

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL

JADERSON FERNANDO N. DE FREITAS

**CRESCIMENTO INICIAL E EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA DE MANGUEIRAS
CULTIVADAS EM SOLO CONTENDO LAMA DO RIO DOCE**

Vitória, ES

2018

JADERSON FERNANDO NEVES DE FREITAS

**CRESCIMENTO INICIAL E EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA DE MANGUEIRAS
CULTIVADAS EM SOLO CONTENDO LAMA DO RIO DOCE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Biologia Vegetal.

Orientador(a): Prof.^a Dr.^a Diolina Moura Silva

Vitória, ES

2018

[PÁGINA DA FICHA CATALOGRÁFICA]

CRESCIMENTO INICIAL E EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA DE MANGUEIRAS CULTIVADAS EM SOLO CONTENDO LAMA DO RIO DOCE

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Biologia Vegetal na área de concentração Fisiologia Vegetal.

Aprovada em 23 de Fevereiro de 2018.

Comissão Examinadora:

Dr^a. Diolina Moura Silva- UFES
Orientador e Presidente da Comissão

Dr^a. Camilla ZanottiGallon- UFES
Examinador Interno

Dr. Moises Zucoloto- UFES
Examinador Interno

Dr^a.Sara Dousseau Arantes - INCAPER
Examinador Externo

*A todas as vítimas da tragédia
de Mariana*

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus por me acompanhar nesta caminhada fazendo-me forte quando me sentia fraco.

A Universidade Federal do Espírito Santo e o Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal pela oportunidade para desenvolver esse trabalho.

À Fundação CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsa, imprescindível para financiar os gastos durante a execução do trabalho.

De forma especial a Prof^a. Dr^a. Diolina Moura Silva, pela orientação e sugestões durante esses dois anos e a Dr^a. Camilla Gallon pelas sugestões.

Também agradeço ao Núcleo de Estudos da Fotossíntese (NEF), especialmente ao Leonardo Farias, companheiro de campo e amigo para vida.

A *Empresa Frucafé Mudas e Plantas Ltda.*, por prontamente nos atender e conceder espaço e material para o desenvolvimento do projeto. Ao proprietário da empresa, o Sr. Erli Rokpe por acreditar na proposta. Também agradeço a todos os funcionários, especialmente ao Sandro e Graciane pelo apoio concedido.

Aos Professores que constituíram a Comissão Examinadora, muito obrigado pelas contribuições e por dedicar seu tempo para avaliar o meu trabalho.

Por último, porém não menos importante, agradeço a minha mãe Noêmia, meu irmão Geder e a minha noiva Keity, pelo amor, confiança e direção.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Modelo esquemático da cadeia de transporte de elétrons. Abreviaturas: PSII, fotossistema II; YZ, tirosina Z; P680, molécula de clorofila do centro de reação do fotossistema II; Phe, feofitina; Q_A, quinona A; Q_B, quinona B; PQH₂, plastoquinol; PQ, plastoquinona; Cyt b₆f, complexo de citocromo composto por unidades B₆ e ferro; PSI, fotossistema I; PC, plastocianina; P700, molécula de clorofila no centro de reação do fotossistema I; A₀, molécula de clorofila; A₁, molécula de filoquinona; FX, FB, FA, proteínas sulfurosas e metais ferrosos; Fd, ferredoxina (TÔTH, 2006)..... 24
- Figura 2: Preparação da enxertia por garfagem das variedades de manga (*Mangifera indica* L.). A cultivar Óleo foi usada como porta-enxerto com copas das cultivares Rosa, Tommy Atkins e Palmer.....27
- Figura 3: Visão geral do experimento na área de viveiros da *Empresa Frucafé Mudas e Plantas Ltda*, localizada na BR-101 Norte, Km 139,1 no município de Linhares-ES.....28
- Figura 4: Temperatura máxima (TMAX) e mínima (TMÍN) nos meses de out/2016 a set/2017, em Linhares-ES, durante cultivo de três cultivares de *Mangifera Indica* L. submetidas a diferentes concentrações da lama, contendo resíduos de mineração, do Rio Doce. Estação meteorológica OMM:86805 (Latitude: 19,35°S; Longitude: 40,06°O; Altitude: 38 m). FONTE: INMET.....28
- Figura 5: Análise da densidade do solo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey (n=2).....30
- Figura 6: Teor de clorofila de folhas jovens totalmente expandidas em três cultivares de *Mangifera indica* L. avaliadas durante 12 meses (outubro 2016-2017). * Difere estatisticamente entre os tratamentos, no mesmo período, pelo teste Tukey ($\alpha=0.05$). Barras representam o desvio padrão (n=10).....35

Figura 7: Curvas da indução rápida da fluorescência variável relativa da clorofila *a* e diferenças cinéticas normalizadas ($\Delta W_{OP} = W_{OP(\text{tratamento})} - W_{OP(\text{controle})}$) de três cultivares de *Mangifera indica* L., cv.Rosa, cv.Tommy Atkins e cv.Palmer. 0% = controle; 20% = substrato contendo 20% da lama do Rio Doce; 50% = substrato contendo 50% da lama do Rio Doce. O tempo está representado em escala logarítmica (ms). (n=10).....36

Figura 8: Diferenças cinéticas da fluorescência variável relativa evidenciando o aparecimento da banda K ($\Delta W_{OJ} = (\Delta W_{OJ(\text{tratamento})}) - (\Delta W_{OJ(\text{controle})})$) e banda L ($\Delta W_{OK} = (\Delta W_{OK(\text{tratamento})}) - (\Delta W_{OK(\text{controle})})$) durante as análises realizadas em plantas de três cultivares de *Mangifera indica* L. submetidas a três diferentes concentrações da lama, contendo resíduos de mineração, do Rio Doce. O tempo está representado em escala logarítmica (ms). (n=10).....37

Figura 9: Diferenças cinéticas da fluorescência variável relativa entre as etapas J-I ($\Delta W_{JI} = (\Delta W_{JI(\text{tratamento})}) - (\Delta W_{JI(\text{controle})})$) e I-P ($\Delta W_{IP} = (\Delta W_{IP(\text{tratamento})}) - (\Delta W_{IP(\text{controle})})$) evidenciando o aparecimento da banda G. O tempo está representado em escala logarítmica (ms). (n=10).....38

Figura 10: Parâmetros derivados do Teste JIP dos transientes de fluorescência da clorofila *a*, utilizando como referência o controle (0% = 1.0) de três cultivares de *Mangifera indica* L., cv.Rosa, cv.Tommy Atkins e cv.Palmer induzidas pelas diferentes concentrações da lama, contendo resíduos de mineração, do Rio Doce. *Difere estatisticamente entre os tratamentos pelo teste Tukey ($\alpha=0.05$).....40

Figura 11: Número de folhas ao longo dos meses deste estudo de três cultivares de *Mangifera indica* L., cv.Rosa, cv.Tommy Atkins e cv.Palmer cultivadas em diferentes concentrações da lama, contendo resíduos de mineração, do Rio Doce. *Difere estatisticamente entre os tratamentos pelo teste Tukey ($\alpha=0.05$). Barras representam o desvio padrão. (n=10).....41

Figura 12: Altura da parte aérea ao longo dos meses deste estudo, de três cultivares de *Mangifera indica* L., Rosa, Tommy Atkins e Palmer cultivadas em

diferentes concentrações da lama, contendo resíduos de mineração, do Rio Doce.*Difere estatisticamente entre os tratamentos pelo teste Tukey ($\alpha=0.05$). Barras representam o desvio padrão.(n=10).....42

Figura 13: Diâmetro do caule ao longo dos meses desde estudo, de três cultivares de *Mangifera indica* L., cv.Rosa, cv.Tommy Atkins e cv.Palmer cultivadas em diferentes concentrações da lama, contendo resíduos de mineração, do Rio Doce.*Difere estatisticamente entre os tratamentos pelo teste Tukey ($\alpha=0.05$). Barras representam o desvio padrão. (n=10).....43

Figura 14: Índice de área foliar de três cultivares de *Mangifera indica* L. submetidas diferentes concentrações de lama do Rio Doce, contendo resíduos de mineração. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey na mesma cultivar. (n=10)..... 44

Figura 15: Número de frutos das cultivares de mangueiras: Rosa, Tommy Atkins e Palmer, submetidas a três diferentes concentrações da lama do Rio Doce, contendo resíduos de mineração. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey, para a mesma cultivar. (n=10).....45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análise química do solo com diferentes concentrações de lama, contendo resíduos de mineração do Rio Doce.....	29
Tabela 2: Significados e equivalentes dos parâmetros utilizados da fluorescência da clorofila <i>a</i> calculados pelo teste JIP descritos por Strasser et al., (2010).....	31
Tabela 3: Teores de macro e micronutrientes encontrados em plantas de <i>Mangifera Indica</i> L. cv.Rosa, cv.Tommy Atkins e cv.Palmer, após 12 meses de tratamento.....	33

RESUMO

Este trabalho avaliou os efeitos de diferentes concentrações de lama do Rio Doce, contendo resíduos de mineração resultantes da quebra da barragem de Mariana ocorrido no ano de 2015, sobre o crescimento e a atividade fotossintética de mudas de *Mangifera indica* L. Ramos das cultivares Rosa, Tommy Atkins e Palmer, enxertadas por garfagem sobre a cultivar Óleo foram submetidas a três diferentes concentrações de lama (0%, 20% e 50%), contendo resíduos de mineração do Rio Doce. Foram analisadas as propriedades físicas e químicas dos substratos e, simultaneamente, avaliados os teores de macro e micronutrientes das folhas. As medidas de crescimento e as análises fotossintéticas foram realizadas mensalmente entre outubro de 2016 e outubro de 2017. No último mês foram realizadas medidas da produtividade inicial (número de frutos por planta por tratamento). Os parâmetros fotoquímicos que melhor representaram os efeitos dos resíduos de mineração contidos na lama do Rio Doce durante o desenvolvimento das mudas foram o Índice de Desempenho Total da etapa fotoquímica da fotossíntese (PI_{TOTAL}), o Índice de Desempenho do Fotossistema II (PI_{ABS}) e o Fluxo de Energia Dissipada por Centro de Reação Ativo, no tempo zero (DI_0/RC). Os danos causados foram evidentes na cv. Rosa verificados pelas análises de crescimento, índices de clorofila, curvas da Indução da fluorescência da Clorofila *a* (Curvas OJIP) e os parâmetros do Teste JIP. Os resultados dos macro e micronutrientes foliares revelaram que a cv. Rosa (Tratamento 50%) apresentou níveis tóxicos de Manganês, podendo ter contribuído para o estresse observado. Os resultados indicaram que a cv. Rosa apresentou severidade sintomática, resultando em mudas menos desenvolvidas, enquanto as cultivares Tommy Atkins e Palmer demonstraram possuir mecanismos de tolerância aos estresses provocados pelos resíduos de mineração contidos na lama do Rio Doce.

Palavras-chave: Fluorescência da Clorofila *a*, crescimento, compactação do solo, poluição ambiental, *Mangifera indica* L.

ABSTRACT

This work evaluated the effects of different concentrations of mud from the Doce River containing mining residues resulting from the breakage of the Mariana dam occurred in the year 2015 on the growth and photosynthetic activity of *Mangifera indica* L. Ramos seedlings of the cultivars Rosa, Tommy Atkins and Palmer, grafted by grafting on the cv. Óleo were submitted to three different concentrations of mud (0%, 20% and 50) containing Doce River mining residues. The physical and chemical properties of the substrates were analyzed and, simultaneously, the macro and micronutrient contents of the leaves of the cultivars were evaluated. Growth measures and photosynthetic analyzes were performed monthly between October 2016 and October 2017. In the last month, the amount of fruit was measures. The photochemical parameters that best represented the effects of the mining residues contained in the mud of the Doce River during the development of the seedlings were the Total Performance Index of the photosynthesis photochemical stage (PI_{TOTAL}), the Performance Index of Photosystem II (PI_{ABS}) and the Energy Flow Dissipated by Active Reaction Center at time zero (DI_0 / RC). The damages caused were evident in cv.Rosa verified by growth analyzes, chlorophyll indices, Chlorophyll a fluorescence induction curves (OJIP curves) and JIP test parameters. The results of the macro and micronutrients foliar revealed that cv.Rosa (Treatment 50%) showed toxic levels of Manganese, and may have contributed to the observed stress. The results indicated that cv.Rosa presented symptomatic severity, resulting in less developed seedlings, while the cultivars Tommy Atkins and Palmer demonstrated to have mechanisms of tolerance to the stresses caused by the mining residues contained in the mud of the Doce River.

Keywords: Chlorophyll a fluorescence, growth, soil compaction, Environmental pollution, *Mangifera indica* L.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 <i>Cultura da mangueira</i>	18
2.2 <i>Rio Doce</i>	20
2.3 <i>Fluorescência da clorofila a</i>	22
3. OBJETIVO GERAL	26
4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
5. MATERIAIS E MÉTODOS	27
5.1 <i>Material vegetal e condições de cultivo</i>	27
5.2 <i>Análise química do solo e das folhas</i>	29
5.3 <i>Índice de clorofila</i>	30
5.4 <i>Cinética de emissão de fluorescência da clorofila a</i>	31
5.5 <i>Análise de crescimento</i>	32
5.6 <i>Análise estatística</i>	32
6. RESULTADOS	34
6.1 <i>Análise dos macro e micronutrientes foliares</i>	34
6.2 <i>Índice de clorofila</i>	35
6.3 <i>Cinética de emissão da fluorescência da clorofila a</i>	36
6.4 <i>Análise crescimento</i>	40
7. DISCUSSÃO	46
8. CONCLUSÃO	52
9. REFERÊNCIAS	53

1. INTRODUÇÃO

Em novembro de 2015 ocorreu o maior desastre ambiental da história do Brasil, mais de 40 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração contaminaram a bacia do rio Doce, invadiram e destruíram fazendas e casas do distrito de Bento Rodrigues na cidade de Mariana-MG (VIANA e COSTA, 2016). Após dois anos, as consequências ambientais, que também se estenderam a outros municípios no estado do Espírito Santo, estão longe de serem compreendidos. As propostas de recuperação das áreas degradadas apresentadas pela empresa Samarco, responsável pela tragédia, não foram aprovadas pelo IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) (MEIRELLES et al., 2017). Os resíduos despejados continham alta quantidade de metais pesados (SAAE, 2015). Esses, por sua vez, são extremamente tóxicos às plantas (NAGAJYOTI et al., 2010). Contudo coletas realizadas em pontos de amostragem da área atingida pela lama não evidenciaram toxidez no material coletado (VIANA e COSTA, 2016). A principal problemática é atribuída a camada de terra depositada no fundo do rio e sobre a vegetação, que apresentou altos teores de silte e areia fina alterando as características físicas do solo tornando-o compactado (SBCS, 2016). Nessa condição, provavelmente o desenvolvimento radicular é afetado, podendo comprometer, dependendo do nível de compactação, todo aspecto nutricional das plantas (PASSIOURA et al., 2002; SHUKOR et al., 2015). Atualmente, grande parte das regiões em que a lama foi depositada tornou-se infértil e inviável para a maioria das culturas agrícolas e a pecuária (EMBRAPA, 2017).

Todo esse evento é indutor imediato na busca de soluções e medidas práticas para recuperação ambiental e econômica. Com isso, viabiliza-se estudar uma cultura que tenha alto valor de mercado e bons prognósticos de tolerância ao estresse, sendo, portanto, necessário o uso de ferramentas capazes de diagnosticar rapidamente as alterações fisiológicas provocadas por essa nova realidade ambiental.

A fotossíntese é o principal processo de transformação de energia da biosfera, pequenas alterações ambientais são rapidamente refletidas no comportamento fotossintético (GUIDI e CALATAYUD, 2014). A etapa fotoquímica da

fotossíntese, particularmente o fotossistema II (FSII), tem se mostrado muito sensível aos estresses bióticos e abióticos. Para manter sua função em patamares ótimos em um ambiente em constante alteração, ele sofre contínuos reparos estruturais (YUSUF et al., 2010; ZHANG et al., 2010). Por vezes, os mecanismos de reparo não são suficientes na manutenção do aproveitamento da energia solar capturada pelas moléculas de clorofilas, reemitindo parte da energia na forma de fluorescência (KALAJI et al., 2017).

