



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**RAFAEL RODRIGO DA SILVA COSTA**

**ALTERAÇÕES MORFO-ANATÔMICAS INDUZIDAS POR  
BIOESTIMULANTES PROMOTORES DE CRESCIMENTO EM MUDAS DE  
AÇAIZEIRO.**

**BELÉM-PA**

**2019**

**RAFAEL RODRIGO DA SILVA COSTA**

**ALTERAÇÕES MORFO-ANATÔMICAS INDUZIDAS POR  
BIOESTIMULANTES PROMOTORES DE CRESCIMENTO EM MUDAS DE  
AÇAIZEIRO.**

Dissertação apresentada para obtenção de grau de Mestre em Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal Rural da Amazônia.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Gisele Barata da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Gledson Luiz Salgado de Castro

**BELÉM-PA**

**2019**

**RAFAEL RODRIGO DA SILVA COSTA**

**ALTERAÇÕES MORFO-ANATÔMICAS INDUZIDAS POR  
BIOESTIMULANTES PROMOTORES DE CRESCIMENTO EM MUDAS DE  
AÇAIZEIRO.**

Dissertação apresentada para obtenção de grau  
de Mestre em Agronomia. Programa de Pós-  
Graduação em Agronomia da Universidade  
Federal Rural da Amazônia.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Gisele Barata da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Gledson Luiz Salgado de Castro

**Banca Examinadora**

---

Letícia de Almeida Gonçalves

---

Manoel Euclides do Nascimento

---

Marcela Cristiane Ferreira Rêgo

**BELÉM-PA**

**2019**

## Dedicatória

Dedico à minha mãe Rosilene Maria da Silva, que sempre me apoiou em todos os momentos e que nunca mediu esforços em me criar e educar.

Dedico a todas as pessoas que conheci contribuíram de alguma forma no meu crescimento acadêmico e pessoal.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pelo dom da vida, por ter me proporcionado esta grande experiência acadêmica e pessoal, com saúde, felicidade e força, durante esta caminhada, ao senhor meu Deus sou grato por tudo em minha vida.

A Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), pela estrutura e qualidade de ensino e ao corpo docente e de funcionários que contribuíram no andamento das atividades.

Ao PGagro pela oportunidade de aprendizado e contribuições, visando o aprimoramento dos estudantes de pós-graduação e preparo ao mercado de trabalho.

À coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado e financiamento de pesquisas.

À minha orientadora Gisele Barata da Silva pelos seus ensinamentos, paciência, comprometimento e disposição no repasse de conhecimentos e por me instigar a aprender cada vez mais.

Ao meu coorientador Gledson Castro pelo seu comprometimento, amizade e todo conhecimento repassado que pode contribuir com a minha formação acadêmica.

Aos membros da banca de defesa Marcela Cristiane Ferreira Rêgo, Manoel Euclides do Nascimento e Letícia de Almeida Gonçalves que aceitaram fazer parte da banca e contribuíram na melhoria do trabalho.

A todos os membros do Laboratório de Proteção de Plantas (LPP), que auxiliaram na produção de microrganismos, em especial a Alessandra Moraes, Aline Cardoso, Fernando de Souza, Gleiciane dos Santos, Junior Melo, Ricardo Lobato e Waldiney Xavier pela amizade e compartilhamento de conhecimentos.

Aos estudantes Alice Ferreira, Juliane Carvalho, Jennyfer Campos, Felipe e Erick Ribeiro, que me auxiliaram neste e em outros trabalhos, agradeço pelo comprometimento, disponibilidade e amizade formada.

Aos laboratórios de Botânica da UFRA e da Embrapa Amazônia Oriental, pelas análises anatômicas e pela experiência de trabalho.

À minha mãe Rosilene Maria da Silva, minha irmã Rafaela de Nazaré e minha namorada Glenda Barbosa que sempre me apoiaram em todos os momentos do mestrado.

## SUMÁRIO

Resumo .....	9
Abstract.....	10
1. CONTEXTUALIZAÇÃO .....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	13
2.2 Microrganismos Promotores de Crescimento.....	14
2.3. Mecanismos de promoção de crescimento .....	18
2.4. Morfologia e Anatomia Vegetal .....	21
REFERÊNCIAS .....	24
LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....	31
LISTA DE TABELAS.....	32
ALTERAÇÕES MORFO-ANATÔMICAS INDUZIDAS POR BIOESTIMULANTES PROMOTORES DE CRESCIMENTO EM MUDAS DE AÇAIZEIRO. ....	33
RESUMO .....	34
INTRODUÇÃO .....	35
MATERIAL E MÉTODOS .....	36
Material vegetal.....	36
Inoculação com microrganismos.....	36
Morfometria .....	37
Biomassa .....	37
Anatomia .....	37
Análise estatística.....	38
RESULTADOS.....	38
Biometria e Biomassa.....	38
Anatomia .....	39
DISCUSSÃO .....	39
Promoção de crescimento.....	39
Anatomia radicular .....	40
Anatomia foliar .....	41

CONCLUSÃO.....	43
AGRADECIMENTOS .....	43
REFERÊNCIAS.....	43
TABELAS E FIGURAS .....	47

## Resumo

A aplicação de microrganismos benéficos às plantas induz diversas modificações morfoanatômicas que estão associadas à promoção de crescimento. O objetivo do estudo foi avaliar as alterações morfológicas e anatômicas induzidas por bioestimulantes em mudas de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.). Aos cinco meses de idade mudas de açaizeiro foram inoculadas com *Burkholderia pyrrocinia* (BRM-32113), *Bacillus subtilis* (UFRA-92), *Trichoderma asperellum* (UFRA T-06, T-09, T-12 e T-52) e um controle (não inoculadas), com cinco repetições. Todos bioestimulantes induziram aumento no incremento morfológico e anatômico favoráveis para a promoção de crescimento das mudas avaliadas. Mudas inoculadas com bioestimulantes tiveram aumento na altura, diâmetro do coleto, número de folhas e índice de robustez. As alterações anatômicas nas mudas de açaizeiro inoculadas em relação ao controle incluem o aumento da espessura do mesofilo, do limbo, espessura e largura da nervura foliar, assim como na quantidade e tamanho dos elementos de vasos do metaxilema. Em comparação ao controle, somente o isolado BRM-32113, induziu o aumento do diâmetro radicular, córtex e diâmetro das células do metaxilema nas raízes laterais de primeira ordem, enquanto que nas raízes laterais de segunda ordem todos isolados estimularam aumentos no diâmetro do córtex radicular. A inoculação com bioestimulantes em mudas de açaizeiro induzem alteração morfológicas e anatômicas atuando sobre o desenvolvimento das mudas e podem aumentar o desempenho fisiológico e contribuir para a promoção de crescimento.

**Keys words:** Rizobactérias, *Trichoderma asperellum*, *Euterpe oleraceae*, Microrganismos, Inoculação.

## Abstract

The application of beneficial microorganisms to plant induces several morphoanatomic changes that are associated with growth promotion. The aim of this study was to evaluate the morphological and anatomical alterations by biostimulants in açai seedlings (*Euterpe oleracea* Mart.). At five months age açai seedlings were inoculated with *Burkholderia pyrrocinia* (BRM-32113), *Bacillus subtilis* (UFRA-92), *Trichoderma asperellum* (UFRA T-06, T-09, T-12 e T-52) and a control (uninoculated), with five repetition. All biostimulants induced favorable increase morphological and anatomical alterations for growth promotion in the evaluated seedlings. Seedlings inoculated with biostimulants presented higher height, stem diameter, number of leaves and robustness index. Anatomical changes in relation to control involve increased mesophyll, limb thickness, leaf vein thickness and width, as well as the amount size of metaxylem vessel elements. Compared to the control, only the isolate BRM-32113 induced increase in root diameter, cortex and metaxylem cell diameter in the first order lateral roots, whereas in the secondary order lateral roots all isolates stimulated increases in the cortex diameter. The inoculation of biostimulants in açai seedlings induced morphological and anatomical changes that may improve physiological performance and contribute the growth promotion.

**Keys words:** Rhizobacterias, *Trichoderma asperellum*, *Euterpe oleraceae*, Microorganisms, Inoculation.

## 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma espécie nativa da Amazônia, pertencente à família Arecaceae, de grande importância econômica devido a versatilidade de produtos obtidos a partir desta palmeira (NOGUEIRA et al., 2005), em especial a produção de frutos de açaí que vem crescendo, devido os benefícios encontrados nos frutos como fonte de vitaminas e minerais servindo como alimento funcional e bebida energética na comercialização no mercado nacional e internacional (OLIVEIRA e TAVARES, 2016).

Para suprir o aumento da demanda pelo consumo de açaí, a partir da década de 1990 a produção de frutos passou a ser obtida de açazais nativos manejados em solos de várzea e de terra firme com cultivares melhoradas geneticamente pela Embrapa como a cultivar BRS Pará (OLIVEIRA e TAVARES, 2016). Porém o sucesso da implantação e o desenvolvimento de açazais em áreas de terra firme dependem de mudas de qualidade, homogêneas, resistentes e/ou tolerantes a estresses bióticos e abióticos.

A comissão estadual de sementes e mudas do Pará (1997) estabeleceu normas e padrões de mudas de açazeiro com idades de 4 a 6 meses devem apresentar de 40 a 60 cm de altura com crescimento uniforme, possuir no mínimo cinco folhas fisiologicamente ativas com pecíolos longos, no qual as folhas mais velhas devem ter folíolos separados, possuir sistema radicular bem desenvolvido com extremidades aparadas quando ultrapassar os torrões, aspecto vigoroso e livre de pragas e doenças.

Um das alternativas para a produção de mudas de açazeiros vigorosas é a aplicação de microrganismos promotores de crescimento em plantas (MPCPs), que estimulam modificações anatômicas, fisiológicas e metabólicas que favorecem o desenvolvimento vegetal (RÊGO et al. 2014; CASTRO et al., 2019). Estes microrganismos atuam por meio de mecanismos como a solubilização de fosfato e potássio, produção de sideróforos, produção de fito-hormônios, controle de pragas e doenças e indução de resistência sistêmica, garantindo assim a promoção de crescimento da planta (CIPRIANO et al., 2013; JHA e SARAF, 2015).

Dentre estes microrganismos, isolados de rizobactérias e do fungo de *T. asperellum*, tem se mostrado eficientes nas modificações anatômicas e fisiológicas, que resultou no incremento de biomassa em diversas espécies vegetais (CARDOSO, 2017; LOPES, 2017; CASTRO, 2018).

As práticas agricultáveis exercem certa influência sobre o corpo vegetal, estudos das alterações morfoanatômicas têm sido empregados em diversos trabalhos como uma ferramenta de compreensão dos mecanismos ativados pela planta às condições impostas (SILVA et al, 2005).

A raiz é o primeiro órgão da planta que entra em contato com os microrganismos presentes no solo, a influência destes microrganismos pode afetar diretamente no aumento do calibre radicular, principalmente pelo aumento no tamanho ou em número de camadas de células presentes na epiderme, córtex, cilindro vascular e elementos de vasos de xilema e floema (RÊGO et al., 2014).

A inoculação com microrganismos promotores de crescimento estimula alterações morfoanatômicas de forma indireta nas folhas, modificações na área foliar, espessura do mesofilo e densidade estomática estão intimamente relacionadas com os processos fotossintetizantes e acúmulo de biomassa, enquanto que área vascular da folha está voltada a absorção e translocação de nutrientes (LOPES, 2017; WU et al., 2017).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a promoção de crescimento e influência das alterações morfoanatômicas estimuladas por isolados de rizobactérias de *Burkholderia pyrrocinia* (BRM13113) e *Bacillus subtilis* (R-92) e uma mistura com isolados de *Trichoderma asperellum* (UFRA-06, UFRA-09, UFRA-12 e UFRA-52) em mudas de açaizeiro.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.)

O açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma palmeira nativa da região amazônica que possui importância econômica, social e cultural, devido às inúmeras formas de uso dos produtos oriundos desta palmeira, que pode ser usada no paisagismo, recuperação de áreas degradadas, na construção rústica, na produção de papel, na confecção de biojoias e na alimentação por meio do consumo do palmito e da polpa dos frutos (OLIVEIRA et al., 2007).

Geralmente habitando áreas de várzeas da região amazônica, podendo também ser encontrado em matas de terra firme e igapó (GUSMÃO et al., 2012). Está distribuída geograficamente em maior frequência no estado do Pará ao longo do estuário do Rio Amazonas, além de estados do Amapá, Amazonas e Maranhão e em outros países da América do sul como Guiana e Venezuela (MAPA, 2012).

O suco de açaí obtido a partir do processamento da polpa dos frutos são uma das principais fontes de alimento das populações ribeirinhas da Amazônia, que tem conquistado paladares no Brasil e no mundo, sendo consumidos nas grandes capitais brasileiras em formas de bebida energética, sorvetes, geleias entre outros (OLIVEIRA et al., 2002). O aumento na demanda por frutos tem garantido grande interesse dos agricultores em investir no aumento de produtividade em diferentes sistemas de cultivo seja em monocultivos ou em consórcios com outras espécies (QUEIROZ et al., 2001).

O estado do Pará é o maior produtor de frutos de açaí sendo, responsável por mais de 65% da produção nacional, seguido dos estados do Amazonas e Maranhão com 23 e 08 % respectivamente, a posição de destaque no cenário nacional se deve principalmente as mesorregiões do Nordeste paraense e o Marajó que juntas produzem mais de 91 % da produção estadual de açaí (IBGE, 2017).

O estado do Pará apresenta boas perspectivas na produção de açaí, devido às condições ambientais favoráveis (temperatura, precipitação, fotoperíodo, radiação entre outros), com uma vasta extensão territorial de área inundada, além de ser o segundo estado brasileiro com maior número de terras degradadas que podem ser reaproveitadas

por meio do plantio de açazeiro voltadas a regeneração ambiental e aumento da produção (BENTES et al., 2017).

O plantio de açazeiro em áreas desmatadas de terra firme surge com uma boa alternativa na recuperação de áreas degradadas, o que reduz a pressão sobre a exploração em áreas de várzea que são mais frágeis, além disso, os plantios em áreas de terra firme facilitam o escoamento da produção de forma mais rápida, sem precisar de transporte fluvial que é mais lento (HOMMA et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2007).

A partir da década de 1990 a produção de frutos antes praticamente exclusiva do extrativismo de açazeiro nativos, passou a ser obtida por meio de açazais implantados e manejados em áreas de várzea e terra firme, sendo implantados em áreas irrigadas e consorciados com outras espécies, atualmente 80% da produção do fruto ainda são oriundos do extrativismo, enquanto que o restante da produção advém de cultivos manejados em várzea e terra firme (NOGUEIRA et al., 2005).

## **2.2 Microrganismos Promotores de Crescimento**

A aplicação com microrganismos promotores de crescimento em plantas é vista como uma alternativa sustentável para estimular a formação de mudas vigorosas e resistentes às condições adversas, a inoculação com estes microrganismos reduz o uso de insumos químicos e o crescimento acelerado de mudas diminui o tempo de viveiro da planta reduzindo os custos de produção com adubos, irrigação e mão de obra (CASTRO 2018).

A liberação de exsudados pelas raízes das plantas estimulam seletivamente o crescimento da população de microrganismos na rizosfera, aumentando a atividade microbiana nesta área e regiões adjacentes (5mm da superfície das raízes), gerando características físico químicas e biológicas diferenciadas ao solo (BALOTA, 2018).

A rizosfera é uma camada fina do solo adjacente às raízes das plantas, com grande importância e ativa ao metabolismo vegetal (SAHARAN e NEHRA, 2011). Nesta região é possível encontrar bactérias, fungos, actinomicetos, protozoas e algas, sendo as bactérias presentes em maior quantidade (VEJAN et al., 2016).

Além da região rizosférica, os microrganismos podem ser considerados endofíticos e habitar os espaços intercelulares das raízes, apesar dos diferentes termos para esses microrganismos quanto ao seu local de habitação, há microrganismos com a capacidade de viver em diferentes partes das raízes durante seu ciclo de vida (VESSEY, 2003).

A presença destes microrganismos na região radicular garante uma interação simbiote, no qual os microrganismos se beneficiam pelo consumo dos exsudados radiculares liberados, enquanto que as plantas são beneficiadas por mecanismos de promoção de crescimento induzidos por microrganismos que podem ocorrer de forma direta ou indireta, caracterizando estes microrganismos como biofertilizantes, bioestimulantes e biocontroladores (VAN LOON, 2007; SHAYKH et al., 2016).

Muitos estudos tem favorecido o entendimento da interação entre microrganismos e plantas na região radicular, embora certos isolados possam colonizar a parte aérea, conforme Zhao et al. (2016) mostraram que isolados bacterianos foram capazes de ultrapassar barreiras anatômicas radiculares, se transportando via xilema em direção a parte aérea, que por sua vez apresentou diversas modificações hormonais que favoreceram o crescimento da planta hospedeira.

Rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCPs) são bactérias de vida livre no solo e/ou que colonizam a região da rizosfera, fornecendo diversos benefícios ao solo e a planta (RAMAKHRISNA et al., 2019). Nos últimos anos uma variedade de espécies rizobactérias foram relatadas como promotoras crescimento em plantas e testadas em aplicações comerciais de sucesso em geral estas bactérias são pertencentes aos gêneros de: *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* e *Serratia* (SAHARAN e NEHRA, 2011).

RPCPs apresentam diversos mecanismo de promoção de crescimento para a planta hospedeira, como fixação de nitrogênio, solubilização de fósforo, produção de sideróforos, síntese e indução de hormônios e metabólitos secundários, indução de resistência (KUNDAN et al, 2013; AHMAD e KIBRET, 2014), além de amenizar os efeitos do déficit hídrico (CASTRO et al, 2019).

Os mecanismos de promoção em plantas induzidos por bactérias são mediados pelo quorum sense que é a comunicação química de grupos de genes que são expressos a partir de uma determinada concentração de células bacterianas (PAUNGFOO-LONHIENNE et al., 2016).

O afrouxamento da parede celular estimulado pela síntese de auxina bacteriana aumenta a quantidade de exsudados expelidos pela raiz, que são fornecidos como nutrientes para o crescimento e desenvolvimento de bactérias na rizosfera. (AHEMAD e KIBRET, 2014; GLICK, 2012). Em plantas de cana de açúcar, isolados de *Burkholderia* spp. foram estimulados a produzir um biofilme composto por expolissacarídeos e proteínas na superfície da raiz a partir da produção de extratos radiculares (PAUNGFOO-LONHIENNE et al., 2016).

As RPCPs podem ser utilizadas e aplicadas de diferentes formas como na microbilitação de sementes e explantes em mudas micropropagadas, incorporadas ao substrato de plantio, tratamento de estacas, tubérculos e raízes, pulverizações na parte aérea incluindo folhagem e frutos, e em pós-colheita (MARIANO et al., 2004).

As rizobactérias pertencem ao grupo de microrganismo mais utilizado na promoção de crescimento em plantas com resultados obtidos em diversas espécies como em *Arabidopsis thaliana* (ARGAWAL et al., 2019), *Zoysia japonica* Steud (ARAUJO, 2019), *phaseolus vulgaris* L. (BORUAH et al., 2003) e *Euterpe oleracea* (CASTRO et al., 2019). Além das RPCPs, algumas espécies de fungos são relatados como promotores de crescimento potenciais como os fungos de *Trichoderma asperellum*.

*Trichoderma asperellum* é um fungo de vida livre com ocorrência mundial, encontrados em diferentes solos atuando na decomposição da matéria orgânica, a diversidade de espécies de *Trichoderma* spp. resulta da sua grande potencialidade de uso deste microrganismo como a promoção de crescimento de plantas, controle de pragas e doenças (SARMA et al., 2014) e remediação de áreas contaminadas (HARMAN, 2006).

Os isolados de *T. asperellum*, são atraídos por moléculas de carboidratos altamente hidratadas que formam uma camada mucilaginosa secretada pelas raízes da

planta hospedeira, a colonização do fungo, corresponde à habilidade de reconhecimento e adesão ao sistema radicular, penetração na planta e tolerância aos metabólitos produzidos pela planta devido à invasão, no qual o fungo adere a região radicular mediada por proteínas como as hidrofobinas (HERMOSA et al., 2012).

A aplicação deste fungo na promoção de crescimento fornece uma série de benefícios à planta hospedeira, as modificações na microflora das raízes, e solubilização de nutrientes por parte destes microrganismos estimula o desenvolvimento das raízes e aumento de números de pelos absorventes, conseqüentemente aumenta a absorção de nutrientes e o desenvolvimento vegetal (HARMAN, 2006).

A maioria dos estudos com *Trichoderma spp.* são relacionados com a capacidade destes fungos no biocontrole de doenças, porém recentemente trabalhos têm sido focados na promoção de crescimento de plantas a partir do bioestímulo de fitohormônios e da solubilização de nutrientes (ZHAO e ZHANG, 2015).

Em mudas de arroz infectadas com *Monographella albescens* a aplicação de *Trichoderma asperellum* promoveu crescimento de plantas de arroz, reduziu a área de lesão da doença nas folhas e conseqüentemente amenizou os efeitos negativos no aparato fotossintético, a partir de mudanças nas trocas gasosas, fluorescência, conteúdo de clorofila e atividade de enzimas de estresse oxidativo (BUENO et al., 2017).

Isolados de *T. asperellum* foram eficientes no biocontrole da queima da bainha em arroz causada pelo fungo de *Rhizoctonia solani*, além disso, quatro isolados de *T. asperellum* (UFRA-06, UFRA-09, UFRA-12 e UFRA-52), induziram no aumento da área e biomassa radicular, o que comprova o potencial destes fungos na promoção de crescimento e biocontrole de doenças, para servir como novos bioinoculantes no aumento da produtividade na agricultura (SILVA et al., 2012).

Em microestacas de *Eucalyptus sp.*, isolados de *Trichoderma spp.* estimularam no aumento no enraizamento, assim como a maior taxa de sobrevivência de estaca a partir do biocontrole de estacas infestadas por *Botrytis cinerea*. (FORTES et al., 2007).

### 2.3. Mecanismos de promoção de crescimento

A capacidade de fixar nitrogênio atmosférico é uma característica específica de organismos procariotos, algumas RPCPs são capazes de fixar nitrogênio, além de solubilizar fósforo e potássio, resultando no aumento da disponibilidade de nutrientes na região da rizosfera e impedindo a perda por lixiviação destes nutrientes (BHATTACHARYYA et al., 2012; VEJAN et al., 2016). Em plantas de brachiaria testadas por Lopes et al. (2018), e açazeiro por Castro et al. (2019) a inoculação com isolados bacterianos, estimularam aumentos na concentração de nitrogênio na região radicular, o que pode contribuir para o maior eficiência de absorção destes nutrientes pela planta.

Microrganismos possuem papel essencial na ciclagem de nutrientes, a solubilização de nutrientes encontrados em formas indisponíveis no solo é vista como um dos mecanismos de promoção de crescimento induzidos por microrganismos, macronutrientes como fósforo e potássio são bastante relatados na literatura e podem contribuir diretamente com o aspecto nutricional e desenvolvimento da planta (RODRÍGUEZ e FRAGA, 1999; MEENA et al., 2014).

O fósforo é um macronutriente essencial para o desenvolvimento das plantas, atuando nos processos fisiológicos e no metabolismo vegetal, com grande influencia no desenvolvimento meristemático e crescimento inicial de raízes e maturação das plantas. A solubilização de fósforo ocorre pela redução do pH do solo, a partir da formação de ácidos orgânicos produzida pela atividade microbiana e mineralização destes ácidos por meio de fosfatases (SHARMA et al., 2011).

Aproximadamente 90 a 98% do potássio no solo é encontrado sob forma indisponível a partir de rochas como biotita, mica e feldspato, microrganismos presentes no solo excretam ácidos orgânicos ou polissacarídeos, a acidificação das células microbianas e regiões adjacentes são capazes de remover o potássio de rochas e minerais garantindo a disponibilidade de potássio (MEENA et al. 2014; SINDDU et al. 2016).

Microrganismos são capazes de produzir sideróforos, que são quelatos de ferro com baixo peso molecular, que podem também formar complexos estáveis com zinco e

cromo, o que favorece a absorção de micronutrientes pelas plantas e aumenta a tolerância por toxidez de metais pesados (AHEMAD e KIBRET, 2014). Em plantas de *Arabidopsis thaliana*, um isolado de *Burkholderia phytofirmans* testado foi responsável pela produção de sideróforos e acúmulo de micronutrientes como zinco, cobre e ferro, (ZHAO et al., 2016).

A produção de fito-hormônios pode ser induzida por meio da ação de microrganismos, no qual estes compostos podem promover crescimento das células das raízes, devido ao aumento de raízes laterais e pelos radiculares, aumentando a absorção de água e nutrientes (SURESHBABU et al., 2016; GOUDA et al., 2018).

Hormônios são compostos que alteram o metabolismo vegetal mesmo em baixas concentrações, são produzidos em diferentes partes da planta e possuem diferentes funções como o crescimento vegetal e produção de frutos, cada resposta fisiológica da planta é resultante da atuação conjunta de diversos fitohormônios, dentre estes os maiores grupos hormonais são: auxina, giberilina, citocianina, etileno e ácido abscísico (SAHARAN e NEHRA, 2011).

A produção de hormônios no tecido vegetal envolve uma série de modificações fisiológicas nas plantas como a capacidade de enraizamento, crescimento apical, germinação de sementes, amadurecimento entre outros, porém as interações hormonais específicas dentro da planta ainda não apresentam um detalhamento adequado para uma aplicabilidade direta no campo (TAIZ e ZEIGER, 2013), certos isolados de microrganismos possuem a capacidade de produzir diversos tipos de hormônios, agindo como bioestimulantes na promoção de crescimento da planta hospedeira (REDDY, 2013).

Rizobactérias são capazes de atuar sobre os processos fisiológicos da planta alterando o seu teor de auxina, estimulando o aumento do comprimento e a área de superfície das raízes, permitem que a planta possa expandir suas raízes a novos acessos de nutrientes do solo (AHEMAD e KIBRET, 2014). A exsudação de auxinas e outros metabólitos por meio de fungos de *Trichoderma* spp. estimulam a alongação radicular, formação de raízes laterais e absorção de nutrientes (VERGARA et al., 2018).

A produção de auxinas reflete na formação de primórdios de raízes laterais, a partir do periciclo (VERBO e LIBERMAN, 2016). Em plantas de *Arabidopsis thaliana*, rizobactérias induziram na ativação de genes de expressão que alteram a sensibilidade de raízes a presença de auxinas, além de estimular modificações no xilema radicular (AGARWAL et al., 2019).

Híbridos de plantas de cereja apresentaram aumento nos teores de AIA e GA3 em folhas e raízes quando inoculados com o isolado T-22 de *Trichoderma harzianum*, a produção destes fitohormônios pode ser vista como um dos mecanismos direto de promoção de crescimento (SOFO et al., 2011).

Algumas bactérias regulam o teor de ACC (1-aminociclopropane-1-carboxilic acid) que é um precursor imediato do etileno, por consequência a concentração de etileno em níveis adequados, favorecem o desenvolvimento da planta (RUZZI e AROCA, 2015). A produção de etileno e outros fito-hormônios como os ácidos jasmônico e salicílicos induzidos a partir de microrganismos contribuem no sistema de defesa da planta, dificultando o crescimento de outros microrganismos na região da rizosfera (VERBO e LIBERMAN, 2016).

Em *A. thaliana* o efeito da inoculação com isolado de *B. phytofirmans*, induziu o aumento no comprimento radicular e formação de raízes laterais, mediado pela produção de ACC que atua na formação de raízes laterais e de auxina e giberilina responsáveis pelo crescimento vegetal, além de alterações anatômicas representadas pelo aumento no tamanho das células da medula caulinar, resultaram na promoção de crescimento (ZAHO et al., 2016).

O biocontrole de doenças é mais um dos mecanismos aplicados por estes microrganismos, consistindo na indução de resistência sistêmica (IRS), produção de antibióticos e competição. Rizobactérias estimulam uma série de respostas de defesa na planta, simulando um ataque por organismos patogênicos, antibióticos produzidos compõem um conjunto de compostos que impedem a entrada de patógenos e seu crescimento (SAHARAN e NEHRA, 2011).

Em estudos abordando o biocontrole de doenças, Sarma et al. (2014) mostram que fungos de *Trichoderma* spp. são capazes de ativar genes sinalizadores de defesa, para a produção de compostos como os hormônios e metabólitos secundário, além de suprimir o crescimento do patógeno.

Estes mecanismos estimulam um conjunto de alterações anatômicas e morfológicas que favorecem a promoção de crescimento em plantas (Luis et al., 2010), atribuídas a melhoria do aparato fotossintético, absorção de nutriente, tolerância a estresses abióticos entre outros (RÊGO et al., 2014; PAUNGFOO-LONHIENNE et al., 2016; PARADISO, et al., 2017).

#### **2.4. Morfologia e Anatomia Vegetal**

O sistema radicular tem como função a fixação da planta no solo, absorção de água e sais minerais e armazenamento de substâncias de reserva energética como o amido, o crescimento e direcionamento das raízes se dá pela disponibilidade de água e nutrientes na rizosfera, para que ocorra uma absorção efetiva de nutrientes o solo deve estar em contato com uma maior área de superfície de raízes, que é maximizado pela emissão de pelos radiculares (HARTHMANN et al., 2010; SANTOS e CARLESSO, 1998).

O sistema radicular fasciculado compreendendo muitas raízes adventícias (CUTTER, 2002). Além disso, a estrutura interna da raiz no estágio primário de crescimento apresenta três regiões de tecido: A epiderme, o córtex e o cilindro vascular (RAVEN et al. 2001).

A associação simbiótica entre plantas de cana de açúcar e isolados de *Burkholderia* spp. estimularam o aumento na espessura radicular resultante de camadas adicionais de células presentes no córtex e aumento de aerênquima (PAUNGFOO-LONHIENNE et al., 2016). Estudos em *Arabidopsis thaliana*, rizobactérias foram capazes de modular o crescimento e diferenciação de raízes primárias que influenciou diretamente no desenvolvimento de raízes laterais e na arquitetura radicular (VERBO e LIBERMAN, 2016).

Na raiz a epiderme geralmente é uniestratificada, com a presença de cutícula, algumas células da epiderme se diferenciam em pelos radiculares com a função de

absorção de água e nutrientes (APPEZZATO DA GLÓRIA e HAYASHI, 2013). O aumento do número de células corticais ao redor do eixo radial aumenta o número de células formadoras de pelos radiculares, células epidérmicas sobrepostas a duas células corticais (VERBO e LIBERMAN, 2016).

O córtex na raiz é um tecido formado por várias camadas parenquimáticas, presente entre a epiderme e o cilindro vascular, o córtex forma duas camadas de células esclerotizadas, uma mais externa em direção à epiderme, denominada de exoderme e outra mais interna em direção ao cilindro vascular chamada de endoderme, ambas as camadas de células uni estratificadas com a função de formar uma barreira apoplástica à entrada de substâncias e patógenos (CASTRO, 2009).

Em plantas de arroz a inoculação com rizobactérias estimulou o espessamento do córtex e da exoderme, que podem conferir a planta o maior acúmulo de nutrientes como potássio, cálcio e magnésio, além da menor perda de água e maior resistência às condições de estresses (RÊGO et al., 2014).

Segundo Appezzato da Glória e Hayashi (2013), a região do córtex pode apresentar aerênquimas muitos desenvolvidos entre os espaços intercelulares em plantas de locais alagados, estes espaços de aerênquima foram observados no córtex de raízes de mudas de açazeiro, isto deve ocorrer devido a uma adaptação desta espécie que é bastante encontrada em áreas de várzeas e por exigir grande demanda por água.

A região central ocupada nas raízes corresponde ao cilindro vascular, formado por um sistema vascular associado com parênquima, que é delimitado pelo córtex, este tecido é rodeado por uma camada de células mono ou multiestratificada denominada de periciclo responsável pela formação de raízes laterais, por último o periciclo é envolvido por uma endoderme que corresponde a uma camada de células (ESAU, 1959).

Nas monocotiledôneas o sistema vascular é formado exclusivamente de xilema e floema primário e periciclo, o xilema é um tecido transportes de água e nutrientes, armazenamento de substâncias e sustentação da planta, o xilema primário se distingue em duas fases de desenvolvimento a primeira é o protoxilema formado por células condutoras com paredes secundárias precocemente lignificadas, enquanto que o

metaxilema são células com paredes secundárias lignificadas mais tardiamente, o que permite o seu maior crescimento, desta forma células de metaxilema apresentam tamanho do que o protoxilema (APPEZZATO DA GLÓRIA HAYASHI, 2013).

Em plantas de arroz testadas por Rêgo et al. (2014) a inoculação com microrganismos promoveu o aumento no diâmetro dos elementos de vasos de metaxilema que está associado com o aumento da condutividade hidráulica.

Para Ryan et al. (2016), a condutância hidráulica fornece certo entendimento acerca da absorção de água nas raízes e suas variações na condutância ao longo e dentro das raízes, ocorrendo de formas distintas para os diferentes tipos de raízes resultante de um complexo de sinais que são coordenados por diversos fatores como a estrutura da parede celular, regulação de fito-hormônios e proteínas transportadoras.

