
455 economicamente (K. Li et al., 2019), devido seus frutos produzir dois valiosos óleos
456 vegetais: óleo de palma e óleo de palmiste (Chin et al., 2017).

457 O potencial agroenergético no cenário global, torna-se necessário a consolidação
458 da cadeia produtiva da palma para manter o estabelecimento dos cultivos (Ashraf et al.,
459 2018). Devido à expansão das plantações comerciais (Corley and Tinker, 2003), é
460 necessário produzir mudas de qualidade agrônômica, com baixo custo e manejo
461 adequado, que expressem todo o potencial produtivo dessa cultura. No entanto, entre
462 vários fatores, o uso excessivo de fertilizante químico, custo de produção de mudas,
463 problemas ambientais (Dubos et al., 2017) e o baixo volume de radicular resulta em
464 limitação no desempenho da planta (Astriani et al., 2016).

465 Estudos com rizobactéria promotora de crescimento de planta (PGPR) mostram
466 melhorias em todas as partes da planta, incluindo um aumento no sistema radicular o que
467 leva ao crescimento e desenvolvimento da planta (Lima et al., 2020). As interações
468 bactéria-planta, são capazes de afetar significativamente a comunidade microbiana e
469 promover o crescimento vegetal (Numan et al., 2018; Saleem et al., 2018; Santoyo et al.,
470 2016). O uso de bactérias benéficas, na rizosfera, induzem modificações estruturais na

471 arquitetura de raiz ([Irizarry & White, 2017](#)), no desenvolvimento e alongamento de pêlos
472 radiculares, além de favorecer captação e alocação de recursos pela planta ([Kumar et al.,](#)
473 [2019](#)).

474 A interação assimbiótica entre microrganismo e planta beneficia positivamente o
475 desempenho das plantas, induz a produção de fito-hormônios que estão diretamente
476 ligados ao crescimento das plantas como ácido indol-3-acético (AIA) ([Gamalero & Glick,](#)
477 [2011](#); [Lim et al., 2018](#); [Lima et al., 2020](#); [Rosier et al., 2018](#)). Promovem também um
478 melhor desenvolvimento das raízes (e, conseqüentemente, da planta) modificando
479 propriedades físicas, químicas e biológicas do solo ou substrato ([Chauhan et al., 2013](#);
480 [Kloepper et al., 1980](#)).

481 A avaliação do sistema radicular é importante para estabelecer formas de manejo
482 que visam otimizar a produtividade agrícola. Dentre os parâmetros destaca-se a
483 arquitetura, o volume, comprimento, diâmetro das raízes, que implicam diretamente na
484 adaptação da planta, na exploração do solo e na absorção de nutrientes, resultando em
485 menor perda da fertilização química ([Bisseling & Scheres, 2014](#); [McMurtrie & Näsholm,](#)
486 [2018](#); [Silva & Delatorre, 2009](#); [Fierro-Coronado et al., 2014](#)).

487 Pesquisas consideráveis mostraram que a variação na arquitetura do sistema
488 radicular desempenha um papel fundamental na eficiência dos nutrientes das culturas
489 ([Lynch, 1995](#)). Em plantas bioestimuladas, a arquitetura das raízes são alteradas de modo
490 que favorece a aquisição de nutrientes como observado em estudo realizado por [Fierro-](#)
491 [Coronado et al., 2014](#). Entretanto, alterações na arquitetura radicular em resposta à
492 interação raiz-bactéria e regulação gênica, são estratégias importantes adicionais para
493 facilitar a aquisição aprimorada de nutrientes ([Li et al., 2016](#)).

494 O conhecimento sobre a alterações morfo-anatômicas das raízes por
495 rhizobactérias permite aumentar o uso eficiente dos nutrientes tornando o sistema de

496 produção mais eficaz. Essas mudanças refletem diretamente na redução de insumos
497 agrícolas e nos custos de produção e a obtenção de mudas com padrões fisiológicos e
498 nutricionais aptos para o plantio em campo (Fageria & Moreira, 2011).

499 A hipótese é que a inoculação de rizobactéria altera a arquitetura radicular levando
500 a uma maior exploração de volume de solo pelas raízes favorecendo uma maior absorção
501 e acúmulo de nutrientes em mudas de palma de óleo.

502 O objetivo foi avaliar as alterações no sistema radicular, na aquisição e alocação
503 de nutrientes em mudas de palma de óleo inoculadas com rizobactérias.

504

505 **2.0 Materiais e métodos**

506 *2.1. Condição do experimento e material vegetativo*

507 O estudo foi realizado no viveiro de mudas da empresa Grupo Agropalma S/A
508 (02°33'04'' W e 48°42'32,4''S) município de Tailândia, Estado do Pará, Brasil. O clima
509 na região é Aw, de acordo com a classificação de Köppen, caracterizada como tropical
510 seco úmido, com estação chuvosa no inverno e estação seca no verão. O experimento foi
511 conduzido no período de junho/2018 a março/2019.

512 As plantas utilizadas na pesquisa foram provenientes de sementes de palma de
513 óleo do material genético Deli x LaMe, cultivada em saco de polietileno de 6 dm³ de
514 volume. O substrato utilizado no experimento apresentava uma mistura de 60% terra preta
515 e 40% de matéria orgânica decomposta, obtido do resíduo de cacho vazio de palma de
516 óleo. As plantas foram irrigadas diariamente através de um sistema de irrigação usando
517 pivô central por aspersão autocompensante.

518 *2.2. Inoculação da rizobactéria*

519 As rizobactérias foram cultivadas em meio sólido 523 (Kado & Heskett, 1970)
520 durante 48 h a 28 °C. As suspensões bacterianas foram preparadas e ajustada em
521 espectrofotômetro para A550 = 0,1 (10⁸ UFC) do inóculo conforme descrito por Lima et

522 [al., 2020](#). As sementes foram e selecionadas submersas por 45 min e, posteriormente
523 colocada nos sacos plásticos contendo substrato. Foram realizadas quatro inoculações
524 com uma aplicação no dia da semeadura e os demais aos 15, 50, 90 dias após a semeadura.
525 Foi inoculado 100 mL da suspensão bacteriana realizada diretamente no substrato, via
526 sistema radicular para aumentar a abundância do inóculo e para promover o crescimento
527 vegetal.

528 As rizobactérias utilizadas na pesquisa foram *Burkholderia pyrrocinia* BRM
529 32113 e *Bacillus subtilis* UFRA92, e estão armazenadas e preservadas na coleção de
530 microrganismos do Laboratório de Proteção de Plantas da Universidade Federal Rural da
531 Amazônia, Belém, PA, Brasil.

532 2.3. *Ensaio experimental*

533 O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC),
534 utilizando quatro tratamentos com 6 repetições. Os tratamentos foram: T1: controle
535 negativo (C-) sem inoculação e com 50% de adubação recomendada; T2: plantas
536 inoculadas com BRM32113 e com 50% de adubação recomendada; T3: plantas
537 inoculadas com UFRA92 e com 50% de adubação recomendada; T4: controle positivo
538 (C+) sem inoculação e com 100% da adubação recomendada.

539 As plantas do controle positivo (C+) receberam 148 g da adubação mineral da
540 formulação de NPK 10-08-10. As plantas inoculadas com rizobactéria e do controle
541 negativo (C-) receberam 74g do adubo NPK, ambos aplicados de forma parcelado.

542 2.4. *Avaliação de biomassa*

543 O acúmulo de biomassa foi avaliado aos dez meses após semeadura. As plantas
544 foram separadas em raiz e parte aérea, lavadas e secas em estufa de ventilação forçada a
545 70°C até peso constante, utilizando uma balança analítica de precisão para pesagem e
546 determinação da massa de matéria seca ([Benincasa, 1988](#)).

547 2.5. *Análise dos nutrientes*

548 A da massa seca de raiz e parte aérea, o tecido vegetal foi triturado em moinho e
549 encaminhado ao laboratório para análise dos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg
550 e S) e micronutrientes (B, Mn, Fe, Cu e Zn). A partir da massa de matéria seca e do
551 conteúdo dos nutrientes na planta, foram calculados o índice de eficiência de uso de
552 nutrientes conforme a relação apresentada por (Siddiqi & Glass, 1981); $EUN = (\text{massa}$
553 $\text{seca total produzida})^2 / (\text{conteúdo total do nutriente na planta})$; em $\text{g}^2 \cdot \text{mg}^{-1}$ para
554 macronutrientes e $\text{Kg}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ para micronutrientes.

555 2.5. *Armazenamento e análise da arquitetura de raiz*

556 As subamostras de raízes foram armazenadas em etanol P.A 30% para manter a
557 integridade do material. As medições diretas do comprimento, diâmetro médio,
558 ramificações, número de pontas e área da superfície da raiz palma do óleo foram
559 realizadas através um sofisticado analisador de imagens, WhinRizo. Este equipamento
560 permite estudar os parâmetros de arquitetura de raiz.

