UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

DANIELA VIEIRA SILVA

MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS PARA ESTIMATIVAS DE CLOROFILAS COMO INDICADORES DA QUALIDADE DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS

Ilhéus - BA

2014

DANIELA VIEIRA SILVA

MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS PARA ESTIMATIVAS DE CLOROFILAS COMO INDICADORES DA QUALIDADE DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, da Universidade Estadual de Santa Cruz, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Área de concentração: Cultivo de Plantas em Ambiente Tropical Úmido.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Schramm Mielke

Coorientador: Profª. Drª. Letícia dos Anjos

Ilhéus - BA
2014

DANIELA VIEIRA SILVA

MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS PARA ESTIMATIVAS DE CLOROFILAS COMO INDICADORES DA QUALIDADE DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS

Ilhéus, 5 de fevereiro de 2014

_____

Marcelo Schramm Mielke – DSc
UESC/DCB (Orientador)

_____

Alex-Alan Furtado de Almeida – DSc
UESC/DCB

_____

Marco Antônio Galeas Aguilar– DSc
CEPLAC/GERES/ESFIP

À minha família, que pela união sempre se fez presente em minha vida, me permitindo crescer em um ambiente de aconchego e amor, onde pude aprender virtudes que me acompanham e garantem meu crescimento pessoal.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Santa Cruz que, por meio do Programa de Pós - Graduação em Produção Vegetal oportunizou a realização do curso de Mestrado.

Ao órgão financiador CAPES, pelo apoio financeiro com a concessão da bolsa de mestrado.

Ao meu orientador professor Marcelo Schramm Mielke, por todo o aprendizado, por ser um exemplo de profissional que se dedica incondicionalmente ao que ama, pelo constante incentivo, confiança e amizade demonstrada durante a elaboração deste trabalho, enriquecendo-me com o seu saber, você é mais que um orientador é um exemplo. A minha coorientadora professora Letícia dos Anjos pelas contribuições para a realização desta pesquisa. Aos professores Químicos Fernando e Rosilene pelas contribuições iniciais em meu trabalho.

Ao Instituto Floresta Viva pelo apoio na execução deste trabalho e pela disponibilização das espécies estudadas, meus sinceros agradecimentos a todos vocês que fazem parte do Instituto e que me acolheram muito bem.

Agradeço aos membros da banca examinadora e ao corpo docente e administrativo do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da UESC (PPGPV/UESC), pela transmissão de conhecimentos e pela atenção dada, em especial, a professora Norma Eliane Pereira, pela oportunidade e confiança de disponibilizar o Laboratório de Fitotecnia para elaboração das minhas avaliações.

Aos amigos queridos que tive o prazer de conhecer no Mestrado em especial a Giovanna, Jordany e Nathália, sem dúvidas os dias no laboratório e nessa cidade foram bem melhores pela presença, incentivo, cuidados e pelos momentos compartilhados com vocês que foram como irmãs para mim. Agradeço ainda a Viviane, Joedson, Nairane, Felipe e Leyde pelos momentos impares e inesquecíveis vividos, tantas alegrias e histórias, vocês moram em meu coração. A todos os colegas de Pós – Graduação foi maravilhosa essa oportunidade de conhecê-los fica a certeza que nada é ao acaso e a vontade que na caminhada dessa vida possamos nos reencontrar.

Minha eterna gratidão aos meus pais, meus familiares e amigos, por todo amor, pela dedicação e compreensão por todas as ausências, pela saudade ocasionada pela distancia, o apoio de vocês foi fundamental para mais esta etapa realizada.

E agradeço sobretudo a Deus, pelo dom da vida, por progredir e evoluir neste mundo e por sempre me proporcionar conquistas maravilhosas. E, finalmente, a todas as pessoas que passaram por minha vida, que de forma direta ou indireta colaboraram para que mais este sonho fosse realizado;

Os meus sinceros agradecimentos.

MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS PARA ESTIMATIVAS DE CLOROFILAS COMO INDICADORES DA QUALIDADE DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS

RESUMO

A produção de mudas de espécies florestais em larga escala para plantios comerciais, recuperação de áreas degradadas e recomposição florestal tem induzido a procura por alternativas que visam à redução dos custos de manejo dessas espécies em viveiros comerciais. Objetivou-se no presente estudo calibrar e comparar métodos não destrutivos para estimativas dos teores de clorofilas como indicadores da qualidade de mudas de seis espécies florestais nativas, visando o seu uso em projetos de restauração florestal. Foram testados dois medidores portáteis de clorofila e dois índices de reflectância. As espécies estudadas foram: *Brosimum rubencens*, *Calophyllum brasiliense*, *Cytharexyllum myriantum*, *Eriotheca macrophylla*, *Inga capitata* e *Tapirira guianensis*. O modelo linear foi o que melhor representou a relação entre os métodos testados e os teores de clorofila para a maioria das espécies. Nesses casos, todas as equações foram altamente significativas ($P < 0,01$), a raiz do quadrado médio do erro expressa em porcentagem (RQME) < 25% e o coeficiente de determinação (r^2) > 0,80. Para o conjunto das espécies estudadas (n = 200), o modelo polinomial quadrático foi o que melhor representou a relação entre os métodos avaliados e os teores de clorofila, com $P < 0,01$, RQME < 23 % e $r^2 > 0,80$. Os resultados obtidos nesse estudo também demonstraram uma boa relação entre os métodos (r2 > 0,90), indicando a possibilidade de interconversão de dados obtidos com os diferentes equipamentos e índices de reflectância testados.

Palavras-chave: Árvores nativas, ClorofiLog, reflectância, SPAD-502.

NON-DESTRUCTIVE METHODS FOR ESTIMATION OF CHLOROPHYLL AS INDICATORS OF QUALITY OF FOREST TREE SEEDLINGS

ABSTRACT

The production of seedlings of forest tree species for large-scale commercial plantations, forest restoration and reforestation of degraded areas has induced the search for alternatives aimed at reducing the costs of managing these species in commercial nurseries. The objective of this study was to calibrate and compare non-destructive methods for estimating the leaf chlorophyll contents as indicators of seedlings quality of six native tree species, aiming its use in forest restoration projects. Two portable chlorophyll meters and two reflectance indices were tested. The species studied were: *Brosimum rubencens*, *Calophyllum brasiliense*, *Cytharexyllum myriantum*, *Eriotheca macrophylla*, *Inga capitata* and *Tapirira guianensis*. The linear model best represented the relationships between methods and chlorophyll contents for most of the species. In these cases, all the equations were highly significant ($P < 0.01$), the root mean square errors expressed in percentages (RMSE) < 25% and the coefficients of determination (r^2) > 0.80. For all species studied ($n = 200$), the quadratic polynomial model best represented the relationships between the methods and chlorophyll contents, $P < 0.01$, RMSE < 23% and $r^2 > 0.80$. The results of this study also demonstrated good relationships between methods ($r2 > 0.90$), indicating the possibility of interconversion of data obtained with different hand-held chlorophyll meters and reflectance indices.