A análise da fluorescência transiente da clorofila *a* permite quantificar essa energia e com isso estabelecer, de modo rápido e não destrutivo, o nível de tolerância de uma planta a um determinado estresse. Essa ferramenta tem sido muito utilizada na detecção das alterações no aparelho fotossintético provocadas por estresse luminoso (KALAJI et al., 2012), térmico (CHEN et al., 2016; FARIAS-SILVA et al., 2017; PERBONI et al., 2015), hídrico (OUKARROUM et al., 2009) e poluição ambiental (DEMETRIOU et al., 2007; KALAJI et al., 2017; XIANG et al., 2013).

Considerando que a mangicultura possui potencial rentável aos agricultores atingidos pelo derrame de resíduos de mineração na bacia do Rio Doce, avaliou-se o comportamento inicial de três cultivares de *Mangífera indica* L. submetidas a diferentes concentrações da lama do rio Doce usando parâmetros da eficiência fotoquímica e do crescimento.

A manga é uma das frutas mais consumidas no mundo e é comercializada em larga escala no mercado brasileiro (SEBRAE, 2016). O Brasil ocupa o sétimo lugar no ranking dos maiores exportadores da fruta (FAO, 2017). O mercado de manga está em crescente expansão devido a ampla alternativa para o uso da polpa da fruta tanto para a produção de sucos, geléias, doces quanto para o consumo *in natura*.

São escassos os trabalhos que tratam da relação de um mesmo porta-enxerto e diferentes copas. A maioria dos estudos com enxertia tem sido realizado sob a perspectiva da resistência do porta-enxerto na qualidade produtiva da copa (BALLY, 2011; CARDOSO et al., 2010; COSTA e SANTOS, 2004; SIMÃO, 1997).

Essa relação na mangueira foi avaliada, utilizando o porta-enxerto (cv.Óleo) em três copas, sendo duas originárias da Flórida (cv.Tommy Atkins e cv.Palmer) e uma brasileira (cv.Rosa), estabelecendo-se nove unidades experimentais, de modo que cada cultivar fosse submetida a três diferentes concentrações da lama do Rio Doce (0%, 20% e 50%).

Diante do exposto, sugeriu-se que a compactação do solo, resultante dos resíduos de mineração, altera o desempenho fisiológico das três cultivares de mangueira, podendo refletir no crescimento e no vigor das mudas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 *Cultura da Mangueira*

A fruticultura é um dos setores de maior destaque do agronegócio brasileiro, com uma grande variedade de culturas, produzidas em todo o país e em diversos climas. O Brasil é o terceiro maior produtor de frutas no mundo, ficando atrás apenas de China e Índia, o que mostra a relevância do setor para a economia brasileira (SEBRAE, 2015). Segundo Fávero (2008), entre as culturas responsáveis pelo alto volume de produção e exportação, pode se destacar a mangueira. Esta frutífera está presente em todas as regiões brasileiras, mas são nas regiões Nordeste e Sudeste que o cultivo da mesma é intensificado com propósito de atender as necessidades do mercado interno e externo. O mesmo autor relata que as produções iniciais da fruta atendiam somente ao mercado interno, através das cultivares Espada, Rosinha, Itamaracá. A partir de 1980, com o início das exportações da fruta, observou-se que os padrões de consumo se direcionaram para a cv. Tommy Atkins. De origem norte americana, essa cultivar é a mais produzida e que possui a maior participação no volume comercializado de manga no mundo, apreciada por apresentar uma polpa com coloração intensa, alta produtividade, boa resistência a doenças e ao transporte a longas distâncias (SEBRAE, 2016).

Atualmente a manga é uma das frutas mais consumidas no mundo, sendo comercializada em larga escala no mercado brasileiro (FAO, 2017). O Brasil ocupa o sétimo lugar no ranking dos maiores exportadores da fruta, as regiões Nordeste e Sudeste têm, respectivamente, uma participação na área colhida e na quantidade produzida de 49.549 hectares e 784.692 toneladas para o Nordeste e 19.701 hectares e 334.881 toneladas para o Sudeste. Juntas, as duas regiões são responsáveis por aproximadamente 99% da produção brasileira (FAO, 2017). No entanto, dada a grande concorrência no mercado internacional, o Brasil concentra as suas vendas entre setembro e dezembro, período em que concorrentes como Equador e Peru saem do mercado (TREICHEL et al., 2016).

Segundo Filgueiras (2000), a dependência em relação à cv. Tommy Atkins é um obstáculo a ser superado para o sucesso do mercado da manga no Brasil, assim como a utilização de variedades menos fibrosas e mais ricas em sabor. Essa afirmação é enfatizada por Ramos, Souza e Benevides (2004), que relatam o insucesso da industrialização da manga, devido ao interesse na produção de variedades exportáveis, e deixando de lado cultivares que são ideais para indústria. No entanto, devido ampla alternativa para o uso da polpa da fruta para a produção de sucos, geléias e doces, observa-se uma tendência de que as cultivares com melhor sabor, como a cv. Palmer e a cv. Rosa, se projetem no mercado interno e mundial, em detrimento da cv. Tommy Atkins (SEBRAE, 2017).

No Espírito Santo o apoio técnico oferecido pelo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) tem incentivado vários produtores do Pólo de Manga para a Indústria do Estado do Espírito Santo a superar os desafios trazidos pela pouca informação disponível a respeito das respostas fisiológicas de cultivares nacionais aos estresses causados pelas diferentes formas de cultivo e condução da cultura, acompanhadas pelas constantes oscilações na disponibilidade de água, intensidade de luz e temperatura (INCAPER, 2009).

O primeiro passo para se obter um pomar de mangueira lucrativo é a escolha correta da cultivar a ser inserida pelo produtor. Para isso leva-se em consideração uma série de fatores que vão desde a produtividade, demanda de mercado, suscetibilidade às doenças, facilidade com o manejo e adaptação ao clima. Atualmente a partir do método propagativo, via enxertia, busca-se selecionar essas características visando aumentar a produtividade e reduzir os custos de manejo (SAÚCO, et al., 2016). A técnica basicamente consiste em implantar parte de uma planta viva em outra planta de igual ou diferente espécie, com a finalidade de produzir cultivares altamente produtivas e tolerantes aos limites impostos pelo ambiente (BALLY, 2011). Devido a alta variabilidade genética e morfológica observada na cultura da mangueira, algumas cultivares são mais ou menos tolerantes a determinados estresses. De posse destas informações iniciais, vários pesquisadores buscam avaliar e

caracterizar portas-enxertos tolerantes aos limites impostos pelo ambiente (CARDOSO et al., 2010; COSTA e SANTOS, 2004; SIMÃO, 1997)

Outra característica economicamente importante é que, quando cultivada via semente, a mangueira pode levar de dois a sete anos para florescer e produzir frutos. No entanto, se reproduzida por enxertia, a mesma pode frutificar ainda no próprio viveiro de mudas, fornecendo uma produção fidedigna das características da “planta-mãe” (SEBRAE, 2016).

Segundo Fonseca (2006) as cultivares poliembrionicas, que geram duas ou mais plantas em uma semente, são as mais indicadas a servir de porta-enxerto, pois conferem maior vigor a muda. O mesmo autor informa que em *Mangifera indica L.*, a cv. Espada produz um excelente porta-enxerto, em razão do seu vigor e tolerância à seca. Outros porta-enxertos muito usados são a Carlotinha, Itamaracá, Santa Alexandrina e Ubá. Gali et al. (2009) utilizaram 17 cultivares de mangueira enxertadas sobre o mesmo porta enxerto e observaram que a copa exerce importante influência no comportamento e desenvolvimento radicular, induzindo a planta, quando em estresse, a uma maior ou menor severidade sintomática.

2.2 Rio Doce

Historicamente a mineração pode ser considerada uma das principais atividades humanas que contribuem para a deposição de materiais poluentes nas bacias hidrográficas em todo mundo (HATJE et al., 2017). Os principais problemas relacionados a essa atividade são rejeitos de mineração que contribuem deliberadamente e/ou acidentalmente para a deposição de materiais contaminantes nas bacias hidrográficas (MACKIN, M. et al. 2002).

O derrame de rejeitos de mineração pela Samarco Mineração na bacia do Rio Doce em novembro de 2015 foi um dos maiores desastres ambientais da história do Brasil. De acordo com Lewin e Macklin (2016), um desastre dessa magnitude afetou, e por muito tempo afetará todo o sistema fluvial causando um aumento dramático no suprimento de sedimentos e mudanças significativas na morfologia do Rio Doce. Mesmo antes da enxurrada de lama chegar, a situação do Rio Doce já era preocupante, resultado de séculos de

desmatamento, poluição, assoreamento e construção de barragens (INCAPER, 2016). Tudo isso, foi agravado mais recentemente por um cenário de estiagem, que reduziu o volume de água no rio e, conseqüentemente, sua capacidade de diluir a lama que escoou da mineradora.

Desde que houve o rompimento da barragem de Fundão-MG, até chegar ao mar, a enorme massa de resíduos de mineração causou uma enorme transformação tanto no ambiente como na vida de milhares pessoas. O acidente não ficou restrito apenas ao estado de Minas Gerais, em 17 de novembro daquele ano a lama atingiu cidades do Espírito Santo e o litoral Sul da Bahia. Ao todo, 39 cidades foram afetadas (BARBA, 2015).

Pesquisadores da Universidade Federal do Espírito Santo verificaram que 25km a leste da foz do Rio Doce os resíduos formaram uma camada de 1 a 2 centímetros sobre a lama do fundo do mar, a 25 metros de profundidade (UFES, 2017). A quantidade desse material depositado no percurso do rio é ainda maior, e de acordo com o especialista da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) o revolvimento dessa camada de lama e rejeitos de mineração assentada no fundo do leito do Rio Doce poderá cobrir fazendas e cidades tornando-se uma das principais problemáticas que incidirão nas regiões ribeirinhas nos próximos períodos chuvosos (AZEVEDO, 2015). Considerando que historicamente, as regiões que fazem margens com o Rio Doce sofrem com enchentes periódicas, a redução da profundidade do leito do rio causada pela deposição dos resíduos é um fato que agrava ainda mais a situação das inundações (SOUZA et al., 2014).

Apesar das amostras da lama dos rejeitos não terem evidenciado toxidez nas análises realizadas pela EMBRAPA (2016), elas revelaram altos teores de silte e areia fina, materiais que alteram as características físicas do solo das regiões afetadas tornando-as propensas a compactação (SBCS, 2016).

Pouco se sabe a respeito do comportamento da comunidade vegetal ao longo da Bacia do Rio Doce, frente à presença dos rejeitos de mineração no solo. Os prognósticos feitos na época do desastre projetaram para as fazendas e campos um cenário de infertilidade causado pela compactação, após dois

anos, a improdutividade das áreas de plantio confirma as expectativas antes criadas (EMBRAPA, 2017).

Nos solos compactados a densidade das partículas é alta, valores próximos a $0,8 \text{ g/cm}^3$ já podem restringir o sistema radicular das plantas, afetando a taxa de infiltração hídrica, drenagem e trocas gasosas, prejudicando negativamente o crescimento e o desenvolvimento vegetal (LARCHER et al., 2000; PASSIOURA et al., 2002; SHUKOR et al., 2015).

Atualmente questiona-se a respeito dos efeitos do material depositado no fundo do Rio Doce. O questionamento da oceanógrafa HATJE et al.,(2017) atinge a todos – *“Poderá este, quando revolvido e espalhado pelas enchentes, compactar fazendas, florestas e campos?”*.

2.3 Fluorescência transiente da clorofila a

Todos os eventos que ocorrem em um organismo vivo estão relacionados com transformações de energia. Toda vida na terra depende das transduções de energia dos processos fotossintéticos, da energia de luz absorvida para a energia de excitação, da energia de oxidação (transporte de elétrons) e, em última análise, da energia armazenada na biomassa produzida (TSIMILLI-MICHAEL e STRASSER, 2013). Sob condições naturais, as plantas estão expostas a muitos fatores adversos de estresse ambiental. Isso pode interromper a atividade do aparelho fotossintético, causando uma diminuição da produtividade da planta e do rendimento geral. A fotossíntese é particularmente sensível às restrições ambientais (CHEN et al., 2016, KALAJI et al., 2017).

A etapa fotoquímica da fotossíntese consiste em um conjunto de reações de óxido-redução, que se inicia com a absorção da energia luminosa pelos complexos coletores de luz (LHC), comumente conhecidos como antenas, formados por uma complexa rede de pigmentos incorporados aos fotossistemas (STRASSER et al.,2005). No FSII a energia de excitação do LHC é eficientemente transferida de um centro de reação ativo onde tem início a fase fotoquímica, levando a hidrólise da água e a redução de conjuntos de

plastoquinonas imersas nos tilacóides (“pool’ de PQ) (SHEVELA D, BJORN L.O e GOVINDJEE, 2013)

Como qualquer outro processo de troca de energia, a conversão de energia luminosa em energia química no processo fotossintético não é perfeita. Nem todos os elétrons que estão num nível energético elevado (molécula de clorofila excitada) são passados para os aceptores. Parte desses elétrons retornam ao estado inicial (antes das moléculas receberem energia dos fótons) sem a produção de ATP e NADPH. Ao retornar ao estado inicial, a energia pode ser dissipada sob a forma de calor ou emissão de um fóton de energia luminosa (fluorescência) (STIRBET et al., 2014; YUSUF et. al, 2010;ZHANG et al., 2001).

A relação inversa entre fluorescência e atividade fotossintética foi primeiramente descrita por Kautsky (1941), que observou que amostras de tecido fotossintético, após um período de adaptação ao escuro, apresentam modificações características na intensidade da fluorescência da clorofila *a*, quando iluminadas. As mudanças chamadas de indução da fluorescência ou “efeito Kautsky” compreendem duas etapas: Uma rápida que ocorre a partir do primeiro segundo de emissão de luz e outra lenta que ocorre a partir de um segundo até a estabilização da fluorescência com cerca de três minutos de duração, alcançando um estado de equilíbrio (GOVINDJEE et al., 2013;STIRBET et al., 2011).

Fisiologicamente a emissão de fluorescência rápida é explicada como conseqüência da redução dos aceptores de elétrons, exemplificado no esquema “Z” (Figura 1). Uma vez que o fotossistema II (FSII) absorve luz e Q_A recebe um elétron, este aceptor não está mais apto para receber outro elétron até que passe para o carreador de elétrons subsequente, Q_B . Durante este período, os Centros de reação estão “fechados” (MAXWELL e JOHNSON, 2000).

A fluorescência transiente da clorofila *a* é considerada como um método rápido e eficaz na detecção das alterações fisiológicas causadas tanto por estresse biótico (HERNÁNDEZ, 2017) quanto abiótico (FARIA-SILVA et al., 2017), permitindo o levantamento de dados que possam indicar tanto a tolerância

quanto a suscetibilidade vegetal as adversidades ambientais sem a necessidade de destruir o material analisado (CHEN et al., 2016).

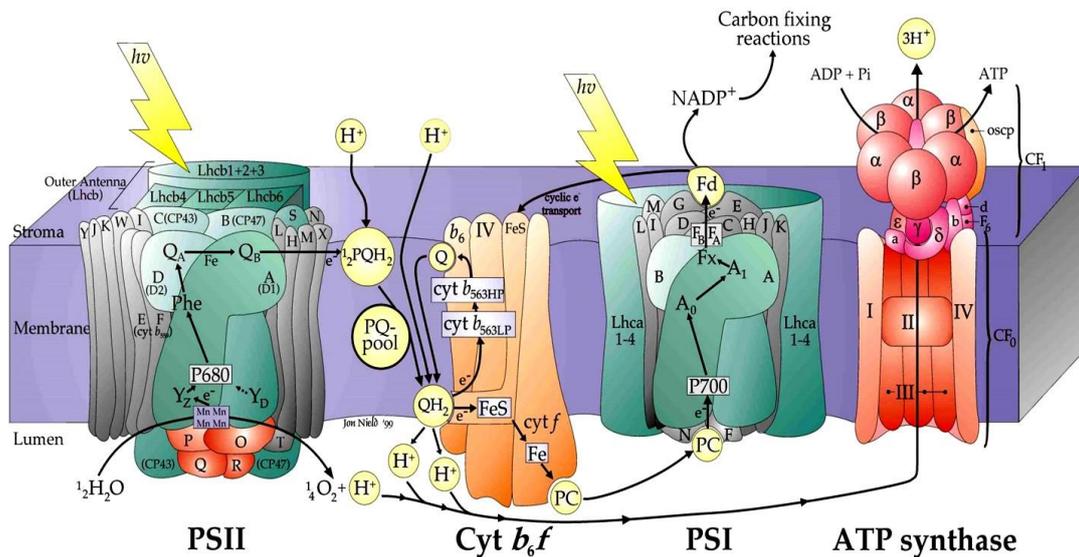


Figura 1: Modelo esquemático da cadeia de transporte de elétrons. Abreviaturas: PSII, fotossistema II; YZ, tirosina Z; P680, molécula de clorofila do centro de reação do fotossistema II; Phe, feofitina; Q_A, quinona A; Q_B, quinona B; PQH₂, plastoquinol; PQ, plastoquinona; Cyt b₆f, complexo de citocromo composto por unidades B6 e ferro; PSI, fotossistema I; PC, plastocianina; P700, molécula de clorofila no centro de reação do fotossistema I; A₀, molécula de clorofila; A₁, molécula de filoquinona; FX, FB, FA, proteínas sulfurosas e metais ferrosos; Fd, ferredoxina (TÔTH, 2006).

