

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

ANDRESSA FERREIRA ALVES

**AVALIAÇÃO ECOFISIOLÓGICA DA CULTURA DA
MANGUEIRA cv. Palmer EM SISTEMA
AGROFLORESTAL**

VITÓRIA - ES
2022

ANDRESSA FERREIRA ALVES

**AVALIAÇÃO ECOFISIOLÓGICA DA CULTURA DA
MANGUEIRA cv. Palmer EM SISTEMA
AGROFLORESTAL**

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.

Área de concentração: Fisiologia Vegetal.

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

VITÓRIA - ES

2022

[PÁGINA DA FICHA CATALOGRÁFICA]

AVALIAÇÃO ECOFISIOLÓGICA DA CULTURA DA MANGUEIRA cv. Palmer EM SISTEMA AGROFLORESTAL

ANDRESSA FERREIRA ALVES

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 XX de XXXX de 20XX.

Comissão Examinadora:

Dr. [Nome completo sem abreviatura] - UFES
Orientador e Presidente da Comissão

Dr^a. [Nome completo sem abreviatura] - UFES
Examinador Interno

Dr. [Nome completo sem abreviatura] - UFES
Examinador Interno

Dr. [Nome completo sem abreviatura] - UFV
Examinador Externo

DEDICATÓRIA [opcional]

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural - INCAPER por ter permitido a realização de horário de estudante sempre que necessário durante a execução do projeto;

Ao Programa de Pós Graduação em Biologia Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo, docentes e servidores agradeço pela dedicação e competência que contribuíram com minha formação e execução desse projeto;

À Prof.^a. Dr.^a Diolina Moura Silva pela orientação, dedicação, paciência e confiança durante toda a caminhada.

Ao Sr. Cleir Lecco Betarzo, e toda sua família por disponibilizar a propriedade e ainda contribuir com sugestões e tratos culturais em acordo com o projeto.

Aos colegas do Núcleo de Estudos da Fotossíntese que sempre se mostraram solícitos e me ajudaram muito nas atividades de campo, laboratório e escrita da dissertação. Em especial ao Romário de Oliveira que me ensinou e apoiou diretamente nas atividades de campo do projeto e a colega Thaís Araujo dos Santos Gasparini que me apoiou e dividiu conhecimento na escrita da dissertação;

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

Agradeço a minha família, por me apoiarem, por abrirem mão de momentos importantes para que eu pudesse me dedicar aos estudos e execução do projeto.

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

Figura 1: Esquema da cadeia fotossintética de transporte de elétrons (e-) na membrana dos tilacóides dos cloroplastos e seus carreadores. A curva OJIP e alguns dos principais parâmetros medidos na avaliação da Fluorescência da Clorofila a (F_0 , F_M , PI_{ABS} , PI_{TOTAL}) também estão representados no esquema. Adaptado de Taiz & Zeiger (2013) por Carvalho, V.; Coutinho Neto, Silva (2016) e pelo NEF em seus estudos.....20

Figura 2: A - Localização das áreas experimentais do Sistema Agroflorestal - SAF e do Sistema Convencional. B- Localização geográfica da área experimental Fazenda Luiz Betarzo, Aracruz – ES. C - Visão geral do Sistema Agroflorestal - SAF. D - Visão geral do Sistema Convencional.....26

Figura 3: Dados climatológicos, médias das temperaturas máximas e mínimas (C°) e somatória da pluviosidade (mm) mensal no período de abril de 2021 a março de 2022, em Aracruz. Fonte: adaptação dados do INMET.....33

Figura 4: Percentual da variância explicada por dimensões avaliadas pela Análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados das análises realizadas em 6 meses de estudos da cultivar Palmer de *Mangifera Indica* L. nos sistemas de cultivo Convencional e Sistema Agroflorestal SAF.....34

Figura 5: Análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados das análises realizadas em 6 meses de estudos da cultivar Palmer de *Mangifera Indica* L. nos sistemas de cultivo Convencional e Sistema Agroflorestal SAF. A - Distribuição das variáveis no PCA, as setas representam os parâmetros e as cores indicam os valores do quadrado cosseno (\cos^2) de cada variável calculado no PCA. B - Distribuição dos indivíduos no PCA, os pontos representam os indivíduos (repetições das análises) e as cores separam os dois tratamentos Convencional e SAF.35

Figura 6: Fluorescência Variável e as diferenças cinéticas normalizadas ($\Delta W_{OP} = W_{OP(SAF)} - W_{OP(Convencional)}$) da cultivar Palmer em Sistema de Cultivo Convencional (Convencional) e em Sistema de Cultivo Agroflorestal (SAF), dados coletados mensalmente de agosto de 2021 à janeiro de 2022. O tempo está representado em escala logarítmica (ms). (n=8).....37

Figura 7: Diferenças cinéticas da fluorescência variável relativa evidenciando o aparecimento da Banda K (A) entre O-J ($\Delta W_{OJ} = (\Delta W_{OJ(tratamento)}) - (\Delta W_{OJ(controle)})$),

Banda L (B) entre O-K ($\Delta W_{OK}=(\Delta W_{OK(\text{tratamento})})-(\Delta W_{OK(\text{controle})})$) e a Banda G (C) entre I-P ($\Delta W_{IP}=(\Delta W_{IP(\text{tratamento})})-(\Delta W_{IP(\text{controle})})$) da cultivar Palmer em Sistema de Cultivo Convencional (Convencional) e em Sistema de Cultivo Agroflorestal (SAF), dados coletados mensalmente de agosto de 2021 à janeiro de 2022. O tempo está representado em escala logarítmica (ms). (n=8) 38

Figura 8: Parâmetros derivados do Teste JIP dos transientes de fluorescência da clorofila a, utilizando como referência o tratamento Convencional (0% = 1.0) da cultivar Palmer em Sistema de Cultivo Convencional (Convencional) e em Sistema de Cultivo Agroflorestal (SAF). Diferem-se estatisticamente entre os tratamentos pelo teste de Tukey $p < 0,1$ (.); $p < 0,05$ (*); $p < 0,01$ (**) e $p < 0,001$ (***). 39

Figura 9: Taxa de transpiração (E), condutância estomática (gs), taxa de fotossíntese líquida (A), eficiência no uso d'água (A/E), índice SPAD, Clorofila a, clorofila b e carotenóides, da cultivar Palmer em Sistema de Cultivo Convencional (Convencional) e em Sistema de Cultivo Agroflorestal (SAF), utilizando como referência o tratamento Convencional (0% = 1.0). Diferem-se estatisticamente entre os tratamentos pelo teste de Tukey $p < 0,1$ (.); $p < 0,05$ (*); $p < 0,01$ (**) e $p < 0,001$ (***). 41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FSI	Fotossistema I
FSII	Fotossistema II
INCAPER	Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural
IRGA	Analisador de trocas gasosas por infravermelho (do inglês InfraRed Gas Analyzer)
JIP	Teste realizado com a curva OJIP, baseado na teoria do fluxo de energia em biomembranas fotossintéticas
OJIP	Curva de fluorescência da clorofila a registrada com o PEA, baseado no efeito Kautsky
PCA	Análise de componentes principais (do inglês Principal Component Analysis)
PEA	Analisador da eficiência da planta (do inglês Plant Efficiency Analyser)
SEAG	Secretaria de Estado da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca
SPAD	Desenvolvimento de análise solo-planta (do inglês Soil-Plant Analysis Development)

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Análise química do solo das duas áreas experimentais: cultivo convencional e sistema agroflorestal (SAF); e análise química das folhas de *Mangífera índica* L. cv. Palmer cultivadas no sistema convencional e agroflorestal (SAF) na Fazenda Luiz Betarzo, localizada no distrito de Cachoeira do Riacho, Aracruz – ES, e recomendação nutricional do cultivo de mangueiras segundo Quaggio et al. (1996) 20

Tabela 02 – Parâmetros técnicos utilizados de acordo com Strasser et al. (2004), Yusuf et al. (2010), Redillas et al. (2011), Bussottia et al. (2020) e Goltseva et al. (2016). 25

RESUMO

A demanda por alimentos vem aumentando no mundo e também os impactos da agricultura convencional. Sistemas Agroflorestais (SAF) podem ser utilizados para prevenir a degradação e aumentar a infiltração dos solos enquanto potencializam a produção agrícola. A fluorescência transiente da clorofila *a* é um método com potencial de ser um indicador de estresses avaliando o desempenho fotoquímico de plantas cultivadas em diferentes sistemas de cultivo. A partir das análises biofísicas (fluorescência da clorofila *a*) e bioquímicas (trocas gasosas, teores de pigmentos cloroplastídicos) e dados climatológicos foi possível comparar dois sistemas de produção da manga e testar a hipótese de que o cultivo de plantas de *Mangifera indica* L. cv. Palmer em Sistema Agroflorestal proporciona uma maior resiliência aos estresses abióticos climáticos como o aumento da temperatura e períodos de estiagem prolongados. Para realização deste experimento foram utilizadas plantas de mangueira com cinco anos de plantio no município de Aracruz – ES. A coleta de dados foi realizada mensalmente de agosto de 2020 a janeiro de 2021. Foram realizadas análises da fluorescência transiente da clorofila *a*, quantificação das trocas gasosas, índices de clorofila e os pigmentos foliares (clorofilas *a* e *b*, e pigmentos carotenoides). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (1x2), sendo plantas de mangueiras submetida a 2 diferentes sistemas de cultivo (Sistema Agroflorestal x Sistema Convencional) com 10 repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e também aplicada a análise de componentes principais (PCA). O PCA mostrou que os tratamentos se diferenciam ocupando quadrantes diferentes. As curvas OJIP obtidas dos dois sistemas demonstraram que todas as plantas estavam fotossinteticamente ativas. A formação de Bandas K, L e G negativas sugerem uma maior eficiência do tratamento SAF em relação ao Convencional. A Taxa de transpiração (*E*) alta e a Condutância estomática (*g_s*) também maior que o sistema Convencional evidenciam que uma disponibilidade hídrica e ou a redução da temperatura no microclima do SAF podem ter permitido uma abertura maior dos estômatos. Assim a eficiência do uso da água (*A/E*) foi menor para o SAF devido a alta taxa de transpiração, mas a taxa fotossintética foi levemente superior ao Convencional. É possível que essa vantagem hídrica tenha contribuído para o aumento no índice de carotenoides fotoprotetores que contribuíram para a redução

do estresse fotossintético em relação ao sistema Convencional. O Sistema SAF apresentou características ecofisiológicas que indicam uma maior eficiência fotossintética que o Sistema Convencional. A continuidade desse estudo poderá confirmar se a eficiência fotossintética, aqui evidenciada, impacta a produtividade e qualidade dos frutos produzidos pela cv Palmer.

Palavras-chave: *Agrofloresta, Fotossíntese líquida, Mangifera indica* L., Pigmentos fotossintéticos, fluorescência da clorofila *a*

ABSTRACT

The demand for food is increasing in the world and so are the impacts of conventional agriculture. Agroforestry Systems can be used to prevent soil degradation and increase soil infiltration while enhancing agricultural production. Chlorophyll a fluorescence has the potential to be a stress indicator evaluating the performance of plants grown in different cropping systems. Based on biophysical (chlorophyll a fluorescence) and biochemical (gas exchange, photosynthetic pigments) analyses, climatological data, and cultivation systems, it was possible to compare the two mango production systems and test the hypothesis that the cultivation of plants de *Mangifera indica* L. cv. Palmer in Agroforestry System provides greater resilience to climatic abiotic stresses such as temperature increase and prolonged dry periods. Five-year-old mango plants in the municipality of Aracruz - ES were used to carry out this experiment. Data collection was carried out monthly from August 2020 to January 2021. Analyzes of transient fluorescence of chlorophyll a, quantification of gas exchanges, chlorophyll indices and leaf pigments (chlorophylls a and b, and carotenoid pigments) were carried out. The experimental design was completely randomized (1x2), with mango plants submitted to 2 different cultivation systems (Agroforestry System x Conventional System) with 10 repetitions. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) and also applied to principal component analysis (PCA). The PCA showed that treatments differ occupying different quadrants. The OJIP curves obtained from both systems demonstrated that all plants were photosynthetically active. The formation of negative K, L, and G Bands may indicate a greater efficiency of the SAF treatment compared to the Conventional one. The high transpiration rate (E) and the stomatal conductance (gs), also higher than the conventional system, show that water availability and a reduction in temperature in the SAF microclimate may have allowed a greater opening of the stomata. Thus, the water use efficiency (W/E) was lower for the SAF due to the high transpiration rate, but the photosynthetic rate was slightly higher than the Conventional one. The high and significant index of total carotenoids in the SAF treatment may have contributed to photoprotection and reduced photosynthetic stress. It is possible that this water advantage has contributed to the increase in the index of photoprotective carotenoids that contributed to the reduction of photosynthetic stress in relation to the conventional

system. The SAF System presented ecophysiological characteristics that indicate a greater photosynthetic efficiency than the Conventional System, more studies are needed to verify if this efficiency impacts productivity and fruit quality.

Keywords: *Agroforestry, Photosynthesis, Mangifera indica L.,*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Sistemas Agroflorestais	15
2.2 A cultura da mangueira no Espírito Santo	17
2.3 Relação Luminosidade e fotossíntese	17
2.4 Fluorescência da Clorofila a	19
2.5 Trocas Gasosas	19
2.6 Macro- e Micronutrientes	20
3. OBJETIVO GERAL	20
4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
5. MATERIAIS E MÉTODOS	22
5.2 Análise química do solo e folhas	24
5.3 Avaliação da Eficiência Fotoquímica	26
5.4 Trocas Gasosas	26
5.5 Índice de clorofila e extração de pigmentos	27
5.6 Análise estatística	27
6. RESULTADOS	30
6.1 Dados Climáticos	30
6.3 Identificação dos parâmetros fotoquímicos	30
6.3 Macro e micronutrientes do solo e folhas de plantas da mangueira	33
6.4 Fluorescência da Clorofila	35
6.5 Trocas Gasosas, Fotossíntese, Índices de Clorofila e Pigmentos	39
7. DISCUSSÃO	41
7.1 Influência Climática na fotossíntese	41
7.2 Identificação dos parâmetros fotoquímicos	41
7.2 Influência dos Macro e micronutrientes na fotossíntese	43
7.3 Fluorescência da Clorofila	44
7.4 Trocas Gasosas, Fotossíntese, Índices de Clorofila e Pigmentos	44
8. CONCLUSÕES	45
9. REFERÊNCIAS	46
ANEXOS	Erro! Indicador não definido.