561 As raízes foram classificadas levando em consideração o diâmetro radicular,
562 sendo (0 – 0.5 mm, 0 - 1 mm, 1 - 2 mm, 2 - 3 mm, 3 - 4 mm e >4 mm) de acordo com
563 (Corley and Tinker, 2003; Goh & Samsudin, 1993). Após a análise, as subamostras foram
564 secas e pesadas para determinar a biomassa. Os resultados da arquitetura de raiz foram
565 estimados para a biomassa total levando em consideração a biomassa da subamostra.

566 2.6. *Análise estatística*

567 Os dados de arquitetura de raiz foram submetidos à análise de variância (ANOVA)
568 e, quando o teste F foi significativo, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo
569 teste de ScottKnott ($P \leq 0,05$). Os dados nutricionais foram comparados pelo teste de
570 Duncan ($P \leq 0,05$), e a análise de componente principal (PCA), ambos usando a
571 linguagem de programação R (Team, 2017) versão 3.5.2.

572

573 **3. Resultados**

574 *3.1 Arquitetura de raiz*

575 A arquitetura das raízes das muda de palma de óleo foi alterada em função da
576 inoculação das rizobactérias. O comprimento total da raiz das plantas inoculadas foi
577 superior aos controles com incremento médio de 17% sobre C- e 41% em C+.
578 Estratificando as classes de diâmetro dentro comprimento, as diferenças foram
579 verificadas nas classes de raízes muito finas (0 – 0.5 mm), raízes finas (1 - 2 mm) e raízes
580 grossas (>4 mm). Em relação ao C-, a BRM32113 promoveu aumento em 103% o
581 comprimento de raízes muito finas, em 119% raízes finas e 60% raízes grossas. Aumento
582 no comprimento também ocorreram nas três classes de diametro de raiz quando
583 compradas ao C+ (76%, 82%, 128%). Ao comparar o C-, o UFRA92 incrementou em
584 142% o comprimento de raízes muito finas, em 107% raízes finas e 23% raízes grossas.
585 Em relação ao C+ o aumento do comprimento também ocorreram nas três classes de
586 diametro de raiz (78%, 71%, 75%).

587 Para a área de superfície total a inoculação das rizobactérias promoveram aumento
588 médio de 41 % sobre C- e 43% em C+ . Em relação ao C-, as bactérias BRM32113 e
589 UFRA92promoveram aumento superiores a 47% na classe de diâmetro de raízes muito
590 finas e 63% nas raízes finas. Comparando ao C+, o aumento foi superior a 42% na classe
591 de diâmetro de raízes muito finas e 46% na raízes finas. Todas as bactérias promoveram
592 aumento médio em 42 e 44% no diâmetro médio, em 186 e 188% no número de pontas e
593 171 e 79% na ramificação do sistema radicular ambos em relação ao C- e C+,
594 respectivamente.

595 O volume total de raiz (VTR) também foi favorecido pelas bactérias, com
596 aumento médio em 66% comparado ao C- e 31% ao C+. A bacteria BRM 32113 e
597 UFRA92 promoveram aumento médio de de 1099% na classe de raízes muito finas,

598 220% na classes de raízes finas, 37% nas intermediárias (3 - 4 mm) e 70% em raízes
599 grossas (>4 mm) quando comparada ao C-. Para C+ os aumentos induzidos por pelas
600 bacterias foram de 68% na classes de raízes muito finas, 98% na classes de raízes finas,
601 24% nas intermediárias (3 - 4 mm) e 29% em raízes grossas (>4 mm).

602 3.2. *Extração de nutrientes pela planta*

603 A concentração de nutrientes no substrato foi alterada em função da inoculação
604 bacteriana ao final do experimento. O BRM 32113 promoveu aumento no conteúdo de
605 micronutrientes no substrato em B (8%), Cu (10%), Fe (26%), Mn (118%) e Zn (21%)
606 sobre C-. No substrato inoculado com UFRA92, o aumento da concentração dos
607 nutrientes foram em N (31 e 38%), P (35 e 24%), K (5 e 20%), Ca (21 e 18%), Mg (30 e
608 34%), S (21 e 16%), Cu (64 e 15%) Fe (52 e 10%) e Zn (75 e 16%) ambos comparado ao
609 substrato do tratamento C- e C+, respectivamente..

610 3.3. *Acúmulo de biomassa*

611 O acúmulo em biomassa foi induzido por todas as rizobactérias em relação aos
612 controles C- e C+. Em relação ao C-, os valores médios induzidos pelas rizobactérias
613 foram 30% para a massa de matéria seca de raiz, 8% parte aérea e 11% total. Sobre C+,
614 os valores médios de matéria seca foram a 33% na raiz, 18% parte aérea e 21% total.

615 3.4. *Acúmulo de nutrientes*

616 As rizobactérias BRM 32113 e UFRA92 promoveram aumento no acúmulo de
617 nutrientes nas raízes e parte aérea em comparação a todos os controles. Em relação à
618 média das plantas não tratadas (C- e C+), o acúmulo de nutrientes nas raízes induzido
619 pelas rizobacterias apresentou um aumento médio variando entre 39 e 56% para N, 27 e
620 36% para P, 31 e 58% para K, 47 e 60% para Ca, 73 e 87% para Mg, 40% e 64 para S,
621 41 e 67% para B, 29 e 55% para Fe, e 87% para Mn, 88 e 148% para Cu e 68 e 71% para
622 Zn.

623 O acúmulo de nutrientes na parte aérea foi influenciado pela inoculação da
624 rizobactérias. Em relação ao C-, o BRM3113 apresentou incremento em K (31%), S (195%), B
625 (18%) e Zn (17%). Sobre C+, os aumentos de acúmulo de nutrientes induzidos por BRM3113
626 de foram em N (40%), P (29%), K (54%), Ca (14%), Mg (9%), Mn (78%) e Zn (48%). Os
627 aumentos induzidos pela rizobactéria UFRA92 em relação ao C- foram em K (25%), Mg (17%),
628 S (147%) e B (46%) . Em comparação ao C+, os incrementos induzidos de UFRA92 foram de
629 N (14%), P (15%), K (47%), Ca (7%), Mg (20%) e Mn (50%).

630 Em relação ao C- a rizobactéria UFRA92 promoveu incrementos no conteúdo total de nutrientes
631 em K (26%), Mg (22%), S (128%) , B (50%), Fe (17%), Cu (42%). Em comparação ao C+, os
632 incrementos induzidos foram de N (15%), P (20%), K (43%), Mg (22%), Fe (17%) , Mn (45%),
633 Cu (43%) .

634 .

635 *3.5. Eficiência do uso de nutrientes*

636 Todas plantas tratadas apresentaram aumentos na eficiência do uso de nutrientes
637 nos compartimento de raiz e parte aérea e total. Em relação ao C-, os incrementos médios
638 na eficiência no uso de nutrientes total induzido pela rizobactéria BRM 3113 foram em
639 N (40%), P (43%) , K (11%) , Ca (24%) , Mg (22%), B (17%) , Fe (73%) , Mn (20%) , e
640 Zn (12%) . Em comparação ao C+, os aumentos foram em N (49%), P (22%), K (36%),
641 Ca (39%), Mg (47%), , B (84%), Fe (102%), Mn (7%), e Zn (23%).

642 *3.4. Análise de componentes principais*

643 A análise de componentes principais (PCA) levou consideração as variáveis de
644 arquitetura radicular, acúmulo de nutrientes na raiz. O modelo mostrou que os dois
645 primeiros componentes principais explicam 80% da variância total dos dados
646 padronizados (Fig. 3). O primeiro componente explicou 68% da variabilidade dos dados
647 e o segundo explicou 12%.

648 De acordo com a análise o K e Mg têm as maiores cargas fatoriais positivas para
649 o componente 1, bem como também N, P, Ca e Zn. Este resultado permite associar ao
650 acúmulo de nutrientes pelas plantas. Para o componente 2 o ASRMF e CRMF têm o maior
651 fator de carga envolvido. Portanto, baixos valores de cargas fatoriais nos componentes
652 principais incluem plantas sem inoculação (C- e C+), enquanto que, os altos valores
653 incluem as plantas inoculadas com, BRM 32113 e UFRA92.

654

655 **4. Discussões**

656 Este é o primeiro relato das alterações na arquitetura das raízes e que resultam no
657 aumento da aquisição de nutrientes em mudas de palma de óleo associado à redução de
658 em 50% de fertilização química. Essa resposta foi observada pelo aumento do volume
659 total das raízes, volume das raízes finas, comprimento da raiz, área superficial, número
660 de pontas e ramificações, além do acúmulo de nutrientes e da eficiência no uso desses
661 nutrientes.