Key-words: Chlorophylls, electromagnetic spectrum, native trees, reflectance.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Nomes científicos, famílias botânicas, nomes populares e tipos de folhas das espécies analisadas. 28

Tabela 2. Equações para a determinação das concentrações de clorofilas *a* (Chl *a*), *b* (Chl *b*), utilizando a equação de Wellburn (1994), para o solvente dimetilsulfoxido, com o espectrofotômetro com precisão de 1-4 nm. 30

Tabela 3. Valores médios para a área foliar (AF), massa foliar especifica (MFE) e teores de clorofila *a* (Chl *a*), *b* (Chl *b*) e total (Chl *t*), expressas em mg m^{-2}, de seis espécies arbóreas nativas. 31

Tabela 4. Valores médios para os índices de reflectância e índices de clorofila Falker e SPAD em seis espécies arbóreas nativas: *B. rubescens*, *C. brasiliense*, *C. myriantum*, *E. macrophylla*, *I. capitata* e *T.guianensis*. 32

Tabela 5. Equações de regressão, coeficiente de determinação, raiz do quadrado médio do erro expresso em porcentagem para a predição dos teores de clorofila *a*, *b* e *t* de mudas de seis espécies florestais nativas, *B. rubescens*, *C. brasiliense*, *C. myriantum*, *E. macrophylla* , *I. capitata* e *T.guianensis*, em função do índice de reflectância SR_{705}. 35

Tabela 6. Equações de regressão, coeficiente de determinação, raiz do quadrado médio do erro expresso em porcentagem para a predição dos teores de clorofila *a*, *b* e *t* de seis espécies florestais nativas, *B. rubescens*, *C. brasiliense*, *C. myriantum*, *E. macrophylla* , *I. capitata* e *T.guianensis*, utilizando o índice de reflectância ND_{705}. 37

Tabela 7. Equações de regressão, coeficiente de determinação, raiz do quadrado médio do erro expresso em porcentagem para a predição dos teores de clorofila *a*, *b* e *t* de seis espécies florestais nativas, *B. rubescens*, *C. brasiliense*, *C. myriantum*, *E. macrophylla* , *I. capitata* e *T.guianensis,* em função do índice de clorofila Falker (ICF). 39

Tabela 8. Equações de regressão, coeficiente de determinação, raiz do quadrado médio do erro expresso em porcentagem para a predição dos teores de clorofila *a*, *b* e *t* de folhas de mudas de seis espécies florestais nativas, *B. rubescens*, *C. brasiliense*, *C. myriantum*, *E. macrophylla* , *I. capitata* e *T.guianensis,* em função do índice de clorofila SPAD. 41

Tabela 9. Equações de regressão, coeficiente de determinação, raiz do quadrado médio do erro expresso em porcentagem para a predição dos teores de clorofila *a*, *b* e *t* de folhas de mudas de seis espécies florestais nativas, *B. rubescens*, *C. brasiliense*, *C. myriantum*, *E. macrophylla* , *I. capitata* e *T.guianensis,* em função do índice de clorofila SPAD, (n = 200). 43

Tabela 10. Equações de regressão, coeficiente de determinação, raiz do quadrado médio do erro expresso em porcentagem mostrando a relação entre os diferentes instrumentos utilizados. 45

Tabela 11. Equações de regressão, coeficiente de determinação, raiz do quadrado médio do erro expresso em porcentagem mostrando a relação entre os índices de reflectância em função do índice SPAD. 46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Reflectância de folhas de mudas de seis espécies arbóreas tropicais com os menores e maiores teores de clorofila *t* (mg m^{-2}): (A) *B. rubescens* (n = 35), (B) *C. brasiliense* (n = 32), (C) *C. myriantum* (n = 36), (D) *E. macrophylla* (n = 37) , (E) *I. capitata* (n = 30) e (F) *T.guianensis* (n = 30). 33

Figura 2. Relações entre o índice de reflectância simples $SR_{705} = R_{750}/R_{705}$ e os teores de clorofilas em folhas de mudas de seis espécies arbóreas tropicais: (A) *B. rubescens* (n = 35), (B) *C. brasiliense* (n = 32), (C) *C. myriantum* (n = 36), (D) *E. macrophylla* (n = 37) , (E) *I. capitata* (n = 30) e (F) *T.guianensis* (n = 30)..... 34

Figura 3. Relações entre o índice de reflectância normalizada $ND_{705} = (R_{750}-R_{705})/(R_{750}+R_{705})$ e os teores de clorofilas em folhas de mudas de seis espécies arbóreas tropicais: (A) *B. rubescens* (n = 35), (B) *C. brasiliense* (n = 32), (C) *C. myriantum* (n = 36), (D) *E. macrophylla* (n = 37) , (E) *I. capitata* (n = 30) e (F) *T.guianensis* (n = 30). ..... 36_Toc382388762

Figura 4. Relações entre o índice de clorofilas Falker (ICF) e os teores de clorofila em folhas de mudas de seis espécies arbóreas tropicais: (A) *B. rubescens* (n = 35), (B) *C. brasiliense* (n = 32), (C) *C. myriantum* (n = 36), (D) *E. macrophylla* (n = 37) , (E) *I. capitata* (n = 30) e (F) *T.guianensis* (n = 30). ..... 38_Toc382388764

Figura 5. Relações entre o índice SPAD e os conteúdos de clorofila em folhas de mudas de seis espécies arbóreas tropicais: (A) *B. rubescens* (n = 35), (B) *C. brasiliense* (n = 32), (C) *C. myriantum* (n = 36), (D) *E. macrophylla* (n = 37) , (E) *I. capitata* (n = 30) e (F) *T.guianensis* (n = 30). 40