Segundo Paula (1975), o cilindro vascular de raízes de açazeiro é bem característico, com células do protoxilema alternadas com cordões de floema, o metaxilema cresce a partir do protoxilema, e se distribui obedecendo a uma orientação circular com células de maiores diâmetros, na parte central do cilindro vascular ocorre a presença de células fibrosas mucilaginosas e taníferas.

A inoculação com biopromotores (Rizobactérias e isolados de *Trichoderma asperellum*) apresentaram modificações morfoanatômicas e bioquímicas em raízes de mudas de arroz garantindo maior absorção, resistência ao estresse hídrico e impedimento mecânico de patógenos (RÊGO et al 2014). Mudanças morfoanatômicas em folhas e raízes foram observadas também em mudas de alface tratadas com RPCP, assim como a promoção de crescimento (CARDOSO 2017).

O mesofilo é um tecido formado por camadas de células presentes entre as epidermes adaxial e abaxial, o mesofilo pode apresentar duas camadas de células com características distintas: Os parênquimas paliçádico e lacunoso (ESAÚ, 1959).

O parênquima paliçádico é um tipo de tecido formado por uma ou mais camadas de células alongadas, ricas em cloroplastos e orientadas junto à face adaxial da folha, o que permite a maior absorção de luz e a grande eficiência fotossintética deste tecido nas folhas, enquanto que o parênquima lacunoso é formado por células de formato irregular,

presentes junto à face abaxial, com grandes espaços intercelulares, estes espaços são de grande importância para as reações de trocas gasosas no mesofilo (CASTRO, 2009).

Segundo Henderson (2006), as camadas do mesofilo em palmeiras raramente são diferenciadas em parênquimas paliçádico e lacunosos. Em folhas de *Eleais guinnenses* (Jacq.) o mesofilo é formado por parênquima clorofiliano, com poucos espaços intercelulares com quatro camadas de células de formato isodiamétrico (LUIS, 2010) estas características podem ser observadas em cortes anatômicos de folhas em mudas de açazeiro descritas por Paula, (1975).

O espessamento do limbo foliar e do parênquima paliçádico estimulou aumento na taxa fotossintética em mudas de *Phaseolus vulgaris* inoculadas com isolados de *Pseudomonas fluorescens*, o que pode ter contribuído para o acúmulo de biomassa, visto que o aumento da taxa fotossintética está diretamente ligado a produção de foto assimilados (BORUAH et al., 2003).

Nas folhas, os feixes vasculares correspondem à região da nervura, o conjunto de nervuras é denominado de venação e nas monocotiledôneas estas nervuras encontram se organizadas de forma paralela (CASTRO, 2009). Os feixes vasculares em palmeiras geralmente estão envolvidos por uma camada de células escleróticas, com a função de proteção do sistema vascular (HENDERSON, 2006).

## REFERÊNCIAS

- AGARWAL, P.; SINGH, P. C.; CHAUDHRY, V.; SHIRKE, P. A.; CHAKRABARTY, D.; FAROOQUI, A.; NAUTIYAL, C. S.; SANE, A. PGPR- induced OsASR6 improves plant growth promoting and yield by altering root auxin sensitivity and the xylem structure in transgenic *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Plant Physiology**. Vol. 240, 11p. 2019.
- AHEMAD, M; KIBRET, M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. **Journal of King Saud University – Science**. V. 26, p.1-20. 2014.
- APPEZZATO DA GLORIA, B.; HAYASHI, A. H. Raiz In: APPEZZATO DA GLORIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. C. **Anatomia Vegetal**. 3º edição. Ed UFV. Viçosa- MG. 2013. 404p
- ARAUJO, V. S. Microrganismos potenciais e incremento de biomassa em grama esmeralda (*Zoysia japonica* Steud). **Dissertação**. P.51. 2019.

BALOTA, E. L. **Manejo e qualidade biológica do solo**. Ed: Midiograf. Londrina- PR, 2018. 279p.

BENTES, E. S; HOMMA, A. K. O; SANTOS, C. A. N.; Exportação de polpa de açaí no estado do Pará: situação atual e perspectivas. **55° Congresso da sociedade brasileira de economia administração e sociologia rural: Inovação, Extensão e Cooperação para o desenvolvimento**. Santa Maria-RS, 2017. 18p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1074510>. Acessado em: 08 de novembro de 2018.

BHATTACHARYYA, P. N.; JHA, D. K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) emergence in agriculture. **World journal microbial biotechnology**. Vol. 28, p.1327-1350. Abri. 2012.

BORUAH, H. P. D.; RABHA, B. K.; SAIKIA, N.; KUMAR, B. S. D.; Fluorescent Pseudomonas influences palisade mesophyll development and spatial root development in phaseolus vulgaris. **Plant and soil**. Vol. 256, p.291-301. 2003.

BUENO, A, C, S, O; CASTRO, G, L, S; RÊGO, M, C, F; BATISTA, T, F, V; FILIPPI, M, C, C; SILVA, G, B. *Trichoderma* reduces scald and protects the photosynthetic apparatus in rice plants. **Biocontrol Science and Technology**. 2017. 12p.

CARDOSO, A, F. Morfoanatomia, fisiologia e teores nutricionais em alface induzida por rizobactérias. Belém- PA, 2017. 66p. (**Dissertação**).

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal**: Estrutura e função de órgão vegetativos. Editora: UFLA. 1° Ed. 2009. 234p.

CASTRO, G. L. S. Rizobactérias promovem crescimento, aliviam os efeitos do déficit hídrico e reduzem antracnose em mudas de açaizeiro. Belém-PA, 2017. 125p. (**Tese**). Disponível em: <http://repositorio.ufra.edu.br/jspui/bitstream/123456789/475/1/RIZOBACT%20PROMOVEM%20CRESCIMENTO....o.pdf>. Acessado em: 14/09/2018.

CASTRO, G. L. S., DA SILVA JÚNIOR, D. D.; VIANA, R. G.; RÊGO, M. C. F.; SILVA, G. B. Photosynthetic apparatus protection and drought effect mitigation in açaí palm seedlings by rhizobacteria. *Acta Physiologiae Plantarum*. Vol. 41, n. 9,163p. 2019.

CIPRIANO, M. A. P.; PATRÍCIO, F. R. A.; FREITAS, S. S. Potencial de rizobactérias na promoção de crescimento e controle radicular em alface hidropônica. **Summa phytopathology**. vol. 39, p.51-57. 2013.

COMISSÃO ESTADUAL DE SEMENTES E MUDAS DO PARÁ (Belém, PA). **Normas técnicas e padrões para a produção de mudas fiscalizadas no Estado do Pará**. Belém- PA, P.1-40. 1997.

CUTTER, E. G.: **Anatomia Vegetal**: Parte II: Órgãos experimentos e Interpretação. Ed: Roca. 2002. 336p.

ESAU, K. **Anatomía vegetal**. Ed: Omega. 1959. 729p.

FORTES, F. O.; SILVA, A. C. F.; ALMANÇA, M. A. K.; TEDESCO, S. B. Promoção de enraizamento de microestacas de um clone de *Eucalyptus* sp. por *Trichoderma* spp. **Revista Árvore**. Vol.32, n.2, p.221-228. 2007.

GLICK, B. R. Plant growth promoting bacteria: Mechanisms and applications. **Scientific**. Vol. 2012, 15p. 2012.

GOUDA, S; KERRY, R. G; DAS, G; PARAMINTHIOTIS, S; SHIN, H. S; PATRA, J. K. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. **Microbiological Research**. Vol. 206, 131-140p. 2018.

GUSMÃO, M. T. A.; FERREIRA, G. C.; OHASHI, S. T. **Espécies Florestais Nativas e Exóticas na Amazônia Oriental**. Belém- PA, 2012. 86p.

HARMAN, G. E. Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. **Phytopathology**. Vol. 96, n. 2, p.190-194. 2006.

HARTHMANN, O. E. L.; MOGÓR, A. F.; FILHO, J. A. W. LUZ, W. C. Rizobactérias no crescimento e na produtividade da cebola. **Ciência Rural**. Santa Maria-RS. 2010.

HENDERSON, F. M. Morphology and anatomy of palm seedlings. **The botanical Review**. Vol.72, n.4, p.273-329. 2006.

HERMOSA, R.; VITERBO, A.; CHET, I.; MONTE, E. Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and its genes. **Microbiology**. Vol. 158, p.17-25. 2012.

HOMMA, A. K. O.; NOGUEIRA, O. L.; MENEZES, A. J. E. A.; CARVALHO, J. E. U.; NICOLI, C. M. L.; MATOS, G. B. **Açaí: novos desafios e tendências**. Amazônia: Cia & Desenvolvimento. Belém-PA, 2006. 18p. Disponível em: [www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/AcaiDesafiosTendencias\\_000gbz49ms202wx5ok01dx9lcbdi7gww.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/AcaiDesafiosTendencias_000gbz49ms202wx5ok01dx9lcbdi7gww.pdf). Acessado em: 11 de outubro de 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE). **Produção da extração vegetal e da silvicultura**: Tabelas- 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html?=&t=resultados>. Acessado em: 05 de julho de 2019.

JHA, C. K; SARAF, M. Growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review. **Journal of agriculture research and development**. Vol. 5, n. 2, p.108-119. 2015.

KUNDAN, R.; PANT, G.; JADON, N.; AGRAWAL, P. K.; Plant growth promoting rhizobacteria: Mechanism and current prospective. **Journal of Fertilizers e Pesticides**. Vol. 6, n.2, p.9. 2015.

LOPES, M. J. S.: Biopromotores de crescimento em *Brachiaria* CV. BRS piatã: Seleção, aspectos morfofisiológicos, anatômicos e bioquímicos. Belém-Pa, 2017. 76p. (Tese).

LOPES, M. J. S.; FILHO, M. B.; CASTRO, T. H. R.; FILIPPI, M. C. C.; SILVA, G. B. Effect of *Pseudomonas fluorescens* and *Burkholderia pyrrocinia* on the growth

improvement and physiological responses in *Brachiaria brizantha*. **American journal of plant sciences**. Vol.9, p.250-265. 2018.

LUIS, Z. G.; BEZERRA, K. M. G.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E. Adaptability and leaf anatomical features in oil palm seedlings produced by embryo recue and pre-germinated seeds. **Brazilian society of plant physiology**. Vol. 22, n. 3, p.209-215. 2010.

MARIANO, R. L. R.; SILVEIRA, E. B.; ASSIS, S. M. P.; GOMES, A. M. A.; NASCIMENTO, A. R. P.; DONATO, V. M. T. S. Importância de bactérias promotoras de crescimento e de biocontrole de doenças de plantas par uma agricultura sustentável. **Anais da academia pernambucana de ciência agrônômica**. Vol. 1, p.89-111. 2004.

MEENA, V. S.; MAURYA, B. R.; VERMA, J. P. Does a rhizospheric microorganism enhance K<sup>+</sup> availability in agricultural soils? **Microbiological Research**. Vol. 1, p.69: 337-347. 2014.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Serie boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável: *Euterpe oleraceae* (Mart.)**. Brasília-DF, 2012. P. Disponível em: [www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/organicos/arquivos/publicacoes/organicos/boas\\_praticas\\_de\\_manejo\\_para\\_o\\_extrativismo\\_sustentavel\\_organico\\_do\\_acai.pdf/view](http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/organicos/arquivos/publicacoes/organicos/boas_praticas_de_manejo_para_o_extrativismo_sustentavel_organico_do_acai.pdf/view). Acessado em: 07 de outubro de 2018.

NOGUEIRA, O. L.; FIGUERÊDO, F. J. C.; MÜLLER, A. A. **Sistemas de Produção: Açaí**. Belém-PA, 2005. 139p. Disponível em: [ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/125409/1/SISTEMA-PROD-4-ONLINE-.pdf](http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/125409/1/SISTEMA-PROD-4-ONLINE-.pdf). Acessado em 17 de outubro de 2018.

OLIVEIRA, L. P.; TAVARES, G. S. (org). **Programa de Desenvolvimento da Cadeia Produtiva do Açaí no Estado do Pará: Pró-Açaí**. Belém, PA: Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca. 2016. 71 p.

OLIVEIRA, M. S. P.; CARVALHO, J. E. U.; NASCIMENTO, W. M. O.; MÜLLER, C. H. **Cultivo do açaizeiro para produção de frutos**. (Circular Técnica). Belém-PA, 2002. 18p. Disponível em: [www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Producaodefrutos+Circ\\_tec\\_26\\_000gbxyhj2c02wx5ok01dx9lcvr6f99j.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Producaodefrutos+Circ_tec_26_000gbxyhj2c02wx5ok01dx9lcvr6f99j.pdf). Acessado em: 11 de outubro de 2018.

OLIVEIRA, M. S. P.; NETO, J. T. F.; PENA, R. S. **Açaí: Técnicas de cultivo e processamento**. Semana da Fruticultura, Floricultura e Agroindústria / VII Flor Pará. Belém-PA, 2007. 104p. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Cursoacai\\_Frutal\\_2007\\_000gbz4ubex02wx5ok01dx9lc36pq0js.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Cursoacai_Frutal_2007_000gbz4ubex02wx5ok01dx9lc36pq0js.pdf). Acessado em: 11 de outubro de 2018.

PARADISO, R.; ARENA, C.; DE MICCO, V.; GIORDANO, M.; ARONE, G.; PASCALE, S. Changes in leaf anatomical trait enhanced photosynthetic activity of soybean grown in hydroponics with plant growth-promoting microorganisms. **Frontiers in Plant Science**. Vol. 8, 674p. 2017.

PAULA, J. E. Anatomia de Euterpe oleracea Mart. (Palma da Amazônia). **Acta Amazônica**. Vol. 5, p.265-278. 1975.

PAUNGFOO-LONHIENNE, C.; LONHIENNE, T. G. A.; YEOH, Y. K.; DONOSE, B. C.; WEBB, R. I.; PARSONS, J.; LIAO, W.; SAGULENKO, E.; LAKSHMANAN, P.; HUGENHOLTZ, P.; SCHMIDT, S.; RAGAN, M. A. Crosstalk between sugarcane and a plant-growth promoting Burkholderia species. **Scientific Reports (nature)**. Vol. 6, p.373-389. 2016.

QUEIROZ, J. A. L.; MOCHIUTTI, S.; BIANCHETTI, A. **Produção de mudas de açaí**. Macapá-AP, 2001. 6p. (Comunicado Técnico- 54). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/347321/1/comunicado2001054.PDF>. Acessado em: 11 de outubro de 2018.

RAMAKRISHNAN, W.; YADAV, R.; LI, K. Plant growth promoting bacteria in agriculture: Two sides of a coin. **Applied Soil Ecology**. 9p. 2019.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 6<sup>o</sup>ed. 2001. 906p.

REDDY, P. P. **Recent advances in crop protections**: Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). 131-158p. 2013.

RÊGO, M. C. F.; BORGES, F. I.; FILIPPI, M. C. C.; GONÇALVES, L. A.; SILVA, G. B. Morphoanatomical and Biochemical Changes in the Roots of Rice Plant Induced by Plant Growth-Promoting Microorganisms. **Journal of Botany**. Vol. 2014, 10p. 2014.

RODRÍGUEZ, H.; FRAGA, R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promoting. **Biotechnology Advances**. Vol: 17, p.319-339. 1999.

RUZZI, M.; AROCA, R. Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**. Vol. 196, p.124-134. 2015.

RYAN, P. R.; DELHAIZE, E.; WATT, M.; RICHARDSON, A. E. Plant roots: understanding structure and function in a ocean of complexity. **Annals of Botany**. Vol. 118, P.555-559. 2016.

SAHARAN, B. S.; NEHRA, V. Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review. **Life Sci Med Res**. Vol. 21, n. 1, p.30. 2011.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Vol. 2, n. 3, p.287-294. 1998.

SARMA, B. K; YADAV, S. K; PATEL, J. S; SINGH, H. B.: Molecular Mechanisms of Interactions of *Trichoderma* with other Fungal Species. **The Open Mycology Journal**. Vol: 8. 2014, 140-147p.

SHAIKH, S. S.; SAYYED, R. Z.; REDDY, M. S. Plant growth promoting rhizobacteria: an eco-friendly aproch for sustainable agroecosystem. **Plant, soil and microbes**. P.181-201. 2016.

SHARMA, S.; KUMAR, V.; TRIPATHI, R. B. Phosphate solubilizing microorganism (PSMs) from soil. **Journal of Microbiology and Biotechnology Research**. Vol. 1, n. 2, p.90-95. 2011.

SILVA, J. C.; TORRES, D. B.; FILIPPI, M. C. C.; SILVA, G. B. Rice sheath blight biocontrol and growth promoting by *Trichoderma* isolates from the Amazon. **Revista de Ciências Agrárias**. Vol. 55, n. 4, p.243-250. 2012.

SILVA, L. M.; ALQUINI, Y.; CAVALLET, V. J. Inter-relações entre anatomia vegetal e produção vegetal. **Acta botânica brasílica**. Vol. 19, n. 1, p183-194p. 2005.