662 O sistema radicular das mudas de palma de óleo, aos 10 meses de idade, apresentou
663 34% do comprimento, 2% do volume e 13% da área de superfície distribuídos em raiz
664 muito fina. Por outro lado, as rizobactérias alteraram a arquitetura do sistema radicular,
665 sendo 52% no comprimento, 3% no volume e 18% na área de superfície distribuídas em
666 raízes muito finas. A inoculação de bacteriasbactérias desempenha um papel importante
667 na alteração da morfologia de raiz modificando a arquitetura radicular. Essa resposta foi
668 observado no aumento do volume total das raízes (Tab.1) e volume das raízes finas (Tab.
669 2). A inoculação também influenciou positivamente no aumento do comprimento total de
670 raiz (Tab.1), assim como no comprimento de raiz fina (Tab.3). O efeito da inoculação foi
671 capaz de alterar consequentemente o aumento da área de superfície total de raiz (Tab.1),
672 bem como nas classes de raízes das mudas de palma de óleo (Tab.4), além de apresentar

673 ganhos significativos no diâmetro médio, número de pontas e ramificação das raízes
674 (Tab.1) quando comparados ao C- e C+. A caracterização da arquitetura radicular mostra
675 o potencial que as bactérias possuem em alterar o sistema radicular após a inoculação e
676 com redução de 50% da fertilização química. O crescimento de raízes pode estar
677 relacionado a biossíntese de ácido indol-3-acético (AIA) bacteriano (Asari et al., 2017;
678 Spaepen et al., 2007), uma vez recém sintetizado é absorvido pela planta e, conjuntamente
679 com IAA endógeno podem atuar diretamente como molécula sinalizadora ligada à divisão
680 celular e o alongamento de raízes (Glick et al., 1998). A síntese de auxina (IAA) está
681 geralmente presente em 80% dos microrganismos isolados da rizosfera (Carlos et al.,
682 2016), que por sua vez está diretamente envolvido o crescimento e o desenvolvimento da
683 raiz (Bottini et al., 2004; Castro et al., 2008; Khalid et al., 2004; Peralta et al., 2012).

684 A ação hormonal desencadeada por PGPR está fortemente relacionada ao
685 aumento do volume radicular, alterações morfoanatômicas e, principalmente pelo
686 aumento dos pêlos radiculares (Biswas et al., 2000; Lucy et al., 2004). Estudo realizado
687 por Astriani et al., (2016) observaram que dois isolados bacterianos foram capaz
688 de produzir AIA e ambos estimularam incrementos de 50% no crescimento das raízes
689 laterais em mudas de palma de óleo tratadas com rizobactérias aos 90 dias após a
690 semeadura.

691 Por outro lado, esses resultados permitem induzir que a elevada aplicação de
692 fertilizante químico, possivelmente, pode ter influenciado na restrição do crescimento
693 radicular, uma vez que a alta concentração de fertilizante pode aumentar salinidade do
694 meio rizosférico, assim dificultar a absorção de água e nutrientes pelas raízes e
695 consequentemente reduzir o crescimento da planta. A salinidade do ambiente radicular,
696 por meio da elevada aplicação de fertilizante, é um dos fatores que reduz o crescimento,
697 a qualidade das plantas e produtividades (Egamberdieva et al. 2019; Ahmad, 2014).. As

698 PGPR desempenham um papel essencial para aumentar o crescimento e mitigar os efeitos
699 da salinidade sem comprometer o ambiente radicular (Kang et al., 2014).

700 As alterações radiculares estimulado por PGPR confere diversos benefícios ao
701 vegetal, favorece a fixação da planta, permite maior exploração da área do solo e isso
702 pode influenciar diretamente à melhor aquisição de nutrientes (Lima et al., 2020; Sharma
703 et al., 2013), além de garantir robustez, precocidade e melhor adaptação da muda ao
704 plantio definitivo.

705 O conteúdo de macro e micronutrientes aumentou nas mudas de palma de óleo
706 tratadas com rizobactéria (Tab. 6), a dinâmica de acúmulo de nutrientes variou entre os
707 compartimentos do vegetal. A inoculação de rizobactérias favoreceu o acúmulo de
708 nutrientes principalmente na raiz e isso seria um diferencial na nutrição das mudas quando
709 se trata de plantio permanente, uma vez que a muda de palma de óleo tratadas aumentou
710 o conteúdo nutricional sobre a planta controle que recebeu 100% de adubo químico (C+)
711 (Tab. 6).. Compostos indólicos e/ou ácidos orgânicos produzidos por bactéria, acidificam
712 o meio radicular gerando um gradiente de potencial eletroquímico, que por sua vez
713 sinalizar à ativação da bomba de prótons ATPase permitindo o movimento simporte de
714 moléculas e, ao mesmo tempo, o fluxo de nutrientes no aploplasto (Guan & Liu, 2020;
715 Nascente et al., 2019; Olivares et al., 2017; Sun, 2016). O número de pontas influencia
716 diretamente na aquisição de nutrientes, uma vez que absorção ocorre principalmente pela
717 ponta, região da extremidade da raiz que permite a entrada de água e nutrientes. Area de
718 superfície radicular também pode influenciar na absorção de nutrientes, isso indica que
719 ha uma maior zona de contato da raiz com meio rizosferico e maior exploração do perfil
720 do solo.

721 O maior conteúdo de nitrogênio (N) observado nas plantas de palma de óleo
722 tratadas pode ser atribuído à capacidade de fixação de N das rizobactérias, através das

723 enzimas nitrogenase, alterando o fornecimento de nutrientes transformando o nitrogênio
724 atmosférico em NH_4^+ ou a partir de mecanismos envolvidos na maior eficiência de
725 absorção de N por rizobactérias (Santi et al., 2013).

726 A inoculação favoreceu positivamente o aumento do conteúdo de potássio nas
727 mudas de palma de óleo. Este resultado pode ser devido a maior produção de ácido
728 orgânico isolados bacterianos (Nath et al., 2017), e isto pode ter ocorrido nas mudas
729 tratadas. Vários ácidos orgânicos como fumárico, oxálico e tartárico podem quelar e
730 mobilizar K especificamente da estrutura mineral que contem elemento potássio (Meena
731 et al., 2016; Meena et al., 2016c; Saha et al., 2016a; Jaiswal et al., 2016). O crescimento
732 do sistema radicular e a melhor distribuição das raízes induzidos pelas rizobacterias
733 podem conferir aumento na absorção de K, assim como reduzir perdas por lixiviação.
734 Além da solubilização de nutrientes, o melhor desempenho nos parametros de arquitetura
735 de raiz das plantas tratadas foram importantes para melhorar a absorção de nutrientes.

736 O aumento no conteúdo de fósforo nas plantas de palma de óleo tratadas, pode
737 esta ligado ao aumento dos parametros de arquitetura radicular, mas também
738 principalmente através da solubilização de fosfato. Esta resposta pode ser devido a
739 produção de ácidos ou mediante enzimas solubilizadoras produzidos por rizobacterias
740 (Sharma et al., 2013), e isto pode ter ocorrido após a inoculação dos isolados bacterianos.
741 O fósforo é estocado no solo principalmente como hexafosfato mio-inositol ou fitato,
742 formas indisponíveis para a planta (Jorquera et al., 2008; Matsumura et al., 2016).
743 Entretanto, ácidos orgânicos como butírico, málico, acético, láctico, cítrico entre outros,
744 ou enzimas como fosfatases ácidas são capazes de quebrar o mineral e aumentar o número
745 de íons fosfato disponíveis no solo (Herrera Paredes & Lebeis, 2016; Oteino et al., 2015;
746 Rodríguez & Fraga, 1999). Valer ressaltar, que além de solubilizar fósforo as fosfatases
747 ácidas atuam como quelantes de vários minerais como Fe^{2+} , Ca^{2+} e Zn^{2+} (Pérez-García et al.,
748 2011).

749 Os aumentos no conteúdo de Fe observado nas plantas tratadas, pode ser
750 também devido a presença sideróforos produzidos pelas bactérias. Os sideroforos são
751 agente quelantes específico de Fe capaz de reduzir o íon Fe^{3+} em Fe^{2+} e tornando solúvel e
752 biologicamente acessível ([Gontia-Mishra et al., 2016](#)), o que e pode ter ocorrido nas
753 plantas inoculadas. Estudos descritos por [Lima et al., 2020](#) reportaram aumento do
754 acúmulo de macro e micronutrientes associado a redução de 55% da fertilização química
755 em mudas de palma de óleo tratada com rizobactéria. Corroborando com nossa pesquisa,
756 estudo realizado por ([Castro et al., 2020](#)) observaram incrementos no acúmulo de
757 nutrientes de 18% (N), 73% (P) e 14% (K) em mudas de palmeiras de açaí inoculadas com
758 rizobactérias.