Várias pesquisas demonstraram a capacidade deste método para detectar alterações na etapa fotoquímica decorrentes de fatores genéticos ou ambientais como, por exemplo, mutações e status nutricional (KALAJI et al, 2017), estresse luminoso (KALAJI et al., 2012), substâncias químicas (XIANG et al, 2013), altas temperaturas (CHEN et al., 2016), toxicidade (KALAJI et al., 2017), geadas (PERBONI et al., 2015), estresse hídrico (OUKARROUM et al, 2009) metal pesado ou estresse salino (DEMETRIOU et al., 2007; LI e ZHANG, 2015).

O aumento típico da curva de fluorescência transiente da clorofila *a* mostra uma sequência de fases a partir de um ponto inicial (Fluorescência Inicial = F₀) até o ponto máximo (Fluorescência Máxima = F_M). Esta curva de indução de

fluorescência de clorofila *a* é, portanto, polifásica e fornece informações consideráveis sobre a estrutura e função do aparelho fotossintético (KAUTSKY e HIRSCH 1931, SCHREIBER et al., 1994). As fases O-J-I-P são conhecidas como Passo O [ocorre aos 20 μ s e é considerado o momento quando todos os Centros de Reação (CR) estão oxidados (abertos)], Passo J (ocorre em cerca de 2 ms), Passo I (ocorre aproximadamente ao 30 ms) e Passo P [igual a F_M , é considerado o momento quando todos os CR estão reduzidos (fechados) e ocorre a aproximadamente 300 ms] (STRASSER E STRASSER, 1995).

Em condições de alguns estresses outros pontos podem aparecer (são conhecidos como Bandas), como é o caso da Banda L (que reflete a conectividade energética das unidades do FSII), a Banda K (que está relacionada à desativação do complexo de evolução do oxigênio - CEO), a Banda G, relacionada à redução do "pool" de PQ (MORALES-FLORES et al.; 2013; STRASSER et al., 2004).

Para investigar as correlações entre as reações fotoquímicas da fotossíntese e a fluorescência da clorofila *a* foi criado um procedimento a partir do aumento polifásico da curva OJIP denominado Teste JIP. Este teste baseia-se na teoria do "fluxo de energia" através das membranas dos tilacóides (Strasser et al., 2000). No teste, a teoria pôde ser operacionalizada em equações algébricas simples, representando o equilíbrio entre o influxo de energia total e o e fluxo de energia para cada um dos complexos coletores de luz examinados, fornecendo informações sobre a provável distribuição de energia absorvida (GOVINDJEE et al., 2011; STIRBET et al., 2011; STRASSER et al. 1995; 2000; 2004). Por fornecer excelentes informações do vigor das plantas *in vivo*, o Teste JIP tem sido muito usado para validar os efeitos dos estresses ambientais no processo fotossintético (CHEN et al 2016)

3. OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos da lama do Rio Doce, contendo resíduos de mineração, sobre o crescimento inicial e a eficiência fotoquímica de *Mangifera indica* L.

4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Avaliar os efeitos da lama do Rio Doce (compactação) no solo de cultivo sobre a fotossíntese de três cultivares de *Mangifera indica* L., cv.Rosa, cv.Tommy Atkins e cv.Palmer.

Investigar os efeitos da lama do Rio Doce (compactação) no solo de cultivo sobre o crescimento de três cultivares de *Mangifera indica* L., cv.Rosa, cv.Tommy Atkins e cv.Palmer.

Analisar a influência dos metais e semi-metais presentes na lama do Rio Doce sobre o crescimento e a fotossíntese de três cultivares de *Mangifera indica* L., cv.Rosa, cv.Tommy Atkins e cv.Palmer.

5. MATERIAL e MÉTODOS

5.1 Material vegetal e condições de cultivo

Sementes de matrizes de mangueira (*Mangifera indica* L.) cv.Óleo foram germinadas e cultivadas no viveiro da Empresa Frucafé Mudas e Plantas Ltda., localizada na BR-101 Norte Km 139,1 no município de Linhares-ES (40° 4' 53,6" S, 19° 19' 13,3" O e altitude de 44,6 m). Quando as plantas apresentavam três meses de idade, ramos das matrizes das cultivares Rosa, Tommy Atkins e Palmer também cultivadas nos pomares da empresa, foram enxertadas por garfagem sobre a cv.Óleo (Figura 2).



Figura 2 - Preparação da enxertia, por garfagem, das cultivares de mangueira (*Mangifera indica* L.). A cultivar Óleo foi usada como porta-enxerto com copas das cultivares Rosa, Tommy Atkins e Palmer.

A lama do Rio Doce foi coletada no fundo do rio, no município de Linhares-ES (19°41'54550"S, 40° 07' 43960" O) numa profundidade de um metro. Em seguida foi colocada para secar em casa de vegetação por 14 dias. Esse sedimento seco foi então misturado a um substrato a base turfa, casca de pínus, enriquecido com macros e micronutrientes usado pela *Empresa Frucafé Mudas e Plantas Ltda.*, na produção de mudas.

O experimento foi disposto em blocos casualizado, com dez repetições e considerando uma planta por unidade experimental. O experimento foi analisado em esquema fatorial (3 x 3, três cultivares e três tratamentos) Os tratamentos foram assim distribuídos:

- 1) Controle – plantas cultivadas em substrato contendo 0% da lama do Rio Doce, contendo resíduos de mineração;
- 2) 20% - plantas cultivadas em substrato contendo 20% da lama do Rio Doce, contendo resíduos de mineração;

- 3) 50% - plantas cultivadas em substrato contendo 50% da lama do Rio Doce, contendo resíduos de mineração.

O experimento foi conduzido entre outubro 2016 e outubro de 2017, as plantas cultivadas em vasos plásticos de 25 L em condições ambientes de luz e temperatura (Figura 3)



Figura 3 - Visão geral do experimento na área de viveiros da *Empresa Frucafé Mudanças e Plantas Ltda.*, localizada na BR-101 Norte, Km 139,1 no município de Linhares-ES.

Os dados de temperatura ambiente (Figura 4) foram obtidos diretamente do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e correspondem aos registros da estação meteorológica OMM: 86805, localizada no município de Linhares- ES (Latitude: 19,35°S; Longitude: 40,06°O; Altitude: 38 m).

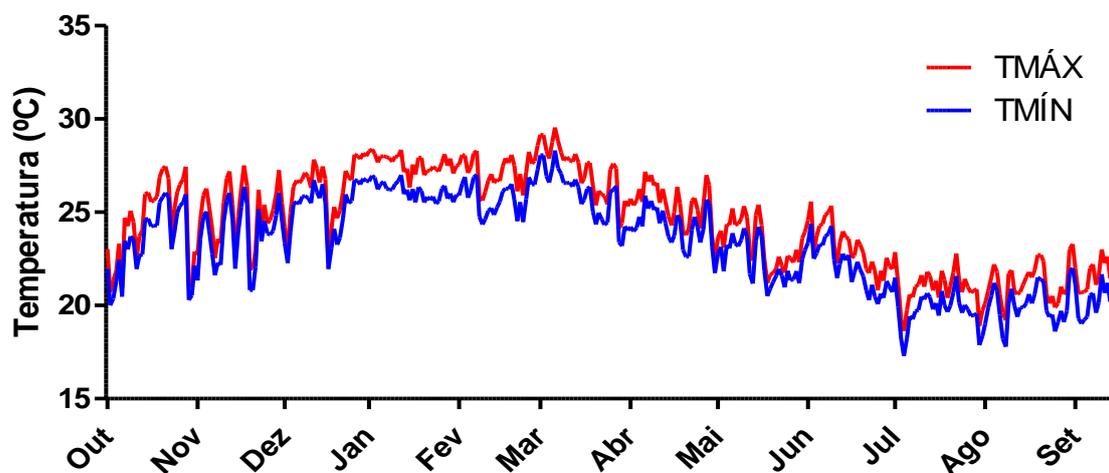


Figura 4- Temperatura máxima (TMAX) e mínima (TMÍN) nos meses de out/2016 a set/2017, em Linhares-Es, durante cultivo de três cultivares de *Mangífera Indica L.* submetidas a diferentes concentrações da lama, contendo resíduos de mineração, do Rio Doce. A área de produção das mudas está localizada na *Empresa Frucafé Mudas e Plantas Ltda.* em Linhares-Es. Estação meteorológica OMM:86805 (Latitude: 19,35°S; Longitude: 40,06°W; Altitude: 38 m). FONTE: INMET. *A partir de outubro de 2017, a estação meteorológica deixou de funcionar.

5.2 Análise química do solo e das folhas

O substrato onde foram cultivadas as plantas durante os tratamentos foram analisadas quanto aos aspectos químicos segundo Embrapa (1997), (Tabela 1).

Tabela 1: Análise química do solo com diferentes concentrações da lama, contendo resíduos de mineração, do Rio Doce.

Parâmetros	Resultado da análise			
	Controle(0%)	20%	50%	
Fósforo-Mehlich1/	136	99	69	
Potássio	260	250	240	
Enxofre	9	38	53	
Ferro	307	330	413	
Zinco	8	7,6	6,5	
Cobre	6	5,6	4	
Manganês	mg/dm ³	73	35	20
Boro		1,53	1,04	0,62
Sódio		55	52	45
Cromo		0,1	0,08	0,08
Chumbo		0,2	0,22	0,52
Níquel		0,3	0,35	0,4
Cádmio		0,04	0,04	0,02
Cálcio		10	7,2	3,5
Magnésio	cmolc/dm ³	2	1,3	0,5
Alumínio		0,4	0,4	0,3
Matéria Orgânica (decomponível)	dag/dm ³	12,8	11,8	3,7

Laboratório de Análise Agronômica, Ambiental e Preparo de Soluções Químicas (FULLIN), Linhares-ES.

A densidade do solo foi mensurada utilizando amostras dos diferentes tratamentos, coletadas em recipiente de 30 mL, pesadas em balança de precisão semi-analítica (Marca: Gehaka. mod: BK3000 CL) e colocadas em estufa (Marca: Marconi. Mod: MA033/1) a 80 °C até a secagem total. Em seguida, o peso das amostras foi novamente analisado e a densidade

determinada seguindo metodologia sugerida por Shukor et al. (2015) conforme equação 1 (Figura 5):

$$\text{Equação 1: Densidade} = \text{Peso seco (g)} / \text{Volume (cm}^3\text{)}$$

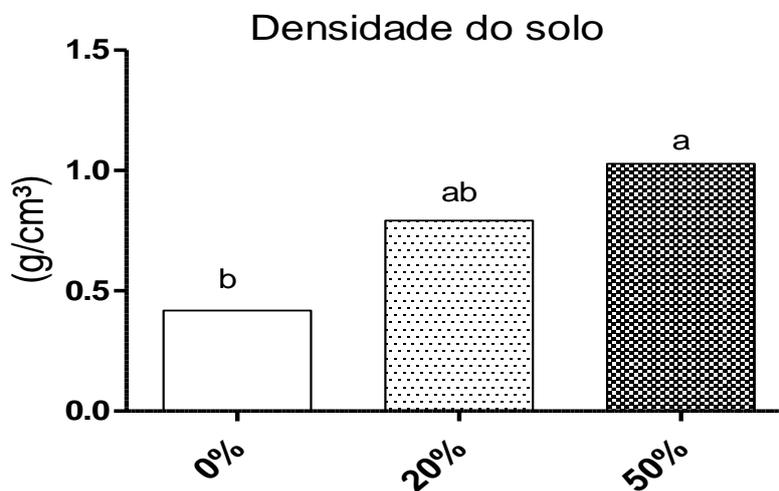


Figura 5 - Análise da densidade do solo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey (n=2).

As análises químicas para a determinação dos teores de nutrientes presentes no tecido foliar das plantas foram feitas segundo Malavolta et al.,(1997). O nitrogênio foi quantificado por digestão ácida a quente; fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, zinco, cobre e manganês por digestão nitro-perclórica e boro por via a seca.

5.3 Índice de clorofila

Os teores de clorofila foram obtidos utilizando um clorofilômetro portátil (Mod. SPAD-502, Marca: MINOLTA, OSAKA, JAPÃO). As aferições foram realizadas nas mesmas folhas onde ocorreram as medidas da fluorescência da clorofila *a*. Ao emitir luz na faixa do vermelho (650 nm), comprimento de onda compreendido entre as faixas de absorção das clorofilas *a* e *b* (645 e 663, respectivamente), este equipamento detecta a transmitância dessas intensidades e a transforma em sinais digitais. A diferença entre elas revela a concentração de clorofila, as quais foram expressas como índice SPAD. Em cada unidade experimental foram utilizadas as médias de seis leituras por folha.

5.4 Cinética de emissão de fluorescência da clorofila *a*

A cinética de emissão de fluorescência da clorofila *a* foi estimada usando um fluorômetro portátil (Handy PEA-Plant Efficiency Analyzer, Hanstech, King's Lynn, Norkfolk, UK). As análises foram realizadas entre 7-9 horas (horário solar) em folhas jovens, totalmente expandidas, localizadas no segundo fluxo foliar (sentido ápice-base) adaptadas ao escuro por 40 minutos, tempo suficiente para que todos os centros de reação estivessem totalmente oxidados (abertos) e, em seguida expostas a um pulso saturante de luz de $3000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Obtidas as curvas OJIP, comparou-se as diferenças após a normalização usando-se os passos O ($F_0 = 20\mu\text{s}$) e P ($F_M \cong 400\text{ms}$), que foram expressas como a fluorescência variável relativa [$W_{OP} = (F_T - F_0)/(F_M - F_0)$]. Ao calcular a diferença cinética entre as curvas normalizadas da fluorescência variável relativa [$W_{OP(\text{tratamento})} - W_{OP(\text{controle})}$], evidenciou-se curvas acima (positivas) e abaixo (negativas) da curva de referência. As curvas positivas indicam que houve perda (emissão) de energia sob a forma de fluorescência, enquanto que as negativas indicam maior eficiência fotoquímica da etapa analisada, pois menos energia foi desviada da etapa fotoquímica.

Os parâmetros biofísicos (Tabela 2), que quantificam o fluxo de energia através da cadeia transportadora de elétrons, foram analisados segundo o Teste JIP elaborado por Strasser e Strasser (1995). Estes parâmetros fornecem informações estruturais e funcionais dos FSII e FSI e permitem quantificar o desempenho dos componentes da cadeia transportadora de elétrons (FARIA-SILVA et al., 2017; STRASSER et al., 2010).

Tabela 2: Parâmetros da cinética da fluorescência da clorofila *a* calculados pelo teste JIP descritos por Strasser et al.,(2010).

Parâmetros	Equações	Significados
F_0	$F_{20\mu s}$	Fluorescência mínima, registrada aos 20 μ s, quando todos os centros de reação estão abertos.
DI_0/RC	$ABS/RC - TR_0/RC$	Fluxo de energia dissipada por centro de reação, no $t=0$.
RC/ABS	$\phi P_0 \cdot (V_j / M_0)$	Densidade de centros de reação fotoquimicamente ativos do FSII.
ψE_0	ET_0/TR_0	Eficiência das reações fotoquímicas após a redução de Q_A^- .
ϕP_0	$PI_{ABS} (\delta R_0 / (1 - \delta R_0))$	Eficiência máxima das reações fotoquímicas do FSII.
PI_{ABS}	$(RC/ABS) (\phi P_0 / (1 - \phi P_0)) (\psi E_0 / (1 - \psi E_0))$	Índice de desempenho potencial do FSII ou Conservação de energia de fótons absorvidos pelo FSII para a redução dos receptores de elétrons do intersistema.
PI_{TOTAL}	$PI_{ABS} (\delta R_0 / (1 - \delta R_0))$	Índice de desempenho fotoquímico total ou Conservação de energia dos fótons absorvidos pelo FSII para a redução dos receptores finais do FSII.