1. INTRODUÇÃO

Produzir mais alimentos com menos impacto ao meio ambiente é uma necessidade cada vez maior da humanidade. Sistemas com maior biodiversidade reduzem a necessidade de aplicação de fertilizantes e agrotóxicos, contribuem para a infiltração e manutenção da água no solo e aumentam a proteção do solo contra a erosão. O cultivo da mangueira, uma planta de origem tropical, convencionalmente é realizado em monoculturas com espaçamentos que reduzem o sombreamento entre plantas. Seria então possível incluir a cultura da mangueira em sistemas biodiversos sem causar estresse fotossintético? O sistema agroflorestal pode trazer algum benefício à capacidade fotossintética da cultura da mangueira?

Com o crescimento populacional a demanda por alimentos vem aumentando no mundo, aumentando também os impactos da agricultura convencional desde o desmatamento, erosão e contaminação do solo e água por fertilizantes e agrotóxicos (Bittencourt, 2010). Tecnologias e políticas públicas que promovam o desenvolvimento sustentável são importantes ferramentas para redução desses impactos à sociedade e ao meio ambiente. O Plano Estratégico de Desenvolvimento da Agricultura Capixaba - PEDEAG 3 (2015-2030) reforça que para alcançar a “sustentabilidade e responsabilidade ambiental” o estado deverá adotar práticas que permitam mitigar riscos inerentes às mudanças climáticas, racionalizar o uso de recursos naturais renováveis desenvolvendo ações que promovam a agroecologia e a agricultura orgânica entre outras ações.

Nesse interim, Sistemas Agroflorestais (SAF) podem ser utilizados para prevenir a degradação do solo e aumentar sua infiltração enquanto potencializam a produção agrícola (MICCOLIS et al., 2019). A temperatura da superfície do solo pode ser reduzida, o que pode conseqüentemente diminuir a evaporação de água do solo (ILSTEDT et al., 2016) a depender da densidade e da altura do dossel das árvores. No caso da mangueira (*Mangifera indica* L.), espécie que possui dossel denso e baixo, pode colaborar com a redução da temperatura e potencializar a água no solo.

No município de Aracruz existem experiências com sistemas agroflorestais que incluem o cultivo da mangueira junto com outras espécies nativas, frutíferas, hortaliças, raízes e grãos. Na mesma região tem-se a cultura em sistema convencional de cultivo utilizado como objeto de estudo do Núcleo de Estudos da Fotossíntese da Universidade Federal do Espírito Santo (NEF/UFES).

A capacidade fotossintética é muito utilizada como atributo fisiológico para avaliação do desenvolvimento e produtividade de plantas cultivadas (FARIAS, 2014; FARIA-SILVA, 2017; DIAS, MARENCO, 2007, SINGH; KUMAR; SONI, 2022). As variações no desempenho fotossintético provenientes de estresses abióticos derivados de deficiência ou intoxicação por elementos traços, déficit hídrico, temperatura e sombreamento podem ser identificadas por meio da fluorescência da clorofila *a* (FC). Essas análises possuem a vantagem de não serem destrutivas e podem ser realizadas tanto em laboratório quanto em condições de campo. A fluorescência da clorofila *a* tem potencial de ser um indicador de estresses avaliando o desempenho de plantas cultivadas em diferentes sistemas de cultivo (GOLTSEV et al., 2016; KALAJI et al., 2018; PADHI et al., 2021).

A partir das análises biofísicas, e bioquímicas (fluorescência da clorofila *a* trocas gasosas e teores de pigmentos fotossintéticos) e dados climatológicos foi possível comparar os dois sistemas de cultivo da mangueira e testar a hipótese de que o cultivo de plantas de *Mangifera indica* L. cv. Palmer em Sistema Agroflorestal proporciona uma maior resiliência aos estresses abióticos como o aumento da temperatura e períodos de estiagem prolongados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistemas Agroflorestais

Em todo o mundo o conceito de Sistema Agroflorestal mais aceito é o adotado pelo ICRAF – International Centre for Research in Agroforestry – e engloba de forma ampla as mais diferentes combinações utilizadas pelo mundo:

“Sistema agroflorestal é o nome coletivo para sistemas de uso da terra e tecnologias em que plantas lenhosas perenes (árvores, arbustos,

palmeiras, bambus etc.) são deliberadamente usadas na mesma unidade de manejo de culturas agrícolas e/ou animais, ambas na forma de arranjos especiais ou sequências temporais.” (NAIR, 1984)

Assim, entende-se que o SAF é um sistema de cultivo bem amplo e pode ser modelado de acordo com o desejo e interesse do agricultor, desde que envolva duas ou mais espécies de plantas (ou animais) onde pelo menos uma é lenhosa e o ciclo de produção seja maior que um ano, o que fará do mais simples SAF um sistema mais complexo ecológica e economicamente que a monocultura (ENGEL, 1999)

O Código Florestal Brasileiro impõe algumas restrições a este sistema apenas quando aplicado em algumas áreas de uso restrito, tais como a inclusão de plantas nativas e a preocupação para que o sistema não descaracterize a cobertura vegetal existente e não prejudique a função ambiental da área (BRASIL, 2012).

Além de observada a legislação, o custo de implantação e de manejo do sistema deve ser levado em consideração nesse tipo de cultivo. O SAF pode apresentar também diversas vantagens em relação ao sistema convencional de monocultivo como o aumento do sequestro de carbono (ZOMER et al., 2022), ciclagem de nutrientes, aumento da biodiversidade e diminuição de pragas e doenças, proteção e produção de matéria orgânica. (SOUSA et al., 2019)

No SAF, as árvores de sombra podem reduzir a radiação incidente e, portanto, a temperatura da superfície do solo com concomitante diminuição da perda de água por evaporação (ILSTEDT et al., 2016), o que pode variar com o grau de cobertura do dossel e proximidade do tronco (WALLACE; JACKSON; ONG, 1999). Lin (2007) relacionou o aumento da densidade das árvores de sombra em sistemas agroflorestais à redução gradual da evaporação do solo, o que demonstrou que esse sistema pode ter um efeito significativo no componente de evaporação do solo e, portanto, na conservação da água. As taxas de evaporação da superfície do solo também podem ser influenciadas tanto pela umidade do solo quanto pelo tipo e espessura da camada de serapilheira (LIU; ZHANG; ZHANG, 2002; VILLEGAS et al., 2010; XING et al., 2018).

2.2 A cultura da mangueira no Espírito Santo

A mangueira (*Mangifera indica* L.) é uma árvore da família Anacardiaceae, frutífera, dicotiledônea, originada do Sudeste da Ásia que foi difundida para as regiões tropicais. Os colonizadores portugueses trouxeram as primeiras mudas para o Brasil no início do século XVI, sendo disseminada nas regiões mais quentes do país (QUEIROZ; GOEDERT; RAMOS, 1999). Desde então no Espírito Santo a mangueira culturalmente está presente nos quintais produtivos dos agricultores tradicionais familiares junto com outras espécies frutíferas e nativas (ARANTES, 2013).

Em 2003 foi lançado pelo Governo do Estado do Espírito Santo, por meio da Secretaria de Estado da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca (SEAG) e do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) o “Polo de Manga para a Indústria no Estado do Espírito Santo”. O Polo tem o objetivo de atender a demandas do mercado e diversificar a agricultura local, com foco no aumento de produtividade, melhoria da qualidade e atendimento às exigências da agroindústria (INCAPER, 2009).

O Núcleo de Estudos da Fotossíntese (NEF) que é coordenado pela Professora Dra. Diolina Moura Silva da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), direcionou parte dos seus estudos acadêmicos para essa cultura que se encontra em expansão no ES e que ainda é pouco estudada na região. Foram realizados estudos sobre porta enxertos tolerantes ao déficit hídrico (FARIA-SILVA et al., 2017; SILVA et al, 2019; FARIA-SILVA, 2020) influência da Lama do Rio Doce em mudas de manga (FREITAS, 2018), manejo de despontes e aplicação de indutor floral (LIMA, 2018), entre outros estudos que contribuíram para o desenvolvimento e ampliação dessa cultura na região.

2.3 Relação Luminosidade e fotossíntese

A faixa de luz para uma radiação fotossinteticamente ativa (RFA, 400-700 nm) é uma fonte de energia necessária para a vida das plantas. Mas essa radiação pode ser um fator de estresse caso sua intensidade seja muito alta ou baixa, nesse caso a fotoinibição pode interferir no funcionamento do aparelho fotossintético (PALENCAR et al., 2009; STRIZH; LYSENKO; NEVEROV, 2005). Quando a planta

está sob alta radiação, pode ocorrer um influxo excessivo de fótons para os sistemas de antenas, o que tende a gerar um excesso de excitação dos centros de reação FSII e conseqüentemente a fotoinibição da reação da fase dependente de luz (KALAJI, 2011)

A fotoinibição é atribuída principalmente à formação de centros de reação do fotossistema II (FSII) inativos, o que faz com que a energia de excitação seja convertida em calor e diminua a eficiência fotoquímica da cadeia de transporte de elétrons (CTE) (Figura 1) na membrana dos tilacóides (BERTAMINI; NEDUNCHEZHIAN, 2003; REDONDO-GÓMEZ; MATEOS-NARANJO; FIGUEROA, 2009). São conhecidos dois tipos de fotoinibição – dinâmica e crônica. No processo de fotoinibição dinâmica a energia capturada pelo FSII sofre dissipação por meio da conversão em calor, sendo um processo rapidamente reversível. Já na fotoinibição crônica, a energia capturada pelo FSII chega ao sistema em grande intensidade, o que danifica proteínas, principalmente a proteína D1 presente no FSII, resultando em diminuição prolongada da eficiência quântica com conseqüente diminuição da taxa fotossintética. Normalmente, este último tipo de fotoinibição é observado em plantas sob estresse acentuado. (PEREIRA DIAS E MARENCO, 2007; CAI; XU, 2002; KALAJI, 2011).

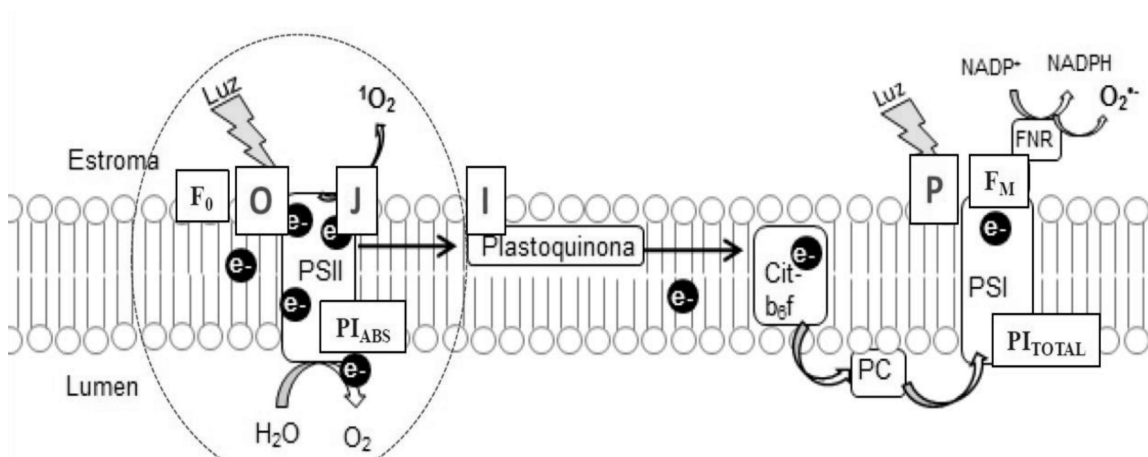


Figura 1: Esquema da cadeia fotossintética de transporte de elétrons (e^-) na membrana dos tilacóides dos cloroplastos e seus carreadores. A curva OJIP e alguns dos principais parâmetros medidos na avaliação da Fluorescência da Clorofila a (F_0 , F_M , PI_{ABS} , PI_{TOTAL}) também estão representados no esquema. Adaptado de Taiz & Zeiger (2013) por Carvalho, V.; Coutinho Neto, Silva (2016) e pelo NEF em seus estudos.

Os centros de reação FSII desativados ou centros de extinção de energia estão ligados à dissipação com segurança no caso de excesso do sombreamento (LICHTENTHALER, 2007). A luz de intensidade moderada causa fotoinibição reversível de FSII, enquanto luz muito alta causa destruição, ou seja, dano irreversível (CAI; XU, 2002). Todavia, as plantas podem modificar a sua forma de desenvolvimento em resposta ao ambiente luminoso (MEROTTO JR; FISCHER; VIDAL, 2009) e a eficiência do desenvolvimento e crescimento da planta pode estar relacionada à habilidade de adaptação às condições luminosas do ambiente. Assim o desenvolvimento das espécies em ambientes com baixa ou alta luminosidade pode ser atribuído à sua capacidade de se ajustar ao modelo de alocação de biomassa e comportamento fisiológico (GAZOLLA-NETO et al., 2013)

A produção em maior quantidade de carotenoides é um ajuste frequente quando as plantas são expostas à luz forte, nessa situação as proporções dos carotenoides do ciclo da xantofila - zeaxantina, anteraxantina e violaxantina - mudam (BRUGNOLI et al., 1998). O acúmulo desses carotenoides, cuja presença aumenta a dissipação térmica da energia absorvida, protege o aparelho fotossintético contra o excesso de energia de excitação e assim os centros de reação FSII funcionam normalmente (CAZZONELLI, 2011).