759 A PCA foi realizada como uma ferramenta para avaliar a correlação da arquitetura
760 radicular de raízes muito fina com o acúmulo de nutrientes na raiz conforme com o
761 potencial de cada cepa bacteriana testada. A análise mostrou que o primeiro e segundo
762 componentes explicam 80% da variabilidade. Segundo [Rencher, 2005](#), para uma melhor
763 confiabilidade da análise, pelo menos 70% da variância total deve ser explicado pelo
764 primeiro e segundo componentes principais. De acordo com a PCA, é possível observar
765 que os tratamentos inoculados com BRM 32113 e UFRA92 apresentaram comportamento
766 diferente aos grupos dos controles (figura 4). Desta forma, entende-se que o isolado
767 UFRA92 estão fortemente associados positivamente por cargas fatoriais para acúmulo de
768 nutrientes, principalmente para o acúmulo de macronutrientes, assim como BRM 32113
769 é para variáveis de arquitetura raiz.

770 Esses fatores podem ter contribuído positivamente para ação promotora de
771 crescimento da planta, culminando no aumento do acúmulo de biomassa ([Paungfoo-
772 Lonhienne et al., 2019](#)), observado na matéria seca da raiz, parte aérea e total de mudas
773 de palma de óleo tratadas por bactérias (Tabela 8). Pesquisa realizada por [Lima et al.,
774 2020](#) em mudas de palma de óleo provenientes de micropropagação (clone), observaram

775 um aumento significativo no conteúdo de biomassa das mudas inoculadas com
776 rizobactéria, incrementando de 110% matéria seca da parte aérea, 123% para matéria seca
777 da raiz e 112% na matéria seca total, combinado com redução de 55% da adubação
778 química. Corroborando com nosso trabalho, estudos de [Adesemoye et al 2009](#) também
779 observaram aumento no acúmulo de biomassa seca em plantas inoculadas com
780 rizobactérias combinado com redução da fertilização química.

781 A inoculação microbiana influenciou na extração de nutrientes pelas plantas no
782 substrato (Tab.5), o que sugere que o aumento no maior volume da raiz induzidos por
783 bactérias e a solubilização de nutrientes podem ter potencializado a solubilização das
784 frações não trocáveis aumentando a concentração de nutrientes disponível na solução do
785 solo dependendo do estado nutricional e necessidade da planta. O mecanismo de ação das
786 bactérias na matéria orgânica do solo também pode ter influenciado diretamente neste
787 resultado. É possível observar que cada cepa de bactéria possui um conjunto de
788 mecanismos para acessar e extrair nutrientes do reservatório do solo para que sejam
789 solubilizados e disponibilizados às plantas ([Stempler et al., 2017](#)).

790 As plantas tratadas com PGPR tiveram melhor desempenho na eficiência no uso
791 de nutrientes sobre a planta sem inoculação e também as que recebeu 100% da adubação
792 química (Tabela 7). Esta resposta pode ser devida à melhoria do sistema radicular,
793 aumento do conteúdo de nutrientes no solo e acúmulo de biomassa que, possivelmente,
794 foi induzido pela inoculação das cepas bacterianas, resultados já citados nesta pesquisa.
795 Desde modo, isso implica dizer que inoculação dos isolados bacterianos foram capazes de
796 produzir diferentes compostos orgânicos e inorgânicos ([Li et al., 2019b](#); [Maurya et al.,](#)
797 [2014](#)), que podem ter acessado diretamente frações do solo melhorando a disponibilidade
798 dos nutrientes, e por fim aumento da eficiência do uso de nutrientes ([S. K. Meena &](#)
799 [Meena, 2017](#); [V. S. Meena et al., 2017](#)).

800
801 Pelos resultados descritos nesta pesquisa, conclui-se que microrganismos que
802 promovem o crescimento das plantas são importantes para a produção agrícola global.
803 Assim, a utilização de microrganismos na forma de inoculantes biológicos deve ser
804 considerada como uma tecnologia estratégica a ser aplicada em campo. Esta tecnologia
805 melhora a qualidade da planta e reduz a dependência de insumos químicos de fontes não
806 renováveis e economicamente insustentáveis (Meena et al 2017).

807 Esta tecnologia necessita de mais estudos para melhor compreender a
808 dinâmica dos mecanismo de interação planta-microrganismo, as observações ao longo dos
809 ano em plantas de palma óleo adulta, afim de investigar o efeito da inoculação na
810 produtividade e rendimento de óleo, visto que cada cepa tem suas peculiaridades e
811 potencialidades de acordo com com a espécie hospedeira e comportamento
812 edafoclimatico.

813 **Conclusão**

814 As rizobactérias influenciam na extração de nutrientes, alteram a arquitetura
815 radicular e induzem o acúmulo de nutrientes e da eficiencia do uso de nutrientes em mudas
816 de palma de óleo, combinado com redução de 50% da adubação química, contribuindo
817 para a obtenção de mudas de qualidade para o campo em menos tempo e menor custo de
818 produção. Diante disso, a alteração na arquitetura do sistema radicular pode explicar o
819 acúmulo e a eficiência do uso de nutrientes.

820

821

822

823

824

825

826

827 **5 . Referencias**

828

- 829 Asari, S., Tarkowská, D., Rolčík, J., Novák, O., Palmero, D. V., Bejai, S., & Meijer, J.
830 (2017). Analysis of plant growth-promoting properties of *Bacillus*
831 *amyloliquefaciens* UCMB5113 using *Arabidopsis thaliana* as host plant. *Planta*,
832 245(1), 15–30. <https://doi.org/10.1007/s00425-016-2580-9>
- 833 Ashraf, M., Zulkifli, R., Sanusi, R., Tohiran, K. A., Terhem, R., Moslim, R.,
834 Norhisham, A. R., Ashton-Butt, A., & Azhar, B. (2018). Alley-cropping system
835 can boost arthropod biodiversity and ecosystem functions in oil palm plantations.
836 *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 260(March), 19–26.
837 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.03.017>
- 838 Astriani, M., Mubarik, N. R., & Tjahjoleksono, A. (2016). Selection of bacteria
839 producing indole-3-Acetic acid and its application on oil palm seedlings (*Elaeis*
840 *guineensis* Jacq.). *Malaysian Journal of Microbiology*, 12(2), 147–154.
841 <https://doi.org/10.21161/mjm.74615>
- 842 Benincasa, M. M. P. (1988). *Análise de crescimento de plantas: noções básicas*.
843 FUNEP.
- 844 Bisseling, T., & Scheres, B. (2014). Nutrient computation for root architecture. *Science*,
845 346(6207), 300–301. <https://doi.org/10.1126/science.1260942>
- 846 Biswas, J. C., Ladha, J. K., & Dazzo, F. B. (2000). Rhizobia Inoculation Improves
847 Nutrient Uptake and Growth of Lowland Rice. *Soil Science Society of America*
848 *Journal*, 64(5), 1644–1650. <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6451644x>
- 849 Bottini, R., Cassán, F., & Piccoli, P. (2004). Gibberellin production by bacteria and its
850 involvement in plant growth promotion and yield increase. *Applied Microbiology*
851 *and Biotechnology*, 65(5), 497–503. <https://doi.org/10.1007/s00253-004-1696-1>
- 852 Carlos, M. H. J., Stefani, P. V. Y., Janette, A. M., Melani, M. S. S., & Gabriela, P. O.
853 (2016). Assessing the effects of heavy metals in ACC deaminase and IAA
854 production on plant growth-promoting bacteria. *Microbiological Research*, 188–
855 189, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2016.05.001>
- 856 Castro, R. O., Cantero, E. V., & Bucio, J. L. (2008). *nd es io s en ce . D o no t di st r ib*
857 *u te io s ci La nd es en ce o r u. April*, 263–265. [https://doi.org/10.1094/MPMI-20-](https://doi.org/10.1094/MPMI-20-2-0207)
858 [2-0207](https://doi.org/10.1094/MPMI-20-2-0207). www.landesbioscience.com
- 859 Castro, Salgado, G. L., Rêgo, M. C. F., Silvestre, W. V. D., Batista, T. F. V., & da
860 Silva, G. B. (2020). Açaí palm seedling growth promotion by rhizobacteria
861 inoculation. *Brazilian Journal of Microbiology*, 51(1), 205–216.
862 <https://doi.org/10.1007/s42770-019-00159-2>
- 863 Chauhan, H., Bagyaraj, D. J., & Sharma, A. (2013). Plant growth-promoting bacterial
864 endophytes from sugarcane and their potential in promoting growth of the host
865 under field conditions. *Experimental Agriculture*, 49(1), 43–52.
866 <https://doi.org/10.1017/S0014479712001019>
- 867 Cheng, Y., Yu, L., Xu, Y., Liu, X., Lu, H., Cracknell, A. P., Kanniah, K., & Gong, P.
868 (2018). Towards global oil palm plantation mapping using remote-sensing data.
869 *International Journal of Remote Sensing*, 39(18), 5891–5906.
870 <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1492182>