SINDHU, S. S.; PHOUR, M.; SINGH, P.; SEHRAWAT, A. Potassium- solubilizing microorganisms (KSMs) and its effect on plant growth improvement. In **potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture**. P.171-185. 2016.

SOFO, A.; SCOPA, A.; MANFRA, M.; NISCO, M.; TENORE, G.; TROISI, J.; FIORO, R.; NOVELLINO, E. *Trichoderma harzianum* strain T-22 induces changes in phytohormone levels in cherry rootstocks (*Prunus cerasus* x *P. canescens*). **Plant growth regul.** Vol. 65, p.421-425. 2011.

SURESHBABU, K., AMARESAN, N., KUMAR, K. Amazing multiple function properties of plant growth promoting rhizobacteria in the rhizosphere soil. **Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.** Vol. 5, n. 2, p.661–683. 2016.

TAIZ, L. ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5<sup>o</sup>ed. 2013. 918p.

VAN LOON, L. C. Plant responses to plant growth-promoting rhizobacteria. **Europe Journal Plant Pathology**. Vol. 119, p.243–254. 2007.

VEJAN, O.; ABDULLAH, R.; KHADIRAN, T.; ISMAIL, S.; NASRULHAQ BOYCE, A. Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability- a review. **Molecules**. Vol. 21, n. 5, p.573. 2016.

VERBO, E. H.; LIBERMAN, L. M. Beneficial microbes affect endogenous mechanisms controlling root development. **Trend in Plant Science**. Vol. 21, n. 3, p.218-229. 2016.

VERGARA, C.; ARAUJO, K. E. C.; SOUZA, S. R.; SCHULTZ, N.; SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SPERANDIO, M. V. L.; ZILLI, J. É. Interação da prata com fungo micorrízico e sua resposta à inoculação com diferentes fungos promotores de crescimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Vol. 54, p.15. 2018.

VESSEY, J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. **Plant and soil**. Vol. 255, n.2, p.571-586. 2003.

WU, F.; ZHANG, H.; FANG, F.; WU, N.; ZHANG, Y.; TANG, M. Effects of nitrogen and exogenous *Rhizophagus irregularis* on the nutrient status, photosynthesis and leaf anatomy of *Populus* x *Canadensis* 'neva'. **Journal of plant growth regulation**. Vol.36, p.824-835. 2017.

ZHAO, L.; ZHANG, Y. Effects of phosphate solubilization and phytohormone production of *Trichoderma asperellum* Q1 on promoting cucumber growth under salt stress. **Journal of Integrative Agriculture**. Vol.12, p.1588-1597. 2015.

ZHAO, S.; WEI, H.; LIN, C.; ZENG, Y.; TUCKER, M. P.; HIMMEL, M. E.; DING, S. Components of Arabidopsis- endophyte interaction that can benefit downstream biomass descontruction. **Frontiers in plant**. Vol.7, p.24. 2016.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1:** Desenvolvimento morfológico em mudas de açazeiro (c.v Pai d'égua), inoculadas com bioestimulantes de crescimento. .... 51
- Figura 2:** Corte transversal em raízes laterais de primeira ordem em mudas de açazeiro inoculadas com bioestimulantes: Controle (T1), *B. pyrrocinia* (T2), *B.subtilis* (T3) e *T. asperellum* (T4), visualizados em microscópio óptico. Exoderme (EX), cilindro central (CC), metaxilema (MTX) e epiderme (EP). .... 52
- Figura 3:** Eletromicrografias de corte transversal em raízes laterais de primeira ordem em mudas de açazeiro inoculadas com bioestimulantes: controle, *B. pyrrocinia*, *B. subtilis* e *T. asperellum*, visualizados em microscópio eletrônico de varredura. Exoderme (EX), Córtex (CO), cilindro central (CC), metaxilema (MTX) e epiderme (EP). .... 53
- Figura 4:** Cilindro central de raízes laterais de primeira ordem em mudas de açazeiro inoculadas com bioestimulantes: Controle, *B. pyrrocinia*, *B. subtilis* e *T. asperellum*, visualizados em microscópio óptico. Cilindro central (CC) e metaxilema (MTX). .... 54
- Figura 5:** Córtex e epiderme de raízes laterais de primeira ordem em mudas de açazeiro inoculadas com bioestimulantes: Controle, *B. pyrrocinia*, *B. subtilis* e *T. asperellum*, visualizados em microscópio óptico. Cortéx, exoderme (EX), epiderme (EP). .... 55
- Figura 6:** Corte transversal em raízes laterais de segunda ordem em mudas de açazeiro inoculadas com bioestimulantes: Controle (T1), *B. pyrrocinia* (T2), *B. subtilis* (T3) e *T. asperellum* (T4), visualizados em microscópio óptico; Aerênquima (AR), Epiderme (EP), Córtex (CO), Exoderme (EX), Cilindro central (CC) e Elemento de vaso do metaxilema (MTX). .... 56
- Figura 7:** Corte transversal em folhas de mudas de açazeiro inoculadas com bioestimulantes: Controle (T1), *B. pyrrocinia* (T2), *B. subtilis* (T3) e *T. asperellum* (T4), visualizados em microscópio óptico. Limbo (LI), mesofilo (ME), metaxilema (MTX), Floema (FL), Epiderme (EP) e Fibra (FI). .... 57
- Figura 8:** Eletromicrografias de Corte transversal em folhas de mudas de açazeiro inoculadas com bioestimulantes: Controle (T1), *B. pyrrocinia* (T2), *B. subtilis* (T3) e *T. asperellum* (T4), visualizados em microscópio eletrônico de varredura. Mesofilo (ME), metaxilema (MTX), Floema (FL), Epiderme (EP) e Fibra (FI). .... 58

**Figura 9:** Elementos de vasos de metaxilema (MTX) em folhas de mudas de açazeiro inoculadas com bioestimulantes: Controle (T1), *B. pyrrocinia* (T2), *B. subtilis* (T3) e *T. asperellum* (T4), visualizados em microscópio óptico. .... 59

### LISTA DE TABELAS

**Tabela 1:** Altura das plantas (AP), (cm), número de folhas (NF), Diâmetro de coleto (DC) (mm), Índice de robustez, Massa seca da parte aérea (MSPA) (g) e Massa seca da raiz (MSR) (g) em mudas de *Euterpe oleraceae* (cultivar pai d'égua) inoculadas com bioestimulantes. .... 47

**Tabela 2:** Raízes adventícias e laterais de primeira ordem de mudas de açazeiro (*Euterpe oleracea* cv. Pai d'égua) inoculadas com bioestimulantes. Diâmetro da raiz (DR); espessura do córtex (EC); diâmetro médio do cilindro central (CC); espessura da exoderme (EE); diâmetro médio de elementos de vasos do metaxilema (DM); número de elementos de vaso de metaxilema (NM) e grupos de floema (FL). .... 48

**Tabela 3:** Raízes laterais de segunda ordem de mudas de açazeiro (*Euterpe oleracea* cv. Pai d'égua) inoculadas com bioestimulantes  $\mu\text{m}$ . Diâmetro da raiz (DR); espessura do córtex (EC); diâmetro médio do cilindro central (CC); espessura da exoderme (EE); espessura da epiderme (EP). .... 49

**Tabela 4:** Avaliação anatômica foliar: Área vascular central em  $\mu\text{m}^2$  (AVF); Espessura do mesofilo em  $\mu\text{m}$  (EM); Espessura do corte transversal do limbo em  $\mu\text{m}$  (EL), Espessura da epiderme em  $\mu\text{m}$  (EP), Espessura da nervura em  $\mu\text{m}$  (EN), Largura da nervura em  $\mu\text{m}$  (LN), Diâmetro médio dos elementos de vasos do metaxilema em  $\mu\text{m}$  (DMX) e número de elementos de vasos de metaxilema em de folhas de mudas de açazeiro (c. v pai d'égua) inoculadas com biopromotores. .... 50

**Artigo: Norma da Revista Journal Experimental Botany**

**ALTERAÇÕES MORFO-ANATÔMICAS INDUZIDAS POR  
BIOESTIMULANTES PROMOTORES DE CRESCIMENTO EM MUDAS DE  
AÇAIZEIRO.**

**Rafael Rodrigo da Silva Costa<sup>1</sup>; Gledson Luiz de Castro<sup>2</sup> Manoel Euclides do  
Nascimento<sup>3</sup>; Fernanda Ilkiu Borges<sup>4</sup> e Gisele Barata da Silva<sup>5\*</sup>.**

**\*Corresponding author**

1: Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), 66077-830, Belém, PA, Brasil.  
Email: rafaelrodrigocosta1992@gmail.com Fone: (091)98077-7564

2: Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), 66077-830, Belém, PA, Brasil.  
Email: Gledson-cliff@hotmail.com

3: Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), 66077-830, Belém, PA, Brasil.  
Email: nascimento-15@hotmail.com

4: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Amazônia Oriental), 66095-  
903, Belém, PA, Brasil. Email: Fernanda.ilkil@embrapa.br

5: Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), 66077-830, Belém, PA, Brasil.  
Email: giselebaratasilva@gmail.com

**ALTERAÇÕES MORFO-ANATÔMICAS INDUZIDAS POR  
BIOESTIMULANTES ESTÃO ASSOCIADAS À PROMOÇÃO DE  
CRESCIMENTO EM MUDAS DE AÇAIZEIRO.**

**1 RESUMO**

2 A aplicação de microrganismos benéficos às plantas induz diversas modificações  
3 morfoanatômicas que estão associadas à promoção de crescimento. O objetivo do  
4 estudo foi avaliar as alterações morfológicas e anatômicas induzidas por bioestimulantes  
5 em mudas de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.). Aos cinco meses de idade. Mudas de  
6 açaizeiro foram inoculadas com *Burkholderia pyrocinia* (BRM-32113), *Bacillus*  
7 *subtilis* (UFRA-92), *Trichoderma asperellum* (UFRA T-06, T-09, T-12 e T-52) e um  
8 controle (não inoculadas), com cinco repetições. Todos bioestimulantes induziram o  
9 aumento no incremento morfológico e anatômico favoráveis para a promoção de  
10 crescimento nas mudas de avaliadas. Mudas inoculadas com bioestimulantes tiveram  
11 aumento na altura, diâmetro do coleto, número de folhas e índice de robustez. As  
12 alterações anatômicas nas mudas de açaizeiro inoculadas em relação ao controle  
13 envolvem aumento na espessura do mesofilo, do limbo, espessura e largura da nervura  
14 foliar, assim como na quantidade e tamanho dos elementos de vasos do metaxilema. Em  
15 comparação ao controle, somente o isolado BRM-32113, induziu o aumento do  
16 diâmetro radicular, córtex e diâmetro das células do metaxilema nas raízes laterais  
17 primárias, enquanto que nas raízes laterais secundárias todos isolados estimularam  
18 aumentos no diâmetro radicular. A inoculação com bioestimulantes em mudas de  
19 açaizeiro induzem alteração morfológicas e anatômicas atuando sobre o  
20 desenvolvimento das mudas e podem aumentar o desempenho fisiológico e contribuir  
21 para a promoção de crescimento.

22 **Palavras chaves:** Rizobactérias, *Trichoderma asperellum*, *Euterpe oleraceae*,  
23 Microrganismos, Anatomia, Inoculação.

24

25

## 26 INTRODUÇÃO

27 O crescimento dos plantios de açaizeiro tem crescido nas últimas décadas,  
28 impulsionando pela demanda de mercado nacional e internacional, tanto na forma de suco,  
29 polpa e produtos, além disso é esperado o aumento dessa produção principalmente em áreas  
30 de terra firme (IBGE, 2017; OLIVEIRA e TAVARES, 2016).

31 Os principais limitantes do plantio de açaizeiro em terra firme concentram-se nos  
32 primeiros anos de plantio, no qual a planta inicia o processo de adaptação e necessita de  
33 superar as condições edafoclimáticas como barreiras do solo, deficiência hídrica, altas  
34 temperaturas, pragas e doenças (OLIVEIRA e TAVARES, 2016; SILVESTRE et al., 2016).  
35 Durante a fase inicial de crescimento em campo é necessário o uso de mudas robustas que  
36 apresentem características de acordo com as recomendações da comissão de mudas do estado  
37 do Pará de 1997 e desenvolvimento radicular que permitem a melhor adaptação e crescimento  
38 e menores taxa de mortalidade.

39 O maior crescimento de mudas de açaizeiro foi obtido pelo uso de microrganismos  
40 como bactérias do gênero de *Burkholderia* que promoveram o aumento do crescimento e  
41 biomassa radicular e da parte aérea, além de induzir a precocidade (CASTRO, 2019). Por  
42 outro lado, essas mesmas bactérias aumentam a tolerância de mudas de açaizeiro ao estresse  
43 hídrico.

44 Vários mecanismos são estudados para explicar o aumento de biomassa em plantas  
45 inoculadas com os microrganismos promotores de crescimento como as alterações hormonais  
46 (AGARWAL et al., 2019), solubilização de nutrientes (CASTRO et al., 2019), aumento na  
47 performance fotossintética nas fases fotoquímica e bioquímica (NASCENTE et al., 2017),  
48 entretanto são escassos os estudos relacionados às alterações morfoanatômicas de  
49 crescimento.

50 Em mudas de seringueira foi observado modificações no tecido vascular, com o  
51 aumento do número células de xilema, afetando positivamente sobre a condução hidráulica de  
52 nutrientes (Diniz et al., 2010). Mudanças anatômicas induzidas por *Rhizophagus irregulares*  
53 em *populus x canadensis* influenciaram diretamente no desenvolvimento fisiológico da planta  
54 (Wu et al., 2017).

55 Isolados de rizobactérias e de fungos como o *Trichoderma asperellum*, tem sido  
56 eficiente nas modificações metabólicas, fisiológicas e anatômicas resultando no incremento de  
57 biomassa em diversas espécies vegetais (Paradiso et al., 2017; Rêgo et al., 2014). Logo este  
58 trabalho parte da hipótese de que os isolados de rizobactérias (*B. pyrrocinia* e *B. subtilis*) e o  
59 mix de isolados de *T. asperellum* (T-06, T-09, T-12 e T-52), estimulam modificações  
60 anatômicas capazes de contribuir na promoção de crescimento em mudas de açaizeiro.

61 O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações anatômicas associadas ao  
62 crescimento de mudas de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) inoculadas com rizobactérias e  
63 *T. asperellum* (T-06, T-09, T-12 e T-52).

## 64 MATERIAL E MÉTODOS

### 65 Material vegetal

66 Sementes de açaizeiro da cultivar pai d'égua foram semeadas em bandejas de plástico  
67 contendo 2,5 L de substrato composto de fibra de coco triturada (Golden mix). Aos 60 dias  
68 após a germinação, as plântulas em estágio de muda palito apresentaram duas folhas  
69 expandidas e altura próxima de 13 cm, foram transplantadas para sacos de plástico (15 x 25  
70 cm, comprimento x altura) contendo substrato composto de 60% de latossolo e 40% de cama  
71 de aviário curtida.

### 72 Inoculação com microrganismos

73 Os microrganismos foram cultivados no laboratório de proteção de plantas (LPP) da  
74 Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), dentre estes microrganismos foram  
75 testados dois isolado de rizobactérias *B. pyrrocinia* (BRM-32113), *B. subtilis* (UFRA-92) e  
76 uma mistura de quatro isolados do fungo *T. asperellum* (T-06, T-09, T-12 e T52).

77 As rizobactérias foram cultivadas em placas de petri em meio solidificado de 523 de  
78 Kado & Heskett (1970), durante 48 horas com temperatura média de 28 °C conforme  
79 recomendações (Filippi et al., 2011). Após isso, foi feita uma suspensão bacteriana ajustada  
80 em espectrofotômetro, cuja concentração foi ajustada de acordo com a correlação entre a  
81 densidade ótica e o número de unidades formadoras de colônias (U.F.C./ml) para 0,2 Abs.  
82 (540 nm), o que corresponde a aproximadamente a  $10^8$  u.f.c./ml (Mafia et al., 2009).

83 Os quatro isolados do fungo *T. asperellum* (UFRA T-06, T-09, T-12 e T-52) foram  
84 cultivados em meio de cultura BDA (batata-dextrose-Agar) incubadas durante cinco dias a 28

85 °C, posteriormente foi preparado de cada isolado uma suspensão na concentração de  $10^8$   
86 conídios/ml e misturadas na mesma proporção (Rego et al., 2014).

87 Para a inoculação, as raízes das mudas de açazeiro (c.v pai d'égua) com cinco meses  
88 de idade, foram imersas durante 30 minutos nas suspensões, e posteriormente foram plantadas  
89 em sacos de polietileno (15 x 25, diâmetro x altura) contendo substrato, nos dois primeiros  
90 meses foi feito uma rega com 100 ml de suspensão de microrganismos.