2.4 Fluorescência da Clorofila a

O tecido fotossintético, após um período de adaptação ao escuro e posterior exposição à luz, apresenta modificações nas características da fluorescência da clorofila *a*, esse fato foi descoberto por Kautsky e Hirsh em 1931 e citado por Stibert et al. (2018). Essa alteração na indução da fluorescência da clorofila *a* passou a ser conhecida como efeito Kautsky, e a fluorescência da clorofila *a* tornou-se uma fonte de informações sobre a eficiência do transporte de elétrons através do FSII (STIBERT et al., 2018).

Duysens e Sweers (1963) citados por Stibert e Goovindjee (2011) apontaram que existe uma conexão entre a fluorescência da clorofila *a* e a fotossíntese, que o FSII é responsável pela fluorescência variável da clorofila *a*, e que a eficiência fotoquímica do FSII é limitada pelo aceptor de elétrons, ou seja, o aumento da fluorescência é consequência da concentração da Quinona A - Q_A- (Figura 1). O aparato fotossintético, principalmente o FSII, é muito sensível e precisa

constantemente de mudanças de estado para manter sua eficiência em ambientes instáveis (TSIMILLI-MICHAEL e STRASSER, 2008).

As análises de fluorescência são muito utilizadas para monitorar plantas *in vivo* quanto aos estresses bióticos e abióticos (KALAJI et al., 2017; STIRBET et al., 2018), e seu uso tem possibilitado a avaliação das condições fotossintéticas funcionais por meio do teste JIP, ferramenta que trabalha com parâmetros fisiológicos que são relacionados principalmente à etapa fotoquímica da fotossíntese ou seja, desde a captura de luz até a redução dos aceptores finais de elétrons no FSII ((STRASSER; SRIVASTAVA; TSIMILLI -MICHAEL. 2000; STRASSER et al., 2010). Tais dados são coletados com fluorômetros, como o Handy-PEA (Hansatech Instruments®), e analisados com as equações baseadas na teoria do fluxo de energia entre biomembranas do teste-JIP (STRASSER; SRIVASTAVA; TSIMILLI -MICHAEL. 2000).

2.5 Trocas Gasosas

O teste JIP fornece informações relacionadas basicamente à etapa fotoquímica da fotossíntese. Para conseguir parâmetros fisiológicos relacionados à etapa bioquímica da fotossíntese pode ser utilizado o analisador de trocas gasosas por infravermelho (IRGA, do inglês InfraRed Gas Analyser). Esse equipamento coleta informações sobre as trocas gasosas como os fluxos de CO₂ e vapor d'água através dos estômatos e calcula parâmetros referentes à fotossíntese líquida (LONG; FARAGE; GARCIA, 1996). Assim a combinação desses parâmetros de trocas gasosas e análises de fluorescência da clorofila podem oferecer informações qualitativas e quantitativas sobre as condições fisiológicas do aparelho fotossintético (SILVA et al., 2019).

2.6 Macro e Micronutrientes

A produção agrícola mundial hoje depende muito do equilíbrio nutricional e do manejo fitossanitário oferecido às plantas. Existem 17 micro e macro elementos que são os mais importantes para a nutrição das culturas agrícolas, incluindo nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), enxofre (S), cobre (Cu), manganês (Mn), magnésio (Mg) e ferro (Fe). Considerados essenciais para as funções fisiológicas e crescimento das plantas (KALAJI et al., 2017; MEHARG,

2011). A disponibilidade desses elementos para as plantas depende de vários fatores, como pH, composição granulométrica e teor de matéria orgânica do solo. O desafio da agricultura é equilibrar esses nutrientes de acordo com as necessidades específicas de cada cultura com aplicação de insumos agrícolas (PREZOTTI; GUARÇONI M., 2013).

A deficiência de um ou mais nutrientes pode influenciar a estrutura e as funções do aparelho fotossintético, incluindo a fotoquímica do FSII (KALAJI, 2011; KALAJI et al., 2017). A síntese interrompida dos principais componentes fotossintéticos afeta negativamente o aparelho fotossintético. Deficiências de nitrogênio, ferro e enxofre podem causar efeito direto na síntese de complexos proteicos específicos (KALAJI et al., 2014a). A deficiência de nitrogênio, ferro e magnésio afetam a síntese de clorofila (BUCZEK; JAŃCZAK-PIENIAŻEK, 2022; CIOMPI et al., 1996; LAING et al., 2000). A fotossíntese também pode ser afetada de forma indireta pela deficiência de P, com a diminuição da produção de ATP e NADPH (XU; WENG; YANG, 2007).

3. OBJETIVO GERAL

Avaliar o cultivo de plantas de *Mangifera indica* L. cv. Palmer em Sistema Agroflorestal e Sistema Convencional para verificar se o Sistema de cultivo influencia na resiliência aos estresses abióticos.

4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analisar os teores de pigmentos foliares da *Mangifera indica* L. cv. Palmer cultivadas no sistema agroflorestal e no sistema convencional;

Avaliar o desempenho fotoquímico da *Mangifera indica* L. cv. Palmer cultivadas no sistema agroflorestal e no sistema convencional por meio da análise de Fluorescência da clorofila *a*.

Avaliar parâmetros das trocas gasosas da *Mangifera indica* L. cv. Palmer cultivadas no sistema agroflorestal e no sistema convencional;

Comparar os dois sistemas de produção da mangueira, em cultivo convencional e no sistema agroflorestal, visando obter indicações da maior resiliência aos estresses abióticos climáticos

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Área de Estudo e Condições de Cultivo

Para realização deste experimento foram utilizadas plantas de mangueira (*Mangifera indica* L.) da cultivar Palmer enxertadas sobre porta-enxerto da cultivar Óleo, com cinco anos de plantio. Durante a fase de muda, estas plantas foram submetidas a diferentes concentrações de lama residual do Rio Doce, que foi coletada após contaminação provocada pelo rompimento da barragem de Fundão, Mariana-MG, em 2015. Em 2017 a equipe do Núcleo de Estudos da Fotossíntese (NEF-UFES) desenvolveu um trabalho avaliando os efeitos da lama oriunda do Rio Doce após a contaminação (FREITAS, 2018; SILVA JUNIOR, 2020).

Em Julho de 2018 as plantas foram transportadas para a Fazenda Luiz Betarzo, localizada no distrito de Cachoeira do Riacho, Aracruz – ES (19°43'52.1"S 40°09'30.6"W), propriedade particular (SILVA JUNIOR, 2020), Figuras 2A e 2B. Estas plantas foram cultivadas em sistema convencional de cultivo em linha, a pleno sol. Podas e tratos culturais, segundo o produtor, foram realizados de acordo com o recomendado para a cultura. As plantas utilizadas no Sistema Agroflorestal (Figura 2C) vieram do mesmo viveiro que as plantas utilizadas no sistema convencional (Figura 2D) e foram plantadas pelo produtor na mesma época, sem contato com o substrato proveniente do Rio Doce (Figura 2).

Para o presente trabalho foram utilizadas 8 plantas cultivadas no sistema Convencional (controle) e 8 plantas cultivadas no Sistema Agroflorestal (tratamento) distribuídas aleatoriamente em duas áreas dentro da mesma propriedade (Figura 2). O Sistema Agroflorestal era composto por fileiras de Manga alternadas com fileiras de pimenta do reino e café conilon, distribuídas dentro do sistemas ainda se encontram plantas de abacaxi, anonas, graviola, banana, urucum e mamão (Figura 2C). Os dados climatológicos utilizados (Figura 3) foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper). O experimento foi realizado de agosto de 2020 a janeiro de 2021. No gráfico foram destacadas as seis coletas de dados realizadas, representadas pelas setas cinzas.

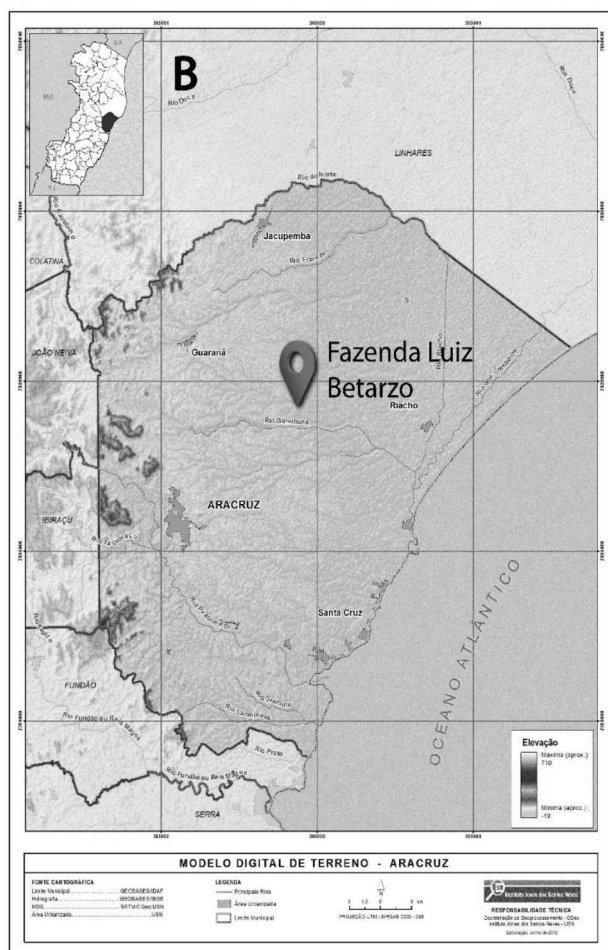


Figura 2: A - Localização das áreas experimentais do Sistema Agroflorestal - SAF e do Sistema Convencional. B- Localização geográfica da área experimental Fazenda Luiz Betarzo, Aracruz – ES. C - Visão geral do Sistema Agroflorestal - SAF. D - Visão geral do Sistema Convencional.

5.2 Análise química do solo e folhas

As análises químicas do solo das áreas de cultivo convencional e sistema agroflorestal, e de folhas de mangueira cv. Palmer de cada uma das áreas foram realizadas em laboratório especializado (Fullin - Laboratório de Análise Agronômica e Ambiental). Para fins de comparação, a recomendação nutricional para cultura da mangueira está descrita na Tabela 1 (QUAGGIO et al., 1996)

Tabela 01 - Análise química do solo das duas áreas experimentais: cultivo convencional e sistema agroflorestal (SAF); e análise química das folhas de *Mangifera indica* L. cv. Palmer cultivadas no sistema convencional e agroflorestal (SAF) na Fazenda Luiz Betarzo, localizada no distrito de Cachoeira do Riacho, Aracruz – ES, e recomendação nutricional do cultivo de mangueiras segundo Quaggio et al. (1996).

Parâmetro Analisado	Solo		Folha		Valor adequado ³
	Convencional	Sistema Agroflorestal (SAF)	Convencional	Sistema Agroflorestal (SAF)	
Nitrogênio (N) ¹	-	-	20,30	15,75	12-14
Fósforo (P) ¹	70	11	1,25	1,27	0,8-1,6
Potássio (K) ¹	120	130	11,25	11,25	5-10
Cálcio (Ca) ²	3,8	2,1	18,47	12,85	20-35
Magnésio (Mg) ²	1,1	0,7	1,81	1,88	2,5-5,0
Enxofre (S) ¹	10	9	1,17	0,98	0,8-1,8
Ferro (Fe) ¹	81	97	70	44	50-200
Zinco (Zn) ¹	14,5	2,2	17	16	20-40
Cobre (Cu) ¹	0,6	0,8	7	7	10-50
Manganês (Mn) ¹	31	22	351	118	50-100
Boro (B) ²	0,44	0,54	38	0,54	50-100

¹mg/dm³
²cmol c/dm³
¹g Kg⁻¹
²mg Kg⁻¹

- Os dados de nitrogênio no solo não foram especificados pelo laboratório especializado (Fullin - Laboratório de Análise Agronômica e Ambiental).

³ Recomendação nutricional para mangueira (QUAGGIO et al., 1996)

5.3 Avaliação da Eficiência Fotoquímica

A fluorescência transiente da clorofila *a* foi estimada usando um fluorômetro portátil modelo Handy-PEA (Hansatech Instruments®, King's Lynn, Norfolk, UK), entre 7h e 9h da manhã (horário solar). Previamente às leituras, as folhas foram adaptadas ao escuro por 40 minutos, tempo necessário para a oxidação completa dos centros de reação dos fotossistemas I e II (FSI e FSII). Foram utilizadas como replicatas duas folhas em cada uma das dez plantas de cada tratamento. A emissão da fluorescência foi induzida em uma área de 4 mm de diâmetro da folha, com um pulso de luz vermelha (650nm) saturante ($3000\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). As intensidades de fluorescência registradas entre 10 μs e 1s ($F_0=20 \mu\text{s}$, $F_L=150 \mu\text{s}$, $F_K=300 \mu\text{s}$, $F_J=2,0 \text{ ms}$, $F_I=30 \text{ ms}$ e $F_M=F_P\sim 400 \text{ ms}$) foram tabuladas utilizando o software PEA plus v1.12. O transiente OJIP obtido foi normalizado entre os pontos de F_0 e F_M e expresso como fluorescência variável relativa [$V_t = (F_t - F_0) / (F_M - F_0)$]. A diferença cinética de emissão de fluorescência foi obtida por meio da equação ($\Delta V_t = [V_{t(\text{tratamento})} - V_{t(\text{controle})}]$). A partir desses pontos foram calculadas as bandas K, L e G e os parâmetros do Teste JIP, apresentados na Tabela 2, que se baseiam na Teoria de Fluxo de Energia em Biomembranas (STRASSER e STRASSER, 1995; STRASSER; SRIVASTAVA; TSIMILLI -MICHAEL, 2000; STRASSER et al., 2010).