- 871 Chin, C. F. S., Furuya, Y., Zainudin, M. H. M., Ramli, N., Hassan, M. A., Tashiro, Y.,
872 & Sakai, K. (2017). Novel multifunctional plant growth-promoting bacteria in co-
873 compost of palm oil industry waste. *Journal of Bioscience and Bioengineering*,
874 *124*(5), 506–513. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2017.05.016>
- 875 Chiranjeevi, P., Yeruva, D. K., Kumar, A. K., Mohan, S. V., & Varjani, S. (2018).
876 Plant-microbial fuel cell technology. In *Biomass, Biofuels, Biochemicals:*
877 *Microbial Electrochemical Technology: Sustainable Platform for Fuels, Chemicals*
878 *and Remediation*. Elsevier B.V. [https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64052-
879 *9.00022-4*](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64052-9.00022-4)
- 880 Dakora, F. D., & Phillips, D. A. (2002). Root exudates as mediators of mineral
881 acquisition in low-nutrient environments Legume-Rhizobium Symbiosis View
882 project Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient
883 environments. *Plant and Soil*, *245*, 35–47.
884 <https://doi.org/10.1023/A:1020809400075>
- 885 Dubos, B., Snoeck, D., & Flori, A. (2017). Excessive use of fertilizer can increase
886 leaching processes and modify soil reserves in two ecuadorian oil palm plantations.
887 *Experimental Agriculture*, *53*(2), 255–268.
888 <https://doi.org/10.1017/S0014479716000363>
- 889 Fageria, N. K., & Moreira, A. (2011). The Role of Mineral Nutrition on Root Growth of
890 Crop Plants. In *Advances in Agronomy* (1st ed., Vol. 110, Issue C). Elsevier Inc.
891 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385531-2.00004-9>
- 892 Gamalero, E., & Glick, B. R. (2011). Bacteria in Agrobiolgy: Plant Nutrient
893 Management. *Bacteria in Agrobiolgy: Plant Nutrient Management*, 17–46.
894 <https://doi.org/10.1007/978-3-642-21061-7>
- 895 Glick, B. R., Penrose, D. M., & Li, J. (1998). A model for the lowering of plant
896 ethylene concentrations by plant growth-promoting bacteria. *Journal of*
897 *Theoretical Biology*, *190*(1), 63–68. <https://doi.org/10.1006/jtbi.1997.0532>
- 898 Goh, K. J., & Samsudin, A. (1993). The root system of the oil palm (*Elaeis guineensis*
899 Jacq.) II: Indirect estimations of root length, diameter, and surface area. In *Elaeis*
900 (Vol. 5, Issue 2, pp. 75–85).
- 901 Gontia-Mishra, I., Sapre, S., Sharma, A., & Tiwari, S. (2016). Alleviation of Mercury
902 Toxicity in Wheat by the Interaction of Mercury-Tolerant Plant Growth-Promoting
903 Rhizobacteria. *Journal of Plant Growth Regulation*, *35*(4), 1000–1012.
904 <https://doi.org/10.1007/s00344-016-9598-x>
- 905 Guan, N., & Liu, L. (2020). Microbial response to acid stress: mechanisms and
906 applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *104*(1), 51–65.
907 <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10226-1>
- 908 Herrera Paredes, S., & Lebeis, S. L. (2016). Giving back to the community: microbial
909 mechanisms of plant–soil interactions. *Functional Ecology*, *30*(7), 1043–1052.
910 <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12684>
- 911 Irizarry, I. and, & White, J. F. (2017). Application of bacteria from non-cultivated
912 plants to promote growth, alter root architecture and alleviate salt stress of cotton.
913 *Journal of Applied Microbiology*, *122*(4), 1110–1120.
914 <https://doi.org/10.1111/jam.13414>
- 915 Javoreková, S., Maková, J., Medo, J., Kováčsová, S., Charousová, I., & Horák, J.

- 916 (2015). Effect of bio-fertilizers application on microbial diversity and
 917 physiological profiling of microorganisms in arable soil. *Eurasian Journal of Soil*
 918 *Science (Ejss)*, 4(1), 54. <https://doi.org/10.18393/ejss.07093>
- 919 Jorquera, M. A., Hernández, M. T., Rengel, Z., Marschner, P., & De La Luz Mora, M.
 920 (2008). Isolation of culturable phosphobacteria with both phytate-mineralization
 921 and phosphate-solubilization activity from the rhizosphere of plants grown in a
 922 volcanic soil. *Biology and Fertility of Soils*, 44(8), 1025–1034.
 923 <https://doi.org/10.1007/s00374-008-0288-0>
- 924 Kado, C. I., & Heskett, M. G. (1970). Selective Media for Isolation of Agrobacterium,
 925 Corynebacterium, Erwinia, Pseudomonas, and Xanthomonas. *Phytopathology*,
 926 60(6), 969. <https://doi.org/10.1094/Phyto-60-969>
- 927 Khalid, A., Arshad, M., & Zahir, Z. A. (2004). Screening plant growth-promoting
 928 rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. *Journal of Applied*
 929 *Microbiology*, 96(3), 473–480. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2003.02161.x>
- 930 Kloepper, J., Schroth, M. N., & Miller, T. . (1980). *Effects of rhizosphere colonization*
 931 *by plant growthpromoting rhizobacteria on potato plant development and yield.*
 932 (pp. 1078–1082).
- 933 Kumar, A., Patel, J. S., Meena, V. S., & Ramteke, P. W. (2019). Plant growth-
 934 promoting rhizobacteria: strategies to improve abiotic stresses under sustainable
 935 agriculture. *Journal of Plant Nutrition*, 42(11–12), 1402–1415.
 936 <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1616757>
- 937 Lam, M. K., & Lee, K. T. (2011). Production of biodiesel using palm oil. In *Biofuels*
 938 (1st ed.). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385099-7.00016-4>
- 939 Li, K., Tschardtke, T., Saintes, B., Buchori, D., & Grass, I. (2019). Critical factors
 940 limiting pollination success in oil palm: A systematic review. *Agriculture,*
 941 *Ecosystems and Environment*, 280(April), 152–160.
 942 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.05.001>
- 943 Li, X., Zeng, R., & Liao, H. (2016). Improving crop nutrient efficiency through root
 944 architecture modifications. *Journal of Integrative Plant Biology*, 58(3), 193–202.
 945 <https://doi.org/10.1111/jipb.12434>
- 946 Lim, S. L., Subramaniam, S., Zamzuri, I., & Amir, H. G. (2018). Growth and
 947 biochemical profiling of artificially associated micropropagated oil palm plantlets
 948 with herbaspirillum seropedicae. *Journal of Plant Interactions*, 13(1), 173–181.
 949 <https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1451564>
- 950 Lima, J. V., Tinôco, R. S., Olivares, F. L., Moraes, A. J. G. de, Chia, G. S., & Silva, G.
 951 B. da. (2020). Hormonal imbalance triggered by rhizobacteria enhance nutrient use
 952 e ffi ciency and biomass in oil palm. *Scientia Horticulturae*, 264(December 2019),
 953 109161. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109161>
- 954 Lucy, M., Reed, E., & Glick, B. R. (2004). Applications of free living plant growth-
 955 promoting rhizobacteria. *Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of*
 956 *General and Molecular Microbiology*, 86(1), 1–25.
 957 <https://doi.org/10.1023/B:ANTO.0000024903.10757.6e>
- 958 Lugtenberg, B., & Kamilova, F. (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual*
 959 *Review of Microbiology*, 63(May), 541–556.
 960 <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918>