5.5 Análise de crescimento

As avaliações de crescimento foram realizadas pela contagem do número de folhas, altura da planta (medida desde a superfície do solo até o ápice), diâmetro do caule (medido abaixo da cicatriz da enxertia com paquímetro eletrônico, Digital 6 Pol., Modelo DIGIMESS-100.174BL) e área foliar (com um medidor de área foliar, LI-COR, Modelo LI-3100C). Em outubro/2017, último mês de medidas, foram contados manualmente os primeiros frutos antes da poda de formação.

5.6 Análise estatística

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (3 x 3), sendo três cultivares de *Mangífera Indica L.* (Rosa, Tommy Atkins e Palmer enxertadas sobre o porta-enxerto 'Óleo') submetidas a três diferentes concentrações da

lama, contendo resíduos de mineração, do Rio Doce, com dez repetições. Os dados foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) e quando o teste-F foi significativo, uma comparação de médias foi realizada por meio do teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade usando o programa Assistat versão 7.7.

6. RESULTADOS

6.1 Análise dos macro e micronutrientes foliares

Observa-se na Tabela 3 que os teores de macronutrientes encontrados nas folhas das plantas das três cultivares seguiram, de modo geral, à seguinte ordem: N > Ca > K > S > Mg > P.

Tabela 3: Teores de macro e micronutrientes encontrados nas folhas das plantas de *Mangífera indica* L., cv. Rosa, Tommy Atkins e Palmer, após 12 meses de tratamento.

	Valor adequado	Rosa			Tommy Atkins			Palmer		
		0%	20%	50%	0%	20%	50%	0%	20%	50%
Nitrogênio (N)	12 – 14	26,53	29,26	24,99	28,14	31,15	27,02	34,16	34,09	30,1
Fósforo(P)	0,8 - 1,6	1,6	1,35	1,54	1,55	1,45	1,52	1,42	1,02	1,39
Potássio (K)	5 - 10	8,88	10,03	21,25	9,63	9,38	10	9,38	8,75	8,13
Cálcio (Ca)	20 – 35	17,1	17,78	13,66	17,72	15,41	15,16	18,97	17,6	18,16
Magnésio (Mg)	2,5 – 5	3,88	2,94	1,31	2,81	2,69	2,59	2,66	2,76	2,55
Enxofre (S)	0,8 - 1,8	2,09	2,51	2,73	2,73	2,79	2,4	2,19	3,08	3,2
Ferro (Fe)	50 – 200	80	87	266	146	87	93	113	99	131
Zinco (Zn)	20 – 40	24	25	20	27	25	35	21	20	22
Cobre (Cu)	10 – 50	9	10	11	17	22	9	15	10	17
Manganês (Mn)	50 – 100	523	455	1645	479	525	457	441	439	458
Boro (B)	50 – 100	68	70	76	93	87	85	98	95	101

Laboratório de Análise Agronômica, Ambiental e Preparo de Soluções Químicas (FULLIN), Linhares-ES.

Em todos os tratamentos, os teores de Nitrogênio nas folhas foram mais altos do que o esperado (valor adeq: 12-14 g/kg). Assim como as concentrações de Enxofre se mostraram excessivas (valor adeq: 0,8 – 1,8 g/kg). A quantidade de Manganês foi cerca de 4 vezes além do recomendado, com destaque na cv.Rosa (Tratamento 50%) que exibiu níveis 22 vezes acima do recomendado (1645 mg/kg). A quantidade de Ferro foi adequada, com exceção da cv.Rosa (Tratamento 50%) que apresentou uma quantidade excessiva (266 mg/kg) (valor adequado: 50-200 mg/Kg). Esse tratamento foi o único a apresentar excesso de Potássio (21,25 g/kg) (valor adeq: 5-10 g/kg).

Todos os tratamentos apresentaram baixas concentrações de Cálcio (valor adeq: 20-35 g/kg). Enquanto os teores de Magnésio foram adequados para

todas as cultivares, com exceção dos baixos teores encontrados na cv.Rosa (Tratamento 50%) (1,31 g/kg) (valor adequado: 2,5-5,0 g/kg).

6.2 Índice de clorofila

As análises dos teores relativos de clorofila das cultivares Tommy Atkins e Palmer não evidenciaram efeitos negativos da compactação causada pelos resíduos de mineração (Figura 6). Contudo a cv.Rosa (Tratamento 50%) apresentou, de junho a outubro, os menores valores.

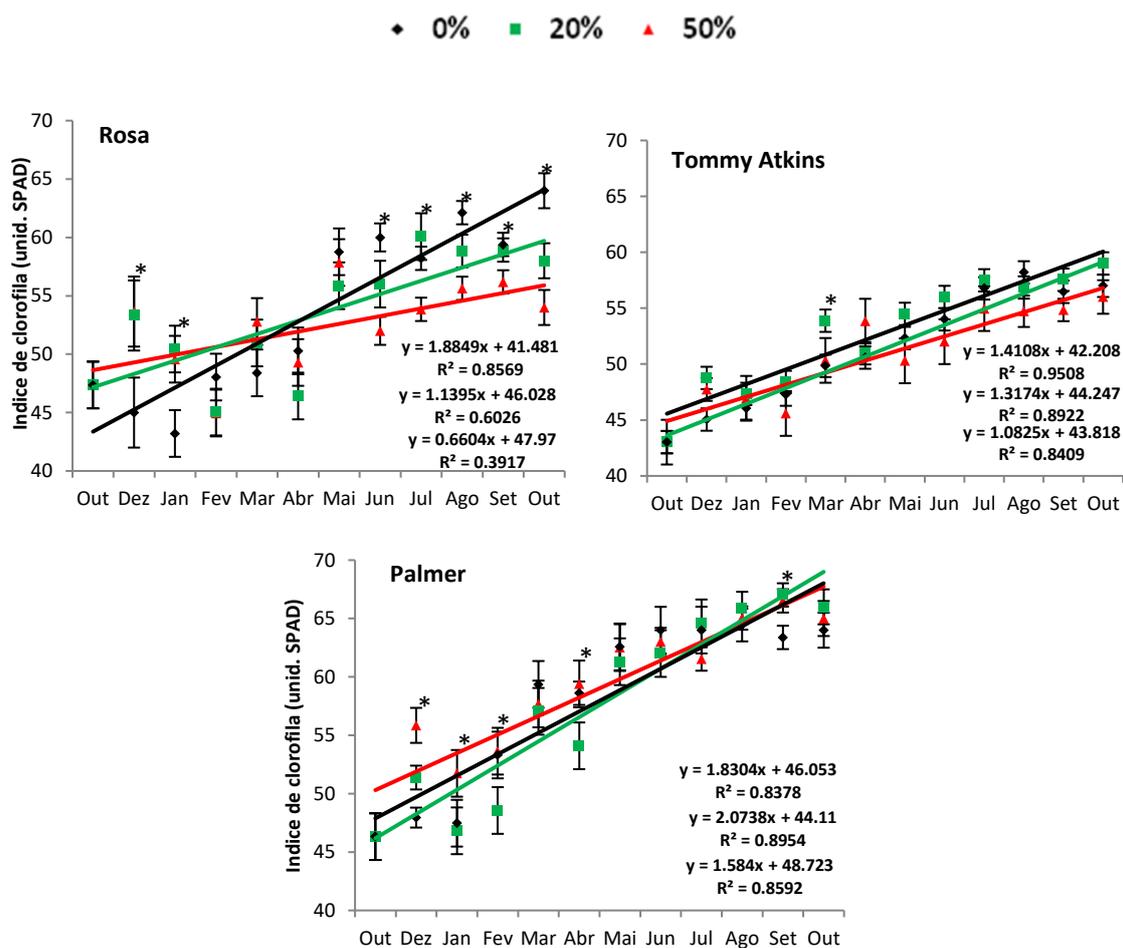


Figura 6: Teor de clorofila de folhas jovens totalmente expandidas em três cultivares de *Mangifera indica* L. avaliadas durante 12 meses (outubro 2016-2017). * Difere estatisticamente entre os tratamentos, no mesmo período, pelo teste Tukey ($\alpha=0.05$). Barras representam o desvio padrão (n=10)

6.3 Cinética da emissão da fluorescência da clorofila a

A figura 7 mostra típicas curvas O-J-I-P da cinética da fluorescência da clorofila a para todas as cultivares, demonstrando que as plantas avaliadas estavam fotossinteticamente ativas. As curvas foram normalizadas para se obter as diferenças cinéticas pela equação: $(\Delta W_{OP} = W_{OP(\text{tratamento})} - W_{OP(\text{controle})})$ sendo então possível comparar o comportamento fotoquímico de cada cultivar em relação aos diferentes tratamentos e fases da curva O-J-I-P.

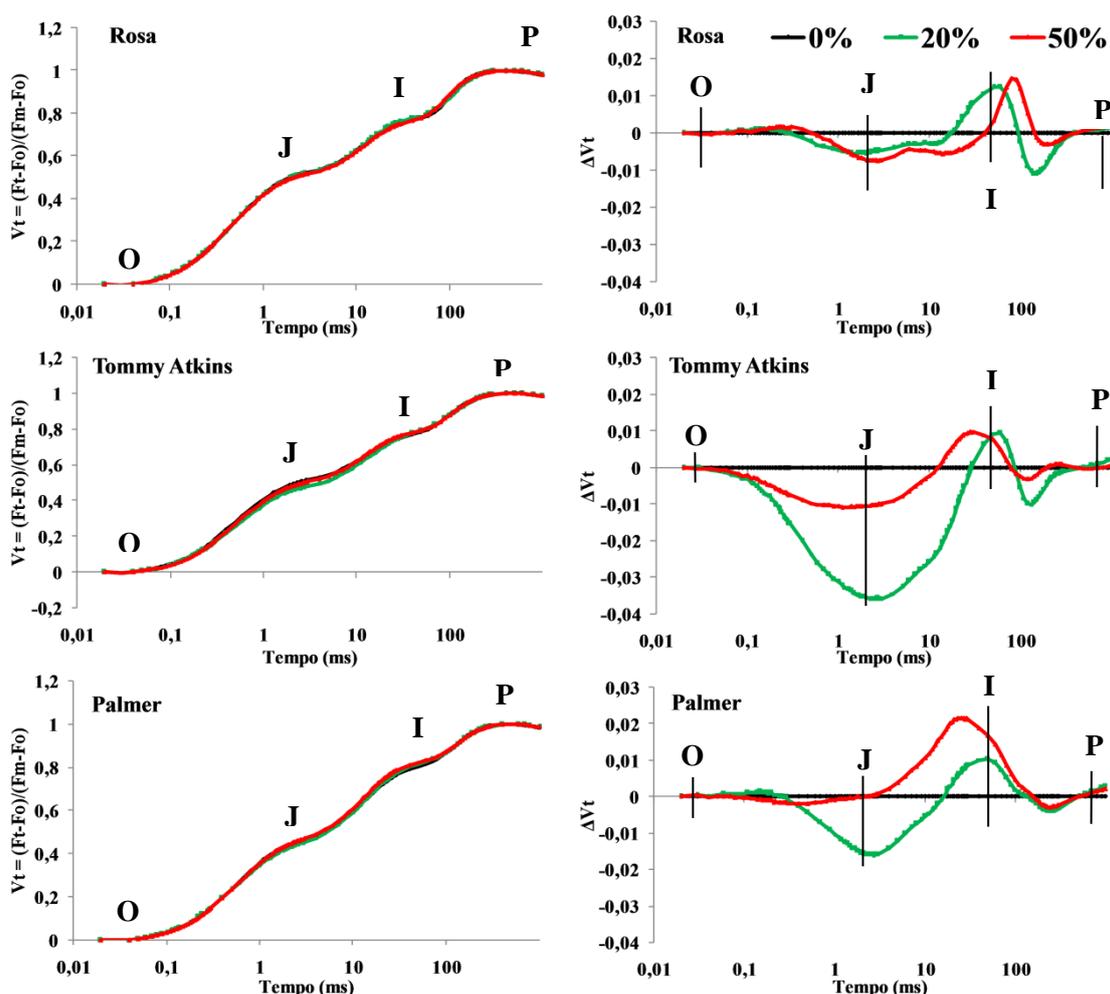


Figura 7: Curvas da indução rápida da fluorescência variável relativa da clorofila a e diferenças cinéticas normalizadas ($\Delta W_{OP} = W_{OP(\text{tratamento})} - W_{OP(\text{controle})}$) de três cultivares de *Mangifera indica* L., cv.Rosa, cv.Tommy Atkins e cv.Palmer. 0% = controle; 20% = substrato contendo 20% da lama do Rio Doce; 50% = substrato contendo 50% da lama do Rio Doce. O tempo está representado em escala logarítmica (ms). (n=10)

Na fase O-J, a cv.Rosa (Tratamento 20% e 50%), apresentou curvas positivas, evidenciando menor capacidade de reoxidação de Q_A^- , enquanto na cv.Tommy

Atkins observou-se curvas negativas, isto é, houve maior eficiência no processo de reoxidação de Q_A^- , tanto no tratamento 20% quanto no tratamento 50%. Ainda na fase O-J, a cv. Palmer apresentou curva positiva em 20% e negativa em 50% (Figura 7).

A diferença cinética ΔW_{OJ} evidenciou a banda K. Essa, quando positiva, é uma indicação da inativação do complexo de evolução do oxigênio (Figura 8). Observa-se que as cultivares Rosa no tratamento 50% e Palmer em 20% apresentaram bandas K positiva.

O passo O-K ($\Delta W_{OK} = W_{OK(\text{tratamento})} - W_{OK(\text{controle})}$), também revelou a presença da banda L na cv. Palmer (Tratamento 20%) e na cv. Rosa (Tratamento 20% e 50%) mais positiva do que o controle. Essa banda positiva sugere desconectividade entre as subunidades do FSII.