Tabela 02 - Parâmetros técnicos, fórmulas e suas descrições e conceitos (BUSSOTTI et al., 2020; GOLTSEV et al., 2016; KALAJI et al., 2018; REDILLAS et al., 2011; STRASSER; TSIMILLI-MICHAEL; SRIVASTAVA, 2004; YUSUF et al., 2010).

Parâmetros Técnicos		
FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA <i>a</i>		
Parâmetro	Fórmula	Descrição
Banda K	$W_{OJ} = (F_t - F_0) / (F_J - F_0)$	Associada a desagregação do complexo de evolução de oxigênio (OEC); apresenta pico em aproximadamente 300 μs .
Banda L	$W_{OK} = (F_t - F_0) / (F_K - F_0)$	Denota conectividade entre as subunidades do FSII; apresenta pico em aproximadamente 150 μs .
Banda G	$W_{IP} = (F_t - F_I) / (F_M - F_I)$	Demonstra desequilíbrio entre a redução e a oxidação do pool de plastoquinona, o que por sua vez depende da

		eficiência de absorção de elétrons do FSI; apresenta pico em aproximadamente 100ms.
Área		Área complementar total entre a curva de indução de fluorescência e $F=F_M$
$\delta(R_0)$	$RE_0/ET_0 = (1-V_1)/(1-V_J)$	Eficiência /Probabilidade que um elétron do intersistema mover-se para o lado acceptor do FSI
PI_{ABS}	$PI_{ABS} = (RC/ABS) \times [\phi P_0/(1 - \phi P_0)] \times [\psi E_0/(1 - \psi E_0)]$	Índice de desempenho (potencial) para conservação de energia de fótons absorvidos por PSII para redução de aceptores de elétrons intersistemas.
PI_{TOTAL}	$PI_{TOTAL} = PI_{ABS} \times [\delta R_0/(1 - \delta R_0)]$	Índice de desempenho (potencial) para conservação de energia dos fótons absorvidos pelo PSII para a redução de receptores finais de elétrons do fotossistema I.
DF_{ABS}	$DF_{ABS} = \log(PI_{ABS})$	Força motriz na base de absorção. É um indicador de forças motrizes em relação a absorção de energia no PSII.
$kN/ABS \cdot kF$		Rendimento quântico da fotoquímica primária em função das constantes de excitação não fotoquímica.
ABS/RC	$ABS/RC = M_0 \cdot (1/V_J) \cdot (1/\phi P_0)$	Tamanho aparente da antena de um PSII ativo
DI_0/RC	$DI_0/RC = ABS/RC - TR_0/RC$	O fluxo de energia dissipada em outros processos além da captura por PSII ativo
RE_0/RC	$RE_0/CR = M_0 \cdot (1/V_J) \cdot \psi E_0$ $\delta_{R_0} = (RE_0/ET_0) \cdot (ET_0/RC)$	Fluxo de elétrons reduzindo aceptores finais de elétrons no lado acceptor do PSI, por RC
ABS/CS_m	$ABS/CS_m \approx F_M$	Absorção de energia por unidade de seção transversal (CS) de um objeto fotossintetizante no momento em que atingiu a fluorescência máxima ($t=t_{F_M}$), aproximadamente igual a F_M .
TR_0/CS_m	$TR_0/CS_m = (F_V/F_M) (ABS/CS_m)$	Fluxo de energia retido por centros de reação PSII por unidade de seção transversal (CS) de um objeto fotossintetizante no momento em que atingiu a fluorescência máxima F_M .
ET_0/CS_m	$ET_0/CS_m = \phi P_0 \cdot \Psi_0 \cdot (ABS/CS_m)$	Fluxo de elétrons através do PSII por unidade de seção transversal (CS) de um objeto fotossintetizante no momento em que atingiu a fluorescência máxima F_M .
F_V	$F_V = F_M - F_0$	Fluorescência variável
F_0	$F_{20 \mu s}$	Fluorescência inicial (com $50 \mu s$ com o PEA ou a $20 \mu s$ com o Handy-PEA) após o início da iluminação actínica.
F_M	$(= F_P)$	Fluorescência máxima (quando todos os centros de reação (CRs) do PSII estão fechados – igual a F_P quando a intensidade de luz actínica é acima de $500 \mu mol \text{ fótons } m^{-2} s^{-1}$, desde que todos os CRs estejam ativos com Q_A reduzida)
F_0/F_M		Razão entre os extremos. É uma expressão da amplitude do aumento transitório de fluorescência da clorofila.

F_v/F_0	$F_v/F_0 = KP/KN$	Rendimento quântico dos processos fotoquímicos e não fotoquímicos
V_j		Fluorescência relativa variável aos 2ms.
V_i		Fluorescência relativa variável aos 30ms
S_m	$S_m = \frac{\text{Área}/(F_M - F_0)}{\text{Área}/F_v}$	Representa a energia necessária para o fechamento de todos os centros de reação

TROCAS GASOSAS

Parâmetro	Fórmula	Descrição
E		Taxa de transpiração ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
gs		Condutância estomática
A		Taxa de assimilação fotossintética
Ci		Concentração interna de CO_2 (ppm)
A/E		Eficiência efetiva do uso da água ($\mu\text{mol mmol}^{-1}$)
A/Ci		Eficiência da Carboxilação ($\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$)
A/gs		Eficiência intrínseca do uso da água

5.4 Trocas Gasosas

Para quantificação das trocas gasosas, foi utilizado um analisador de gás por infravermelho (Infrared Gas Analyser – IRGA, modelo LCpro-SD da ADC BioScientific®). As medidas ocorreram entre 8:00 e 10:00 da manhã nas mesmas folhas onde foram aferidas a fluorescência da clorofila a. As medidas foram realizadas utilizando como base o CO_2 ambiente (≈ 380 ppm), radiação fotossinteticamente ativa (RFA) controlada de $1300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e temperatura controlada na câmara foliar de 25°C (FARIA-SILVA et al., 2020). Os parâmetros obtidos foram a taxa de fotossíntese líquida (A, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a taxa de transpiração

(E , $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), a condutância estomática (g_s , $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a concentração interna de CO_2 (C_i , ppm). A partir destes parâmetros foram calculadas as suas razões como a eficiência instantânea do uso da água (A/E), a eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) e a eficiência de carboxilação (A/C_i), apresentados na Tabela 2. Para obtenção de cada um destes parâmetros foram realizadas 10 amostragens por tratamento sendo cada amostragem composta por três replicatas.

5.5 Índice de clorofila e extração de pigmentos

Os índices de clorofila foram obtidos com um clorofilômetro portátil (Mod. SPAD-502, Marca: MINOLTA, OSAKA, JAPÃO). Foram utilizadas as aferições realizadas nas mesmas folhas onde ocorreram as medidas da fluorescência da clorofila *a*. Ao emitir luz na faixa do vermelho (650nm), 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, que foi expressa como índice SPAD (CASSOL et al., 2008; KONICA MINOLTA LTD., 2016). Em cada tratamento foram utilizadas 8 folhas e a medida foi a média de seis leituras por folha

Os pigmentos foliares também foram extraídos (clorofilas *a* e *b*, e pigmentos carotenoides) e suas concentrações foram determinadas de um extrato, que foi preparado com 100 mg de tecido foliar fresco que posteriormente foi macerado em graal de porcelana com 10 mL de acetona fria a 80% (ARNON, 1949). Em seguida o extrato foi filtrado e lido em espectrofotômetro (BioTek Instruments Releases Epoch (TM) 2 Microplate Spectrophotometer) nos comprimentos de onda de 470nm, 648nm e 664nm para a determinação das clorofilas e carotenoides. O teor de clorofila *a*, *b* e carotenoides foi estimado usando as equações sugeridas por Hendry e Grime (1993).

$$\text{Clorofila } a = (12,7 \times A_{663} - 2,69 \times A_{645}) \times 1,119$$

$$\text{Clorofila } b = (22,9 \times A_{645} - 4,68 \times A_{663}) \times 1,102$$

$$\text{Carotenoides} = (A_{480} + 0,114 \times A_{663} - 0,638 \times A_{645}) \times V: 112,5 \times m$$

Onde: A_{480} = absorvância a 480 nm; A_{645} = absorvância a 645 nm; A_{663} = absorvância a 663 nm. Os resultados foram apresentados em mg por grama de massa seca (mg g^{-1} MS).

5.6 Análise estatística

A comparação foi realizada entre um sistema de cultivo agroflorestal e o sistema convencional. Nos dois sistemas foram escolhidas aleatoriamente 8 mangueiras com cinco anos de plantio. O delineamento experimental utilizado foi o de inteiramente casualizado (1x2) em parcelas subdividas no tempo, sendo plantas de uma cultivar de *Mangifera Indica* L. cv. Palmer submetida a 2 diferentes sistemas de cultivo (Sistema Agroflorestal - x Sistema Convencional) com 8 repetições e 6 coletas de dados.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando significativos ao teste F, adotando-se os modelos com significância de 5%. As análises foram realizadas com o software R livre (R Core Team, 2022).

Foi aplicada a análise de componentes principais (PCA), uma análise estatística multivariada, para identificar os parâmetros que mais contribuíram com os resultados obtidos.

6. RESULTADOS

6.1. Dados Climáticos

Na Figura 3 foram destacadas as seis coletas de dados realizadas, representadas por setas. No mês de agosto a coleta foi realizada tendo temperatura mínima de $18,1^{\circ}\text{C}$ e a máxima $27,5^{\circ}\text{C}$. Note que os meses anteriores foram caracterizados por um período de estiagem prolongada e temperaturas mais baixas devido ao período de inverno na região. Em setembro a coleta foi realizada anteriormente ao início das chuvas e ainda no período de estiagem prolongada. Outubro ainda teve poucas chuvas anteriormente à data da coleta dos dados. As coletas nos meses de novembro e dezembro foram marcadas por precipitações

altas de 209,4 mm e 188 mm respectivamente. Em janeiro a precipitação foi alta, mas concentrada em poucos dias.

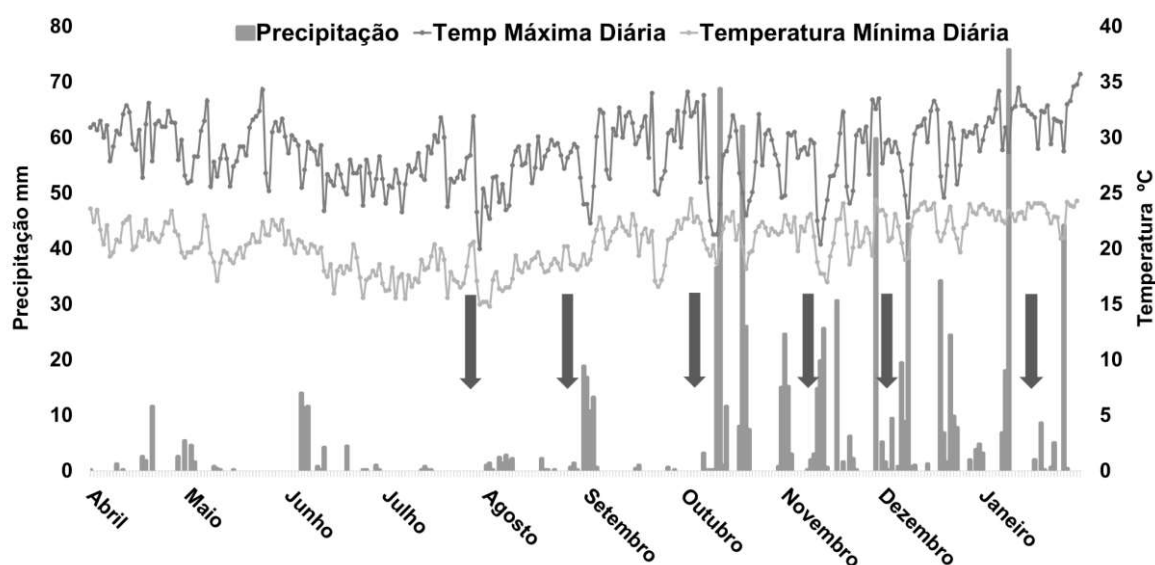


Figura 3: Dados climatológicos, médias das temperaturas máximas e mínimas (C°) diárias e somatória da pluviosidade (mm) mensal no período de abril de 2021 a janeiro de 2022, em Aracruz. As setas indicam os dias em que foram realizadas as coletas de dados. Fonte: adaptação dados do INMET.

6.3 Identificação dos parâmetros fotoquímicos

A Análise de Componentes Principais (PCA) tem como principal função reduzir a dimensionalidade dos dados conjuntos, mantendo o máximo de informações em um número reduzido de componentes principais (PCs). No PCA realizado com os parâmetros obtidos nas análises biofísicas e bioquímicas (Fluorescência da clorofila *a*, trocas gasosas e teores de pigmentos fotossintéticos), dados climatológicos e sistemas de cultivo, os percentuais da variância explicada representados na Figura 4, mostram que a Dimensão 1 (59,4%) e a Dimensão 2 (20%) explicam mais de 70% dos resultados, por isso o estudo se restringiu a essas duas dimensões.