- 961 Lynch, J. (1995). Root architecture and plant productivity. *Plant Physiology*, 109(1), 7–
962 13. <https://doi.org/10.1104/pp.109.1.7>
- 963 availability: Impacts on root development and nitrate uptake. *Journal of Experimental*
964 *Botany*, 55(394), 27–34. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh010>
- 965 Matsumura, A. T., Santos, Paz, I., Padula, C., Guimarães, A. M., Silva, E., Ott, A. P., &
966 Duarte, V. (2016). *Efeito de três formulações de bacillus amyloliquefaciens*
967 *ICBB200 sobre o crescimento de plantas de alface (Lactuca sativa L.) Em cinco*
968 *condições edafoclimáticas*. 146–152.
- 969 McMurtrie, R. E., & Näsholm, T. (2018). Quantifying the contribution of mass flow to
970 nitrogen acquisition by an individual plant root. *New Phytologist*, 218(1), 119–130.
971 <https://doi.org/10.1111/nph.14927>
- 972 Meena, S. K., & Meena, V. S. (2017). Importance of soil microbes in nutrient use
973 efficiency and sustainable food production. *Agriculturally Important Microbes for*
974 *Sustainable Agriculture*, 2, 1–374. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-5343-6>
- 975 Meena, V. S., Maurya, B. R., Verma, J. P., & Meena, R. S. (2016). Potassium
976 solubilizing microorganisms for sustainable agriculture. *Potassium Solubilizing*
977 *Microorganisms for Sustainable Agriculture*, 1–331. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-2776-2>
- 979 Meena, V. S., Meena, S. K., Verma, J. P., Kumar, A., Aeron, A., Mishra, P. K., Bisht, J.
980 K., Pattanayak, A., Naveed, M., & Dotaniya, M. L. (2017). Plant beneficial
981 rhizospheric microorganism (PBRM) strategies to improve nutrients use
982 efficiency: A review. *Ecological Engineering*, 107, 8–32.
983 <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.058>
- 984 Nascente, A. S., Lanna, A. C., De Sousa, Thatyane Pereira, Abdallah, A., Chaibub,
985 Souza, Carlos, A. A. De, De Filippi, C. M., & Corsi. (2019). N Fertilizer
986 Dose - Dependent Efficiency of *Serratia* spp . for Improving Growth and Yield of
987 Upland Rice (*Oryza sativa* L .). *International Journal of Plant Production*, 13(3),
988 217–226. <https://doi.org/10.1007/s42106-019-00049-5>
- 989 Nath, D., Maurya, B. R., & Meena, V. S. (2017). Documentation of five potassium- and
990 phosphorus-solubilizing bacteria for their K and P-solubilization ability from
991 various minerals. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 10, 174–181.
992 <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.03.007>
- 993 Numan, M., Bashir, S., Khan, Y., Mumtaz, R., Shinwari, Z. K., Khan, A. L., Khan, A.,
994 & AL-Harrasi, A. (2018). Plant growth promoting bacteria as an alternative
995 strategy for salt tolerance in plants: A review. *Microbiological Research*,
996 209(January), 21–32. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.02.003>
- 997 Olivares, F. L., Busato, J. G., Paula, A. M. De, Lima, S., Aguiar, N. O., & Canellas, L.
998 P. (2017). Plant growth promoting bacteria and humic substances : crop promotion
999 and mechanisms of action. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*,
1000 1–13. <https://doi.org/10.1186/s40538-017-0112-x>
- 1001 Oteino, N., Lally, R. D., Kiwanuka, S., Lloyd, A., Ryan, D., Germaine, K. J., &
1002 Dowling, D. N. (2015). Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing
1003 endophytic *Pseudomonas* isolates. *Frontiers in Microbiology*, 6(JUL), 1–9.
1004 <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00745>
- 1005 Paungfoo-Lonhienne, C., Redding, M., Pratt, C., & Wang, W. (2019). Plant growth

- 1006 promoting rhizobacteria increase the efficiency of fertilisers while reducing
1007 nitrogen loss. *Journal of Environmental Management*, 233(September 2018), 337–
1008 341. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.052>
- 1009 Peralta, K. D., Araya, T., Valenzuela, S., Sossa, K., Martínez, M., Peña-Cortés, H., &
1010 Sanfuentes, E. (2012). Production of phytohormones, siderophores and population
1011 fluctuation of two root-promoting rhizobacteria in *Eucalyptus globulus* cuttings.
1012 *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(5), 2003–2014.
1013 <https://doi.org/10.1007/s11274-012-1003-8>
- 1014 Pérez-García, A., Romero, D., & de Vicente, A. (2011). Plant protection and growth
1015 stimulation by microorganisms: Biotechnological applications of Bacilli in
1016 agriculture. *Current Opinion in Biotechnology*, 22(2), 187–193.
1017 <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2010.12.003>
- 1018 Ranjitha Kumari, P. M. (2015). A Critical Review on Plant Growth Promoting
1019 Rhizobacteria. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*, 06(04), 4–7.
1020 <https://doi.org/10.4172/2157-7471.1000266>
- 1021 Rencher, A. C. (2005). A Review Of “Methods of Multivariate Analysis, Second
1022 Edition.” In *IIE Transactions* (Vol. 37, Issue 11).
1023 <https://doi.org/10.1080/07408170500232784>
- 1024 Rodríguez, H., & Fraga, R. (1999). Phosphate solubilizing bacteria and their role in
1025 plant growth promotion. *Biotechnology Advances*, 17(4–5), 319–339.
1026 [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(99\)00014-2](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(99)00014-2)
- 1027 Rosier, A., Medeiros, F. H. V., & Bais, H. P. (2018). Defining plant growth promoting
1028 rhizobacteria molecular and biochemical networks in beneficial plant-microbe
1029 interactions. *Plant and Soil*, 428(1–2), 35–55. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3679-5>
- 1031 Saleem, M., Law, A. D., Sahib, M. R., Pervaiz, Z. H., & Zhang, Q. (2018). Impact of
1032 root system architecture on rhizosphere and root microbiome. *Rhizosphere*, 6, 47–
1033 51. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2018.02.003>
- 1034 Santi, C., Bogusz, D., & Franche, C. (2013). Biological nitrogen fixation in non-legume
1035 plants. *Annals of Botany*, 111(5), 743–767. <https://doi.org/10.1093/aob/mct048>
- 1036 Santoyo, G., Moreno-Hagelsieb, G., del Carmen Orozco-Mosqueda, M., & Glick, B. R.
1037 (2016). Plant growth-promoting bacterial endophytes. *Microbiological Research*,
1038 183, 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.008>
- 1039 Sharma, S., Ramesh, A., & Johri, B. (2013). Isolation and Characterization of Plant
1040 Growth-Promoting *Bacillus amyloliquefaciens* Strain sks_bnj_1 and its Influence
1041 on Rhizosphere Soil Properties and Nutrition of Soybean (*Glycine max* L. Merrill).
1042 *Journal of Virology & Microbiology*, 2013, 1–19.
1043 <https://doi.org/10.5171/2013.446006>
- 1044 Siddiqi, M. Y., & Glass, A. D. M. (1981). Utilization index: A modified approach to the
1045 estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of*
1046 *Plant Nutrition*, 4(3), 289–302. <https://doi.org/10.1080/01904168109362919>
- 1047 Silva, A. A., & Delatorre, C. A. (2009). Alterações na arquitetura de raiz em resposta à
1048 disponibilidade de fósforo e nitrogênio. *Revista de Ciências Agroveterinárias*,
1049 8(2), 152–163.

1050 Spaepen, S., Vanderleyden, J., & Remans, R. (2007). Indole-3-acetic acid in microbial
1051 and microorganism-plant signaling. *FEMS Microbiology Reviews*, 31(4), 425–448.
1052 <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2007.00072.x>

1053 Stempler, O., Baidya, A. K., Bhattacharya, S., Malli Mohan, G. B., Tzipilevich, E.,
1054 Sinai, L., Mamou, G., & Ben-Yehuda, S. (2017). Interspecies nutrient extraction
1055 and toxin delivery between bacteria. *Nature Communications*, 8(1), 1–8.
1056 <https://doi.org/10.1038/s41467-017-00344-7>

1057 Sun, Y. (2016). Regulation of Ca²⁺-ATPases, V-ATPases and F-ATPases. *Regulation of*
1058 *Ca²⁺-ATPases, V-ATPases and F-ATPases*, 459–468. [https://doi.org/10.1007/978-](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24780-9)
1059 [3-319-24780-9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24780-9)

1060 World Bank. 2010. “World Development Report 2010: Development and Climate
1061 Change.” The World Bank, Washington, DC.

1062

1063

1064

1065

1066

1067

1068

Tabela 1. Variáveis de morfologia do sistema radicular de plantas de palma de óleo não inoculadas e inoculadas com rizobactérias.

Variáveis	C-	BRM 32113	UFRA92	C+
Comprimento total das raízes (m)	363.18 ± 29.96 b	429.07 ± 29.03 a	426.25 ± 46.13 a	302.90 ± 24.18 b
Área total da superfície (m ²)	9.04 ± 1.44b	13.41 ± 1.21 a	12.18 ± 1.19 a	8.92 ± 0.30 b
Diâmetro médio (mm)	13.40 ± 0.24 b	16.20 ± 1.64 b	22.06 ± 2.63 a	13.22 ± 0.80 b
Número de pontas	12118 ± 2836.52 c	47949 ± 1925.85 a	21430 ± 1059.55 b	10774 ± 1072.29 c
Ramificações	7948 ± 1164.28 d	24737 ± 1160.31 a	18375 ± 1969.10 b	12037 ± 472.946 c
Volume total (cm ³)	310.89 ± 4.82 c	530.63 ± 28.41 b	503.51 ± 46.32 b	393.82 ± 65.98 c

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença entre tratamentos pelo teste de Scott Knott para $P \leq 0,05$.