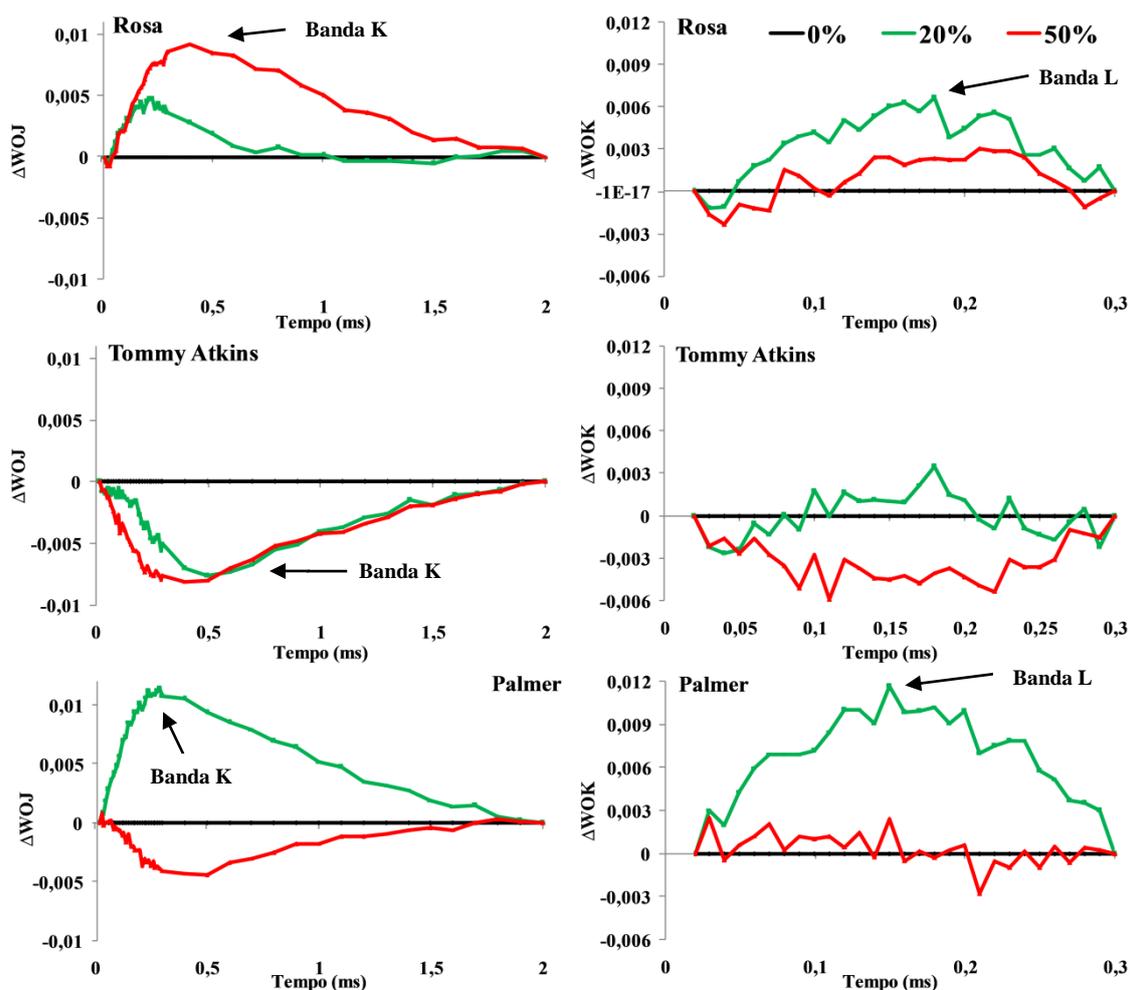


Figura 8: Diferenças cinéticas da fluorescência variável relativa evidenciando o aparecimento da banda K ($\Delta W_{OJ} = (\Delta W_{OJ(\text{tratamento})}) - (\Delta W_{OJ(\text{controle})})$) e banda L ($\Delta W_{OK} = (\Delta W_{OK(\text{tratamento})}) -$

($\Delta W_{OK(\text{controle})}$) durante as análises realizadas em plantas de três cultivares de *Mangifera indica* L. submetidas a três diferentes concentrações da lama, contendo resíduos de mineração, do Rio Doce. O tempo está representado em escala logarítmica (ms). (n=10)

A etapa J-I se refere a uma progressiva redução do “pool” de plastoquinona. Nessa fase, tanto a cv.Rosa quanto a cv.Tommy Atkins no tratamento 20% apresentaram curvas negativas (Figura 9).

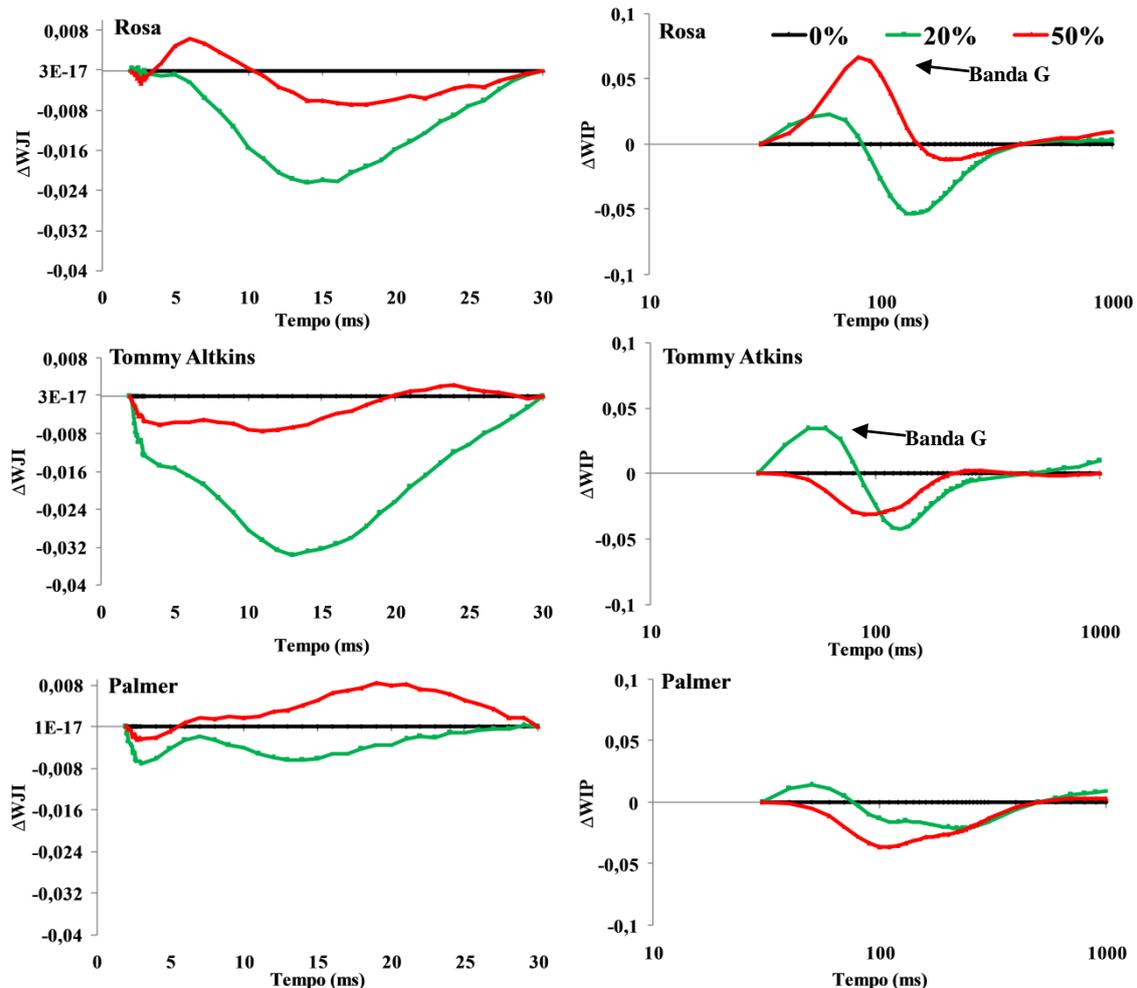


Figura 9: Diferenças cinéticas da fluorescência variável relativa entre as etapas J-I $\Delta W_{JI} = (\Delta W_{JI(\text{tratamento})}) - (\Delta W_{JI(\text{controle})})$ e I-P $\Delta W_{IP} = (\Delta W_{IP(\text{tratamento})}) - (\Delta W_{IP(\text{controle})})$ evidenciando o aparecimento da banda G. O tempo está representado em escala logarítmica (ms). (n=10)

A diferença cinética entre o passo I-P ($\Delta W_{IP} = W_{IP(\text{tratamento})} - W_{IP(\text{controle})}$), exibiu a presença da banda G (Figura 9). Essa banda foi 8,2% maior na cv.Rosa (Tratamento 50%) do que o controle, indicando ineficiência na redução da plastocianina (PC) e de P_{700}^+ no FSI (SILVA et al., 2011). A cv.Tommy Atkins

(Tratamento 20%) exibiu uma banda G, 4,7% mais positiva do que o controle, enquanto a cv.Palmer praticamente não apresentou variação nessa etapa.

Na figura 10 os transientes OJIP foram também transferidos para parâmetros biofísicos (STRASSER et al.,2004), os quais fornecem informações estruturais e funcionais dos FSII e FSI e permitem quantificar o desempenho dos componentes da cadeia transportadora de elétrons. Os significados dos parâmetros utilizados estão descritos na tabela 2.

Na figura 10A é observado um aumento na fluorescência inicial (F_0) na cv.Rosa nos substratos 20% e 50% traduzindo em danos na etapa inicial da cadeia transportadora de elétrons, e indicando alteração no complexo de evolução do oxigênio.Essa cultivar, nessas condições, reduziu tanto o rendimento quântico fotoquímico do FSII (ϕP_0), como a probabilidade que um éxciton capturado tem em mover um elétron na cadeia de transporte de elétrons de Q_A^- para Q_B (ψE_0). A eficiência das reações de oxi-redução do FSI ($\delta R_0/(1-\delta R_0)$) também foi seriamente afetada. Todo esse comportamento apresentado pela cv.Rosa submetidas aos rejeitos de mineração refletiu numa acentuada queda no índice de desempenho fotoquímico, tanto do FSII (PI_{ABS}) quanto de toda cadeia transportadora (PI_{TOTAL}) e no aumento da energia dissipada (DI_0/RC), esse último parâmetro pode também estar relacionado aos mecanismos de defesa da planta.

A cv.Tommy A. (Tratamento 20%) apresentou maior eficiência nas reações fotoquímicas após a redução de Q_A^- , esse tratamento também obteve o maior índice de desempenho fotoquímico total (PI_{TOTAL}). No entanto, no tratamento 50%, essa cultivar apresentou significativos danos nas reações de oxi-redução do FSI ($\delta R_0/(1-\delta R_0)$).

Os tratamentos utilizando os resíduos de mineração não afetaram a eficiência fotoquímica da cv.Palmer (Figura 10).

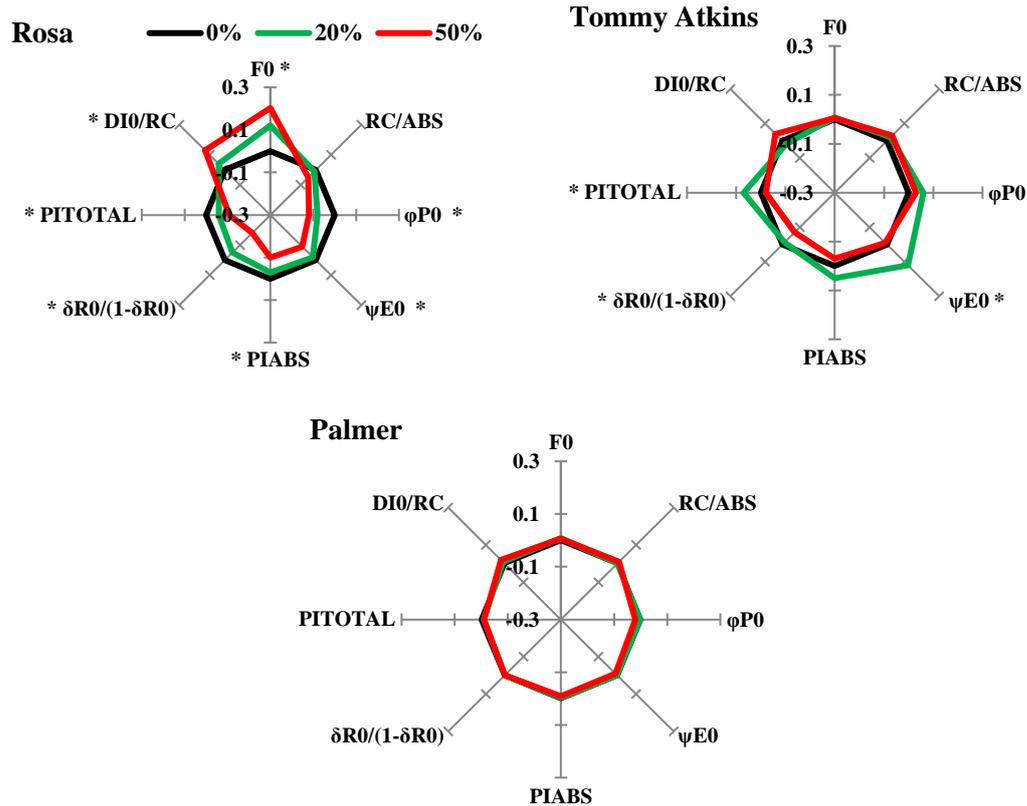


Figura 10: Parâmetros derivados do Teste JIP dos transientes de fluorescência da clorofila *a*, utilizando como referência o controle (0% = 1.0) de três cultivares de *Mangifera indica* L., Rosa, Tommy Atkins e Palmer induzidas pelas diferentes concentrações da lama, contendo resíduos de mineração, do Rio Doce. *Difere estatisticamente entre os tratamentos pelo teste Tukey ($\alpha=0.05$).

6.4 Análise de Crescimento

Observou-se que a cv. Rosa (Tratamento 50%) apresentou decréscimo no número folhas, enquanto na cv. Tommy Atkins somente houve diferença significativa no mês de abril e na cv. Palmer não foram registradas diferenças significativas em nenhum dos tratamentos (Figura 11).

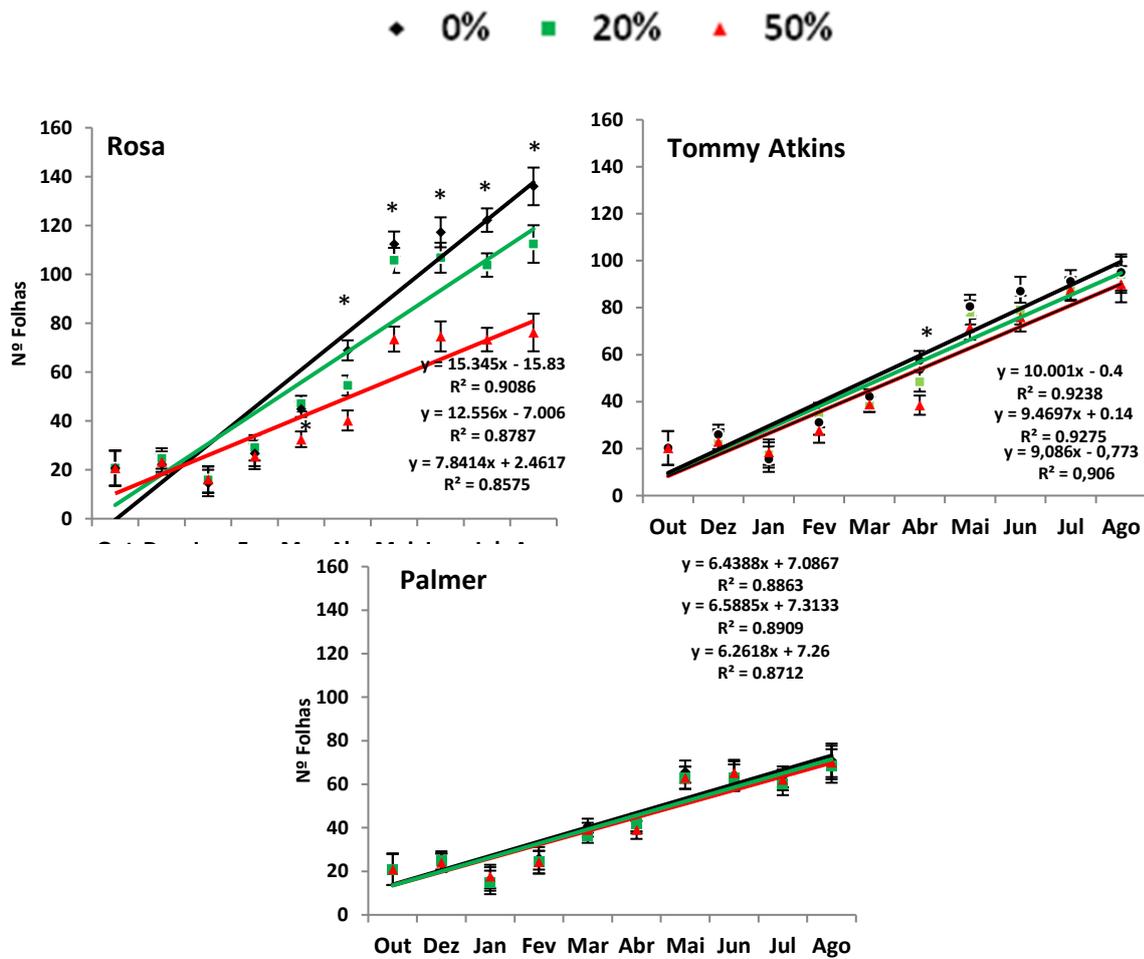


Figura 11: Número de folhas ao longo dos meses deste estudo de três cultivares de *Mangifera indica* L., Rosa, Tommy Atkins e Palmer cultivadas em diferentes concentrações da lama, contendo resíduos de mineração, do Rio Doce. *Difere estatisticamente entre os tratamentos pelo teste Tukey ($\alpha=0.05$). Barras representam o desvio padrão. (n=10).