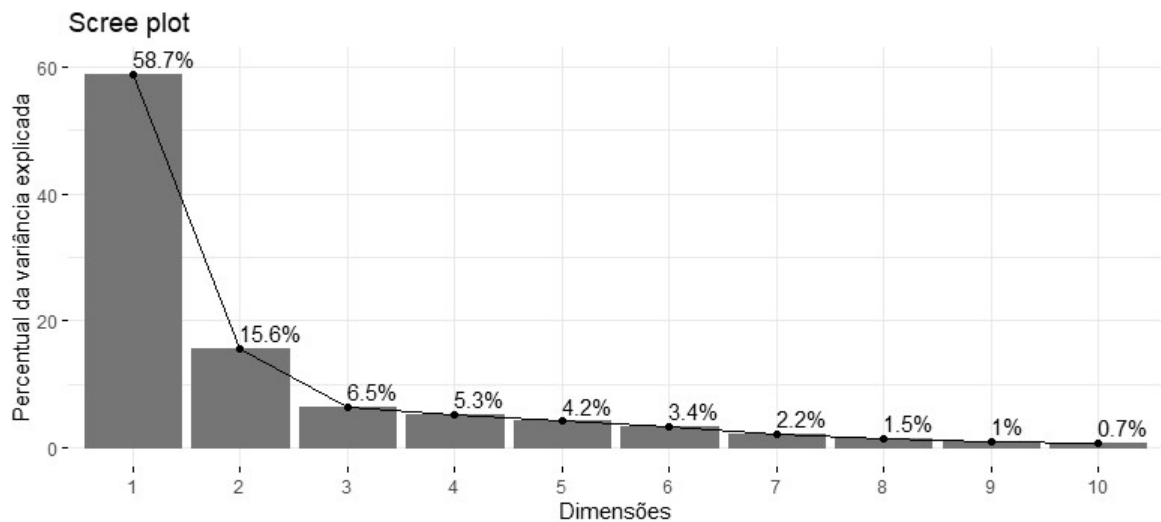


Figura 4 - Percentual da variância explicada por dimensões avaliadas pela Análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados das análises realizadas em 6 meses de estudos da cultivar Palmer de *Mangifera Indica* L. nos sistemas de cultivo Convencional e Sistema Agroflorestal SAF.

Os parâmetros que melhor identificam as diferenças e semelhanças de acordo com a análise de PCA são representados na Figura 4A. Na Dimensão 1 parâmetros que estão mais relacionados ao FSII foram mais relevantes: DF_{ABS} , ET_o/CSm , FV , TRo/CSm , Dio/RC , $KN*ABS.KF$, V_j , Área, Fo/Fm , ABS/RC , F_M , ABS/CSm , PI_{ABS} e Fv/Fo . Já na Dimensão 2, alguns dos parâmetros mais relevantes estão relacionados ao FSI: Sm , δR_0 , $\delta R_0/(1 - \delta R_0)$, Vi , PI_{TOTAL} , F_M e ABS/CSm .

O quadrado cosseno (\cos^2) é um dos indicativos da contribuição do parâmetro sobre a dimensão, um \cos^2 alto indica uma boa contribuição, enquanto um \cos^2 baixo indica que o parâmetro não é perfeitamente representado pelos PCs (Abdi e Williams, 2010). Na Figura 5A os \cos^2 elevados foram representados pelo gradiente vermelho e os \cos^2 baixos estão representados pela cor azul.

Os indivíduos do tratamento SAF (cluster vermelho) estão mais localizados no quadrante IV enquanto os indivíduos do tratamento Convencional (cluster azul) estão mais presentes no quadrante I representados na Figura 5B. Os pontos 2, 3, 4 e 5 do tratamento Convencional (medidas realizadas no mês de agosto) estão afastados dos outros pontos mais à esquerda da dimensão 1 e os pontos 49, 50, 51 e 54 também do tratamento Convencional (medidas realizadas no mês de novembro) estão também afastados dos demais pontos na parte superior em relação à dimensão 2 dentro do quadrante II.

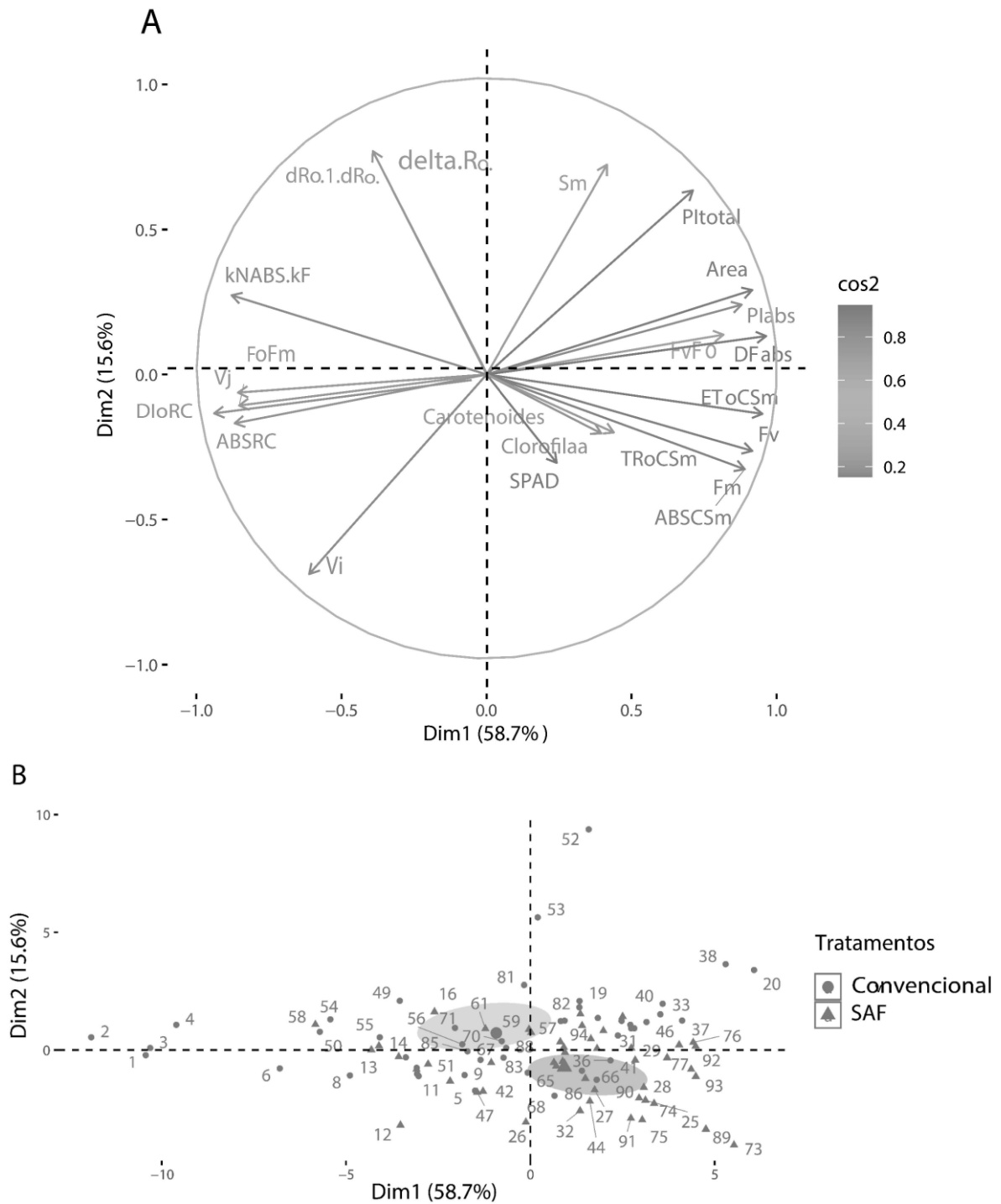


Figura 5: Análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados das análises realizadas em 6 meses de estudos da cultivar Palmer de *Mangifera Indica* L. nos sistemas de cultivo Convencional e Sistema Agroflorestal SAF. A - Distribuição das variáveis no PCA, as setas representam os parâmetros e as cores indicam os valores do quadrado cosseno (\cos^2) de cada variável calculado no PCA. B - Distribuição dos indivíduos no PCA, os pontos representam os indivíduos (repetições das análises) e as cores separam os dois tratamentos Convencional e SAF.

6.3 Macro e micronutrientes do solo e folhas de plantas da mangueira

As análises de solo e folha (Tabela 1) mostraram que alguns nutrientes estavam com deficiência, mesmo contando com as adubações realizadas pelo agricultor. O fósforo no solo do tratamento SAF estava abaixo do valores recomendados (11mg/dm^3) enquanto, nas folhas, os valores encontrados estiveram dentro da normalidade. (Convencional: $1,25\text{g Kg}^{-1}$ e SAF: $1,27\text{g Kg}^{-1}$). O Zinco estava muito baixo no solo no SAF ($2,2\text{ mg/dm}^3$) e médio no solo Convencional ($14,5\text{ mg/dm}^3$), mas esteve baixo nas folhas, em ambos os tratamentos (Convencional: 17 g Kg^{-1} e SAF: 16 g Kg^{-1}). O Cálcio e Magnésio apesar de estarem com níveis normais nos solos dos dois tratamentos esses nutrientes se encontraram com níveis abaixo do valor adequado nas análises de folhas nos dois tratamentos (Cálcio - Convencional: $18,47\text{ mg Kg}^{-1}$ e SAF: $12,85\text{ mg Kg}^{-1}$; Magnésio - Convencional: $1,81\text{ mg Kg}^{-1}$ e SAF: $1,88\text{ mg Kg}^{-1}$). O Ferro esteve normal no solo dos dois tratamentos, mas ficou baixo na folha do tratamento SAF (44 g Kg^{-1}). O Manganês foi encontrado em nível médio no solo nos dois tratamentos, mas observa-se na Tabela 1 que os teores de Mn foram muito alto, até três vezes mais do que o valor máximo recomendado (Convencional: 351 g Kg^{-1} e SAF: 118 g Kg^{-1}).

Os parâmetros ABS/CS_m , TRo/CS_m , F_M e F_V tiveram correlação alta entre -0.6 e -0.7 com os elementos cálcio, manganês e ferro da análise de folha, o Sistema SAF com níveis mais baixos de cálcio teve os maiores valores desses parâmetros.

6.4 Fluorescência da Clorofila

A Figura 5A apresenta típicas curvas O-J-I-P da cinética de emissão da fluorescência da clorofila *a* para os dois tratamentos quando os transientes foram plotados em escala logarítmica (0,01 a 1000ms), demonstrando que as plantas avaliadas estavam fotossinteticamente ativas. Os dados das curvas OJIP neste trabalho são referentes à média de diferentes períodos experimentais, que foram analisados de agosto de 2021 a janeiro de 2022, com intuito de acompanhar o status fotoquímico das plantas ao decorrer do tempo em função dos sistemas de cultivo convencional e agroflorestal (SAF).

As diferenças da fluorescência variável, ΔV_t (Figura 6B) foram normalizadas para se obter as diferenças cinéticas pela equação: $(\Delta W_{OP} = W_{OP(\text{tratamento})} - W_{OP(\text{controle})})$ foi escolhido o sistema de cultivo Convencional como controle, sendo então possível comparar o comportamento fotoquímico e as fases da curva O-J-I-P da cultivar Palmer nos dois sistemas de cultivo. O passo O-J apresenta diferença negativa o que indica uma eficiência maior no sistema SAF em relação ao convencional nessa fase. A partir do passo J-I começa-se a formar uma diferença positiva que tem seu maior ápice próximo ao ponto I retornando à normalidade no passo I-P principalmente próximo ao ponto P o que mostra uma menor eficiência do sistema SAF nesses pontos em relação ao convencional.

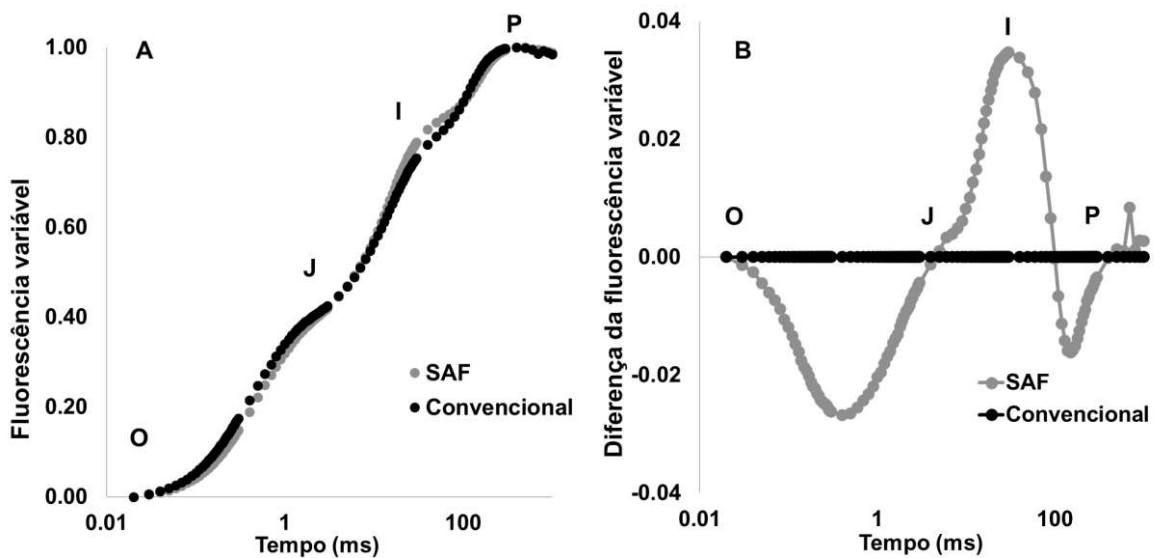


Figura 6: Fluorescência Variável e as diferenças cinéticas normalizadas ($\Delta W_{OP} = W_{OP(\text{SAF})} - W_{OP(\text{Convencional})}$) da cultivar Palmer em Sistema de Cultivo Convencional (Convencional) e em Sistema de Cultivo Agroflorestal (SAF). Dados coletados mensalmente de agosto de 2021 à janeiro de 2022. O tempo está representado em escala logarítmica (ms). (n=8)

A Figura 7A e B mostram a formação das Bandas K e L negativas para o tratamento SAF em relação ao tratamento Convencional que foi utilizado como Referência (=0.0). A curva normalizada I-P (Figura 7C) mostra que nessa fase o tratamento SAF apresentou a formação de uma banda negativa (Banda G) o que pode mostrar uma eficiência maior do tratamento SAF em relação ao Convencional.