91 O experimento foi instalado durante os meses de junho a dezembro de 2018, em  
92 viveiro pertencente à Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA campus Belém-PA),  
93 ( $1^{\circ} 27' 19''$  S;  $48^{\circ} 26' 19''$  W), com temperatura média do ar de  $32 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , umidade relativa de  
94  $75 \pm 5\%$ , DPV do ar igual a  $2 \pm 0,2$  kPa e  $800 \pm 100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de radiação incidente.

### 95 **Morfometria**

96 Mudas de açazeiro com cinco meses de idade foram avaliadas quanto aos seus  
97 parâmetros morfométricos, o número de folhas foi contabilizado em cada planta, a altura (AP)  
98 foi medida entre a base inferior do caule até o ápice da folha mais longa, o diâmetro do coleto  
99 (DC) foi mensurado com auxílio de um paquímetro digital e a partir destas duas variáveis foi  
100 calculado o índice de robustez (IR), conforme pode ser observado na equação.  $\text{IR} = \text{AP}/\text{DC}$   
101 (Benicasa, 1988).

### 102 **Biomassa**

103 Amostras de folhas e raízes de mudas de açazeiro foram levadas em estufas a  $65^{\circ}\text{C}$   
104 durante 48 horas, após a secagem as amostras foram pesadas em balança analítica de precisão  
105 (Benicasa, 1988)

### 106 **Anatomia**

107 Foram selecionadas amostras vegetais de folhas e raízes, onde de cada planta foi  
108 coletada a raiz adventícia de maior comprimento com a presença de raízes laterais de primeira  
109 e segunda ordem. Foi realizado um corte no intermédio da segunda folha mais desenvolvida.  
110 Os materiais coletados foram fixados em F.A.A 70 (formaldeído 37%, ácido acético glacial e  
111 etanol 70%) na proporção de 1:1:18 durante 72 horas e posteriormente conservados em álcool  
112 70% (Johansen, 1940).

113 O preparo de lâminas histológicas se deu por meio de cortes transversais manuais das  
114 amostras, com auxílio de lâmina de aço, as secções foliares, foram clarificadas com

115 hipoclorito de sódio (NaClO) comercial 50% por dois minutos, lavadas em água e coradas  
116 com azul de toluidina 33% e as secções radiculares com fucsina 1% (Nascimento e Potiguara,  
117 1999).

118 As fotomicrografias foram obtidas a partir de um microscópio óptico com câmera  
119 acoplada digital, de modo a realizar fotografia das imagens. Os parâmetros anatômicos  
120 observados foram medidos pelo programa Image J, calibrado com régua microscópica para o  
121 mesmo aumento das fotografias (Pereira et al., 2008). Os parâmetros mensurados nas folhas  
122 foram: área do feixe vascular da nervura central (AVF), Espessura da nervura (EN), Largura  
123 da nervura, Espessura do limbo (EL), Espessura do mesofilo (EM) e Espessura da epiderme  
124 (EE). Os parâmetros mensurados em raízes adventícias e laterais foram: diâmetro médio da  
125 raiz (DMR), diâmetro do córtex (DC), espessura da exoderme (EE), diâmetro do cilindro  
126 vascular (DCV), diâmetro de elementos de vasos do metaxilema (DM), número de elementos  
127 de vaso do metaxilema (NM) e número de grupos de floema (FL).

128 Outra parte das amostras vegetais já fixadas foram desidratadas em série alcoólica  
129 crescente (50, 70, 90 e 100%), levadas à câmara de CPD (Critical point dryer), a fim de  
130 realizar a secagem das amostras e quando secas, foram montados em porta-amostras (stubs),  
131 no qual o material foi colado com uma fita de carbono de dupla face, por fim as amostras  
132 foram cobertas com um fina camada de ouro e visualizadas em microscópio eletrônico de  
133 varredura (MEV) (Nascimento & Potiguara 1999; Larraburu et al., 2010; Rêgo et al., 2014).

### 134 **Análise estatística**

135 O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com quatro  
136 tratamentos (Controle, *B. pyrocinia* e *B. subtilis*. e mistura de *T. asperellum*) e cinco  
137 repetições, os dados foram submetidos à análise de variância e as médias das variáveis  
138 morfométricas foram comparadas pelo teste de Duncan ( $p < 0,05$ ), enquanto que para as  
139 variáveis anatômicas foram comparados pelo teste de Scoot-Knott ( $p < 0,05$ ), com auxílio da  
140 linguagem R (R core team, 2017).

## 141 **RESULTADOS**

### 142 **Biometria e Biomassa**

143 Todos os isolados promoveram crescimento em mudas de açazeiro, em relação ao  
144 controle (Figura 1). Com incrementos variando entre 64 e 90% em altura, 32 a 36% em  
145 número de folhas, 44 a 63% em diâmetro do coleto, 10 a 21% no índice de robustez, 114 a

146 159% na matéria seca da parte aérea e 144 a 194% na matéria seca da raiz em relação ao  
147 controle (Tabela 1).

## 148 **Anatomia**

149 As modificações radiculares de mudas de açaizeiro inoculadas com rizobactérias e *T.*  
150 *asperellum* iniciaram em tamanho e número de tecidos nas raízes laterais de primeira ordem  
151 (Figuras 2 e 3). Nas raízes laterais de primeira ordem o isolado BRM 32113- *B. pyrrocinia*  
152 induziu desenvolvimento em 12% na espessura do diâmetro da raiz, em 22% na espessura do  
153 córtex, 15% no diâmetro dos elementos de vaso do metaxilema (figura 4). Os demais  
154 microrganismos testados estimularam a espessura da exoderme (figura 5) entre 21 e 42% em  
155 comparação ao controle (Tabela 2).

156 As raízes laterais de segunda ordem foram estimuladas por todos os isolados de  
157 rizobactérias, que resultou em aumento em 10% e 20% no diâmetro e no córtex (figura 6),  
158 respectivamente, em relação ao controle. Os demais parâmetros não diferiram entre os  
159 tratamentos (Tabela 3).

160 Modificações morfoanatômicas também foram encontradas em folhas de mudas de  
161 açaizeiro inoculadas com biopromotores (Figuras 7 e 8). A espessura do limbo apresentou um  
162 incremento variando entre 10 e 16%, a espessura do mesofilo entre 08 e 16%, a espessura da  
163 nervura entre 26 e 30%, a largura da nervura entre 36 e 51%, comparada ao controle. O  
164 isolado de *B. subtilis* estimulou o aumento no diâmetro de elementos de vasos do metaxilema  
165 em 29%. *T. asperellum* (UFRA T06, T-09, T-12 e T-52) estimulou em 122% a área vascular  
166 da folha e o maior número de elementos de vaso do metaxilema (figura 9) (Tabela 4).

## 167 **DISCUSSÃO**

### 168 **Promoção de crescimento**

169 Os microrganismos promotores do crescimento vegetal tem sido registrado em várias  
170 espécies como arroz (Rêgo et al., 2014), palma de óleo (Om et al., 2009) e açaizeiro (Castro et  
171 al., 2019) e os estudos tem focado no aumento em biomassa radicular, foliar, (Gupta et al.,  
172 2015) melhoria da performance fisiológica e nutricional Nascente et al., 2016). O presente  
173 estudo relata pela primeira vez as alterações morfológicas e anatômicas associadas à  
174 promoção de crescimento em mudas de açaizeiro inoculadas com rizobactérias (BRM-32113  
175 e UFRA-92) e *T. asperellum*. (UFRA-T06, T09, T12 e T52).

176 Todos os isolados de rizobactérias e *T. asperellum* estimularam o crescimento  
177 radicular e da parte aérea de mudas de açaizeiro no presente estudo. Plantas inoculadas com  
178 esses microrganismos aumentaram em altura, número de folhas, diâmetro, robustez e  
179 biomassa, o que permite a formação de mudas mais vigorosas e resistentes às condições  
180 adversas de campo. O acúmulo de biomassa pode estar associado a diversos mecanismos de  
181 promoção de crescimento, como o estímulo na biossíntese de fito-hormônios, fixação de  
182 nitrogênio e solubilização de fósforo, enxofre, ferro e cobre (Van loon, 2007; Reddy, 2013;  
183 Gupta et al., 2015).

184 Os microrganismos testados neste trabalho foram descritos em trabalhos anteriores  
185 como promotores de crescimento, devido os seus diferentes mecanismos de ação, BRM-  
186 32113 foi descrita como produtor de sideróforos, enquanto que todos os isolados de *T.*  
187 *asperellum* (UFRA T-06, T-09, T-12 e T-52), são produtores de enzimas solubilizadoras de  
188 fosfato, com destaque para os isolados T-12 e T-52 que também são produtores de auxina  
189 (Rêgo et al., 2014).

#### 190 **Anatomia radicular**

191 Raízes laterais apresentaram diferenças anatômicas induzidas pela inoculação com  
192 microrganismos, enquanto que raízes adventícias não mostraram alterações anatômicas. Isto  
193 pode ter ocorrido visto que as raízes adventícias se encontravam formadas antes da inoculação  
194 que por sua vez influenciou diretamente na formação e desenvolvimento de raízes laterais.

195 No presente estudo, BRM-32113 estimulou o aumento do diâmetro de raízes laterais  
196 de primeira ordem, que pode ser resultante, principalmente, pelo incremento na espessura do  
197 córtex, da exoderme e no diâmetro do metaxilema. Conseqüentemente, o diâmetro das raízes,  
198 espessura do córtex e das raízes fornecem maior sustentação à planta e fixação das plantas ao  
199 solo, enquanto que o diâmetro do metaxilema pode auxiliar na maior condução de água e sais  
200 minerais, juntamente com a maior concentração de pelos radiculares que são responsáveis  
201 pela absorção de água e íons do solo para a planta, e a espessura da exoderme contribui na  
202 resistência à entrada de patógenos e maiores acúmulos de substâncias de reservas (Castro et  
203 al., 2009).

204 O maior diâmetro dos elementos de vaso do metaxilema em raízes laterais de primeira  
205 ordem influenciou diretamente o acúmulo de biomassa radicular nas plantas inoculadas com  
206 BRM-32113. O aumento da área ocupada pelas células do metaxilema aumenta a capacidade

207 de condução de água e nutrientes, através da menor a resistência ao fluxo de água (Pereira et  
208 al., 2008) e manutenção da condutividade hidráulica (Ribeiro et al., 2015). Esses benefícios  
209 podem estar associados à maior tolerância das plantas ao déficit hídrico, como observado em  
210 mudas de açaizeiro inoculadas com rizobactérias, onde a maior absorção e eficiência do uso  
211 da água contribuíram para aliviar os efeitos da seca (Castro et al., 2019).

212 Sob condições de déficit hídrico, a inoculação com *Azospirillum brasiliensis*  
213 favoreceu ajustamento hídrico, a partir do aumento dos elementos de vasos do metaxilema e  
214 amenizou os efeitos negativos do estresse hídrico no crescimento vegetal em plantas de trigo  
215 (Pereyra et al., 2012) e tomate (Romero et al., 2014).

216 A exoderme é uma camada de células esclerenquimática que funciona como uma  
217 barreira apoplástica entre o córtex e a epiderme (Castro, 2009). No presente estudo, todos os  
218 isolados de microrganismos proporcionaram ganhos na espessura da exoderme de raízes  
219 laterais de primárias, o que pode reduzir a perda de íons da raiz para a solução do solo e  
220 consequentemente contribuir para a maior absorção de água e o acúmulo de nutrientes, além  
221 de também garantir maior sustentação para a planta (Enstone et al., 2003). Outros benefícios  
222 relacionados ao maior espessamento da exoderme envolvem a mitigação do estresse por  
223 metais pesados, como observado em plantas de *Echinodorus grandiflorus* (Cham. e Schuldl.)  
224 cultivadas em solo contaminado com chumbo (Ribeiro et al., 2015).

225 A inoculação com microrganismos nas mudas de açaizeiro estimulou o aumento na  
226 espessura do córtex em raízes laterais de segunda ordem, que pode ser resultante do maior  
227 número de camadas ou maior tamanho de células do córtex, o que contribuiu diretamente para  
228 o desenvolvimento no calibre radicular, maior sustentação vegetal e acúmulo de amido  
229 (Apezzato-da-Glória e Hayashi, 2013).

## 230 **Anatomia foliar**

231 Mudas inoculadas com *T. asperellum*, induziram aumento na área vascular da nervura  
232 foliar das mudas de açaizeiro, que pode influenciar na melhoria do transporte de água e  
233 solutos no xilema, assim como maior absorção e translocação de produtos da fotossíntese no  
234 floema (Menezes et al, 2013). Resultados com mudas de *Populus canadensis* inoculadas com  
235 microrganismos, a maior área vascular da nervura da folha foi correlacionada positivamente  
236 com aumentos na fotossíntese, conteúdo relativo de água e o acúmulo de nutrientes, como o  
237 carbono e nitrogênio (Wu et al., 2017).

238 Os isolados de microrganismos nas mudas de açaizeiro estimularam diferencialmente  
239 os elementos de vaso. BRM-32113 e *T. asperellum*, induziram aumento no diâmetro dos  
240 elementos de vasos do metaxilema, enquanto que UFRA-92 estimulou o número destes  
241 elementos de vasos. Desta forma a inoculação com os microrganismos permitiu o aumento de  
242 fluxo de transporte de água e sais minerais para a folha das mudas de açaizeiro, o que melhora  
243 a condução de nutrientes e condutividade hidráulica (Melo et al, 2007).

244 Todos os isolados de microrganismos induziram aumentos na espessura e largura da  
245 nervura foliar. O aumento na espessura da nervura foliar em plantas de café testadas sob  
246 diferente disponibilidade hídrica foi associado com o maior fluxo de fotossintatos e água na  
247 planta (Batista et al., 2010).

248 A espessura do limbo foliar observado nas plantas inoculadas com microrganismos  
249 está relacionada às alterações anatômicas da folha, mais especificamente ao mesófilo, que é  
250 formado por camadas de células parenquimáticas que influenciam diretamente na espessura  
251 do limbo (Castro et al., 2009).

252 Todos os isolados estudados no presente estudo aumentaram a espessura do limbo  
253 foliar e do mesófilo que é um tecido rico em cloroplastos e contribui diretamente para a  
254 assimilação de CO<sub>2</sub> e acúmulo de biomassa (Ribeiro et al., 2012; Taiz e Zeiger, 2013). No  
255 presente estudo constatou se que o mesófilo em açaizeiro é homogêneo, ou seja, não apresenta  
256 distinção entre os parênquimas paliçádicos e lacunosos. O espessamento dessa região pode  
257 resultar do alongamento ou adição de camada de células paliçádicas, contribuindo no aumento  
258 dos parênquimas paliçádicos e lacunosos garantindo menor resistência do mesófilo à entrada  
259 do CO<sub>2</sub>, e a maior atividade de carboxilação pela rubisco (Bjorkman, 1981; Abbade et al.,  
260 2009; Paradiso et al., 2017). O espessamento do mesófilo foi relacionado com o acúmulo de  
261 biomassa como em mudas *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC) inoculadas com  
262 *Azospirillum brasiliense* (Larraburu & Llorente, 2015).

263 Segundo Castro et al. (2019) a aplicação com rizobactérias promotoras de crescimento  
264 em mudas de açaizeiro são capazes de amenizar os danos no aparato fotossintético sob  
265 condições de estresse hídrico. Esse benefício pode estar associado a maior espessura no  
266 mesófilo, como observado no presente estudo, que pode conter um maior número de  
267 cloroplastos e, conseqüentemente, maior número de fotossistemas (PSII e PSI) que  
268 influenciam na manutenção do desempenho fotossintético. Os isolados induziram

269 modificações morfológicas anatômicas em folhas e raízes de mudas de açaizeiro estão  
270 associadas ao acúmulo de biomassa e maior crescimento das mudas de açaizeiro.

271 As alterações morfoanatômicas induzidas pelos microrganismos em mudas de açaí  
272 podem refletir no desempenho da planta adulta, haja vista que essas alterações são  
273 irreversíveis e contribuirão para um maior desempenho das plantas bioestimuladas sob  
274 condições ambientais adversas no primeiro ano de crescimento em campo.

## 275 **CONCLUSÃO**

276 Todos os microrganismos avaliados (*B. pyrrocina*, *B. subtilis* e *T. asperellum* (UFRA T-  
277 06, T-09, T-12 e T-52)) induziram diferencialmente modificações morfoantômicas em folhas  
278 e raízes de mudas de açaizeiro associada ao acúmulo de biomassa.

279 Todos os microrganismos estimularam aumento na espessura da exoderme em raízes  
280 laterais primárias com destaque para BRM 32113 que induziu aumento no diâmetro radicular  
281 e espessura do córtex das raízes laterais; R-92 induziu aumento no diâmetro nas raízes laterais  
282 de segunda ordem e espessura do córtex, enquanto que *T. asperellum* induziu aumento  
283 somente na espessura do córtex das raízes laterais de segunda ordem.