O tratamento com 50% da lama do Rio Doce, contendo resíduos de mineração, provocou queda no crescimento em altura da parte aérea nas três cultivares porém, quando comparadas entre si, observa-se que a cv.Rosa foi a mais afetada, reduzindo significativamente, em quase todos os meses analisados, altura da parte aérea (Figura 12).

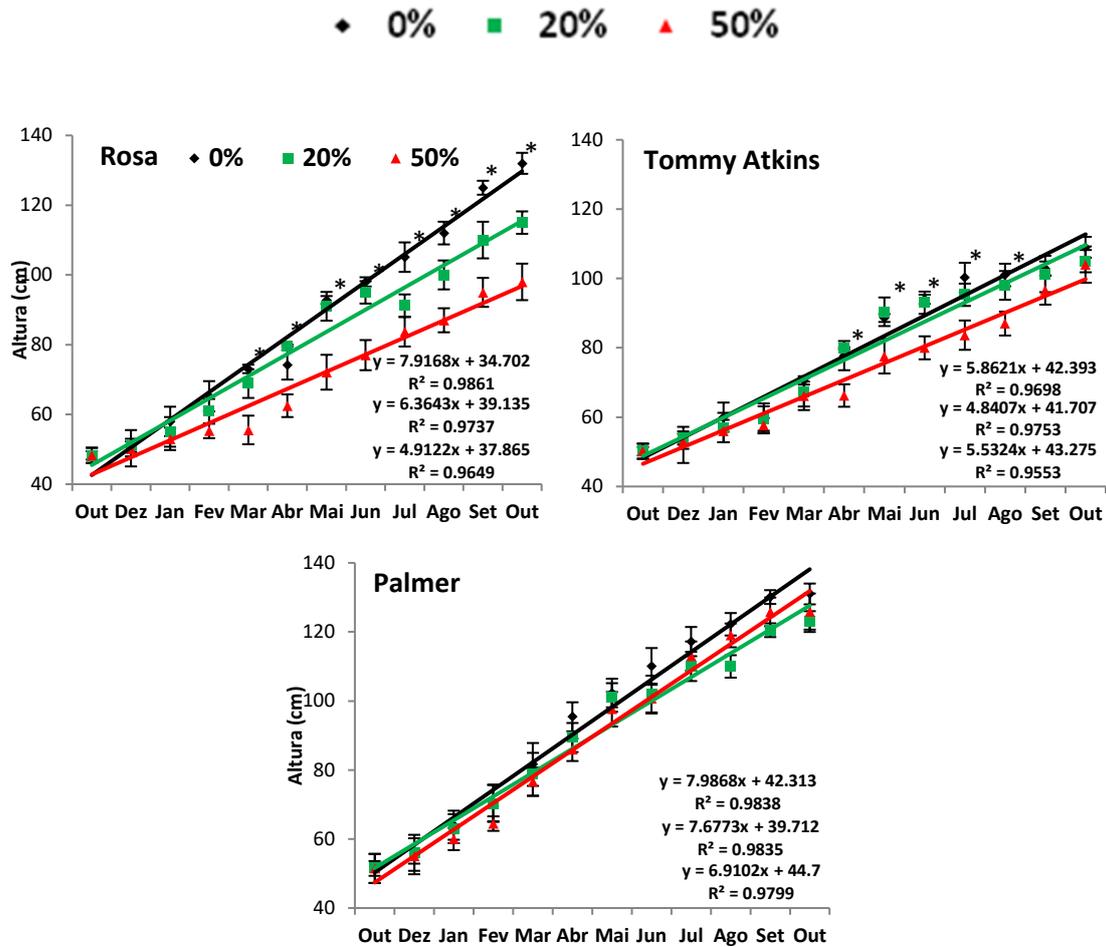


Figura 12: Altura da parte aérea ao longo dos meses deste estudo, de três cultivares de *Mangifera indica* L., Rosa, Tommy Atkins e Palmer cultivadas em diferentes concentrações da lama, contendo resíduos de mineração, do Rio Doce.*Difere estatisticamente entre os tratamentos pelo teste Tukey ($\alpha=0.05$). Barras representam o desvio padrão.(n=10)

A cv.Rosa também sofreu diminuição no crescimento do diâmetro do caule provocado pelo aumento da concentração da lama no substrato, enquanto que a cv.Palmer não apresentou diferenças significativas (Figura 13).

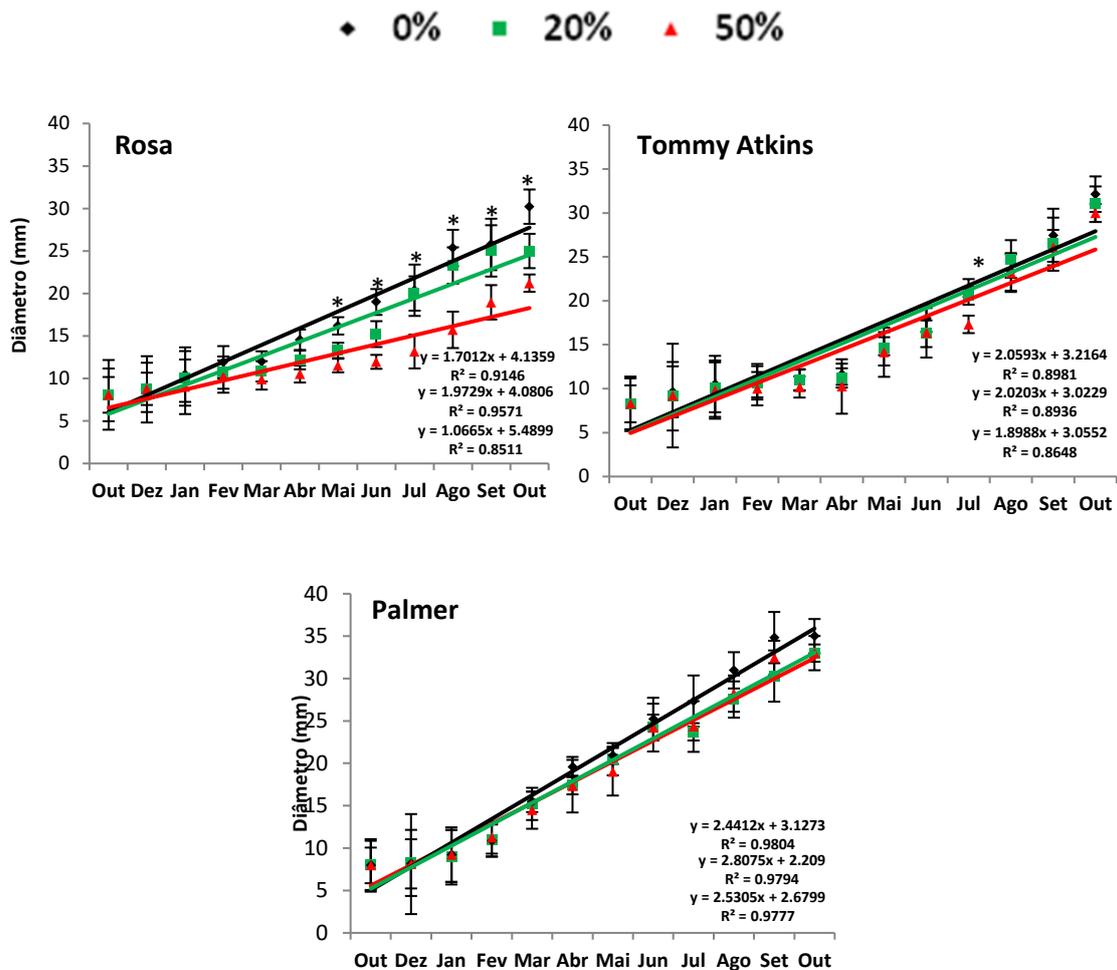


Figura 13: Diâmetro do caule ao longo dos meses desde estudo, de três cultivares de *Mangifera indica* L., cv.Rosa, cv.Tommy Atkins e cv.Palmer cultivadas em diferentes concentrações da lama, contendo resíduos de mineração, do Rio Doce.*Difere estatisticamente entre os tratamentos pelo teste Tukey ($\alpha=0.05$). Barras representam o desvio padrão.(n=10)

As cultivares Tommy Atkins e Palmer não apresentaram redução no índice de área foliar, enquanto a cv.Rosa quando cultivada no Tratamento 50% sofreu significativo decréscimo (Figura 14).

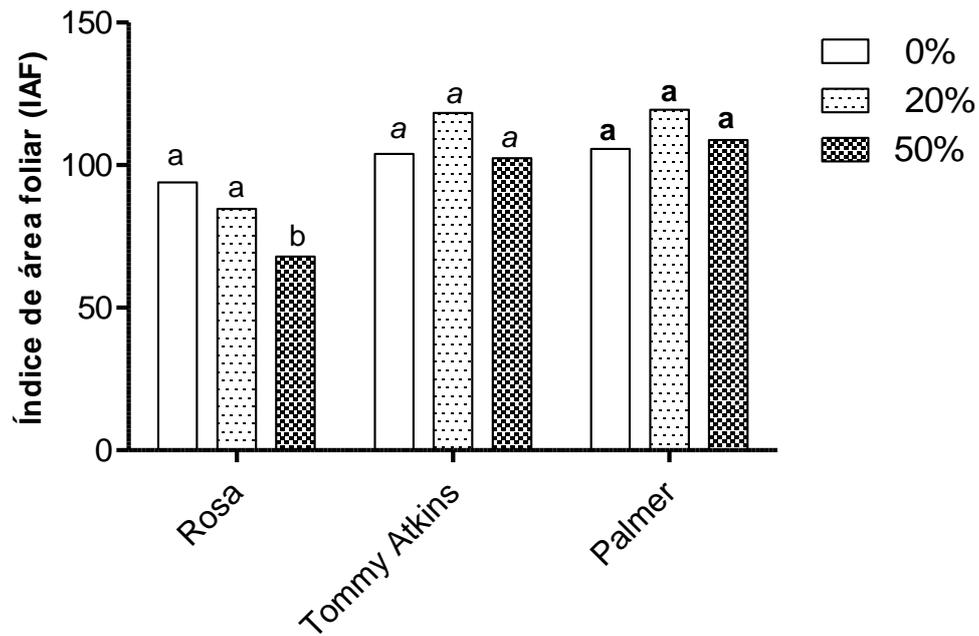


Figura 14: Índice de área foliar de três cultivares de *Mangifera indica* L. submetidas diferentes concentrações de lama do Rio Doce, contendo resíduos de mineração. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey na mesma cultivar. (n=10).

A figura 15 mostra que o tratamento com 50% de lama do Rio Doce, contendo resíduos de mineração, diminuiu significativamente a quantidade de frutos da cv.Rosa. Apesar das diferenças nos valores brutos das cultivares Tommy Atkins e Palmer, estatisticamente, a quantidade de frutos observado nos tratamentos foi igual.

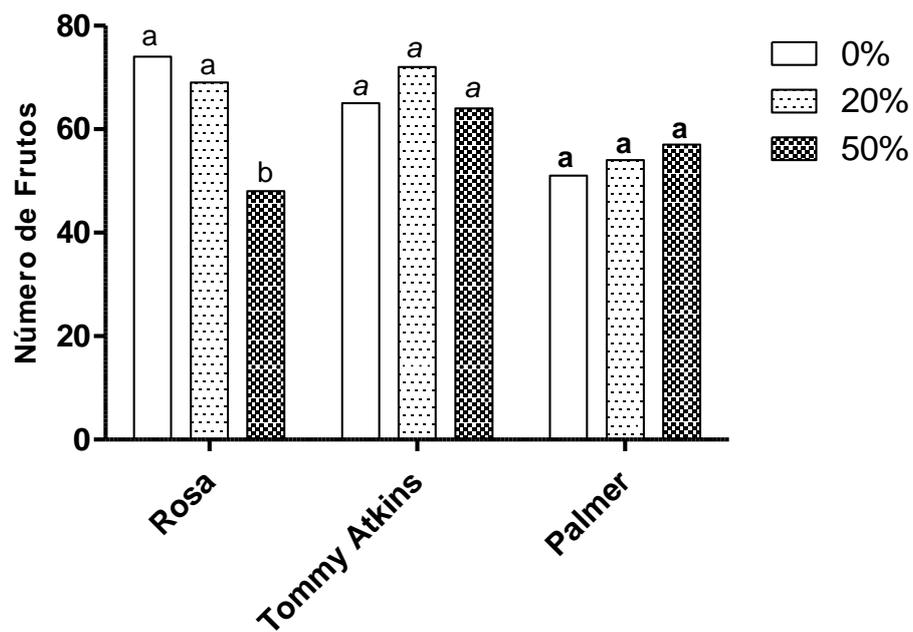


Figura 15: Número de frutos das cultivares de mangueiras: Rosa, Tommy Atkins e Palmer, submetidas a três diferentes concentrações da lama do Rio Doce, contendo resíduos de mineração. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey, para a mesma cultivar. (n=10)

7. DISCUSSÃO

Nesse trabalho as análises químicas dos substratos revelaram que alguns macros e micronutrientes disponíveis as plantas estavam tanto em excesso quanto em déficit. No entanto, após o desastre, a Embrapa avaliou dez pontos atingidos pela lama, e os resultados não evidenciaram toxicidade nas amostras coletadas, porém os pesquisadores afirmaram que, devido o elevado teor de silte e areia encontrado, a compactação do solo seria a principal problemática das regiões acometidas pelo desastre (EMBRAPA, 2016).

Solos com densidade próxima a $0,8 \text{ g/cm}^3$ já podem causar danos radiculares (SHUKOR et al., 2015). Nesse trabalho as análises revelaram que os resíduos de mineração aumentaram a densidade dos substratos, de modo que o tratamento que continham 50% da lama obteve densidade superior a 1 g/cm^3 (Figura 5). Os tratamentos conduzidos nessa densidade influenciaram de forma distinta tanto o crescimento, quanto a eficiência fotoquímica das cultivares Rosa, Tommy Atkins e Palmer. Evidenciando a suscetibilidade da cv.Rosa ao desbalanço nutricional causado pela compactação atribuída aos rejeitos de mineração.

Galli et al.(2009) trabalharam com 17 cultivares de mangueira e observaram que a cv.Rosa apresentou o maior desequilíbrio nutricional provocado por alterações físicas no solo. Segundo esses autores, estas alterações podem provocar tanto redução na disponibilidade de Mg, quanto aumento, em nível de toxidez, dos teores de Mn.

No presente estudo, as análises dos macros e micronutrientes foliares revelaram que a cv.Rosa (Tratamento 50%) apresentou tanto uma quantidade baixa de Mg ($1,31 \text{ g/kg}$ – valor ideal: $2,5 - 5,0 \text{ g/kg}$), quanto altos níveis de Mn. Isso poderia explicar a significativa queda no índice de clorofila, pois o Mg é essencial na formação dos pigmentos fotossintéticos que são responsáveis pela conversão da radiação luminosa em energia sob a forma de ATP e NADPH (TAIZ e ZAIGER, 2013). O Mn é um micronutriente e estava 22 vezes acima do recomendado para a cultura da mangueira (1645 mg/kg - valor

adequado: 50-100 mg/kg). Pode-se considerar então os níveis tóxicos de Mn que poderiam limitar o crescimento e o número de frutos da cv.Rosa.

Foi observada uma marcante redução nos parâmetros de crescimento em quase todos os meses de análise quando a cv.Rosa foi submetida ao tratamento 50% da lama.O limite imposto pela compactação ao sistema radicular comprometeu a assimilação do Mg e do Ca. Segundo Shukor et al. (2015) a redução da área de absorção radicular imposta pelo adensamento de partículas pode limitar o desenvolvimento do vegetal pela carência hídrica e nutricional mesmo que o solo apresente teores adequados de macro e micronutrientes.

Lowry et al. (2015) observaram que a altura e o diâmetro do caule são severamente afetados em estresse hídrico, isso porque o baixo volume de seiva inorgânica que passa nas células xilemáticas não favorece o intumescimento do caule e nem implementa o desenvolvimento da parte aérea. Os mesmos autores sugerem que o baixo fluxo hídrico e o consequente déficit nutricional estão relacionados com a redução tanto da área foliar quanto do número de folhas, fato que poderia explicar a significativa diminuição da área foliar e do número de folhas exibidos pela cv.Rosa quando submetida ao tratamento de 50%.