Figura 6. Relações entre os conteúdos de clorofila em folhas de mudas de seis espécies arbóreas tropicais e os índices de reflectância SR_{705} (A) e ND_{705} (B) e os índices de clorofilas Falker (C) e SPAD (D), (n = 200)..... 42_Toc382388768

Figura 7. Relações entre o índice de clorofilas Falker (ICF) e os índices de reflectância SR_{705} (A) e ND_{705} (B) e o índice de clorofilas SPAD (C) em folhas de mudas de seis espécies arbóreas tropicais, (n = 200)..... 44

Figura 8. Relações entre o índice de clorofilas SPAD e os índices de reflectância SR_{705} (A) e ND_{705} (B) em folhas de mudas de seis espécies arbóreas tropicais. (n = 200).... 46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AF	Área foliar
CFL *a*	Índice de clorofila Falker (Clorofila a)
CFL *b*	Índice de clorofila Falker (Clorofila b)
CFL *t*	Índice de clorofila Falker (Clorofila total)
Chl *a*	Teor de clorofila *a*
Chl *b*	Teor de clorofila *b*
Chl *t*	Teor de clorofila t
Chl a/b	Razão entre Chl *a* e Chl *b*
IVP	Infravermelho próximo
MFE	Massa foliar especifica
ND_{705}	índice da diferença de vegetação normalizada (NDVI)
SR_{705}	Razão Simples
V	Vermelho

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 14

2. OBJETIVOS 17

2.1 Geral 17

2.2 Específicos 17

3. REVISÃO DE LITERATURA 18

3.1 Produção de mudas em viveiros 18

3.2 Indicadores de qualidade de mudas. 19

3.3 Pigmentos foliares 20

3.4 Pigmentos como indicadores de qualidade das mudas 22

3.5 Métodos para determinação de pigmentos 23

4. MATERIAL E MÉTODOS 27

4.1 Material vegetal e condições de cultivo 27

4.2 Estimativa e determinação dos teores de clorofilas 28

4.3 Determinação da área foliar e da massa foliar especifica 30

4.4 Analise estatística 30

5. RESULTADOS 31

6. DISCUSSÃO 47

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS 51

8. REFERÊNCIAS 52

1. INTRODUÇÃO

A demanda por mudas de espécies florestais nativas nos últimos anos tornou-se crescente. Isto ocorreu devido à necessidade de reflorestamento e recomposição de áreas desmatadas a fim de minimizar os impactos ambientais e promover a manutenção da biodiversidade (FERNANDES et al., 2000).

O êxito de um plantio depende diretamente da qualidade das mudas. Estas além de terem maior capacidade de resistirem às condições adversas encontradas no campo, podem desenvolver-se produzindo árvores com crescimento desejável (GOMES et al.; 1991). A produção de mudas de espécies florestais em larga escala para plantios comerciais, recuperação de áreas degradadas e recomposição de florestas faz com que haja grande procura por alternativas que visam à redução dos custos de manejo dessas espécies. Dessa forma, a qualidade das mudas se constitui em importante fase no sucesso do estabelecimento dos povoamentos de espécies nativas (CALDEIRA et al., 2008).

Um dos fatores ligados à eficiência fotossintética de plantas e consequentemente ao crescimento e adaptabilidade a diversos ambientes é a clorofila, presente em todos os vegetais verdes (ENGEL; POGGIANI, 1991). Estes pigmentos cloroplastidicos tornam-se importantes neste contexto, pois são responsáveis pela captura de luz usada na fotossíntese, sendo essenciais na conversão da radiação luminosa em energia química. Numerosos estudos têm mostrado que as variações nos teores de clorofilas estão relacionadas com a capacidade fotossintética das plantas, o estágio de desenvolvimento e a ocorrência de diversos estresses ambientais (BARET et al., 2007; CIGANDA et al., 2008).

A metodologia clássica para mensuração das clorofilas é resultante da coleta destrutiva do vegetal. Embora os métodos destrutivos sejam bastante precisos, essas práticas requerem transporte de folhas do campo para o laboratório, o que, a depender do tempo e da distância, podem interferir na precisão dos resultados (CATE; PERKINS, 2003, MIELKE et al., 2012). Por sua vez os métodos não destrutivos ou indiretos são mais práticos, podem ser feitos em um menor tempo e permitem que um maior número de folhas sejam

avaliadas de forma mais rápida do que quando utilizado o método destrutivo. Outra vantagem na utilização de um método indireto é o fato de poder fazer estudos em uma mesma folha ao longo do tempo (MIELKE et al., 2010).

Métodos ópticos não destrutivos são baseados na absorção e / ou reflexão de luz pela folha. Estes métodos geralmente trazem um valor chamado índice de clorofila que expressa o conteúdo relativo de clorofila, mas não o valor absoluto (GAMON; SURFUS, 1999, RICHARDSON et al., 2002). Para a estimativa de clorofilas baseado na absorção pode-se utilizar medidores portáteis de clorofila. Dos modelos existentes no mercado dois estão sendo empregados nos mais diversos estudos: SPAD – 502 e Clorofilog. O medidor SPAD – 502 mede a absorção pela folha em dois comprimentos de onda 660 nm (vermelho) e 940 nm (infravermelho próximo). Esse equipamento tem sido usado em diversos estudos com espécies de interesse agronômico (STEELE et al. 2008, TORRES-NETTO et al.,2002) e arbóreas (PINKARD et al., 2006, MARENCO et al., 2009, MIELKE et al., 2010, COSTE et al., 2010). Outro equipamento que vem sendo muito utilizado é o Clorofilog, que mede a absorção em três comprimentos de onda, 635 e 660 nm (vermelho) e outro em 880 nm (infravermelho próximo). Esses valores são baseados no fato de que a luz vermelha é fortemente absorvida por clorofilas, a luz infravermelha é um comprimento de onda de referência, que é utilizada para ajustar as diferenças na estrutura da folha (MARKWELL et al.,1995).

Para os métodos baseados na reflectância das folhas são utilizados os espectroradiômetros que permitem a aplicação da tecnologia de sensoriamento remoto no nível folha ou ramo, fornecendo valores de reflectancia em vários comprimentos de onda no espectro de radiação entre o ultravioleta e o infravermelho. Os dois índices de reflectância, normalmente utilizados para sensoriamento remoto são: o índice de vegetação (VI, também conhecida como a razão simples, SR) e o índice da diferença de vegetação normalizada (NDVI) (GAMON et al., 1995; PEÑUELAS; FILELA, 1998).