284 Os bioestimulantes induziram aumentos na espessura do mesofilo, espessura do limbo,  
285 espessura e largura da nervura e no número de células do metaxilema, com destaque para *T.*  
286 *asperellum* que induziu aumento na área vascular central da folha.

287 As alterações morfoanatômicas induzidas pelos microrganismos em mudas de açaí  
288 podem refletir no desempenho da planta adulta, haja visto que essas alterações são  
289 irreversíveis e contribuirão para um maior desempenho das plantas bioestimuladas sob  
290 condições ambientais adversas no primeiro ano de crescimento em campo.

291

## 292 **AGRADECIMENTOS**

293 Agradecemos a Capes pelo financiamento deste estudo, ao PgAgro-UFRA, e a todas  
294 as pessoas, que de alguma forma contribuíram na realização deste trabalho.

## 295 **REFERÊNCIAS**

296 **Abbade LC, Paiva PDO, Paiva R, Castro EM, Centofante AR, Oliveira C.** 2009.  
297 Anatomia foliar de ipê-branco (*Tabebuia róseo Alba* (Rild.) Sand.)- Bignoniaceae,  
298 proveniente do cultivo ex vitro e in vitro. Acta Scientiarum Biological Sciences. 31: 307-311.

- 299 **Agarwal P, Singh PC, Chaudhry V, Shirke PA, Chakrabarty D, Farooqui A, Nautiyal**  
300 **CS, Sane A.** 2019. PGPR- induced OsASR6 improves plant growth promoting and yield by  
301 altering root auxin sensitivity and the xylem structure in transgenic *Arabidopsis thaliana*.  
302 *Journal of Plant Physiology*. Vol. 240, 11p.
- 303 **Appezato da Gloria B, Hayashi AH.** Raiz In: **Appezato da Gloria B, Guerreiro, SMC.**  
304 2013. *Anatomia Vegetal*. 3° ed. Viçosa- MG, Ed UFV.
- 305 **Batista LA, Guimarães RJ, Pereira FJ, Carvalho GR, Castro EM.** 2010. Anatomia foliar  
306 e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. *Revista Ciência*  
307 *Agronômica* 41: 475-481.
- 308 **Benicasa MMP.** 1988. Análise de crescimento de plantas: Noções básicas. 41p.
- 309 **Bjorkman O.** 1981. Responses to different quantum flux densities. In: Lange OL, Nobel PS,  
310 Osmond CB, Ziegler H. (Ed.). 1981. *Physiological plant ecology I: responses to physical*  
311 *environment*. Berlin. 57-107.
- 312 **Calzavara AK, Paiva PHG, Gabriel LC, Oliveira ALM, Milani K, Oliveira HC,**  
313 **Bianchini E, Pimenta JA, Oliveira MCN, Dias-Pereira J, Stolf-Moreira R.** 2018.  
314 Associative bacteria influence maize (*Zea mays* L.) growth, physiology and root anatomy  
315 under different nitrogen levels. *Plant biology* 20: 870-878.
- 316 **Castro EM, Pereira FJ, Paiva R.** 2009 *Histologia vegetal: Estrutura e função de órgão*  
317 *vegetativos*. Editora: UFLA. 1° Ed. 234p.
- 318 **Castro GLS, Da Silva Júnior DD, Viana RG, Rêgo MCF, Silva GB.** 2019. Photosynthetic  
319 apparatus protection and drought effect mitigation in açai palm seedlings by rhizobacteria.  
320 *Acta Physiologiae Plantarum* 41:163. <https://doi.org/10.1007/s11738-019-2952-4>.
- 321 **Diniz PFA, Oliveira LEM, Gomes MP, Castro EM, Mesquita AC, Bonome LTS, Silva L.**  
322 2010. Crescimento, parâmetros biofísicos e aspectos anatômicos de plantas jovens de  
323 seringueira inoculadas com fungo micorrízico arbuscular *Glomus clarum*. *Acta botanica*  
324 *brasilica* 24: 65-72p.
- 325 **Enstone D, Peterson CA, Ma F.** 2003. Roots endodermis and exodermis: Structure, function,  
326 and responses to the environment. *Journal of plant growth regulation* 21: 335-351.  
327 doi: 10.1007/s00344-003-0002-2.
- 328 **Filippi MCC, Silva GB, Silva-Lobo VL.** 2011. Leaf blast (*Magnaporthe oryzae*) suppression  
329 and growth promotion by rhizobacteria on aerobic rice in Brazil. *Biological Control* 58: 160–  
330 166.
- 331 **Gupta G, Parihar SS, Ahirwar NK, Snehi SK, Singh V.** 2015. Plant growth promoting  
332 rhizobacteria (PGPR): Current and future prospects for development of sustainable  
333 agriculture. *Microbial & biochemical technology* 7: 96-102. [http://dx.doi.org/10.4172/1948-](http://dx.doi.org/10.4172/1948-5948.1000188)  
334 [5948.1000188](http://dx.doi.org/10.4172/1948-5948.1000188)
- 335 **Johansen DA.** 1940. *plant Microtechnique*. 2 edn. Bombay, tata McGraw-hill, 532p.
- 336 **Kado CI, Heskett MG.** 1970. Selective media for isolation of *Agrobacterium*,  
337 *Corynebacterium*, *Erwinia*, *Pseudomonas* and *Xanthomonas*. *Phytopathology* 60: 969-976.

- 338 **Larraburu EE, Apóstolo NM, Llorente BE.** 2010. Anatomy and morphology of photinia  
339 (*Photinia 3 fraseri* Dress) in vitro plants inoculated with rhizobacteria. *Trees* 24: 635-642.
- 340 **Mafia RG, Alfenas AC, Maffia LA, Ferreira EM, Binoti DHB, Siqueira, L.** 2009.  
341 Microbiolização e Interação entre Rizobactérias Promotoras do Crescimento e Clones De  
342 Eucalipto. *Revista Árvore* 33: 789-797.
- 343 **Melo HC, Castro EM, Soares AM, Melo LA, Alves JD.** 2007. Alterações anatômicas e  
344 fisiológicas em *Setaria anceps* Stapf ex Massey e *Paspalum paniculatum* L. sob condições de  
345 déficit hídrico. *Hoehnea* 34: 145-153.
- 346 **Menezes NL, Silva DC, Pina GFAM.** Folha. In: **Appezato da Gloria B, Guerreiro, SMC.**  
347 2013. *Anatomia Vegetal*. 3° ed. Viçosa- MG, Ed UFV.
- 348 **Nascente AS, Filippi MCC, Lanna AC, Souza ACA, Lobo VLS, Silva GB.** 2017. Biomass,  
349 gas exchange, and nutrient contents in upland rice plants affected by application forms of  
350 microorganism growth promoters. *Environmental Science and Pollution Research* 24: 2956-  
351 2965.
- 352 **Nascimento ME, Potiguara RCV.** 1999. Aspectos Anatômicos dos Órgãos Vegetativos de  
353 *Piper hispidinervium* C.DC. (Piperaceae) e suas Estruturas Secretoras. *Boletim Paraense*  
354 *Emílio Goeldin*. 39-104p.
- 355 **Oliveira LP, Tavares GS.** 2016. Programa de Desenvolvimento da Cadeia Produtiva do Açaí  
356 no Estado do Pará: Pró-Açaí. Belém, PA: Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e da  
357 Pesca. 71 p.
- 358 **Om AC, Ghazali AHA, Keng CL, Ishark Z.** 2009. Microbial inoculation improves growth  
359 of palm plants (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Tropical Life Sciences Research* 20: 71-77.
- 360 **Paradiso R, Arena C, De Micco V, Giordano M, Arone G, Pascale S.** 2017. Changes in  
361 leaf anatomical trait enhanced photosynthetic activity of soybean grown in hydroponics with  
362 plant growth-promoting microorganisms. *Frontiers in plant science* 8: 674p.
- 363 **Pereira FJ, Castro EM, Souza TC, Magalhães PC.** 2008. Evolução da anatomia radicular  
364 do milho 'saracura' em ciclos de seleção sucessivos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 43:  
365 1649-1656.
- 366 **Pereira MSF, Meira-Haddad LSA, Bazzolli DMS, Kasuya MCM.** Micorriza arbuscular e  
367 a tolerância das plantas ao estresse. 2012. *Revista brasileira de ciências do solo* 36: 1663-  
368 1679.
- 369 **Pereyra MA, Gracia P, Colabelli MN, Barassi CA, Creus CM.** 2012. A better water status  
370 in wheat seedlings induced by *Azospirillum* under osmotic stress is related to morphological  
371 changes in xylem vessels of the coleoptiles. *Applied Soil Ecology* 53: 94-97.
- 372 **R core team.** 2017. R a language and environment for statistical computing. R foundation for  
373 statistical computing. <https://www.R-project.org/>.
- 374 **Reddy PP.** 2013. Recent advances in crop protections: Plant growth-promoting rhizobacteria  
375 (PGPR). 131-158p.

- 376 **Rêgo MCF, Borges FI, Filippi MCC, Gonçalves LA, Silva GB.** 2014. Morphoanatomical  
377 and Biochemical Changes in the Roots of Rice Plant Induced by Plant Growth-Promoting  
378 Microorganisms. *Journal of Botany* 2014: 10. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/818797>.
- 379 **Ribeiro ES, Pereira MP, Castro EM, Baroni GR, Corrêa FF, Pereira FJ.** 2015. Relações  
380 da anatomia radicular na absorção, no acúmulo e na tolerância ao chumbo em *Echinodorus*  
381 *grandiflorus*. *Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental* 19: 605-612.
- 382 **Ribeiro MNO, Carvalho SP, Pereira FJ, Castro, EM.** 2012. Anatomia foliar de mandioca  
383 em função do potencial para tolerância à diferentes condições ambientais. *Revista Ciência*  
384 *Agronômica* 43: 354-361.
- 385 **Romero AM, Vega D, Correa OS.** 2014. *Azospirillum brasiliense* mitigates water stress  
386 imposed by a vascular disease by increasing xylem vessel area and stem hydraulic  
387 conductivity in tomato. *Applied Soil Ecology* 82: 38-43.
- 388 **Silvestre WVD, Pinheiro HA, Souza RORDM, Palheta LF.** 2016. Morphological and  
389 physiological responses of açaí seedlings subjected to different watering regimes. *Revista*  
390 *Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 364–371p.
- 391 **Taiz L, Zeiger E.** 2013. *Fisiologia Vegetal*. 5<sup>o</sup>ed. 918p .
- 392 **Van Loon LC.** 2007. Plant responses to plant growth-promoting rhizobacteria. *Europe*  
393 *Journal Plant Pathology* 119: 243–254. (Review paper). DOI 10.1007/s10658-007-9165-1.
- 394 **Wu F, Zhang H, Fang F, Wu N, Zhang Y, Tang M.** 2017. Effects of nitrogen and  
395 exogenous *Rhizophagus irregularis* on the nutrient status, photosynthesis and leaf anatomy of  
396 *Populus x Canadensis* ‘neva’. *Journal of plant growth regulation* 36: 824-835.

## TABELAS E FIGURAS

**Tabela 1:** Altura das plantas (AP), (cm), número de folhas (NF), Diâmetro de coleto (DC) (mm), Índice de robustez, Massa seca da parte aérea (MSPA) (g) e Massa seca da raiz (MSR) (g) em mudas de *Euterpe oleraceae* (cultivar pai d'égua) inoculadas com bioestimulantes.

Isolados	AP	NF	DC	IR	MSPA	MSR
Controle	26,0 d	2,8 b	5,2 b	5,2 b	1,66 b	0,72 b
<i>B. pyrrocinia</i>	42,7 c	3,9 a	7,6 a	5,7 a	4,30 a	1,76 a
<i>B. subtilis</i>	46,5 b	3,7 a	7,5 a	6,3 a	3,56 a	1,76 a
<i>T. asperellum</i>	49,5 a	3,8 a	8,5 a	5,9 a	4,10 a	2,12 a

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Duncan (P<0,05).

**Tabela 2:** Raízes adventícias e laterais de primeira ordem de mudas de açazeiro (*Euterpe oleracea* cv. Pai d'égua) inoculadas com bioestimulantes. Diâmetro da raiz (DR); espessura do córtex (EC); diâmetro médio do cilindro central (CC); espessura da exoderme (EE); diâmetro médio de elementos de vasos do metaxilema (DM); número de elementos de vaso de metaxilema (NM) e grupos de floema (FL).

Raízes adventícias							
Tratamentos	DR ( $\mu\text{m}$ )	EC ( $\mu\text{m}$ )	CC ( $\mu\text{m}$ )	DM ( $\mu\text{m}$ )	EE ( $\mu\text{m}$ )	NM	FL
Controle	1420 a	480 a	290 a	44 a	53 a	08 a	10 a
<i>B. pyrrocinia</i>	1330 a	440 a	340 a	44 a	58 a	09 a	11 a
<i>B. subtilis</i>	1420 a	470 a	310 a	34 a	61 a	10 a	09 a
<i>T. asperellum</i>	1540 a	480 a	350 a	48 a	57 a	10 a	11 a
CV %	12,76	11,52	14,03	23,17	16,98	10,37	13,22
Raízes laterais de primeira ordem							
Controle	813 b	274 b	177 a	20 b	33 c	05 a	06 a
<i>B. pyrrocinia</i>	910 a	336 a	181 a	23 a	47 a	06 a	07 a
<i>B. subtilis</i>	623 c	239 b	126 c	16 b	41 b	06 a	07 a
<i>T. asperellum</i>	683 c	257 b	148 b	19 b	40 b	06 a	07 a
CV %	8,72	12,11	10,58	12,49	10,49	14,98	13,09

Médias seguidas por letras minúsculas na coluna iguais não diferem significativamente pelo teste de Scott Knott ( $P < 0,05$ ).

**Tabela 3:** Raízes laterais de segunda ordem de mudas de açazeiro (*Euterpe oleracea* cv. Pai d'égua) inoculadas com bioestimulantes  $\mu\text{m}$ . Diâmetro da raiz (DR); espessura do córtex (EC); diâmetro médio do cilindro central (CC); espessura da exoderme (EE); espessura da epiderme (EP).

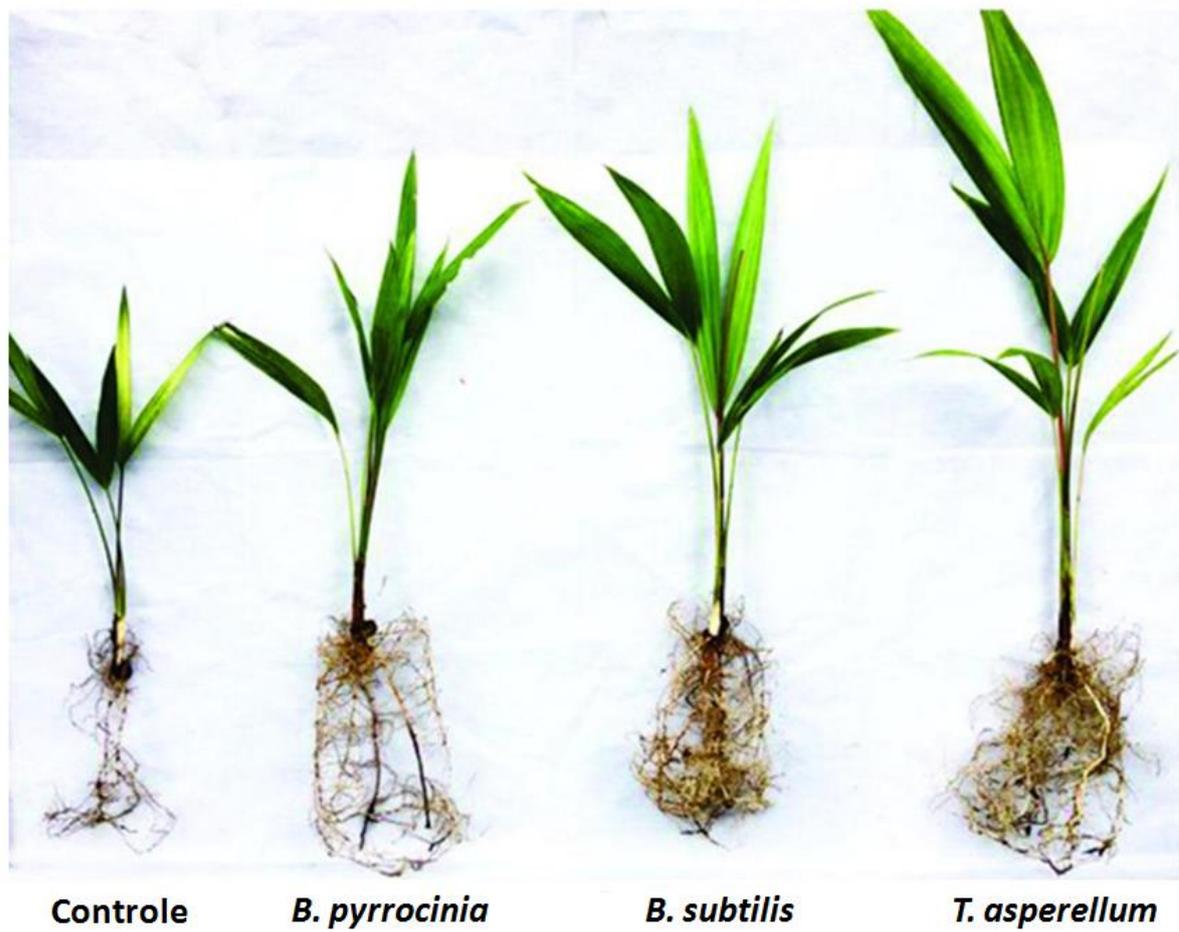
Raízes laterais de segunda ordem					
Isolados	DR ( $\mu\text{m}$ )	EC ( $\mu\text{m}$ )	CC ( $\mu\text{m}$ )	EE ( $\mu\text{m}$ )	EP ( $\mu\text{m}$ )
Controle	529 b	185 c	97 a	28 a	26 a
<i>B. pyrrocinia</i>	562 a	211 b	89 a	23 a	24 a
<i>B. subtilis</i>	580 a	223 a	93 a	26 a	27 a
<i>T. asperellum</i>	539 b	205 b	93 a	23 a	25 a
CV%	4,59	5,35	8,04	18,19	11,06

Médias seguidas por letras minúsculas na coluna iguais não diferem significativamente pelo teste de Scott Knott ( $P < 0,05$ ).