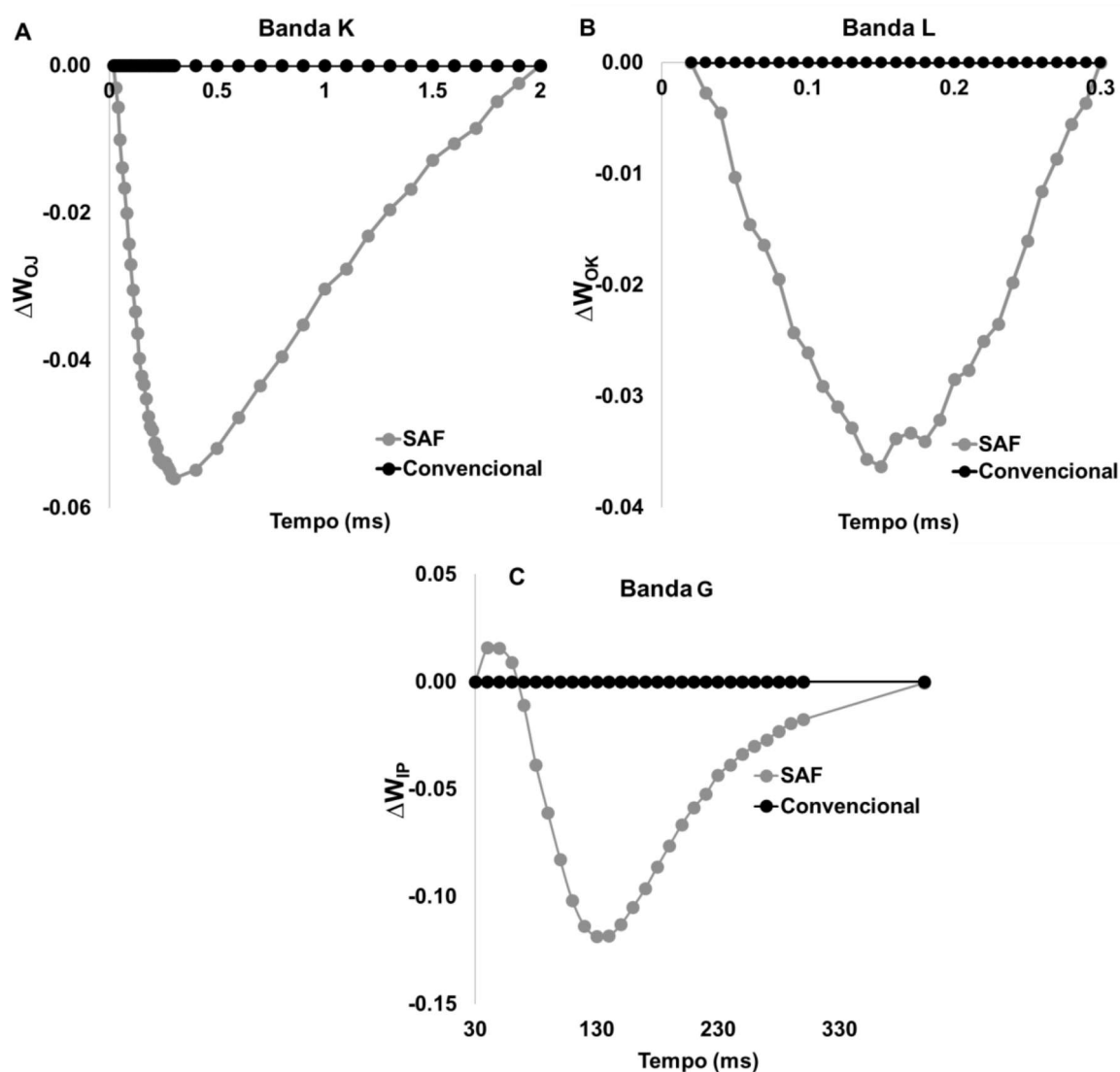


Figura 7: Diferenças cinéticas da fluorescência variável relativa evidenciando o aparecimento da Banda K (A) entre O-J ($\Delta W_{OJ} = (\Delta W_{OJ(\text{tratamento})}) - (\Delta W_{OJ(\text{controle})})$), Banda L (B) entre O-K ($\Delta W_{OK} = (\Delta W_{OK(\text{tratamento})}) - (\Delta W_{OK(\text{controle})})$) e a Banda G (C) entre I-P ($\Delta W_{IP} = (\Delta W_{IP(\text{tratamento})}) - (\Delta W_{IP(\text{controle})})$) da cultivar Palmer em Sistema de Cultivo Convencional (Convencional) e em Sistema de Cultivo Agroflorestal (SAF). Dados coletados mensalmente de agosto de 2021 à janeiro de 2022. O tempo está representado em escala logarítmica (ms). (n=8)

Dentre os parâmetros de fluxos de energia específicos por redução de Q_A (RCs) apenas o parâmetro ET_0/RC não foi significativamente diferente. Os parâmetros ABS/RC , DI_0/RC , TR_0/RC e RE_0/RC (Figura 8C) apresentaram diferença significativa com um aumento dos índices de 15.15%, 25.54%, 11.97% e 19.30% no tratamento Convencional.

Os parâmetros fenomenológicos normalizados por unidade de seção transversal (CS) de um tecido fotossintetizante medidos no momento de atingir o

valor máximo de fluorescência tF_m (CS_m) mostram que a energia absorvida (ABS/CS_m), o fluxo de energia aprisionado por centro de reação FSII (TR_0/CS_m) e o fluxo de elétrons transportados através do FSII (ET_0/CS_m) tiveram valores significativamente maiores 10.95%, 12.82% e 14.27% respectivamente para o tratamento SAF (Figura 8C). O DI_0/CS_m e o RE_0/CS_m não foram significativamente diferentes.

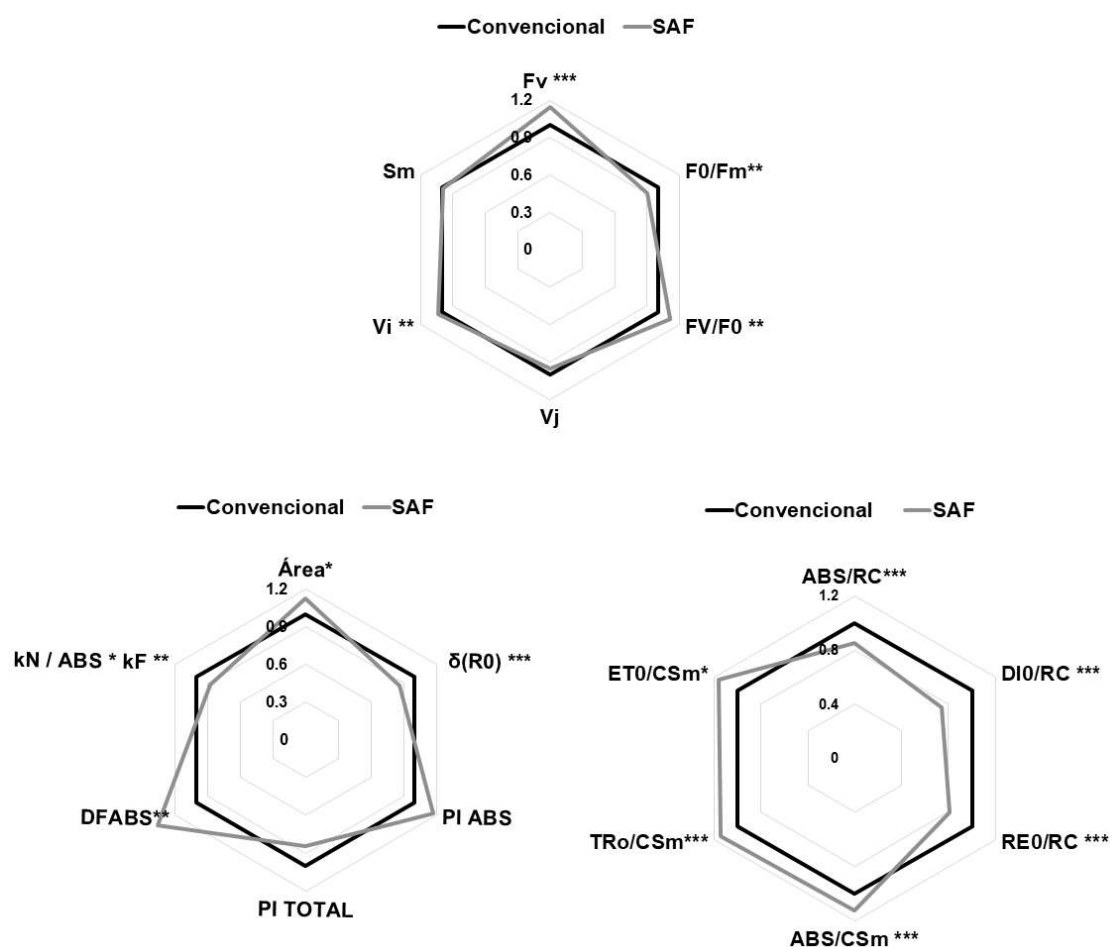


Figura 8: Parâmetros derivados do Teste JIP dos transientes de fluorescência da clorofila a, utilizando como referência o tratamento Convencional (0% = 1.0) da cultivar Palmer em Sistema de Cultivo Convencional (Convencional) e em Sistema de Cultivo Agroflorestal (SAF). Diferem-se estatisticamente entre os tratamentos pelo teste de Tukey $p < 0,1$ (.); $p < 0,05$ (*); $p < 0,01$ (**) e $p < 0,001$ (***).

O índice que quantifica a energia média de excitação dos centros de reação abertos no período de $t = 0$ a tF_m , ou seja, durante o período necessário para o fechamento completo dos RCs (SM/tF_m) foi 17.35% maior no tratamento

Convencional. O tratamento Convencional também teve o parâmetro que mostra a redução dos aceptores finais do FSI ($\delta Ro/(1-\delta Ro)$) significativamente maior que o tratamento SAF em 21.79% (Figura 8B).

A fluorescência variável (F_v) e a relação das constantes de taxa de energia de excitação fotoquímica e não fotoquímica ($F_v/F_o = K_P/K_N$) apresentaram diferença significativa, sendo o SAF, respectivamente, 12.82% e 10.12% maior que o tratamento Convencional (Figura 8A).

A constante da taxa de desexcitação dos eventos não fotoquímicos ($K_N/ABS \cdot k_F$) foi 12.50% e a probabilidade de um elétron do intersistema mover-se para o lado acceptor de FSI (δRo) foram 11,35% e 14.28%, respectivamente, maiores para o tratamento Convencional. O índice de desempenho fotoquímico do FSII (PI_{ABS}) e o índice de desempenho de forças motrizes em $t=0$ (DF_{ABS}) foram 14.55% e 26.52% maiores no tratamento SAF (Figura 8B).

Os parâmetros ABS/CS_m , TRo/CS_m , F_M e F_v tiveram correlação alta entre -0.6 e -0.7 com os elementos cálcio, manganês e ferro da análise de folha, o Sistema SAF com níveis mais baixos de cálcio teve os maiores valores desses parâmetros.

6.5 Trocas Gasosas, Índices de Clorofila e Pigmentos

A taxa de transpiração (E) e a condutância estomática (gs) do tratamento SAF foram 23.28% e 18.67% maior que a do convencional, respectivamente. A eficiência instantânea do uso da água (A/E) foi 20.95% maior no Convencional já a taxa de fotossíntese (A) não teve diferença significativa entre os dois tratamentos (Figura 9).

O índice SPAD (Figura 9) foi significativamente maior para o tratamento SAF 6,85%. Clorofilas a e b não tiveram diferença significativa apesar da clorofila b ter apresentado valor 20,74% maior para o tratamento Convencional. Os teores de carotenoides foi 42,44% significativamente maior no sistema SAF.

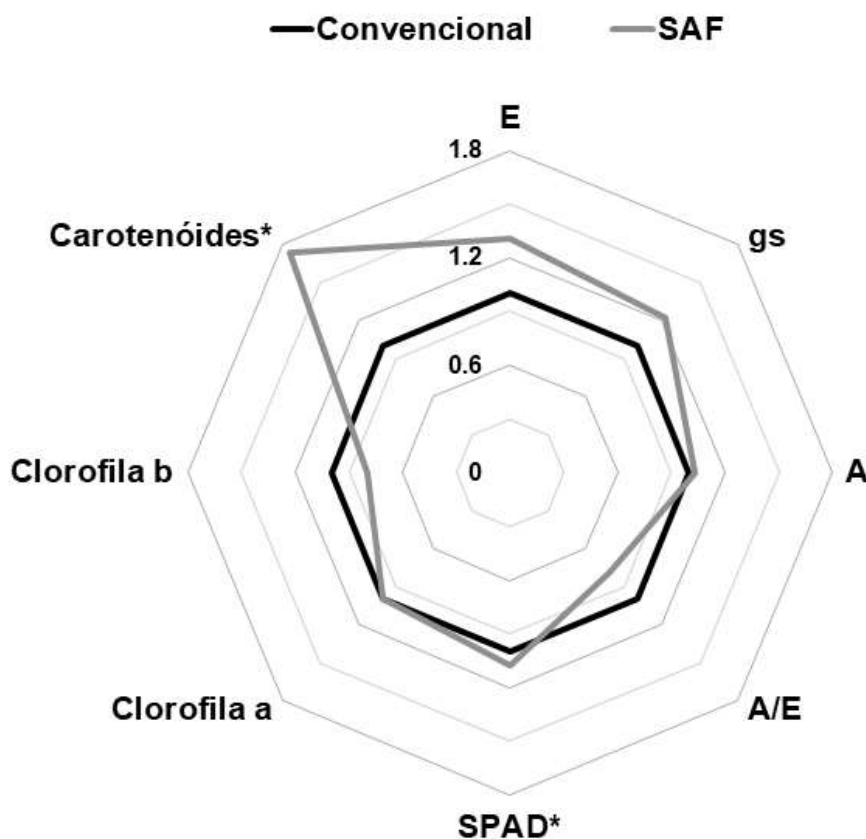


Figura 9: Taxa de transpiração (E), condutância estomática (gs), taxa de fotossíntese líquida (A), eficiência no uso d'água (A/E), índice SPAD, Clorofila a, clorofila b e carotenoides, da cultivar Palmer em Sistema de Cultivo Convencional (Convencional) e em Sistema de Cultivo Agroflorestal (SAF), utilizando como referência o tratamento Convencional (0% = 1.0). Diferem-se estatisticamente entre os tratamentos pelo teste de Tukey $p < 0,1$ (.); $p < 0,05$ (*); $p < 0,01$ (**) e $p < 0,001$ (***).