Tabela 2. Volume do sistema radicular dentro de cada classe diâmetro de raiz de plantas de palma de óleo não inoculadas e inoculadas com rizobactérias.

	Volume (cm ³)					
	Classes (Φ mm)					
	0-0.5 mm	0 - 1 mm	1 - 2 mm	2 - 3 mm	3 - 4 mm	>4 mm
C-	7.18 ± 1.1 b	49.86 ± 5.35 a	18.27 ± 1.68 c	22.34 ± 3.27 a	67.25 ± 10.49 b	153.16 ± b
BRM 32113	15.55 ± 1.6 a	61.90 ± 6.49 a	53.72 ± 8.78 b	39.24 ± 7.56 a	102.38 ± 9.20 a	273.37 ± a
UFRA92	14.52 ± 2.5 a	60.9 ± 9.47 a	63.55 ± 5.74 b	47.20 ± 5.57 a	82.12 ± 4.64 b	249.73 ± a
C+	8.96 ± 2.0 b	50.13 ± 10.17 a	29.45 ± 7.67 c	37.78 ± 8.61 a	74.20 ± 7.51 b	202.24 ± b

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença entre tratamentos pelo teste de Scott Knott para $P \leq 0,05$.

Tabela 3. Comprimento radicular dentro de cada classe diâmetro de raiz de plantas de palma de óleo não inoculadas e inoculadas com rizobactérias.

	Comprimento (m)					
	Classes (Φ mm)					
	0 – 0.5 mm	0 - 1 mm	1 - 2 mm	2 - 3 mm	3 - 4 mm	>4 mm
C-	110.08 ± 15.50 b	319.07 ± 99.36 a	21.25 ± 3.35 b	6.59 ± 0.97 a	7.89 ± 1.15 a	8.38 ± 0.76 b
BRM 32113	223.99 ± 34.55 a	348.21 ± 39.08 a	46.66 ± 3.95 a	10.11 ± 2.92 a	10.62 ± 1.19 a	13.47 ± 1.60 a
UFRA92	226.89 ± 22.22 a	352.55 ± 43.76 a	44.01 ± 4.51 a	11.15 ± 1.64 a	8.16 ± 0.60 a	10.38 ± 1.91 b
C+	126.93 ± 19.40 b	249.47 ± 67.89 a	25.63 ± 3.11 b	12.60 ± 3.46 a	9.30 ± 1.55 a	5.90 ± 0.83 b

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença entre tratamentos pelo teste de Scott Knott para $P \leq 0,05$.

Tabela 3. Área de superfície de raiz dentro de cada classe diâmetro de raiz de plantas de palma de óleo não inoculadas e inoculadas com rizobactérias.

	Área de superfície (m ²)					
	Classes (Φ mm)					
	0 – 0.5 mm	0 - 1 mm	1 - 2 mm	2 - 3 mm	3 - 4 mm	>4 mm
C-	1.22 ± 0.38 b	4.14 ± 1.29 a	2.35 ± 0.39 b	1.37 ± 0.50 a	0.66 ± 0.23 a	0.52 ± 0.08 a
BRM 32113	2.46 ± 0.30 a	5.49 ± 1.15 a	3.86 ± 0.33 a	2.09 ± 0.11 a	1.19 ± 0.11 a	0.78 ± 0.23 a
UFRA92	1.80 ± 0.27 b	4.46 ± 0.65 a	3.85 ± 0.54 a	1.87 ± 0.16 a	1.15 ± 0.13 a	0.85 ± 0.12 a
C+	1.26 ± 0.29 b	3.60 ± 0.75 a	2.63 ± 0.28 b	1.10 ± 0.14 a	0.77 ± 0.17 a	0.82 ± 0.21 a

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença entre tratamentos pelo teste de Scott Knott para $P \leq 0,05$.

Tabela 5. Características químicas do substrato do inicial e final utilizado no ensaio experimental.

	pH	H ^o + Al ³	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
			ppm	mg/dm ³	-----mmolc/dm ³ -----				-----mg/dm ³ -----				
Inicial	5.65	61	1190	706.00	8.20	128.00	99.00	43.00	3.14	6.00	140.00	7.90	12.40
BRM 32113	5.58	55	650	349.00	2.80	74.00	27.00	18.00	1.98	4.10	242.00	8.30	11.30
UFRA92	5.46	66	870	473.00	4.20	103.00	47.00	28.00	2.56	6.10	292.00	8.00	16.30
C-	5.78	75	660	350.00	4.00	85.00	36.00	23.00	1.83	3.70	191.00	3.80	9.30
C+	5.20	98	630	351.00	3.50	87.00	35.00	24.00	3.08	5.30	264.00	9.80	14.00

Inicial: Substrato antes da instalação do experimento. O padrão não foi utilizado nesta pesquisa como tratamento, apenas para conferir previamente a concentração de nutrientes no substrato. C-: sem inoculação e 50% da adubação; BRM 32113: plantas inoculadas com e 50% da adubação; UFRA92: plantas inoculadas e 50% de adubação; (C+) sem inoculação e 100% da adubação recomendada.

Tabela 3. Acúmulo de macronutrientes e micronutrientes na raiz, parte aérea e na planta em mudas de palma de óleo.

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Cu	Zn	
	g/root						mg/root					
BRM 32113	0.56 b	0.15 a	0.72 a	0.11 b	0.14 a	0.14 a	2.56 b	72.65 c	1.70 a	4.16 a	3.08 a	
UFRA92	0.50 b	0.14 a	0.60 a	0.12 ab	0.13 a	0.12 b	3.02 a	87.40 b	0.95 c	3.16 b	2.54 ab	
C-	0.33 c	0.11 b	0.45 b	0.07 c	0.07 b	0.07 c	1.73 c	56.59 d	0.86 c	1.84 d	1.73 b	
C+	0.39 c	0.11 b	0.46 b	0.08 c	0.08 b	0.11 b	1.88 c	55.38 d	0.95 c	1.54 d	1.87 b	
CV (%)	14.66	13.64	12.42	12.43	8.80	9.84	9.94	8.96	12.07	12.54	25.56	
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Cu	Zn	
	g/shoot						mg/shoot					
BRM 32113	6.88 ab	0.74 ab	2.45 a	2.43 abc	1.33 ab	0.62 a	13.93 b	79.22 b	17.18 a	2.64	12.44 a	
UFRA92	5.62 b	0.66 bc	2.34 a	2.30 bc	1.47 a	0.52 ab	17.26 a	101.00 a	14.52 b	2.68	8.69 c	
C-	7.35 a	0.84 a	1.87 bc	2.80 ab	1.25 b	0.21 c	11.75 c	103.80 a	17.04 a	2.26	10.57 b	
C+	4.91b	0.57 c	1.59 c	2.13 c	1.22 b	0.47 abc	17.04 a	104.66 a	9.65 c	2.55	8.38 c	
CV (%)	12.20	11.89	9.88	14.12	7.23	41.31	6.60	12.91	10.49	22.75	9.63	
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Cu	Zn	
	g/plant						mg/plant					
BRM 32113	7.44 ab	0.89 a	3.17 a	2.52 bc	1.60 ab	0.76 a	16.49 c	151.87 c	18.88 ab	6.80 a	15.52 a	
UFRA92	6.12 bc	0.82 a	2.94 a	2.42 c	1.81 a	0.64 ab	20.28 a	188.40 a	15.47 c	5.84 b	11.23 cd	
C-	7.68 ab	0.95 a	2.32 b	2.87 b	1.48 b	0.28 c	13.48 d	160.39 c	17.90 bc	4.10 c	12.30 bc	
C+	5.30 c	0.68 b	2.05 b	2.21 c	1.48 b	0.58 ab	18.92 ab	160.04 c	10.60 d	4.09 c	10.25 d	
CV (%)	12.50	9.80	8.91	9.59	6.91	31.90	5.75	5.77	10.07	12.08	9.54	

CV: Coeficiente de variação. C-: sem inoculação e 50% da adubação; BRM 32113: plantas inoculadas com e 50% da adubação; UFRA92: plantas inoculadas e 50% de adubação; (C+) sem inoculação e 100% da adubação recomendada. Médias seguidas por letras minúsculas iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Tabela 4. Eficiência de uso de cada nutriente na raiz, parte aérea e na planta em mudas de palma de óleo em função da inoculação das rizobactérias promotoras de crescimento