Diferente da cv.Rosa, as cultivares cv.Tommy Atkins e cv.Palmer apresentaram em suas folhas níveis adequados para a maioria dos macro e micro nutrientes (QUAGGIO et al.,1997). Esse resultado poderia ser uma das causas da pequena variação no crescimento dessas cultivares e da manutenção dos teores de clorofila quando submetidas ao aumento das concentrações da lama do Rio Doce contendo resíduos de mineração.

Kalaji et al. (2012), mesmo reconhecendo a importância dos teores de clorofila, sugerem que esses pigmentos fotossintéticos nem sempre expressam a estrutura do aparelho fotossintético e a capacidade fotoquímica das plantas. Os autores afirmam que a fluorescência da clorofila *a* é a forma mais confiável e simples para determinar a eficiência do transporte de elétrons e o rendimento fotoquímico. Esta ferramenta é freqüentemente utilizada na seleção de

cultivares tolerantes a ambientes alterados (JIN et al. 2015; KALAJI et al. 2017; LARBI et al., 2010; REDILLAS et al., 2012; SHMIDT, 2003). No entanto, são poucos os trabalhos que o utilizam em condições naturais de solo, onde várias relações de excesso e carência nutricional são estabelecidas (KALAJI et al. 2017), como registrados neste trabalho.

Considerando que as alterações na fluorescência podem mostrar a ausência ou a presença de danos no processo fotossintético (STRASSER et al., 2000) foi possível registrar que as cultivares Tommy Atkins e Palmer não apresentaram diminuição na eficiência fotoquímica quando submetidas ao tratamento utilizando 50% dos resíduos de mineração.

As diferenças cinéticas apresentadas pelas cultivares Rosa, Tommy Atkins e Palmer na fase O-J revelaram que a cv. Rosa (Tratamentos 20% e 50%) exibiu inferior atividade fotoquímica por apresentar curvas positivas, o que significa dizer que as reações rotativas de oxirredução da Q_A nas etapas iniciais do processo fotoquímico não estavam ocorrendo de forma positiva e foram comprometidas pelos resíduos de mineração. No entanto, nessa mesma fase, a cv. Tommy Atkins (Tratamentos 20% e 50%) e a Palmer (Tratamento 50%) apresentaram maior eficiência fotoquímica em relação ao controle. Esta etapa é, em grande parte, impulsionada pelas reações primárias da etapa fotoquímica, sendo característico de plantas sensíveis sob estresse, diminuir sua eficiência, enquanto as tolerantes são capazes de potencializá-la visando superá-lo (BUCKER et al., 2010). Pode-se sugerir, portanto, que as cultivares Tommy Atkins e Palmer possuem mecanismos eficientes para superar o estresse, seja da compactação do solo ou do estresse nutricional.

A cultivares Rosa (Tratamento 20% e 50%) também se destacaram por apresentar bandas K e L positivas, indicando, respectivamente, a inativação dos centros de evolução de oxigênio (CEO) e uma menor conectividade energética entre das unidades do FSII (CHEN et al., 2016).

Os aspectos estruturais e funcionais do FSII são constantemente afetados por condições ambientais adversas, de acordo com Dos Santos et al. (2013), essa sensibilidade é devida a degeneração da proteína D1. A recuperação dessa estrutura exige um contínuo gasto energético (KALAJI et al., 2017). Entretanto,

como foi visto, a compactação limita a nutrição das plantas, impedindo a reabilitação das estruturas do FSII.

O aumento da intensidade da fluorescência da clorofila *a* observada entre os passos I-P na cv.Rosa (Tratamento 50%) denota a dupla redução da plastocianina e de P_{700} no FSI (SILVA et al., 2011). A diferença cinética encontrada entre esses pontos evidenciou a banda G positiva. Araújo et al., (2016) observaram que a temperatura pode alterar a amplitude da fase I-P, porém, no presente trabalho foram registrados o aparecimento da Banda G em elevados níveis de compactação do solo e estresse nutricional (deficiência de Mg e toxidez de Mn) sugerindo, portanto que estes estresses também podem alterar a amplitude da fase I-P e induzir o aparecimento da banda G.

Os parâmetros biofísicos do teste JIP deram suporte os resultados das curvas de indução da fluorescência mostrando que a cv.Rosa apresentou danos fotoinibitórios que afetaram tanto o PI_{ABS} (Índice de desempenho do FSII), quanto o PI_{TOTAL} (Índice de desempenho fotoquímico total). Alterações nesses parâmetros provocados pela compactação do solo também foram observadas em mudas de *Azadirachta excelsa* por SHUKOR et al.,(2015).

O PI_{ABS} expressa toda a atividade do FSII, sendo freqüentemente utilizado como um indicador de vitalidade da planta, nas mais variadas condições ambientais (STIRBET, A. et al., 2014). A partir das alterações do PI_{ABS} tem sido possível classificar populações, com base em seus níveis de tolerância. O PI_{ABS} é o produto de três parâmetros do Teste JIP: ϕP_0 , ΨE_0 e γRC . Um desbalanço em um destes parâmetros pode ocasionar um maior ou menor valor para esse índice de desempenho. O rendimento quântico fotoquímico do FSII (ϕP_0) e a eficiência das reações fotoquímicas após a redução de Q_A^- (ΨE_0) foram os parâmetros que mais contribuíram para que a cv.Rosa, submetida ao tratamento 50%, apresentasse acentuada redução na eficiência fotoquímica do FSII. A alta sensibilidade desses parâmetros ao estresse foi também observada por Farias et al.(2017) trabalhando com a cultivar Ubá de *Mangifera indica* L., em que tanto o ϕP_0 , quanto ΨE_0 evidenciaram alterações na eficiência fotossintética provocadas pelo calor. Os mesmos autores também destacaram a importância do índice de dissipação de energia (Di_0/RC) na detecção do

estresse térmico. No presente trabalho, de modo semelhante, observou-se que as plantas da cv.Rosa também aumentam a taxa de dissipação de energia por centro de reação quando submetida aos efeitos da compactação do solo evidenciando um mecanismo fotoprotetor à fotoinibição da fotossíntese podendo ser considerado um potencial marcador fisiológico (KALAJI et al. 2017).

O produto de PI_{ABS} e δR_0 gera o índice de desempenho total da etapa fotoquímica da fotossíntese (PI_{TOTAL}), parâmetro que traz informações sobre todas as etapas da cadeia transportadora de elétrons. Sendo descrito por Chen et al. (2017) como o mais importante parâmetro dentre aqueles oferecidos pelo teste JIP. Significativos danos nas reações de oxi-redução do FSI (δR_0) contribuíram para que a cv.Rosa (Tratamento 50%) exibisse baixo índice do desempenho total das reações fotoquímicas (PI_{TOTAL}). A influência negativa causada pelos danos nas reações do FSI também foi observada por Martins (2015) trabalhando com mudas de eucalipto. O autor sugere que os danos no FSI são menos comuns do que no FSII e reforça as afirmativas de Strasser et al. (2010), Tsimilli-Michael e Strasser (2013) e Chen et al. (2016) de que quando o FSI está comprometido é sinal de que a eficiência das reações fotoquímicas da fotossíntese foi severamente afetada.

Outro parâmetro que forneceu informações importantes a respeito do comportamento fotoquímico das cultivares foi a fluorescência inicial (F_0), mostrando que a cv.Rosa nos tratamentos de 20% e 50% sofreu um aumento significativo nos valores de F_0 à medida que elevou-se a concentrações da lama do Rio Doce, contendo resíduos de mineração, enquanto as cultivares Tommy Atkins e Palmer não apresentaram variações significativas. Esse parâmetro é referência para a determinação das outras variáveis da fluorescência, seu valor pode aumentar caso os centros de reação do FSII estejam comprometidos, ou se a transferência da energia de excitação da antena para os centros de reação estiver prejudicada (KALAJI et al., 2017). Perboni et al. (2013) também observaram que condições ambientais desfavoráveis, como baixas temperaturas podem alterar a estrutura dos pigmentos fotossintéticos do FSII, e aumentar os valores de F_0 . Kalaji et al.,(2017) mostraram que, quando em excesso, o Mn pode comprometer a

quebra da molécula de água e a liberação dos elétrons na cadeia transportadora aumentando os valores de F_0 , fato confirmado neste experimento onde a toxidez do Mn foi detectada nas análises foliares.

Os resultados da eficiência fotoquímica das copas das cultivares corroboraram com a quantidade de frutos iniciais produzidos pelas cultivares (Tabela 4), de modo que a cv.Rosa (Tratamento 50%) que expressou os maiores danos fotoinibitórios e morfológicos aos efeitos dos resíduos de mineração foi a única a apresentar menor quantidade em resposta a contaminação. Costa e Soares (2013) trazem que solos compactados causam deficiência hídrica e tem retardado tanto o desenvolvimento da planta quanto reduzido a produtividade e a qualidade dos frutos da mangueira. Os mesmos autores relatam que cultivares tolerantes a esse tipo manejo tem colaborado para diminuir os custos de cultivo.

Considerando que as cultivares utilizadas nesse trabalho estavam condicionadas ao mesmo porta-enxerto (cv.Óleo) as respostas obtidas, seja ela fisiológica ou morfológica ao estresse submetido, permitiu avaliar possíveis alterações promovidas pela eficiência fotoquímica das cultivares, revelando tanto a vitalidade das cultivares Tommy Atkins e Palmer, quanto a suscetibilidade da cv.Rosa.

8. CONCLUSÃO

Os dados da fluorescência transiente da clorofila *a* permitiu obter uma ampla visão sobre as mudanças funcionais e estruturais ocorridas nos fotossistemas das plantas de *Mangifera indica* L. condicionadas ao solo com lama do Rio Doce, contendo resíduos de mineração.

Os componentes do PI_{ABS} (ϕP_0 , ΨE_0 e γRC) e do PI_{TOTAL} (PI_{ABS} e δR_0), a fluorescência inicial (F_0) e o coeficiente de dissipação (DI_0/RC) foram os parâmetros biofísicos mais representativos para demonstrar os danos fotoinibitórios causados pelos resíduos de mineração oriundos do leito do rio Doce.

As análises de fluorescência deram suporte às análises de crescimento revelando estatisticamente os mecanismos de tolerância das cultivares Tommy Atkins e Palmer, e a suscetibilidade da cv. Rosa aos efeitos da contaminação.

9. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, T.S. **Avaliação da tolerância ao calor de diferentes acessos de *Jatropha curcas* L.** 2016. 51 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal). Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal, Universidade Federal de do Espírito Santo, ES.

BALLY, I.S.E. Advances in research and development of mango industry. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.33. p.14-21, n.1, 2011.

BARBA, M. D. Mesmo sem ser tóxica, lama de barragem em Mariana deve prejudicar ecossistema por anos. **BBC Brasil**. p.14-17, 2015. Disponível em: http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/11/151107_barragem_mariana_mdb_fd. Acessado em: 13 de jan. 2018.

BURKE, D.G., WATKINS, K., SCOTT, B.J.: Manganese toxicity effect on visible symptoms, yield, manganese levels and organic acid levels in tolerant and sensitive wheat cultivars. **Crop Science**. v.30, p.275-280, 1990.

CAMPOSTRINE E. Fluorescência da clorofila a: **Considerações teóricas e aplicações prática**. Universidade Estadual Fluminense. Apostila, n.3, v.2, p.125-137, 2001.

CARDOSO, J.E.; CAVALCANTI, J.J.V.; CYSNE, A.Q.; SOUSA, T.R.M. de; CORRÊA, M.C. de M. Interação enxerto e porta-enxerto na incidência da resinose do cajueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.32, p.847-854, 2010.

CHEN, S.; YANG, J.; ZHANG, M.; STRASSER, R. J.; QIANG, S. Classification and characteristics of heat tolerance in *Ageratina adenophora* populations using fast chlorophyll a fluorescence rise OJIP. **Environmental and Experimental Botany**. v. 122, p. 126-140, 2016.

COSTA, A. M.; GOBBI, E. L.; DEMUNER, V. G.; HEBLING, S. A. O efeito da inundação do solo sobre o crescimento inicial de *Schizolobium parahyba* (Vell.) **Natureza online**. v. 4, n. 1, p. 7-13, 2006.

COSTA, J.G; SANTOS, C.A.F. Principais cultivares de manga para as condições do vale do São Francisco. **Boletim técnico Embrapa**. p.32, 2004.

COSTA, J. G.; SANTOS, C. A. F. Cultivares. In: MOUCO, M. A. (Ed.). O cultivo damangueira. **Boletim técnico Embrapa**. p.15, 2010.

COSTA, E.F.; SOARES, J.M. Estresse hídrico em mangueira a nível de propriedade. Petrolina. **Boletim técnico Embrapa**. p.11, 2013.

DEMETRIOU, G.; NEONAKI, C.; NAVAKOUDIS, E.; KOTZABASIS, K. Salt stress impact on the molecular structure and function of the photosynthetic apparatus: The protective role of polyamines. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1767, p. 272–280, 2007.

DOS SANTOS, C.M.; VERISSIMO, V.; FILHO, H.C.L.W.; FERREIRA, V.M.; CAVALCANTE, P.G.S.; ROLIM, E.V.; ENDRES, L. Seasonal variations of photosynthesis, gas exchange, quantum efficiency of photosystem II and biochemical responses of *Jatropha curcas* L. grown in semi-humid and semi- arid areas subject to water stress. **Industrial Crop sand Products**. v.41, p.203-213, 2013.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Centro Nacional de Pesquisa de Solos, **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa, p. 212, 1997.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária).Economia ecológica e institucionalidade ambiental em tempos de crise. **XII encontro nacional da sociedade brasileira de economia ecológica**. n.16, v.22, p.44-55, 2017- Disponível em: http://rsc//asset_publisher/ha73uemvrog/content/id/27577148. acessado em 29/01/2018.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). **The state of food and agriculture**. p.12-13, 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/018/i3300e/i3300e00.htm>>. Acesso em: 03 de nov. de 2017.

FARIA-SILVA, L.; GALLON, C. Z.; PURGATTO, E.; SILVA, D.M. Photochemical metabolism and fruit quality of Ubá mango tree exposed to combined light and heat stress in the field. **Acta Physiologiae Plantarum**. V. 39, p.238, 2017.

FAVERO, L. A. **A Cultura da Manga no São Francisco**: Posicionamento, Limites, Oportunidades e Ações Estratégicas. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, p.232, 2008.

FEICHTENBERGER, E.; BASSANEZI, R.B.; SPÓSITO, M.B.; BELASQUE, J. Doenças dos citros (*Citrus* spp). **Manual de fitopatologia**: doenças das plantas cultivadas. São Paulo: Agronômica Ceres. v. 2, p. 475-476, 2005.

FERRARI, J.T.; DOMINGUES, R.J.; TÖFOLI, J.G.; NOGUEIRA, E.M.C. **Antracnose associada às fruteiras**. p.25-29, 2011. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2011_4/antracnose/index.htm>. Acessado em: 30/01/2018.

FILGUEIRAS, H. A. C. Manga pós colheita. **Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia**. v.8, p.40, 2000.

FOY, C.D.; SCOTT, B.J.; FISHER, J.A. Genetic differences in plant tolerance to manganese toxicity. **Manganese in soil sand plants**. v.14, p.293-307, 1988.

GALLI, J.A; SILVEIRA, L.C.P; MICHELOTO, M.D; MARTINS, A.L.M. Avaliação da incidência de antracnose, do desempenho e estado nutricional de variedades de mangueira, para cultivo orgânico, na região centro-norte do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 31, n 3, p.701-709, 2009.

GUIDI L. e CALATAYUD A. Non-invasive tools to estimate stress-induced changes in photosynthetic performance in plants inhabiting Mediterranean áreas. **Environmental and Experimental Botany**. v.22, p.114-124, 2014.

HATJE, V.; PEDREIRA, R.M.A.; DE REZENDE, C.E.; SCHETTINI, C.A.F.; DE SOUZA, G.C.; MARIN, D.C.; HACKSPACHER, P.C. The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide. **Scientific Reports**. v.12, p.84-98, 2017.

HERNÁNDEZ, K. V. A. Alterações na atividade fotossintética em folhas do mamoeiro 'golden' infectadas com PMeV, detectadas por meio da fluorescência da clorofila a. 2017. 44 f. **Dissertação (Mestrado em Biotecnologia)**. Programa de Pós-graduação em Biotecnologia do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Espírito Santo, ES.

HIPKINS, M.F.; BAKER, N.R. In: **Photosynthesis-energy transduction: A practical approach**. p. 51-54, 1986.