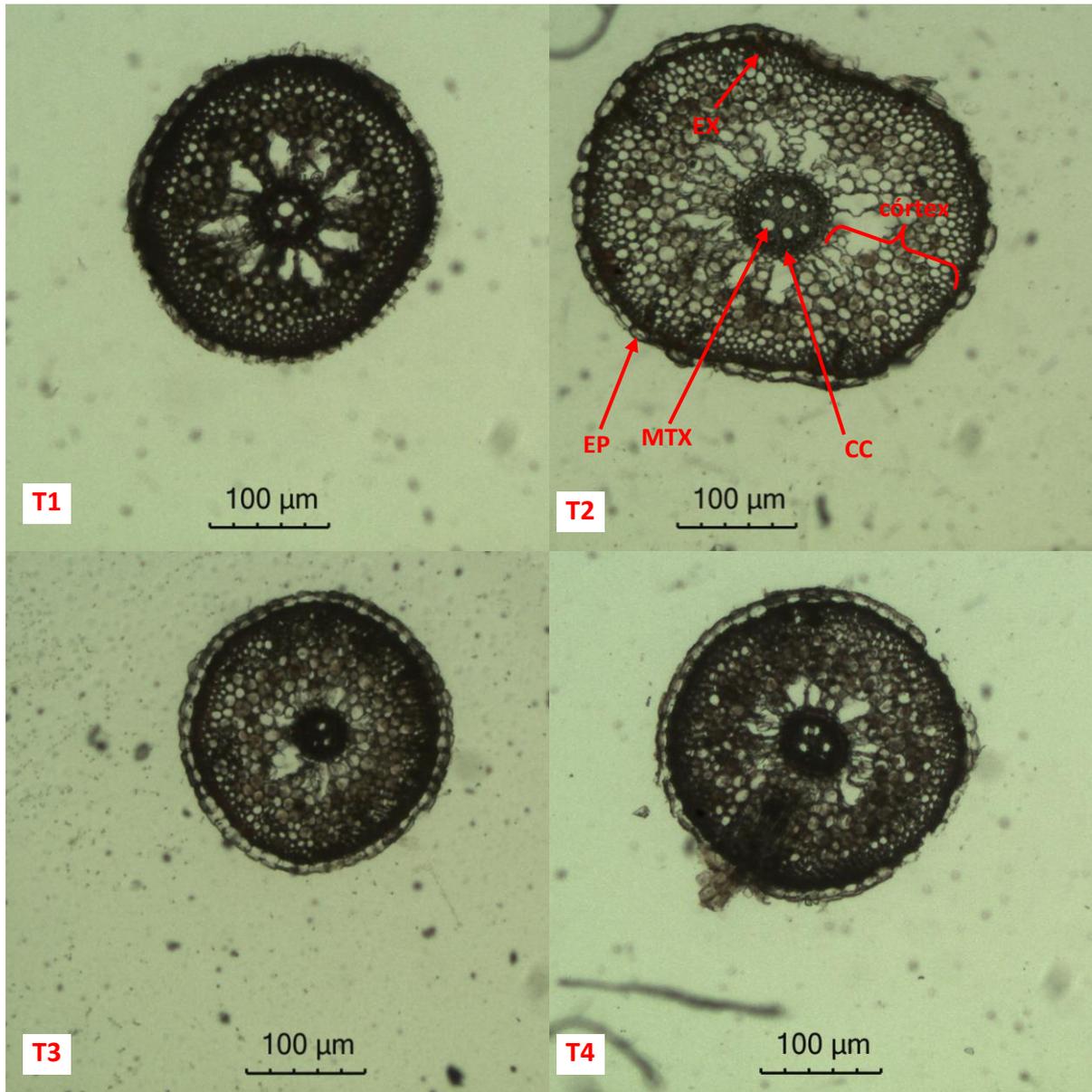
Tabela 4: Avaliação anatômica foliar: Área vascular central em  $\mu\text{m}^2$  (AVF); Espessura do mesofilo em  $\mu\text{m}$  (EM); Espessura do corte transversal do limbo em  $\mu\text{m}$  (EL), Espessura da epiderme em  $\mu\text{m}$  (EP), Espessura da nervura em  $\mu\text{m}$  (EN), Largura da nervura em  $\mu\text{m}$  (LN), Diâmetro médio dos elementos de vasos do metaxilema em  $\mu\text{m}$  (DMX) e número de elementos de vasos de metaxilema em de folhas de mudas de açazeiro (c. v pai d'égua) inoculadas com biopromotores.

Isolados	Folha							NM
	AVF ( $\mu\text{m}^2$ )	EM ( $\mu\text{m}$ )	EL ( $\mu\text{m}$ )	EE ( $\mu\text{m}$ )	EN ( $\mu\text{m}$ )	LN ( $\mu\text{m}$ )	DM ( $\mu\text{m}$ )	
Controle	20050 b	74 b	90 b	09 a	317 b	146 b	35 b	1 b
<i>B. pyrrocinia</i>	26300 b	86 a	99 a	10 a	404 a	205 a	34 b	2 a
<i>B. subtilis</i>	31900 b	80 a	104 a	09 a	399 a	199 a	45 a	1 b
<i>T. asperellum</i>	44420 a	82 a	99 a	08 a	411 a	221 a	35 b	2 a
CV %	26,41	5,23	4,79	16,63	9,68	8,61	5,25	

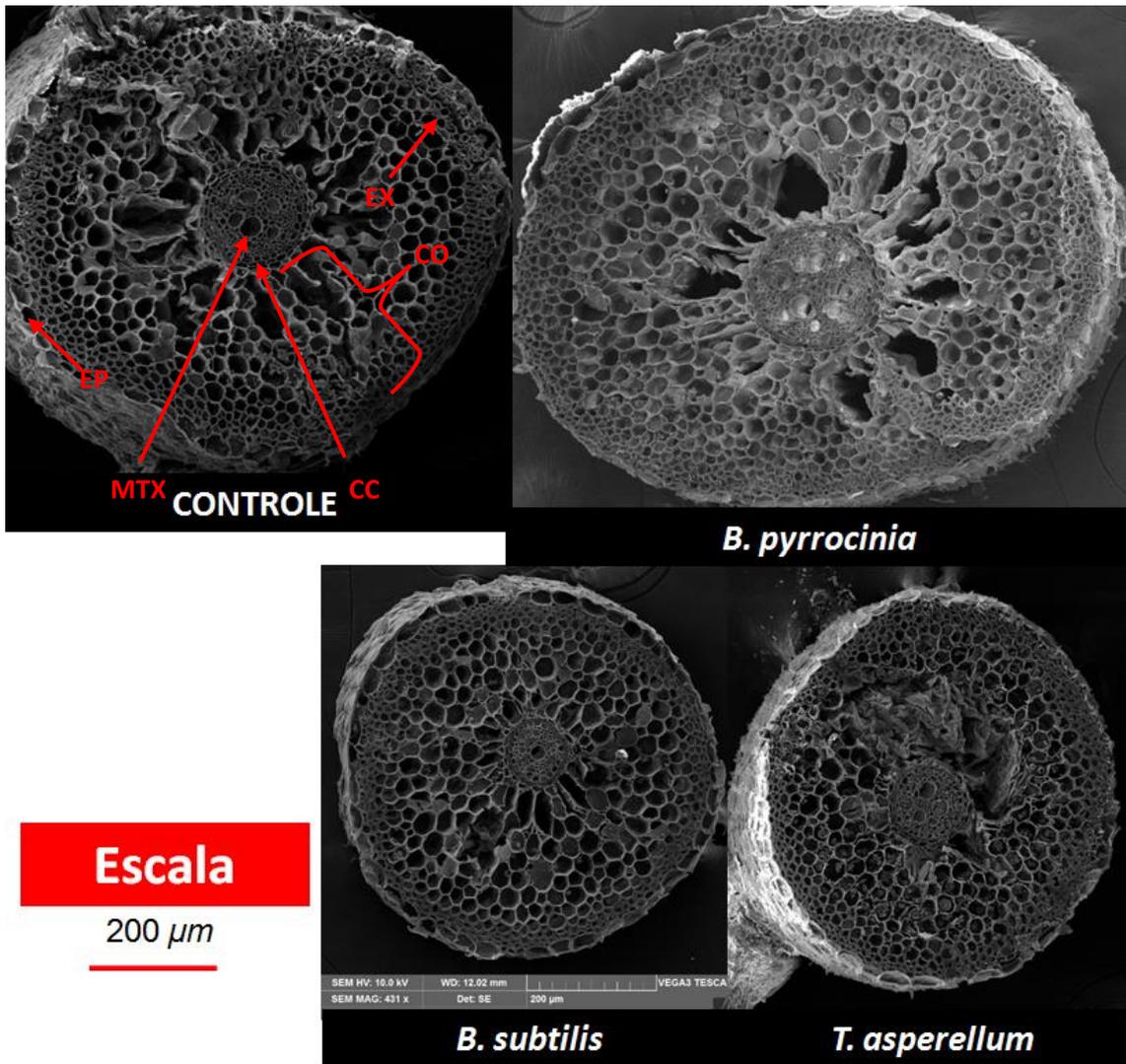
Médias seguidas por letras minúsculas na coluna iguais não diferem significativamente pelo teste de Scott Knott ( $P < 0,05$ ).



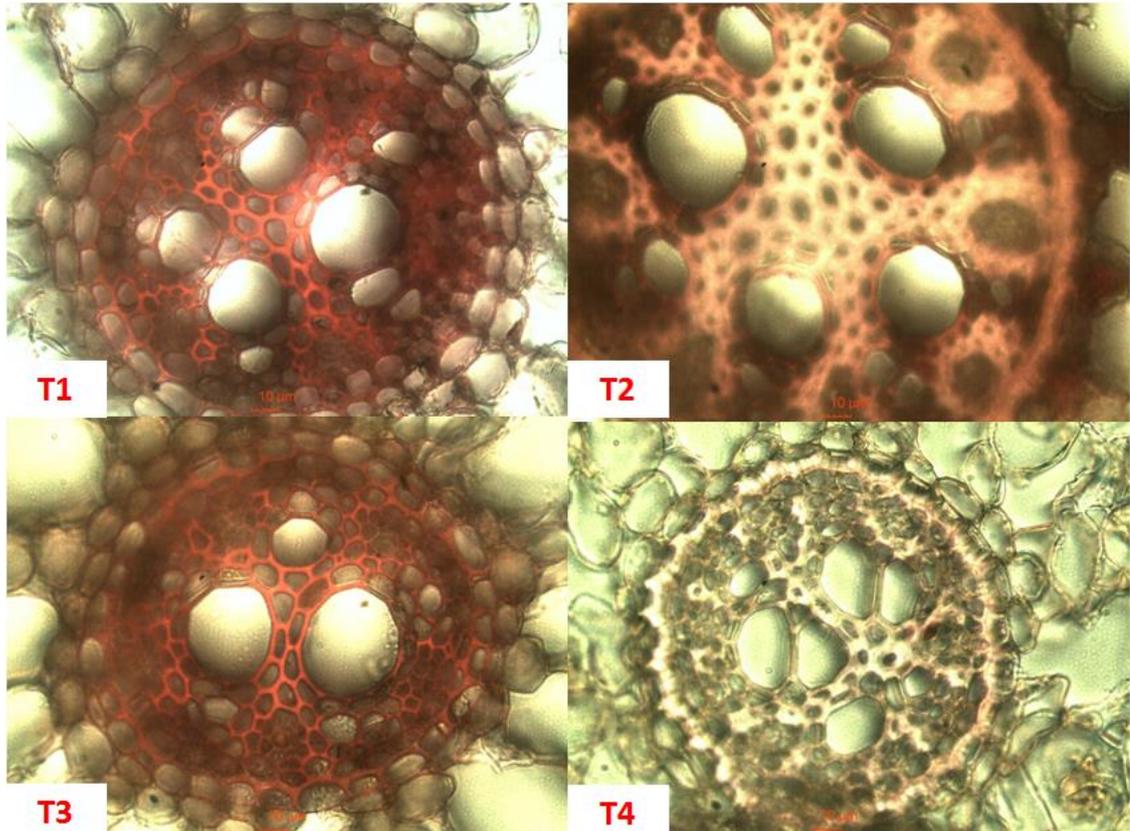
**Figura 1:** Desenvolvimento morfológico em mudas de açazeiro (c.v Pai d'égua), inoculadas com bioestimulantes de crescimento.



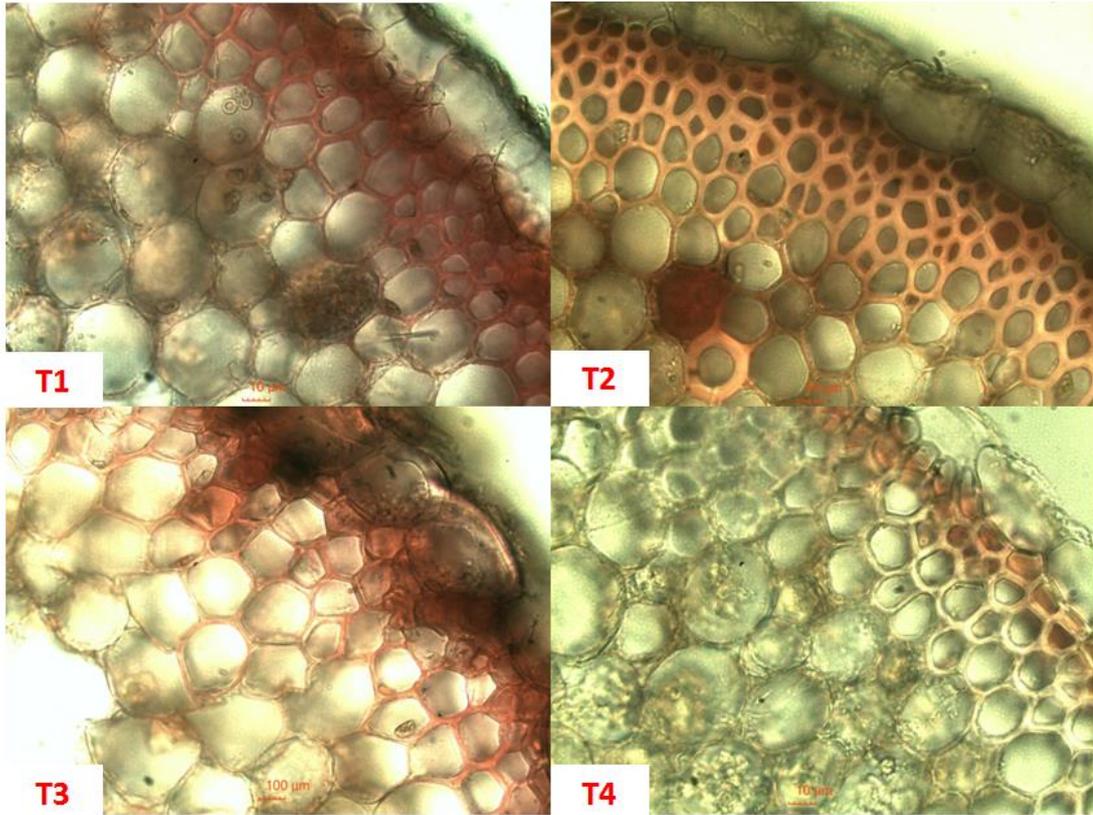
**Figura 2:** Corte transversal em raízes laterais de primeira ordem em mudas de açazeiro inoculadas com bioestimulantes: Controle (T1), *B. pyrrocinia* (T2), *B. subtilis* (T3) e *T. asperellum* (T4), visualizados em microscópio óptico. Exoderme (EX), cilindro central (CC), metaxilema (MTX) e epiderme (EP).