A adequação de tecnologias que visem melhorar a produção de mudas de espécies florestais nativas é de fundamental importância para o sucesso de programas de recuperação de áreas degradadas ou reflorestamento de matas ciliares (ASSENHEIMER, 2009), além de aperfeiçoar a metodologia para cada

espécie. Com o advento dos medidores portáteis, que utilizam princípios ópticos não destrutivos, baseados na absorbância e/ou refletância da luz pelas folhas, a determinação de clorofilas tornou-se fácil e rápida, podendo ser realizada no campo (RICHARDSON et al., 2002).

Considerando a importância destas espécies para programas de restauração florestal há necessidade de identificar de forma rápida alterações nas mudas ocasionadas por estresse fisiológico que podem interferir no teor de clorofilas consequentemente no processo fotossintético e dessa forma interferindo no seu crescimento. Diversos estudos utilizam os medidores portáteis e o espectroradiômetro em plantas, mas análises que façam a comparação da eficiência entre os aparelhos e a calibração dos mesmos estabelecendo modelos matemáticos para estimativa de clorofilas em mudas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica a partir de medidores portáteis de clorofila e índices de reflectância ainda é incipiente e muitas vezes feita apenas calibração para um tipo de equipamento. Dessa forma, informações que possam aperfeiçoar a produção de mudas e promover o sucesso de um plantio florestal são fundamentais para que se alcancem viabilidades técnica e econômica em projetos de restauração de áreas florestais.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Calibrar métodos não destrutivos para estimativas dos teores de clorofilas como indicadores da qualidade de mudas de seis espécies florestais nativas, visando o seu uso em projetos de restauração florestal.

2.2 Específicos

2.2.1. Estabelecer modelos matemáticos para estimativa de clorofilas em mudas de seis espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica, a partir de medidores portáteis de clorofila e índices de reflectância.

2.2.2. Estabelecer modelos matemáticos para estimativa de clorofilas com base no conjunto de dados obtidos em mudas de seis espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica, a partir de medidores portáteis de clorofila e índices de reflectância.

2.2.3. Estabelecer modelos matemáticos para a interconversão de dados obtidos com os diferentes equipamentos e índices de reflectância testados.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Produção de mudas em viveiros

Diante dos crescentes problemas ambientais, resultantes do desmatamento das áreas ocupadas por florestas nativas, surge a necessidade de buscar espécies arbóreas para utilização em programas de reflorestamento, reconstituição de áreas para preservação vegetal e, ainda, em projetos de arborização urbana que estão se intensificando nos últimos anos (SCARPINELLA, 2002; SCALON et al., 2006). Entretanto, diferentemente de plantas de cultivo comercial, há grande lacuna quanto ao conhecimento sobre o crescimento de plântulas e plantas de espécies arbóreas nativas (AFONSO et al., 2012). Aumentando dessa forma o interesse sobre o conhecimento das espécies nativas brasileiras.

O plantio de espécies florestais nativas, além de visar os aspectos socioeconômicos e de recuperação ambiental, desempenha relevante contribuição à conservação da biodiversidade. A produção de mudas de espécies florestais em grande escala sempre causou grandes preocupações aos silvicultores e, portanto gerou inúmeros trabalhos de pesquisa. Apesar de substanciais ganhos tecnológicos terem sido alcançados por meio das pesquisas efetuadas, principalmente no que se refere a recipientes, substratos e as fertilizações, os parâmetros de qualidade de mudas florestais ainda merecem estudos para escolha de métodos adequados de produção.

O viveiro de produção de mudas florestais é o setor base dentro do processo produtivo, pois é responsável pelo abastecimento de mudas para implantação de povoamentos florestais, recuperação de áreas degradadas, arborização urbana e parques, entre outras finalidades (WALKER, 2011).

A necessidade de se produzir mudas de espécies florestais em viveiros deve-se a uma maior proteção na fase inicial e de manejos especiais. Dessa forma é possível se obter maior uniformização de crescimento tanto na altura, quanto no sistema radicular e promovendo uma maior rustificação tal que, após o plantio no campo permita uma maior resistência às condições adversas do meio e crescerem satisfatoriamente (GOMES, 2001).

A demanda por mudas de qualidade e a diminuição de custos de produção instigou a realização de pesquisas para desenvolver novas tecnologias. De acordo com Silva et al. (2008), nos últimos vinte anos, os viveiros florestais passaram por um grande avanço tecnológico, resultado do considerável esforço científico. Consequentemente em relação à qualidade das mudas ocorreram melhorias, o consumo de insumos e os rendimentos operacionais diminuíram, e as condições de trabalho dos funcionários melhoraram. O uso de mudas com adequado padrão de qualidade e de rusticidade faz-se necessário para garantir o sucesso do plantio no campo, sendo de fundamental importância para o êxito de um povoamento florestal.

3.2 Indicadores de qualidade de mudas.

De acordo com Fonseca et al. (2002), a qualidade de mudas pode ser definida como os atributos necessários para que ocorra maior sobrevivência e bom desenvolvimento após o plantio no campo definitivo. Apesar de o êxito das plantações florestais dependerem, em grande parte, da qualidade das mudas utilizadas, os parâmetros de avaliação ainda não estão muito bem definidos e, quase sempre, a sua determinação não é operacionalmente viável na maioria dos viveiros (GOMES, 2001).

Na determinação da qualidade das mudas para o plantio, os parâmetros utilizados baseiam-se nos aspectos fenotípicos, denominados morfológicos, ou nos internos das mudas, denominados de fisiológicos (CARNEIRO, 1995). Apesar de parâmetros fisiológicos não serem tão práticos para determinação da qualidade das mudas como os parâmetros morfológicos, são importantes para avaliar o comportamento das mudas em relação à variabilidade das condições ambientais e na determinação do potencial de aclimatação das mudas (ARAÚJO, 2009). Ainda, segundo Araújo (2009), a plasticidade fisiológica não é facilmente perceptível, demanda mais tempo e custos para ser avaliada, mas está fortemente relacionada à aclimatação das plantas às mudanças de condições ambientais e influencia ao mesmo tempo em que é influenciada pela plasticidade morfológica.