HORA, R. C. da. Avaliação de pepineiro enxertado em diferentes ambientes. 2006. 80 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – **Faculdade de ciências agrônômica da Universidade Estadual Paulista, Botucatu**, 2006.

INCAPER (Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural). Polo de Manga para a Indústria no Estado do Espírito Santo. **Documento nº 181. 3 ed.** p.14, 2009.

JIN, K.; SHEN, J. I.; RHYS, W.; RODGER, P.; WHITE, I. C.; MARTIN, A. J.; PARRY, D. C. The effect of impedance to root growth on plant architecture in wheat Plant Soil. **Springer**. p. 323–332, 2015..

JÚNIOR, J. C. M. ; SOBRINHO, W. L.; SOUTO, J. S. Diagnose foliar e translocação de nutrientes em plantas de *Bixa Orellana L.* **Revista Acadêmica Ciências Agrárias Ambiente**. v. 6, n. 1, p. 51-56, 2008.

KALAJI, H. M.; GOLTSEV, V.; BOSA, K.; ALLAKHVERDIEV, S. I.; STRASSER, R. J.; Govindjee. Experimental in vivo measurements of light emission in plants: a perspective dedicated to David Walker. **Photosynthesis Research**, v.114, n.2, p.69-96, 2012.

KALAJI, H. M.; JAJOO, A.; OUKARROUM, A.; BRESTIC, M.; ZIVACK, M.; SAMBORSKA, I. A.; CETNER, M. D.; LUKASIK, I.; GOLTSEV, V.; LADLE, R. J. Chlorophyll fluorescence as a tool for nutrient status identification in rapeseed plants. **Photosynthesis Research**. V,14, n.5 p.124-131, 2017. Acessado em dezembro de 2017, Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11120-017-0467-7>.

KALAJI, H.M.;SCHANSKER,G; BRESTIC,M.; BUSSOTTI, F.; CALATAYUD, A.; FERRONI,L.; GOLTSEV,V.; GUIDI,L.; JAJOO, A.; LOSCIALE,P.; MISHRA,V.K.; MISRA, A.N.; NEBAUER, S.G.; PANCALDI, S.; PENELLA,C.; POLLASTRINI, M.; SURESH,K.;TAMBUSSI, E.; YANNICCARI, M.; ZIVCAK,M.;. CETNER 21; IZABELA,M.D.A; STIRBET, A; WOJCIECH,B.A. Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. **Photosynthesis Research**, v.132, p.13–66, 2017.

KAUTSKY, H.; ZEDLITZ, W. Fluoreszenzkurven von Chloroplasten-Grana.**Springer-Verlag**. v.29, n.7, p. 101-102, 1944.

LARBI A., MORALES F., ABADÍA A., ABADÍA J. Changes in iron and organic acid concentrations in xylem sap and apoplastic fluid of iron-deficient *Beta vulgaris* plants in response to iron resupply. **J. PlantPhysiol**. p.34-40, 2010.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Editora: São Carlos: RIMA, p. 531, 2000.

LEUSTEK, T.; MARTIN, M. N.; BICK, J. A.; DAVIES, J. P. Pathways and regulation of sulfur metabolism revealed through molecular and genetic studies. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 51, p.141-165, 2000.

LI, X.; ZHANG, L. Endophytic infection alleviates Pb²⁺ stress effects on photosystem II functioning of *Oryza sativa* leaves. **Journal of Hazardous Materials**. v. 295, p. 79-85, 2015.

LOWRY, D.B.; HERNANDEZ, K.; TAYLOR, S.H.; MEYER, E.; LOGAN, T.L.; BARRY, K.W.; CHAPMAN, J.A.; ROKHSAR, D.S.; SCHMUTZ, J.; JUENGER, T.E. The genetics of divergence and reproductive isolation between ecotypes of *Panicum hallii*. **New Phytol**. v.205, p.402-414, 2015.

MACKIN, M.; MULLER, J.K.; KEEPER, G.J.; LEEPER, P.D. The chemical and physical impacts of recent mine tailing dam failures on river system: key issues for sustainable catchment management in former and present metal mining areas.**Proceedings of a Seminar on Proposed eu Directive on MiningWaste**. p.18-24, 2002.

MAIA, A.L.; LOPES, E.G.M; SOUZA, J.M.T.; SOUZA, C.; Estudo analítico sobre o desastre ambiental da mineradora samarco na cidade de Mariana-Mg. **14º Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas**. p.36, 2017.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas, princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS. p.319, 1997.

MARENCO, R.A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal**. Fotossíntese, Respiração, Relações hídricas e Nutrição Mineral. 3.ed. Universidade Federal de Viscosa, v.2, p. 94-102. 2013.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London, New York: Academic Press. v.3, p.889, 1995.

MARTINS, L. D. **Implicações das alterações ambientais em coffea spp**. 155 f. Dissertação (Doutorado em Produção Vegetal). Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de do Espírito Santo, ES. 2015.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.

MEDEIROS, A.A. de; AMORIM, J.R.A. de; SILVA, D.J.; GUEDES, F.X.; GUERRA, A.G.; DANTAS, J.A. **Composição mineral de folhas e exportação de nutrientes pelos frutos de mangueira, em cultivo irrigado, no Rio Grande do Norte**. p. 13, 2003.

MEIRELLES, J.C.; FLORES, A.M.; CARDOSO, F.G.; SILVA, E.R.; FERREIRA. I.U. Boletim informativo da tragédia de Mariana. **Ibama**. p.51 2017.

MORALES-FLORES, F.; AGUILAR, M.I.; KING-DÍAZ, B.; LOTINA-HENNSSEN, B. Derivatives of diterpen labdane-8a, 15-diol as photosynthetic inhibitors in spinach chloroplasts and growth plant inhibitors. **Journal of Photochemistry and Photobiology**, v.125, p.42-50, 2013.

NAGAJYOT, P. C. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants. **Environmental Chemistry Letters**, Cham: Springer International Publishing. v. 8, p.199-216, 2010.

OUKARROUM, A.; SCHANSKER, G.; STRASSER, R.J. Drought stress effects on photosystem I content and photosystem II thermotolerance analyzed using Chla I fluorescence kinetics in barley varieties differing in their drought tolerance. **Physiologia Plantarum**, v. 137, p. 188-99, 2009.

PASSIOURA, J B. Soil conditions and plant growth. **Plant cell e environment**. v.25, p. 311-318, 2002.

PERBONI, A.T; BACARIN, M.A; MARTINAZZOI, E.G;SILVA, D.M. Baixas temperaturas sobre a fluorescência da clorofila a em plantas de diferentes híbridos de canola. **Ciência Rural, Santa Maria, Online**. Departamento de Botânica, Instituto de Biologia, Laboratório de Metabolismo Vegetal, Universidade Federal de Pelotas (UFPEL).Capão do Leão, RS, Brasil,2015.

PINTO, A.C. de Q. Teoria e prática no cultivo da manga.**Embrapa Cerrados**. p.39, 2000.

PINTO, A.C. de Q. A produção, o consumo e a qualidade da manga no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.24, n.3, p.597, 2002.

PIMENTEL, M.P; BAYÃO, G.F.V. Ecofisiologia de plantas forrageiras. **Pubvet**, v. 10, p. 636-720, 2016.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. V.; PIZA JUNIOR, C.T. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. **2ª ed. Campinas: Instituto Agrônômico**. p. 121-130, 1997.

QUAGGIO, J. A.; RAMOS, V.J. Respostas da batatinha à calagem, e boro. **Revista Brasileira de Ciências do solo**, v.10, p. 247-251, 1986

RAYZHAUDHURI,S. S. The role ofsuperoxide dismutase in combatingoxidative stress in higherplants. **The Botanical Review**, v.66, p. 89-98, 2000.

REDILLAS, J.S.; JEONG, Y.S.; KIM, H.; JUNG, S.W.; BANG, Y.D.; CHOI, S.H.; REUZEAU, J.K. The overexpression of *Os NAC9* alters the root architecture of rice plants enhancing drought resistance and grain yield under field conditions. **Plant Biotechnol J.** v.10, p. 792-805, 2012.

RODRIGUES, L. A.; SOUZA, A. P., MARTINEZ, H. E. P.; PEREIRA P. R. G.; FONTES P.C.R. Absorção e translocação de zinco em feijoeiro aplicado via foliar. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 9, p. 111-115, 1997.

ROSSI, M.S. **Respostas fisiológicas do maracujazeiro (*Passiflora edulis*) ao alagamento**, 2011. 47 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal). Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2011.

SAAE (SERVIÇO AUTONOMO DE ÁGUA E ESGOTO) DE BAIXO GUANDU, ES- **Relatório analítico parcial**. p.14, 2015. Disponível em <<http://www.r7.com/r7/media/pdf/relatorio-lama.pdf>>. Acessado em 27/setembro de 2017.

SAÚCO, V. G. El cultivo del mango. Editora: **Madrid**. p.298, 2016.

SBCS (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIENCIAS DO SOLO). A ciência do solo e o desastre de Mariana. **Boletim informativo issn 1981-979x**. v.42 n.1, 2016.

SCHMIDT, Wolfgang. Iron solutions: acquisition strategies and signaling pathways in plants. **Plant Science**. Vol. 8, n. 4, p. 188-193, 2003.

SCHOCK A.A; RAMM A; MARTINAZZO E.G; SILVA D.M e BACARIN M.A. Crescimento e fotossíntese de plantas de pinhão-mansão cultivadas em diferentes condições de luminosidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.18, n.1, p.3–9, 2014

SEBRAE. Agronegócio e fruticultura. **Boletim informativo**. P.13, 2015.

SEBRAE. O cultivo e o mercado da manga. Editora: **Carmelo**, p.214-216 2016.

SHEVELA, D.; BJORN, L.O; GOVINDJEE. Oxygenic Photosynthesis. **Natural and Artificial Photosynthesis**. p.25, 2013. DOI: 10.1002/9781118659892.ch2.

SHUKOR, N. Effects of soil compactation on growth and physiological characteristics of azadirachtaexcelsa seedlings. **American Jornal of plant physiology**. p.25-42, 2015.

SILVA, D.J.; LIMA, M.F. Influência de húmus de minhoca e de esterco de gado na concentração foliar de nutrientes e na produção de manga 'Tommy Atkins'. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v.23, n.3, p.748-751, 2001.

SILVA, AR. da. Melhoramento genético para resistência à toxidez de alumínio e manganês no Brasil: antecedentes, necessidades e possibilidades. **Ciência e Cultura**. São Paulo,v.28, n.2, p.147-149, 1976.

SILVA, D.M.; DOS SANTOS, K.T.; DUARTE, M.M. Eficiência fotoquímica em folhas do mamoeiro (*Caricapapaya*L.) cv. golden durante o estágio reprodutivo e caracterização da ontogenia dos frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.33, n.4 p.1066-1073, 2011.

SILVA, L.F.; SILVA, D. M.; GALLON, C.Z.; PURGATTO, E.Photochemical metabolism and fruit quality of Ubá mango tree exposed to combined light and heat stress in the field. **ResearchGate**. v. 39, p. 238, 2017.

SIMÃO, S. Tratado de fruticultura. **Editora: Piracicaba**. p.760, 1998.

SOARES, J.M.; COSTA, F.F.; SANTOS, C.R. Manejo de irrigação em frutíferas. In: FARIA, M.S.; SILVA, É.L.; VILELA, L.A.A.; SILVA, A.M. **Manejo de irrigação**. Poços de Caldas: DE/UFLA. p.281-308, 2013.

SOUZA F.R; BERGAMIN A.C; VENTUROSOS L.R. Estrutura anatômica de raízes de cana-de-açúcar cultivada em solo compactado. **Revista científica da faculdade de ciências agrárias**. v. 6, n. 22, 2014.

STIRBET A; GOVINDJEE. On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll a fluorescence induction) and Photosystem II: Basics and

applications of the OJIP fluorescence transient. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**. v. 104, p. 236-257, 2011.

STIRBET, A.; RIZNICHENKO, YU G.; RUBIN, A. B.; GOVINDJEE. Modeling Chlorophyll a Fluorescence Transient: Relation to Photosynthesis. **Biochemistry**. vol. 79, n. 4, 2014.

STRASSER, R.J.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In: Yunus, M., Pathre, U., Mohanty, P. (Ed.), **Probing Photosynthesis: Mechanism, Regulation and Adaptation**. Taylor and Francis. London. cap. 25. p. 443 – 480. 2000.

STRASSER, R.J.; TSIMILLI-MICHAEL, M. & SRIVASTAVA, A. Analysis of the chlorophyll fluorescence transient, in: G.C. Papageorgiou, Govindjee (Eds.), Chlorophyll Fluorescence: A Signature of Photosynthesis, *Advances in Photosynthesis and Respiration*, **Springer**, Dordrecht, The Netherlands. v. 19, p.321-362, 2004

STRASSER, B. J., STRASSER, R. J. Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: **The JIP-test**. In: P. Mathis, (Ed.) Photosynthesis: from 74 Light to Biosphere. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, p. 977-980, 1995.

STRASSER, R. J., TSIMILLI-MICHAEL, M., QIANG, S., GOLTSEV, V. Simultaneous in vivo recording of prompt and delayed fluorescence and 820 nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant *Haberlea rhodopensis*. *Biochim. Biophys. Acta (BBA) – Bioenerg.*, p.1313-1326, 2010.

SUBRAHMANYAM D.; RATHORE. V.S. **Influence of Manganese Toxicity on Photosynthesis in Ricebean (*Vigna Umbellata*) Seedlings**.v.38, p. 449–453, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, p.954, 2013.

TESSARI PERBONI, ANELISE; GARBIN MARTINAZZO, EMANUELA; MOURA SILVA, DIOLINA; BACARIN, MARCOS ANTONIO. Baixas temperaturas sobre a fluorescência da clorofila a em plantas de diferentes híbridos de canola. **Ciência Rural**. Universidade Federal de Santa Maria Santa Maria, Brasil. vol. 45, n. 2, p. 215-222, 2015.

TSIMILLI-MICHAEL, M.; STRASSER, R. J.. The energy flux theory 35 years later: formulations and applications. **Photosynthesis Research**., v.117, p.289-320, 2013.

TREICHEL, M.; RATHORE; V.S; COSTA, A. M.; SARIN, N.B; ZHAO, F.J.; SRIVASTAVA, A. **Anuário Brasileiro da Fruticultura**. n.2, v.6, p.101-110, 2016.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S. Densidade, porosidade e resistência a penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Ciência Agrícola**, v.59, n.4, p.795-801, 2002.

UFES (UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO). Pesquisadores da Ufes entregam relatório sobre impactos da tragédia do Rio Doce. **Portal UFES**. p.15, 2017. Disponível em: <http://www.ufes.br/conteudo/pesquisadores-da-ufes-entregam-relat%C3%B3rio-sobre-impactos-da-trag%C3%A9dia-do-rio-doce>. Acesso: 03/01/2018.

VIANA, J. H. M.; COSTA, A. M. da A ciência do solo como instrumento para a recuperação das áreas afetadas pelo desastre de Mariana e dos solos na Bacia do Rio Doce. **Embrapa Milho e Sorgo**. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 42, n. 1, p. 24-27, 2016.

XIANG Q, WANG Z, ZHANG Y, WANG H. An oligopeptide transporter gene family in phanerochaetechryso sporium. **Gene** **522(2)**. p.133-141, , 2013. Doi: 10.1016/j.gene.2013.03.069.

YUSUF, M.A; KUMAR, D; RAJWANSHI, R; STRASSER, R.J; TSIMILLI-MICHAEL, M; GOVINDJEE; SARIN, N.B. Overexpression of γ-totopherol methyl transferase gene in transgenic *Brassicajuncea* plants alleviates abiotic

stress: Physiological and chlorophyll a fluorescence measurements. **Biochimica et Biophysica Acta**. v. 1797, p. 1428-1438, 2010.

ZHANG, S.; LI, Q.; MA, K.; CHEN, L. Temperature dependent gas exchange and stomatal/non-stomatal limitation to CO₂ assimilation of *Quercus liaotungensis* under midday higher irradiance. **Photosynthetica, Prague**. v.39, p. 383-388, 2001.

ZHAO, F.J.; HAWKESFORD, M.J.; McGRATH, S, P. Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. **Jornal of Cereal Science**, v. 30, p. 1-17, 1999.