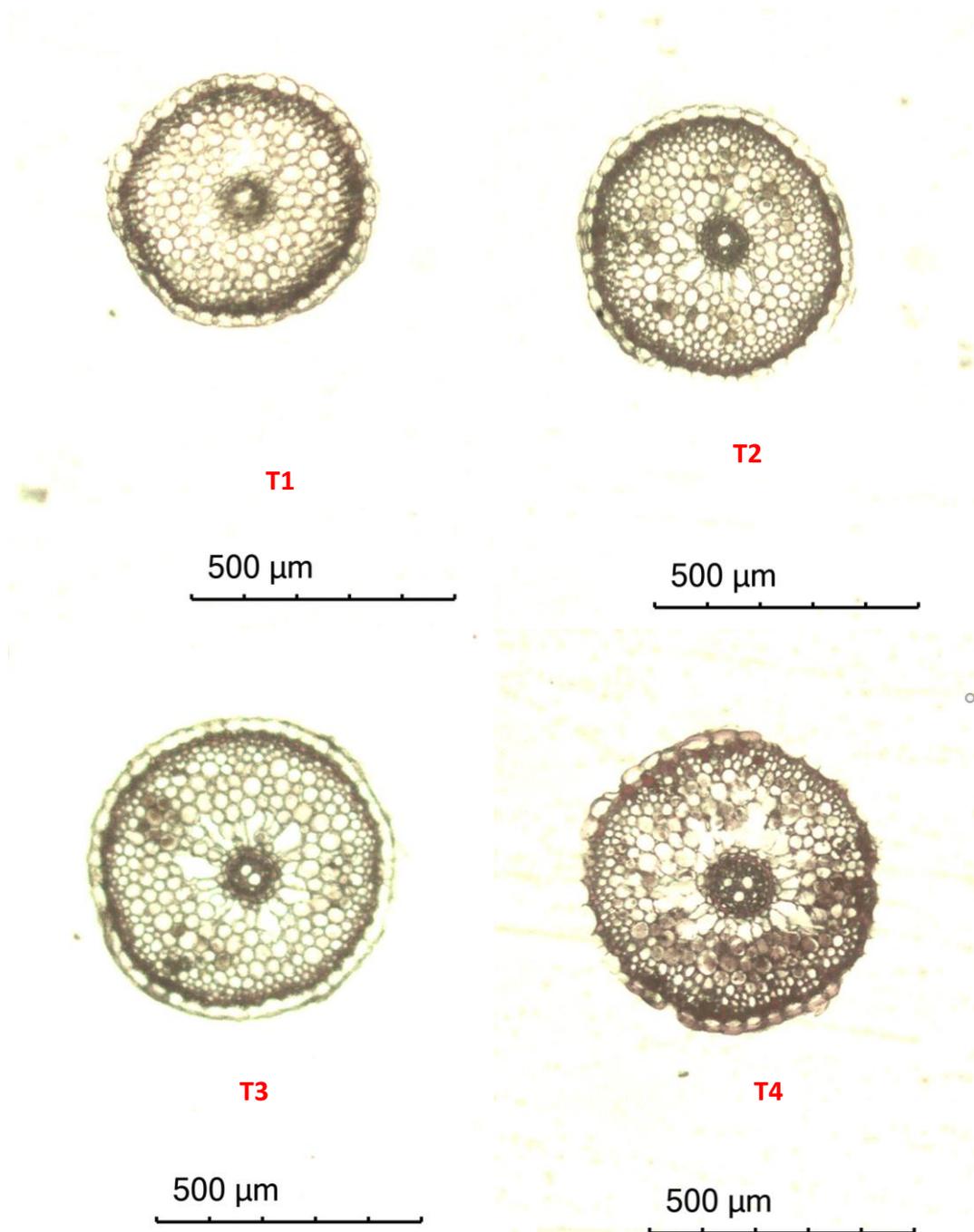
**Figura 3:** Eletromicrografias de corte transversal em raízes laterais de primeira ordem em mudas de açaizeiro inoculadas com bioestimulantes: controle, *B. pyrrocinia*, *B. subtilis* e *T. asperellum*, visualizados em microscópio eletrônico de varredura. Exoderme (EX), Córtex (CO), cilindro central (CC), metaxilema (MTX) e epiderme (EP).



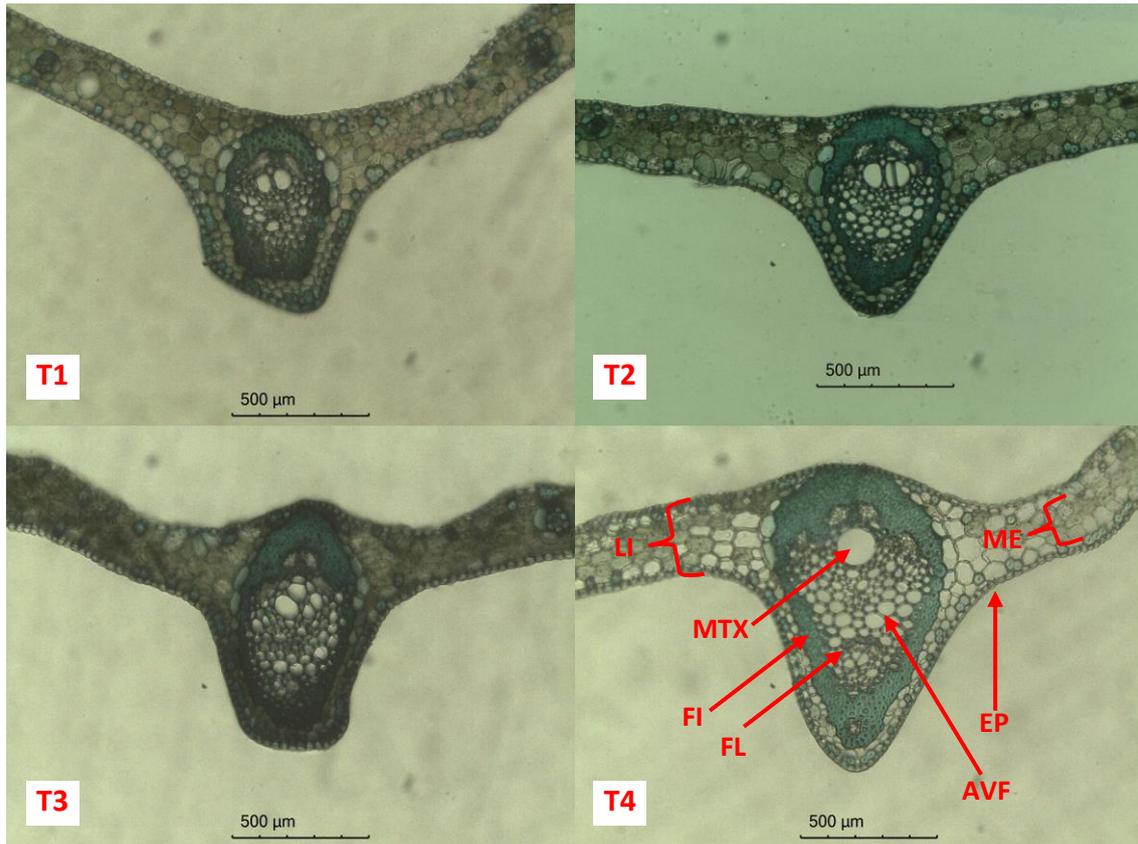
**Figura 4:** Cilindro central de raízes laterais de primeira ordem em mudas de açazeiro inoculadas com bioestimulantes: Controle, *B. pyrrocinia*, *B. subtilis* e *T. asperellum*, visualizados em microscópio óptico. Cilindro central (CC) e metaxilema (MTX).



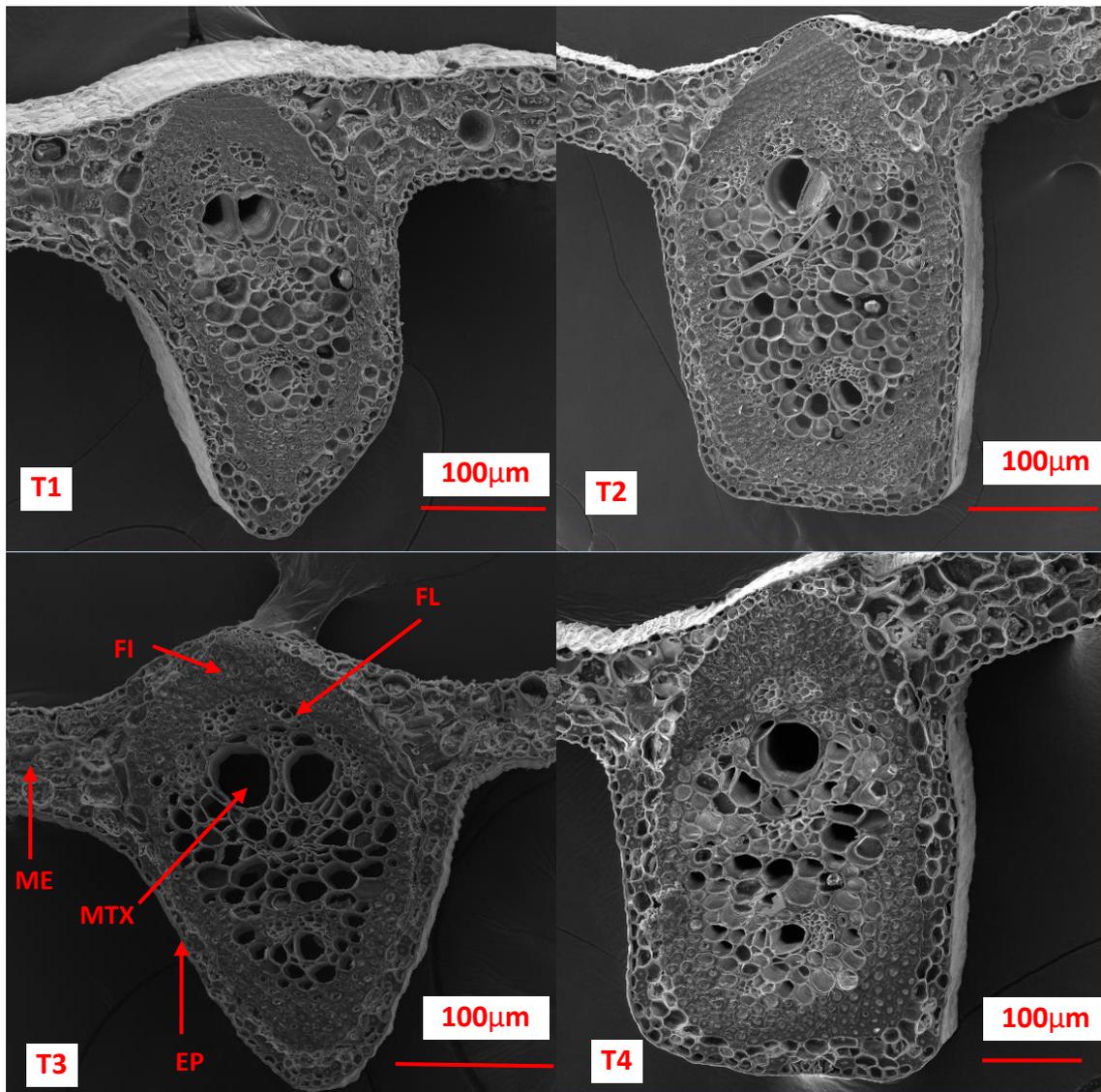
**Figura 5:** Córteç e epiderme de raízes laterais de primeira ordem em mudas de açazeiro inoculadas com bioestimulantes: Controle, *B. pyrrocinia*, *B. subtilis* e *T. asperellum*, visualizados em microscópio óptico. Córteç, exoderme (EX), epiderme (EP).



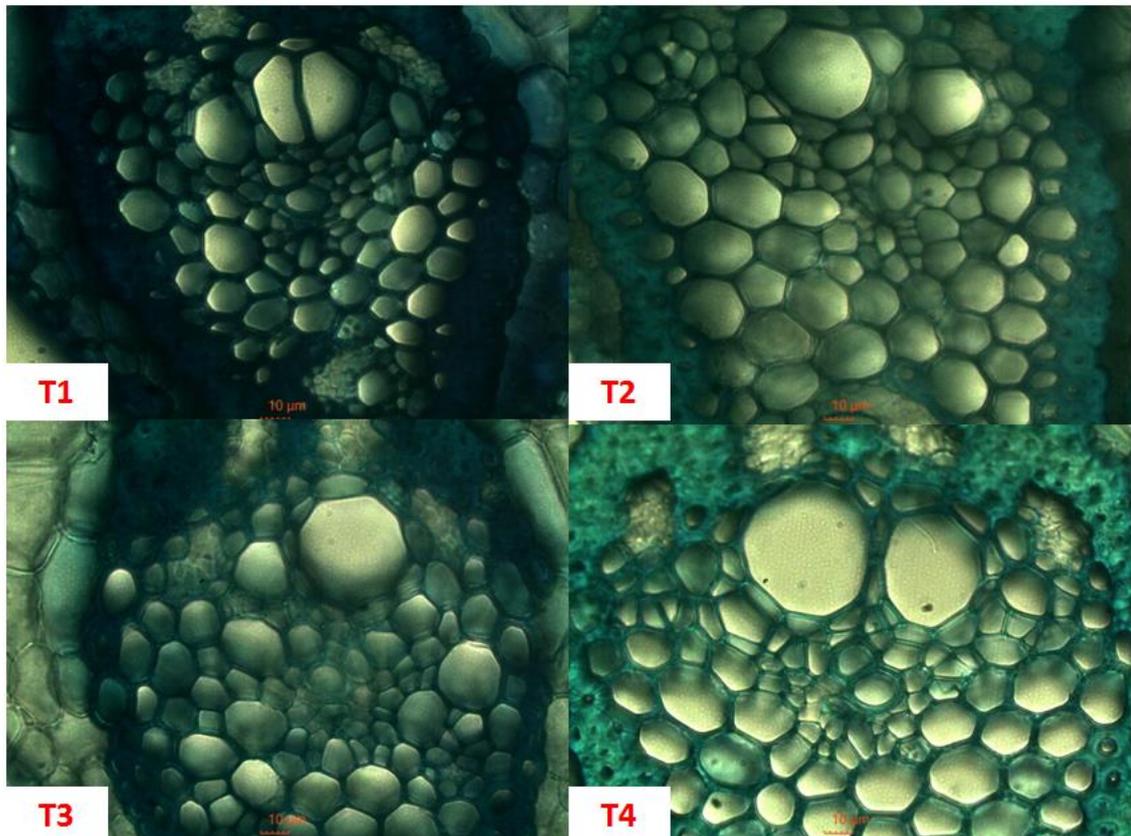
**Figura 6:** Corte transversal em raízes laterais de segunda ordem em mudas de açazeiro inoculadas com bioestimulantes: Controle (T1), *B. pyrrocinia* (T2), *B. subtilis* (T3) e *T. asperellum* (T4), visualizados em microscópio óptico; Aerênquima (AR), Epiderme (EP), Córtex (CO), Exoderme (EX), Cilindro central (CC) e Elemento de vaso do metaxilema (MTX).



**Figura 7:** Corte transversal em folhas de mudas de açazeiro inoculadas com bioestimulantes: Controle (T1), *B. pyrrocinia* (T2), *B. subtilis* (T3) e *T. asperellum* (T4), visualizados em microscópio óptico. Limbo (LI), mesofilo (ME), metaxilema (MTX), Floema (FL), Epiderme (EP) e Fibra (FI).



**Figura 8:** Eletromicrografias de Corte transversal em folhas de mudas de açazeiro inoculadas com bioestimulantes: Controle (T1), *B. pyrrocinia* (T2), *B. subtilis* (T3) e *T. asperellum* (T4), visualizados em microscópio eletrônico de varredura. Mesofilo (ME), metaxilema (MTX), Floema (FL), Epiderme (EP) e Fibra (FI).



**Figura 9:** Elementos de vasos de metaxilema (MTX) em folhas de mudas de açazeiro inoculadas com bioestimulantes: Controle (T1), *B. pyrrocinia* (T2), *B. subtilis* (T3) e *T. asperellum* (T4), visualizados em microscópio óptico.