Os parâmetros morfológicos são atributos determinados por medições ou visualmente, sendo que algumas pesquisas têm sido realizadas visando mostrar que os critérios que adotam essas características são importantes para o sucesso do desempenho das mudas após o plantio no campo (FONSECA, 2000). Porém eles não permitem conclusões definitivas a respeito do estádio de desenvolvimento do processo de produção de mudas, além de que essas características podem ser mensuráveis até em mudas mortas (CARNEIRO, 1995).

Os parâmetros morfológicos são os mais utilizados na determinação do padrão de qualidade das mudas, tendo uma compreensão mais intuitiva por parte dos viveiristas, mais ainda carente de uma definição mais acertada para responder às exigências quanto à sobrevivência e ao crescimento no campo definitivo, determinadas pelas adversidades encontradas após o plantio (GOMES et al., 2002).

A frequente utilização dos parâmetros morfológicos como medidas de qualidade das mudas é justificada pela sua facilidade de medição e, ou visualização em condições do viveiro (GOMES, 2001) e ao fato de estarem intimamente relacionados com a rusticidade e o vigor das mudas e, consequentemente, com a sobrevivência e o crescimento inicial no campo após o plantio (CARNEIRO, 1995).

Mas apesar de parâmetros fisiológicos não serem tão práticos para determinação da qualidade das mudas como os parâmetros morfológicos, são avaliações necessárias e imprescindíveis para acompanhar a qualidade dessas mudas. Dessa forma, desenvolver metodologias para facilitar avaliações fisiológicas torna-se importantes.

3.3 Pigmentos foliares

Os pigmentos envolvidos na fotossíntese são as clorofilas *a* (Chl *a*) e *b* (Chl *b*), os carotenoides e as ficobilinas. A clorofila *b* (Chl *b*), os carotenoides e as ficobilinas constituem os chamados pigmentos acessórios.
A cor verde é o resultado da mistura de duas classes de pigmentos insolúveis

em água: as clorofilas, Chl *a*, verde azulada e Chl *b*, verde amarelada (principalmente Chl *a*) e os carotenoides, principalmente o β-caroteno (SENGE et al., 2006).

A clorofila é um pigmento fotossintético presente nas plantas superiores e a sua abundância varia de acordo com a espécie. A Chl *a* está presente em todos os organismos que realizam fotossíntese, no primeiro estágio do processo fotossintético, a etapa fotoquímica. Os demais pigmentos Chl *b*, os carotenoides e ficobilinas auxiliam na absorção de luz e na transferência da energia radiante para os centros de reação, sendo assim chamados de pigmentos acessórios (STREIT et al., 2005, SENGE et al., 2006; TAIZ; ZIEGER, 2009;).

O processo fotossintético ocorre nos cloroplastos, sendo que as reações da etapa fotoquímica se desenvolvem nas membranas tilacóides e a bioquímica, no estroma. Para a fotoquímica é necessária a presença de pigmentos para a captação da energia luminosa (Chl *a*) e outros pigmentos auxiliares e para a dissipação, chamados de acessórios (Chl *b* e os carotenoides - carotenos e xantofilas).

A molécula de clorofila (Chl) pertence ao grupo das porfirinas, cuja estrutura está baseada num sistema tetrapirrólico, no qual os anéis de pirrol contendo quatro átomos de carbono (C) e um átomo de nitrogênio (N) formam um circuito conjugado fechado, coordenados com um átomo de magnésio (Mg) central. A molécula contém ainda outro anel isocíclico (inserido nos carbonos 13, 14 e 15 do anel tetrapirrólico), além de um resíduo do ácido propiônico, na posição do carbono 17. O último dos três carbonos do ácido propiônico é esterificado com um resíduo fitol, que é uma cadeia alcoólica longa (vinte carbonos) altamente saturada e hidrofóbica (STREIT et al., 2005). A Chl *b* difere da Chl *a*, pela presença de um resíduo aldeído (–CH0) no lugar do grupo metila (-CH3) na posição 7, o que lhe confere maior polaridade (VON ELBE, 2000; MUSSI, 2003).

As clorofilas são responsáveis pela coleta da energia contida nos fótons provenientes da luz solar, e de sua transdução, na forma de potencial eletroquímico através das membranas fotossintéticas (o sistema tilacóide), os quais servem, em última instância, para reduzir o CO_2 atmosférico a

carboidratos (SENGE et al., 2006). Portanto, a energia luminosa absorvida pelas folhas somente pode ser transferida à etapa bioquímica da fotossíntese por meio de processos mediados por clorofilas.

As plantas utilizam a radiação fotossinteticamente ativa (RFA), compreendida entre os comprimentos de onda de 390 e 760 nm, denominada também de espectro visível (STREIT et al., 2005). A energia absorvida é transferida para os centros de reação, nas membranas tilacóides dos cloroplastos. Existem dois centros de reação: (i) um absorvendo energia em 680 nm e (ii) outro a 700 nm, interagindo por meio de transportadores de elétrons (STREIT et al., 2005).

Os teores de clorofilas e carotenoides nas folhas são utilizados para estimar o potencial fotossintético das plantas, pela sua ligação direta à absorção e transferência de energia luminosa e, consequentemente, com a sua aclimatação e o crescimento em diferentes ambientes (REGO; POSSAMAI, 2006). Assim, os teores e a composição dos pigmentos foliares podem ser utilizados como parâmetros indicativos de estresse nas plantas (CODOGNOTTO et al., 2002).

3.4 Pigmentos como indicadores de qualidade das mudas

Em ambiente natural, as plantas são diariamente submetidas a variações das condições ambientais e, dentro de suas limitações genéticas, são capazes de adequar-se às novas condições do ambiente (KRAUSE et al., 2001). Desta forma, a capacidade da planta ajustar seu metabolismo no intuito de otimizar a utilização de recursos primários como a luz, determinará o sucesso ou o fracasso de sua aclimatação e estabelecimento sob diferentes ambientes. Sob estas condições, também as clorofilas e os carotenoides são indicadores da aclimatação da espécie (GONÇALVES et al., 2001). Então, na medida em que as clorofilas exercem um controle dominante sobre a quantidade de radiação solar que uma folha absorve, as concentrações foliares desses pigmentos controlam o potencial fotossintético e, consequentemente, a produção primária (ARGENTA et al., 2001a; BLACKBURN, 2007; CIGANDA et al., 2008; HATFIELD et al., 2008; RITCHIE, 2008).