7. DISCUSSÃO

Diferentes sistemas de cultivo estão sendo desenvolvidos e estudados na busca pelo aumento da produção agrícola em paralelo com a sustentabilidade. O Sistema Agroflorestal se apresenta como uma oportunidade de aumento da biodiversidade se aproximando ambientalmente próximo da estrutura das florestas naturais. A Mangueira, como uma árvore que se encontra no último dossel do sistema agroflorestal, recebeu luz solar direta na mesma intensidade que no sistema convencional de produção. No entanto, os resultados mostraram diferenças fisiológicas, pigmentares e fotossintéticas entre os dois sistemas de cultivo.

7.1. *Influência Climática na fotossíntese*

Durante a coleta dos dados ocorreram variações climáticas importantes para a discussão dos resultados. Em outubro a coleta de dados foi realizada no início do mês e até aquele momento as chuvas ainda eram escassas. Então, apesar de outubro ter sido um mês com pluviosidade média (241mm), essa coleta ainda reflete o período de estiagem dos meses anteriores (agosto e setembro). Observando os dados climatológicos desses meses pode-se inferir que a taxa fotossintética dessas plantas foi afetada pelo déficit hídrico (SILVA et al., 2019) e as baixas temperaturas (LIN et al., 2020). Os primeiros dados coletados no mês de agosto mostraram um estresse fotossintético nos dois tratamentos, mas em especial no tratamento convencional.

7.2. Identificação dos parâmetros fotoquímicos

O PCA mostrou que os tratamentos se diferenciam ocupando quadrantes diferentes (Figura 4). O Tratamento SAF mostrou maiores valores em relação ao PC1 e menores valores em relação ao PC2, por isso seus indivíduos ocupam em maior parte o quarto quadrante do PCA (Figura 5B). O Tratamento Convencional possui valores maiores em relação ao PC2 e valores menores se comparados com o SAF em relação ao PC1 e, por isso, seus indivíduos ocupam em maior parte o primeiro quadrante (Figura 5B).

O primeiro componente (PC1) está relacionado principalmente ao fotossistema II (FSII) e representa a capacidade de capturar e reter a energia solar (ABS/RC , ABS/CSM , PI_{ABS}), os primeiros eventos no transporte de elétrons (DF_{ABS} , ETo/CSM , TRo/CSM , Fv/Fo) e a dissipação de calor (DIo/RC , Fo/Fm).

O indicador de forças motrizes em relação à absorção de energia no FSII (DF_{ABS}) e o índice de desempenho (PI_{ABS}) foram utilizados por autores como fatores de avaliação para o estresse de plantas, no trabalho de Silva et al. (2019), por exemplo, mangueiras submetidas ao estresse hídrico apresentaram valores de DF_{ABS} e PI_{ABS} menores, e esses índices foram os que melhor explicaram os resultados segundo o PCA do experimento desses autores. No PCA do presente trabalho DF_{ABS} e PI_{ABS} estão entre os parâmetros que melhor explicam os resultados também.

Um indicativo de que esses índices também podem ser referentes ao estresse neste experimento foi o fato das análises coletadas no mês de agosto mostrarem

que o tratamento Convencional tem mais dificuldade com o estresse hídrico, pois neste momento eles se distanciam do grupo em direção a menores valores de DF_{ABS} e PI_{ABS} (Figura 3). Observando a média dos 6 meses, o tratamento SAF apresentou o DF_{ABS} e PI_{ABS} maiores que o tratamento Convencional, o que pode significar que o Sistema SAF ofereceu melhores condições hídricas e, por isso, um menor dano fotossintético. Essa condição de maior disponibilidade hídrica no tratamento SAF também é reforçada por sua maior Taxa de Transpiração (E) e Condutância estomática (gs) em relação ao tratamento Convencional.

No segundo componente (PC2) estão parâmetros relacionados à fase IP (fase térmica) e ao fotossistema I (FSI), que mostraram a eficiência nas reações de redução de elétrons dos receptores finais no FSI (δR_o , $\delta R_o/(1-\delta R_o)$ e V_i), o tamanho total de pool de elétrons (S_m) e os eventos desde a captura de fótons até a redução de receptores finais (PI_{TOTAL}). No geral o tratamento Convencional apresentou maiores valores para esses parâmetros principalmente no mês de novembro com um grupo de indivíduos que se sobressaíram do restante dos indivíduos, possivelmente pela pluviosidade e temperaturas do período que potencializaram o tratamento. Bussotti et al. (2020), analisaram grandes conjuntos de dados de fluorescência da clorofila *a* e nas análises de PCA encontraram uma distribuição de parâmetros semelhante à encontrada neste trabalho, em sua maioria os parâmetros relacionados aos processos fotoquímicos e dissipação se encontraram no PC1 e os relacionados aos processos térmicos estavam mais presentes no PC2.

7.2 Influência dos Macro e micronutrientes na fotossíntese

A deficiência ou excesso de nutrientes pode impactar e até mesmo interromper a fotossíntese (SWOCZYNA, 2019; KALAJI et al., 2017, KALAJI et al., 2018; QU, et al., 2012). Várias pesquisas já indicaram essa influência com elementos químicos como Ca, P, Cu, Fe, Mn (SINGH; KUMAR; SONI, 2022, KALAJI et al., 2017, KALAJI et al., 2018).

Plantas com deficiência de Fe podem apresentar a formação de Centros de Reação inativos no FSII, o que pode acarretar em baixos valores de PI_{TOTAL} (KALAJI et al., 2017). O tratamento SAF apesar de ter o nível de Fe no solo normal e maior que o tratamento Convencional, apresentou deficiência de Fe em suas folhas o que pode ter contribuído para o baixo PI_{TOTAL} . Os baixos resultados dos parâmetros que demonstram o fluxo específico de energia por centro de reação

ativos do FSII - ABS/RC, DIO/RC, TRo/RC e REo/RC também podem ter sido ocasionados por essa deficiência.

Os dois tratamentos apresentaram Mn em alta concentração nas análises foliares, principalmente no tratamento convencional, no entanto, altos teores também foram encontrados em outros trabalhos, onde os autores relataram alta concentração de Mn em folhas de mangueiras sobre condições normais de cultivo em campo (NAGRAJ et al., 2018; PACHECO et al., 2018; ROZANE, et al 2007, SILVA JUNIOR, 2020), o que pode indicar que a manga pode apresentar naturalmente altos teores de Mn em seu tecido foliar, e o acúmulo deste micronutriente pode não ter efeito de toxidez para esta espécie.

7.3. Fluorescência da Clorofila

Analisando a atividade fotossintética, as curvas OJIP obtidas nas plantas dos dois sistemas demonstraram que todas as plantas estavam fotossinteticamente ativas (GOLTSEV et al., 2016; KALAJI et al., 2014b).

A formação de Bandas K, L e G negativas (Figura 7A, 7B e 7C) podem indicar uma maior eficiência do tratamento SAF em relação ao Convencional. A banda L negativa indicou que o tratamento SAF tem uma melhor conectividade entre os centros de reação e seus complexos coletores de luz, que o tratamento convencional que foi utilizado como controle, indicando assim uma melhor eficiência na transferência de energia para os RCs. Quando a banda K é positiva, indica que as subunidades do complexo de evolução do oxigênio (CEO) estão sendo dissociadas, mas como estes são sensíveis a condições abaixo do ideal, eles geram um desequilíbrio entre a transferência de elétrons do CEO para o centro de reação oxidado FSII clorofila (P_{680+}) e a reoxidação de aceptores do FSII reduzidos. Nesse caso, a banda negativa em relação ao tratamento controle pode mostrar que os CEOs do tratamento SAF estão em melhores condições e equilíbrio entre a transferência de elétrons e a reoxidação dos aceptores do FSII (KALAJI et al., 2017).

As curvas normalizadas IP positivas indicaram um desequilíbrio entre a redução do Q_A e oxidação do pool de plastoquinona (TÓTH et al., 2007). A oxidação do pool de plastoquinona depende da eficiência da captação de elétrons dos aceptores do FSI e do número de formas oxidadas de NADP disponíveis (KALAJI

et al., 2017). Já foi observado que a temperatura pode alterar a amplitude da fase I-P (ARAUJO, 2016), nesse caso o microclima mais ameno gerado pelo SAF pode ter sido o motivo da banda G negativa.

7.4. Trocas Gasosas, Índices de Clorofila e Pigmentos

Sob déficit hídrico e alta temperatura é comum que aconteça nas plantas um ajustamento osmótico (AO) com a redução da condutância estomática (gs) e da taxa de transpiração (E) (TUNER, 2018). Porém, a taxa de transpiração (E) alta e a condutância estomática (gs) também maior que o tratamento Convencional evidenciam que uma disponibilidade hídrica e/ou a redução da temperatura no microclima do SAF podem ter permitido uma abertura maior dos estômatos. Assim a eficiência do uso da água (A/E) foi menor para o SAF devido à alta taxa de transpiração, mas a taxa fotossintética foi levemente superior ao Convencional (Figura 9).

O elevado e significativo índice de carotenoides totais no tratamento SAF pode ter contribuído como fotoproteção e diminuído o dano fotossintético. O aumento de carotenoides é uma reação conhecida das plantas como reguladora da luz no interior das folhas atuando como fotoprotetora (CAZZONELLI, 2011). Estudos mostraram que plantas expostas ao sol apresentaram quase o dobro de carotenoides que plantas que cresciam em sombra parcial (ORTIZ; MORENO; DÍEZ, 2021; SARIJEVA; KNAPP; LICHTENTHALER, 2007). Estudos também mostraram redução na produção de carotenoides em plantas submetidas ao estresse hídrico (ESPOSTI, 2013).

O Tratamento SAF teve em sua estrutura diversas plantas que ajudaram a criar um microclima com temperatura mais amena, maior cobertura do solo devido ao maior volume de plantas e de serrapilheira, que contribuíram para a manutenção da umidade do solo por um período maior que no sistema convencional (VILLEGAS et al., 2010; XING et al., 2018). Por este agregado de características positivas, é possível que essa vantagem hídrica tenha contribuído para o aumento no índice de carotenoides fotoprotetores que contribuíram para a redução do dano fotossintético em relação ao sistema Convencional, uma vez que as plantas do SAF estavam em um maior conforto hídrico, se comparado às plantas do cultivo convencional.

8. CONCLUSÕES

A fluorescência da clorofila *a* pode ser utilizada para ampliar os estudos sobre ecofisiologia de plantas como a mangueira em sistemas produtivos mais sustentáveis como o Sistema Agroflorestal.

Parâmetros fotoquímicos extraídos da cinética da fluorescência da clorofila *a* como o DF_{ABS} (índice de forças motrizes) e PI_{ABS} (índice de desempenho) maiores podem indicar o sistema de cultivo com maior eficiência fotossintética.

Plantas do Sistema SAF apresentaram características ecofisiológicas que indicam uma maior eficiência fotossintética que o Sistema Convencional, principalmente por causa do conforto hídrico e térmico que este sistema ofereceu.

Estes resultados sugerem a continuidade dos estudos nesta área objetivando verificar se a eficiência fotossintética impacta a produtividade e a qualidade dos frutos.

9. REFERÊNCIAS

- ARANTES, P. B. **Rede de circulação de sementes e propágulos na agricultura familiar e a conservação on farm no Espírito Santo**. São Mateus, ES: UFES, 2013.
- ARAUJO, T. DOS S. **Avaliação da tolerância ao calor de diferentes acessos de *Jatropha curcas* L.** 2018. 59 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia do Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.
- ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplast. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiol.**, v.24, n.1, p.1-15, 1949.
- BERTAMINI, M.; NEDUNCHEZHIAN, N. Photoinhibition of photosynthesis in mature and young leaves of grapevine (*Vitis vinifera* L.). **Plant Science**, v. 164, n. 4, p. 635–644, 2003.
- BITTENCOURT, M. V. L. Impactos da agricultura no meio ambiente: principais tendências e desafios (Parte 2). **Revista Economia & Tecnologia**, [S.l.], v. 6, n. 1, mar. 2010. ISSN 2238-1988. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/ret/article/view/27031>>. Acesso em: 26 apr. 2020.
- BRASIL. **Lei no 12.727 de 17 de outubro de 2012**. Brasília, 17 out. 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 09 nov 2022.
- BRUGNOLI, E. et al. Zeaxanthin and non-photochemical quenching in sun and shade leaves of C3 and C4 plants. **Physiologia Plantarum**, v. 104, n. 4, p. 727–734, 1998.
- BUCZEK, J.; JAŃCZAK-PIENIAŻEK, M. Effect of Soil Practice on Photosynthesis, Yield and Quality of Soyabean (*Glycine max* (L.) Merr.). **Chemistry Proceedings**, v. 10, n. 1, 2022.

BUSSOTTI, F. et al. Selection of chlorophyll fluorescence parameters as indicators of photosynthetic efficiency in large scale plant ecological studies. **Ecological Indicators**, v. 108, 1 jan. 2020.

CAI, S.-Q.; XU, D.-Q. Light intensity-dependent reversible down-regulation and irreversible damage of PSII in soybean leaves. **Plant Science**, v. 163, n. 4, p. 847–853, 2002.

CARVALHO, V.; COUTINHO NETO, A. A. Espécies reativas de oxigênio em plantas. Em: PENA, M. (Ed.). **VI Botânica no Inverno 2016**. 1. ed. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, Departamento de Botânica, 2016. p. 223.

CASSOL, D. et al. An evaluation of non-destructive methods to estimate total chlorophyll content. **Photosynthetica**, v. 46, n. 4, p. 634–636, 2008.