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Cu	Zn
Root											
	-----g ² .mg ⁻¹ -----					-----kg ² .g ⁻¹ -----					
BRM 32113	10.67 a	38.76 a	8.23 ab	54.54 a	43.32 ab	46.04 b	2.50 a	0.08 a	3.47 b	1.42 b	1.95
UFRA92	11.08 a	37.82 ab	9.16 a	45.98 bc	43.18 ab	43.96 bc	1.86 b	0.06 ab	5.97 a	1.76 b	2.25
C-	10.37 a	29.96 bc	7.37 b	47.92 abc	36.08 b	40.72 c	1.66 c	0.05 b	3.95 b	1.88 b	2.04
C+	7.72 b	28.98 c	6.96 b	41.33 c	39.41 b	25.55 d	1.49 d	0.05 b	3.39 b	2.06 b	1.76
CV (%)	9.47	14.75	10.76	10.86	10.75	6.12	2.72	19.64	20.70	23.19	25.97
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Cu	Zn
Shoot											
	-----g ² .mg ⁻¹ -----					-----kg ² .g ⁻¹ -----					
BRM 32113	22.36 a	171.82 a	58.09 b	48.17 a	95.79 a	222.03	9.21 a	1.62 a	8.25 a	43.86 ab	10.32 ab
UFRA92	18.45 b	151.71 ab	47.20 cd	44.64 a	69.05 cd	198.54	5.90 b	1.03 b	7.05 ab	38.42 b	11.77 ab
C-	13.22 c	116.71 c	52.11 c	34.47 b	77.91 bc	384.31	8.31 a	0.93 b	5.75 c	44.37 ab	8.87 b
C+	14.38 c	143.14 bc	41.50 d	32.42 b	55.43 d	177.73	4.85 b	0.79 b	7.48 ab	36.99 b	10.15 ab
CV (%)	9.52	11.90	7.21	9.93	11.96	16.48	16.42	16.90	11.67	12.60	20.32
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Cu	Zn
Plant											
	-----g ² .mg ⁻¹ -----					-----kg ² .g ⁻¹ -----					
BRM 32113	33.03 a	210.58 a	66.32 b	102.71 a	139.11 a	268.07 b	11.71 a	1.70 a	11.72 a	45.28 ab	12.27 ab
UFRA92	29.53 b	189.53 ab	56.36 c	90.62 bc	112.23 b	242.50 b	7.76 c	1.09 b	13.02 a	40.18 b	14.02 a
C-	23.59 c	146.67 c	59.48 c	82.39 cd	113.99 b	425.03 a	9.97 b	0.98 b	9.70 b	46.25ab	10.91 b
C+	22.10 c	172.12 bc	48.46 d	73.75 d	94.84 c	203.28 b	6.34 d	0.84 b	10.87 a	39.05 b	11.91 c
CV (%)	7.33	10.99	6.48	7.15	9.00	14.54	10.63	16.21	9.83	12.15	11.44

CV: Coeficiente de variação. C-: sem inoculação e 50% da adubação; BRM 32113: plantas inoculadas com e 50% da adubação; UFRA92: plantas inoculadas e 50% de adubação; (C+) sem inoculação e 100% da adubação recomendada. Médias seguidas por letras minúsculas iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Tabela 2. Acúmulo de massa de matéria seca em mudas de palma de óleo em função da inoculação das rizobactérias promotoras de crescimento de plantas.

TRATMENTOS	Raiz (g)	Parte aérea (g)	Total (g)
BRM 32113	76.89 a	357.34 a	434.23 a
UFRA92	74.21 a	319.00 b	393.21 a
C-	57.91 b	312.10 b	370.01 b
C+	56.47 b	285.25 b	341.72 b
CV (%)	10.41	9.95	8.91

CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem entre si, pelo Teste de Skott Knott, a 5% de probabilidade. C-: sem inoculação e 50% da adubação; BRM 32113: plantas inoculadas com e 50% da adubação; UFRA92: plantas inoculadas e 50% de adubação; (C+) sem inoculação e 100% da adubação

ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

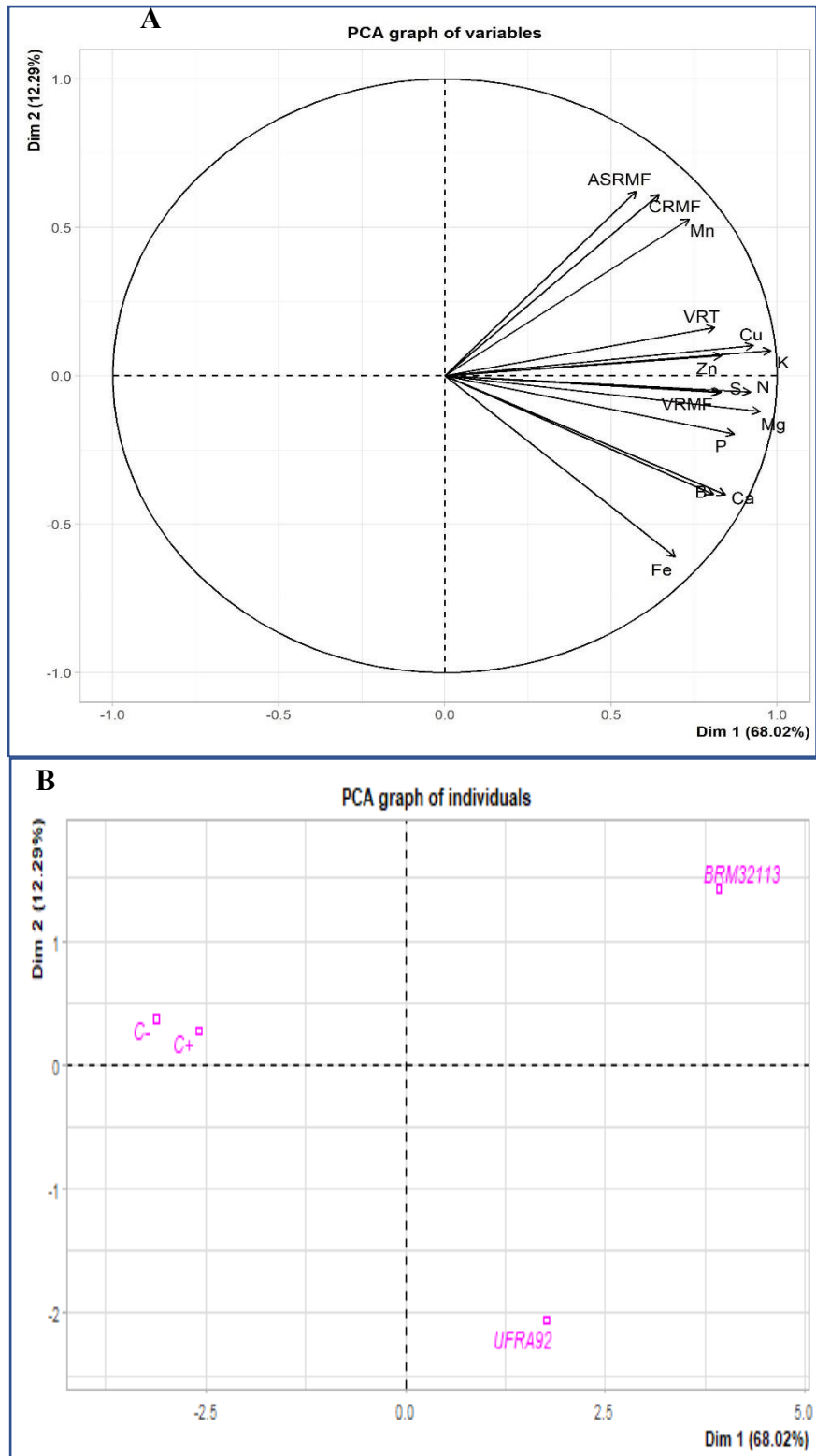


Figura 1. Análise de componentes principais das variáveis de acúmulo de macro e micronutrientes de raiz e arquitetura radicular VRT: volume raiz total (cm³); VRMF: volume de raiz muito fina e CRMF: comprimento de raiz muito fina (m). Os tratamentos utilizados no experimento foram: C-: sem inoculação e 50% da adubação; R-146: plantas inoculadas e 50% da adubação; R-46: plantas inoculadas com e 50% da adubação; R-92: plantas inoculadas e 50% de adubação; (C+) sem inoculação e 100% da adubação recomendada.

CONCLUSÕES GERAIS

A rizobactéria promove o crescimento das mudas de palma de óleo, proporciona a obtenção de muda padrão em menos tempo de viveiros, além contribui para reduzir o uso excessivo de fertilizantes químicos.

Com os resultados obtidos conclui-se que a rizobactéria podem compor formulações eficientes para ser adotado no sistema de produção de mudas em viveiro.

A inoculação das rizobactérias promoveram modificações na arquitetura de raiz de palma de óleo demonstrando ter potencial de promoção de crescimento,

A rizobactéria promovem crescimento de mudas de palma de óleo, assegurando a rusticidade e maior taxa de sobrevivência em campo.