Mudas com teores de clorofilas adequados garantem uma maior sobrevivência de mudas e um maior crescimento. Os teores foliares de clorofilas estão estreitamente relacionados com o estresse vegetal e a senescência foliar (CARTER; KNAPP, 2001; BARET et al., 2007), processos associados, tipicamente, com perda de clorofilas e declínio na capacidade fotossintética (RAJCAN et al., 1999; HATFIELD et al., 2008).

A produção de mudas é uma das fases mais importantes do cultivo de espécies florestais, pois a qualidade inicial adequada destas é fundamental ao seu crescimento e desenvolvimento no campo.

3.5 Métodos para determinação de pigmentos

Os métodos para quantificação dos pigmentos foliares se dividem em duas etapas, a extração e em seguida a determinação. Para a primeira, são utilizados vários solventes orgânicos, como a acetona, o éter, o dimetilsulfóxido e o metanol (CRUZ et al., 2007), a determinação é padrão, baseando-se na absorbância de luz pelos pigmentos (ARNON, 1949). Contudo, esses métodos requerem a destruição das amostras de tecido foliar, ocorrendo significativas perdas de pigmentos e causando grande variação dos resultados (NETTO et al., 2002). Essas razões levaram ao desenvolvimento de opções não destrutivas, representadas pelos medidores de clorofila e as técnicas de sensoriamento remoto, que se apoiam nas características espectrais dos pigmentos cloroplastidicos. De forma geral, as principais fontes de variação associadas à extração dos pigmentos clorofilianos incluem a natureza, polaridade e grau de pureza do solvente, a prévia maceração e centrifugação ou não dos tecidos; a temperatura e tempo de incubação, e as equações usadas para calcular as concentrações das clorofilas (BARNES et al., 1992; WELLBURN, 1994; PORRA, 2002; TAIT; HIK, 2003; RITCHIE, 2008).

Diferentemente, os leitores portáteis de clorofila utilizam princípios não destrutivos, simples e instantâneos, possibilitando estudos ontogênicos foliares das culturas (NETTO et al., 2005; SALLA et al., 2007). A substituição dos métodos tradicionais de avaliação dos teores de clorofilas presentes nas plantas pelo uso de medidores portáteis de clorofilas são promissores por se

tratar de aparelhos que estabelecem um índice de modo não destrutivo, instantâneo (GODOY et al., 2008) e com menor custo (ARGENTA et al., 2001).

A determinação indireta do teor relativo de clorofila é calculada pela quantidade de luz transmitida pela folha, por meio de dois ou três comprimentos de onda com diferentes absorbâncias que, independente do instrumento utilizado, fornecem uma leitura única proporcional às clorofilas *a* e *b*. Assim, os valores obtidos são proporcionais aos teores de clorofila foliar e são chamados de índice do clorofilômetro (ARGENTA et al., 2001).

Em síntese, os aparelhos medem o índice de cor verde nas folhas que se correlaciona com o teor de clorofila. Grandes concentrações de nitrogênio em células do mesófilo podem estar localizadas no cloroplasto (REIS et al., 2006). Dessa forma, pode-se fazer correlações entre os valores obtidos pelos clorofilômetros e o nitrogênio foliar; tal como já foi demonstrado para *Zea mays* (ARGENTA et al., 2001), *Capsicum annuum* (GODOY et al., 2003), *Acer saccharum* Marsh (VAN DEN BERG; PERKINS, 2004), *Coffea arabica* (GODOY et al., 2008) e *Panicum Maximum* (LAVRES JÚNIOR; MONTEIRO, 2006).

Um dos aparelhos portáteis utilizados para estimativas não destrutivas do teor de clorofilas é o SPAD (“Soil Plant Analysis Development”) fabricado pela empresa Konica Minolta (Tokyo, Japão). Este aparelho possui diodos que emitem luz a 650 nm (vermelho) e a 940 nm (infravermelho). A luz em 650 nm situa-se próxima dos dois comprimentos primários de ondas associados à atividade das clorofilas (645 e 663nm). O comprimento de onda de 940 nm serve como referência interna para compensar diferenças na espessura ou no conteúdo de água da folha (WASKOM, 1996). A luz que passa através da amostra da folha atinge um receptor (fotodiodo de silicone) que converte a luz transmitida em sinais elétricos analógicos. Esses sinais são convertidos em digitais, e usados por um microprocessador para calcular valores SPAD, proporcionais aos teores de clorofila presentes no tecido foliar amostrado (MARKWELL et al., 1995).

Outro medidor de índice de clorofila portátil é o aparelho chamado ClorofiLog modelo CFL 1030, produzido por Falker Automação Agrícola (Porto Alegre, Brasil). Diferentemente do SPAD, que trabalha com leituras em dois

comprimentos de onda, o ClorofiLog utiliza emissores em três comprimentos de onda: dois emitem dentro da banda do vermelho, próximos aos picos de cada tipo de clorofila (635 e 660 nm) e um outro no infravermelho próximo (880 nm). Da mesma forma que o SPAD, um sensor inferior recebe a radiação transmitida através da folha. A partir desse dado, o aparelho fornece valores de leitura proporcionais à absorbância das clorofilas *a*, *b* e *t* (*a*+*b*). Tanto o SPAD quanto o clorofiLog fornecem resultados em unidades adimensionais, no caso do último, são chamados valores ICF - Índice de Clorofila Falker (FALKER, 2008). Uma grande quantidade de avanços científicos e tecnológicos vem disponibilizando conhecimentos, equipamentos, plataformas e sensores cada vez mais sofisticados e enormes massas de dados sobre processos e fenômenos da superfície terrestre vêm sendo disponibilizados. O grande elo entre os objetos da superfície terrestre e os sensores remotos que os observam é a radiação eletromagnética (REM) e, desta forma, o entendimento sobre o funcionamento das interações entre a REM e os diferentes materiais (rochas, solos, vegetação, água, construções antrópicas) constitui-se em requisito chave para a interpretação dos dados coletados pelos diferentes sensores (ALVARENGA et al., 2003).