CAZZONELLI, C. I. Carotenoids in nature: Insights from plants and beyond. **Functional Plant Biology**, 2011.

CIOMPI, S. et al. The effect of nitrogen deficiency on leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in sunflower. **Plant Science**, v. 118, n. 2, p. 177–184, 1996.

DIAS, D P.; MARENCO, R. A. Fotossíntese e fotoinibição em mogno e acariquara em função da luminosidade e temperatura foliar Photosynthesis and photoinhibition in mahogany and acariquara as a function of irradiance and leaf temperature. **Pesq. agropec. bras**, n. 3, p. 305–311, 2007.

ENGEL, V. L. **Sistemas Agroflorestais: Conceitos e Aplicações**. 2 Recursos Naturais/FCA - Unesp/Botucatu: 70 p 1999. Disponível em: <<http://saf.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/01.pdf>>. Acesso em: 8 nov. 2022.

ESPÍRITO SANTO (Estado). **Plano Estratégico de Desenvolvimento da Agricultura**: novo PEDEAG 3 (2015-2030). Vitória: SEAG, 2015.

ESPOSTI, M. S. D. O. D. **Estresse hídrico em duas espécies arbóreas de diferentes estágios sucessionais**. 2013. 62 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia

e Recursos Naturais) – Centro de Biociências e Biotecnologia da Universidade Estadual Norte Fluminense – UENF. Campos, 2013.

FARIAS, M. E. DE. **Estudo da cadeia de transporte de elétrons fotossintético em folhas destacadas de ervilha**. 2014. 60 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal Universidade Federal de Pelotas. Instituto de Biologia. Pelotas, 2014.

FARIA-SILVA, L. et al. Photochemical metabolism and fruit quality of Ubá mango tree exposed to combined light and heat stress in the field. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 39, n. 10, 1 out. 2017.

FARIA-SILVA, L.; GALLON, C. Z.; MOURA SILVA, D. Photosynthetic performance is determined by scion/rootstock combination in mango seedling propagation. **Scientia Horticulturae**, v. 265, 2020.

FREITAS, F. J. N. **Crescimento inicial e eficiência fotoquímica de mangueiras cultivadas em solo contendo lama do Rio doce**. 2018. 64 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória: 2018.

GAZOLLA-NETO, A. et al. Ação de níveis de luminosidade sobre o crescimento de plantas de maria-pretinha (*Solanum americanum* Mill.). **Revista Brasileira de Biociências**, v. 11, n. 1, p. 88–92, 2013.

GOLTSEV, V. N. et al. Variable chlorophyll fluorescence and its use for assessing physiological condition of plant photosynthetic apparatus. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 63, n. 6, p. 869–893, 2016.

HENDRY GAF, PRICE AH. Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: Hendry GAF, Grime JP (eds) **Methods in comparative plant ecology**. Chapman & Hall, London, pp 148-152, 1993.

ILSTEDT, U. et al. Intermediate tree cover can maximize groundwater recharge in the seasonally dry tropics. **Scientific Reports**, v. 6, 24 fev. 2016.

INCAPER. **Polo de Manga para indústria no estado do Espírito Santo** (DCM/Incaper, Ed.). 2009. Disponível em: <www.incaper.es.gov.br>.

KALAJI HM, et al (2014a) Identification of nutrient deficiency in maize and tomato plants by in vivo chlorophyll a fluorescence measurements. **Plant Physiol Biochem** 81:16–25. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.03.029>

KALAJI, H. M. et al. (2014b) Frequently asked questions about in vivo chlorophyll fluorescence: Practical issues. **Photosynthesis Research**, Kluwer Academic Publishers, 2014.

KALAJI, H. M. et al. Chlorophyll fluorescence as a tool for nutrient status identification in rapeseed plants. **Photosynthesis Research**, v. 136, n. 3, p. 329–343, 1 jun. 2018.

KALAJI, H. M. et al. Frequently asked questions about chlorophyll fluorescence, the sequel. **Photosynthesis Research**, Springer Netherlands, , 1 abr. 2017.

KALAJI, H. M. Oddziaływanie abiotycznych czynników stresowych na fluorescencję chlorofili lu w roślinach wybranych odmian jęczmienia *Hordeum vulgare* L. **Wydawnictwo SGGW**, Warszawa, 2011.

KONICA MINOLTA LTD. **Manual for Chlorophyll Meter SPAD-502**. Osaka, Japan: Konica Minolta Sensing Europe B.V., 2016.

LAING, W. et al. Physiological impacts of Mg deficiency in *Pinus radiata*: growth and photosynthesis. **New Phytologist**, v. 146, n. 1, p. 47–57, 2000.

LICHTENTHALER, H. K. Biosynthesis, accumulation and emission of carotenoids, α -tocopherol, plastoquinone, and isoprene in leaves under high photosynthetic irradiance. **Photosynthesis Research**, v. 92, n. 2, p. 163–179, 2007.

LIMA, J. T. **Efeitos fisiológicos e bioquímicos da mangueira ‘ubá’ em resposta ao manejo de desponte e aplicação de paclobutrazol**. 59 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia do Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.

LIMA, J. T. **Efeitos fisiológicos e bioquímicos da mangueira 'ubá' em resposta ao manejo de desponte e aplicação de paclobutrazol**. 59 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia do Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.

LIN, B. B. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 144, n. 1–2, p. 85–94, 14 maio 2007.

LIN, K. H. et al. Physiological characteristics of photosynthesis in yellow-green, green and dark-green Chinese Kale (*Brassica oleracea* L. var. *alboglabra* musil.) under varying light intensities. **Plants**, v. 9, n. 8, p. 1–13, 1 ago. 2020.

LIU, C.; ZHANG, X.; ZHANG, Y. Determination of daily evaporation and evapotranspiration of winter wheat and maize by large-scale weighing lysimeter and micro-lysimeter. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 111, n. 2, p. 109–120, 2002.

LONG, S. P.; FARAGE, P. K.; GARCIA, R. L. Measurement of leaf and canopy photosynthetic CO₂ exchange in the field. **Journal of Experimental Botany**, v. 47, n. 11, p. 1629–1642, 1996. Disponível em: <<https://academic.oup.com/jxb/article-lookup/doi/10.1093/jxb/47.11.1629>>.

MEHARG, A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th edition. By A. Kabata-Pendias. Boca Raton, FL, USA: CRC Press/Taylor & Francis Group (2010), pp. 548, US\$159.95. ISBN 9781420093681. **Experimental Agriculture**, v. 47, p. 739, nov. 2011.

MEROTTO JR, A.; FISCHER, A. J.; VIDAL, R. A. Perspectives for using light quality knowledge as an advanced ecophysiological weed management tool. **Planta Daninha**, v. 27, n. 2, p. 407–419, 2009.

MICCOLIS, A. et al. Restoration through agroforestry: options for reconciling livelihoods with conservation in the cerrado and caatinga biomes in Brazil. **Experimental Agriculture**, v. 55, n. S1, p. 208–225, 1 jun. 2019.

NAGRAJ, K. et al. Effect of organic and inorganic nutrient on nutritional status in mango. ~ **1401 ~ International Journal of Chemical Studies**, v. 6, n. 5, p. 1401–1403, 2018.

NAIR, P. K. R. Tropical agroforestry systems and practices. In: Furtado, J.I. e Ruddle, K. (eds.) **Tropical resource ecology and development**. John Willey Ed. Chichester - Inglaterra. 1984. 39 p. (capítulo 14 – 39p.)

ORTIZ, D.; MORENO, F.; DÍEZ, M. C. Photosynthesis, growth, and survival in seedlings of four tropical fruit-tree species under intense radiation. **Acta Amazonica**, v. 51, n. 1, p. 1–9, 2021.

PACHECO, A. L. V. et al. Fertilidade do solo e nutrição da mangueira “ubá” em consórcio com braquiária e sob adubação mineral, orgânica e organomineral. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**. v. 8, n.1, 2018.

PADHI, B. et al. A comparison of chlorophyll fluorescence transient measurements, using handy pea and fluorpen fluorometers. **Photosynthetica**, v. 59, n. S1, p. 399–408, 2021.

PALENCAR, P. et al. The effects of light-induced reduction of the photosystem II reaction center. **Journal of Molecular Modeling**, v. 15, n. 8, p. 923–933, 2009.

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI M., A. **Guia de Interpretação de análise de SOLO E FOLIAR**. Vitória, ES: Incaper, 104 p. 2013.

QU C.,et al (2012) Impairment of maize seedling photosynthesis caused by a combination of potassium deficiency and salt stress. **Environ Exp Bot** 75:134–141. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.08.019>

QUAGGIO, J.A. Adubação e calagem para a mangueira e qualidade dos frutos. In: SÃO JOSE, A.R.; SOUZA, I.V.B. MARTINS, J.M. & MORAIS, O.M., eds. **Manga: tecnologia de produção e mercado**. Vitória da Conquista, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 1996. p.106-135

QUEIROZ, M. A.; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. **Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro**. Embrapa Semi-Árido ed. Petrolina, PE, 1999.

R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org> (acessado em 10 January 2022).

REDILLAS, M. C. F. R. et al. The use of JIP test to evaluate drought-tolerance of transgenic rice overexpressing OsNAC10. **Plant Biotechnology Reports**, v. 5, n. 2, p. 169–175, abr. 2011.

REDONDO-GÓMEZ, S.; MATEOS-NARANJO, E.; FIGUEROA, M. E. Synergic effect of salinity and light-chilling on photosystem II photochemistry of the halophyte, *Sarcocornia fruticosa*. **Journal of Arid Environments**, v. 73, n. 4, p. 586–589, 2009.

ROZANE, D. E. et al. Amostragem para diagnose do estado nutricional de mangueiras 1 size of samples for nutritional status assessment of mango trees. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal-SP. P.371-376, 2007.

SARIJEVA, G.; KNAPP, M.; LICHTENTHALER, H. K. Differences in photosynthetic activity, chlorophyll and carotenoid levels, and in chlorophyll fluorescence parameters in green sun and shade leaves of Ginkgo and Fagus. **Journal of Plant Physiology**, v. 164, n. 7, p. 950–955, 26 jul. 2007.

SILVA JUNIOR, R. DE O. **Desempenho ecofisiológico e resiliência de variedades de *mangifera Indica* L. após o estresse causado pela lama do Rio Doce**. 123 f. 2020. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal). Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2020.

SILVA, L. F. et al. Irrigation improves plant vitality in specific stages of mango tree development according to photosynthetic efficiency. **Photosynthetica**, v. 57, n. 3, p. 820–829, 2019.

SINGH, H.; KUMAR, D.; SONI, V. Performance of chlorophyll a fluorescence parameters in Lemna minor under heavy metal stress induced by various concentration of copper. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, 1 dez. 2022.

SOUSA, S. G. A. et al. Sistemas agroflorestais para agricultura familiar. **Comunicado Técnico - Embrapa**, 2019.

STIRBET, A. et al. **Chlorophyll a fluorescence induction: Can just a one-second measurement be used to quantify abiotic stress responses? Photosynthetica** The Institute of Experimental Biology of the Czech Academy of Sciences, , 1 mar. 2018.

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 Elsevier B.** v. 104, p. 236-257, 2011.

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., et al.. 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

STRASSER, R. J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, A. Analysis of the Chlorophyll a Fluorescence Transient. Em: PAPAGEORGIU, G. C.; GOVINDJEE (Eds.). **Chlorophyll a Fluorescence: A Signature of Photosynthesis.** Dordrecht: Springer Netherlands, 2004. p. 321–362.

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.

STRIZH, I. G.; LYSENKO, G. G.; NEVEROV, K. V. Photoreduction of Molecular Oxygen in Preparations of Photosystem II under Photoinhibitory Conditions. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 52, n. 6, p. 717–723, 2005.

SWOCZYNA, T. et al. JIP-test in assessing sensitivity to nitrogen deficiency in two cultivars of *actinidia arguta* (Siebold et zucc.) planch. ex miq. **Photosynthetica**, v. 57, n. 2, p. 646–658, 2019.

TÓTH, S. Z. et al. Photosynthetic electron transport activity in heat-treated barley leaves: The role of internal alternative electron donors to photosystem II. **Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics**, v. 1767, n. 4, p. 295–305, abr. 2007.

TSIMILLI-MICHAEL, M.; STRASSER, R. J. **In vivo Assessment of Stress Impact on Plant's Vitality: Applications in Detecting and Evaluating the Beneficial Role of Mycorrhization on Host Plants**. 3. ed., p. 679–703, 2008.

TURNER, N. C. Turgor maintenance by osmotic adjustment: 40 years of progress. **Journal of Experimental Botany**. Oxford University Press, 6 jun. 2018.

VILLEGAS, J. C. et al. Ecohydrological controls of soil evaporation in deciduous drylands: How the hierarchical effects of litter, patch and vegetation mosaic cover interact with phenology and season. **Journal of Arid Environments**, v. 74, n. 5, p. 595–602, 2010.

WALLACE, J. S.; JACKSON, N. A.; ONG, C. K. **Modelling soil evaporation in an agroforestry system in Kenya**, p. 189-202: 1999.

XING, Z. et al. **Experimental analysis of the effect of forest litter cover on surface soil water dynamics under continuous rainless condition in North China**. Shanghai, China: 2018.

XU, H. X.; WENG, X. Y.; YANG, Y. Effect of phosphorus deficiency on the photosynthetic characteristics of rice plants. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 54, n. 6, p. 741–748, 2007.

YUSUF, MOHD. A. et al. Overexpression of γ -tocopherol methyl transferase gene in transgenic *Brassica juncea* plants alleviates abiotic stress: Physiological and chlorophyll a fluorescence measurements. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics**, v. 1797, n. 8, p. 1428–1438, 2010.

ZOMER, R. J. et al. Global carbon sequestration potential of agroforestry and increased tree cover on agricultural land. **Circular Agricultural Systems**, v. 2, n. 1, p. 1–10, 2022.