Conceitualmente, a radiometria pode ser definida como a ciência ou a técnica de quantificar a radiação eletromagnética, seja ela emitida pelo sol ou por uma fonte artificial (LORENZZETTI, 2002; MENESES, 2001). A radiação eletromagnética (REM), quando incide sobre uma superfície, terá parte dela refletida, parte absorvida e parte transmitida (Meneses, 2001). A parte refletida, definida como reflectância, é definida como a razão entre o fluxo refletido e o fluxo incidente (Moraes et al., 1996). A extração de informações contidas em imagens, multi ou hiperespectrais, fundamenta-se no conhecimento sobre como cada objeto sensoriado comporta-se com relação aos fenômenos de absorção, emissão e reflexão da REM com eles interagida, permitindo, então, analisar os componentes e as condições dos objetos estudados (ALVARENGA et al., 2003).

A espectroradiômetria revela-se uma ferramenta que possibilita detectar a resposta espectral através do contato direto com o alvo e pode ser feita em

laboratório, permitindo assim que se minimizem as interferências dos fatores ambientais presentes nas leituras de outros sensores (SILVA et al., 2012).

Com intuito de minimizar a variabilidade causada por fatores externos a reflectância espectral tem sido transformada e combinada na forma de índices de vegetação (Ponzoni, 2001). Os índices de vegetação são combinações feitas, geralmente, sob a forma de razões dos valores de reflectância de diferentes intervalos do espectro eletromagnético. Segundo Ferreira et al.(2008), a lógica por trás dos índices de vegetação baseia-se no fato de que a energia refletida no vermelho e infravermelho próximo é diretamente relacionada à atividade fotossintética da vegetação. Em sua grande maioria, os índices de vegetação utilizam uma combinação entre a radiância de uma das bandas da região do visível, principalmente o vermelho, e a radiância na região do infravermelho.

As imagens de sensoriamento remoto servem cada vez mais como base viável para diversos estudos nas mais variadas escalas, diminuindo custos e aumentando a rapidez na confecção de diagnósticos. Em laboratório, utilizam-se espectroradiômetros que registram a radiação refletida de folhas e demais órgãos das plantas, possibilitando identificar possíveis alterações na forma como esses órgãos interagem com a radiação eletromagnética (PONZONI, 2002). O comportamento espectral de uma folha é função de sua composição, morfologia e estrutura interna. De acordo com Watslawick e Kirchner (2004), em cada faixa do espectro eletromagnético, a radiação interage com a vegetação de forma diferenciada. A folha de uma planta reflete e transmite a radiação incidente em uma maneira que é exclusivamente característica de células pigmentadas contendo água. As características marcantes do espectro da folha são a alta absorbância no ultravioleta e no azul, a reduzida absorbância no verde (relativa aos demais comprimentos de onda do visível) a alta absorbância no vermelho, a muito baixa absorbância e a alta reflectância e transmitância no infravermelho próximo e a muito alta absorbância no infravermelho distante (GATES, 1970).

As equações da maioria dos índices de vegetação são derivadas principalmente das bandas do verde, vermelho e infravermelho próximo, sobretudo das últimas duas (ELVIDGE; CHEN, 1995; PONZONI, 2001). Dentre

os índices encontrados na literatura, podemos destacar o Índice de Razão Simples (SR) proposto por Jordan(1969):e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), proposto por Rouse etal. (1974).

O SR foi o pioneiro e utiliza divisão entre as bandas do infravermelho próximo e vermelho. O NDVI é um índice de vegetação correlacionado com a resposta espectral da quantidade e da condição da vegetação verde. Este índice é o resultado de uma operação aritmética que consiste na razão das bandas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo. Para Jensen (1996) e Lyon et al. (1998) os comprimentos de onda do vermelho e do infravermelho têm sido os mais utilizados porque há contraste de reflectância entre eles e há relação com as características da vegetação.

Para determinação dos índices de reflectancia utiliza-se das seguintes equações para SR (SR =R_{IVP}/R_V) e para NDVI (NDVI = $(R_{IVP} – R_V)/(R_{IVP} + R_V)$, onde o R refere-se a reflectância, e os subscritos referem-se a uma banda espectral especifica ou comprimento de onda. Utilizam-se geralmente os valores de R_{750} para infravermelho próximo (IVP) e R_{680} para vermelho (V). Alguns autores sugeriram a utilização de outros comprimentos de onda de 750 e 680 nm para o cálculo do NDVI, justificadas por uma melhor sensibilidade a uma ampla gama de concentrações de clorofilas (RICHARDSON et.al., 2002).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material vegetal e condições de cultivo

O estudo foi realizado no Viveiro Floresta Viva, Rodovia Serra Grande – Uruçuca, BA Km 0,8, e na Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Rodovia Jorge Amado, Km 16, Bairro Salobrinho, localizado no município de Ilhéus, BA. O viveiro apresenta as laterais e o teto cobertos com tela plástica preta com aproximadamente 50% de restrição luminosa.

Foram utilizadas mudas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica Brasileira (Tabela 1), obtidos no viveiro florestal, com exceção da espécie *Brosimum rubescens* onde as mudas encontravam-se em sacolas, com

capacidade para um litro de substrato, as outras espécies estavam em tubetes com capacidade de 90 mL.

Tabela 1. Nomes científicos, famílias botânicas, nomes populares e tipos de folhas das espécies analisadas.

Nome científico	Família	Nome popular	Folhas
Brosimum rubescens Taub.	Moraceae	Condurú	Simples
Calophyllum brasiliense Cambess.	Calophyllaceae	Olandi	Simples
Cytharexyllum myrianthum Chamiáo	Verbenaceae	Pau de viola	Simples
Eriotheca macrophylla (K. Schum.) A. Robyns	Bombacaceae	Imbiruçú	Simples(1)
Inga capitata Desv.	Fabaceae	Ingá da mata	Composta
Tapirira guianensis Aublet.	Anacardiaceae	Pau pombo	Composta

(1) Apenas para indivíduos jovens. Indivíduos adultos dessa espécie apresentam folhas compostas

4.2 Estimativa e determinação dos teores de clorofilas

Para as estimativas dos teores de clorofila, para cada uma das seis espécies arbóreas estudadas, foram coletadas folhas maduras e completamente expandidas, tomando-se o cuidado de retirar folhas de diferentes tonalidades de verde. Após a retirada das folhas, as mesmas foram identificadas com numeração crescente e medidos o índice de clorofila Falker (ICF) e o índice SPAD, por meio de medidores portáteis de clorofila Clorofilog (Falker, Brasil) e SPAD-502 (Minolta, Japão), respectivamente. Logo após, foram tomadas medidas radiométricas por meio de um espectroradiômetro portátil USB 4000 - UV - VIS (Ocean Optics Inc. Dunedim, FL, USA). As leituras foram realizadas em no mínimo 30 folhas de cada espécie, na região mediana das folhas sempre no lado oposto ao identificado pela numeração. Foi

realizada uma medição por folha, obtendo curvas espectrais para cada amostra e as medidas radiométricas foram armazenadas em um computador acoplado ao espectroradiômetro.

Determinou-se um intervalo de amostragem útil limitando a faixa espectral para valores próximos de 400 até 850 nm. No presente estudo foram utilizados dois índices calculados de acordo com Gitelson e Merzlyak (1994) e Gamon e Surfus (1999) utilizando valores de 750 nm para o infravermelho próximo e 705 nm para o vermelho:

$SR_{705} = R_{750}/R_{705}$

$ND_{705} = (R_{750}-R_{705})/(R_{750}+R_{705})$

onde R refere-se a reflectância, e os subscritos referem-se a uma banda espectral especifica ou comprimento de onda.

Após as leituras iniciais as mesmas folhas foram digitalizadas com o auxílio de um scanner HP 2400 e após esse procedimento com o auxílio de um cilindro de metal vazado extraiu-se discos foliares com diâmetro de 6 mm, na mesma área utilizada previamente para as medições do índice SPAD e ICF e medidas radiométricas. Os discos foliares foram acondicionados em tubos de eppendorf com capacidade para 10 ml, previamente identificados, onde foi adicionado para a completa extração dos pigmentos, 5 ml do reagente dimetilsulfóxido (DMSO) saturado com $CaCO_3$, (HISCOX; ISRAELSTAM, 1979). O DMSO foi previamente saturado com carbonato de cálcio ($CaCO_3$), sob agitação constante por quatro horas e, então, filtrado em papel filtro até ficar totalmente cristalino. Os tubos foram incubados em banho-maria a temperatura de 65º C por um período de 24 horas, período adequado para a extração total dos pigmentos dos discos foliares. Aguardou-se o extrato líquido esfriar, e uma alíquota de 3 mL foi utilizada para leituras de absorbância das amostras em espectrofotômetro V-1100D (Mesu Lab Enterprise Co., Ltd, China) nos comprimentos de onda de 665 e 649 nm, para as clorofilas *a* e *b* respectivamente. A partir das leituras obtidas no espectrofotômetro determinou-

se o conteúdo das clorofilas *a*, *b* (Tabela 2) utilizando-se as equações propostas por Wellburn (1994), e o teor de clorofila *t* por meio da soma dos valores encontrados na equação, sendo os resultados expressos em $mg.m^{-2}$.

Tabela 2. Equações para a determinação das concentrações de clorofilas *a* (Chl *a*), *b* (Chl *b*), utilizando a equação de Wellburn (1994), para o solvente dimetilsulfoxido, com o espectrofotômetro com precisão de 1-4 nm.

Comprimento de onda (nm)	Teor de pigmento ($\mu g.cm^{-2}$)
649	*Chl b* = (21,99 x A_{649}) - (5,32 x A_{665})
665	*Chl a* = (12,19 x A_{665}) - (3,45 x A_{649})

4.3 Determinação da área foliar e da massa foliar especifica

Para a determinação da área foliar (AF), as imagens adquiridas anteriormente foram processadas através do software ImageJ, salvas no formado TIFF (Tag Image File Format), ambiente usado no processo de binarização e análise das imagens e uma sequência de procedimentos, seguindo a metodologia de Rocha (2013). Após esse procedimento, as folhas foram colocadas em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 65ºC até atingirem massa constante e as amostras pesadas para determinação da massa seca foliar (MSF). A massa foliar específica (MFE) foi obtida por meio da equação: MFE = MSF/AF.

4.4 Analise estatística

Os resultados obtidos foram analisados mediante analise de regressão, adotando-se o nível de 5% de probabilidade, considerando-se como variáveis independentes SR_{705}, ND_{705}, ICF e SPAD e como variáveis dependentes os teores de *Chl a, b* e *t*. Os modelos que melhor explicam as variações nos teores de clorofilas em função dos métodos e índices de reflectancia testados, para cada espécie e para o conjunto de espécies analisadas, foram

selecionados com base na significância dos coeficientes das regressões, da raiz do quadrado médio do erro (RQME) e do teste F, calculados a partir da analise da variância das regressões, e dos coeficientes de determinação (r^2). Os valores de RQME foram transformados para valores percentuais dividindo o valor de RQME pelas médias dos valores medidos dos teores de pigmentos e multipicando por 100. No caso de os coeficientes das regressões serem significativos e os valores de r^2 e de RQME serem muito próximos optou-se por selecionar o modelo mais simples.

5. RESULTADOS

Observou-se que as espécies *B. rubescens* e *T.guianensis* apresentaram em média folhas com maior e menor área foliar (AF), respectivamente (Tabela 3). Os valores de *B. rubescens* chegam a ser 100% superiores aos encontrados para *T.guianensis* e *C. myrianthum*.

Os maiores valores de massa foliar especifica (MFE), foram encontrados para *C. brasiliense*, ao passo que a espécie *C. myrianthum* apresentou o menor valor de MFE. Os valores médios dos teores de clorofila *a* extraídos foram 175 % maiores para a espécie *B. rubenscens* em relação a *C. myrianthum*. Para teores de clorofila *b,* a variação percentual foi 220 % maior para as espécies B. rubenscens, quando comparada com a espécie *C. myrianthum*. Para os teores de clorofila *t* extraídos, houve uma diferença de 189% para *B. rubenscens* em relação a espécie *C. myrianthum*.

Tabela 3. Valores médios para a área foliar (AF), massa foliar especifica (MFE) e teores de clorofila *a* (Chl *a*), *b* (Chl *b*) e total (Chl *t*), expressas em mg m^{-2}, de folhas de mudas de seis espécies arbóreas nativas.

Espécie	n	AF (cm^2)	MFE (g m^2)	*Chl a*	*Chl b*	*Chl t*	*Chl a/b*
B. rubescens	35	29,5 ± 9,5	69,0 ± 8,6	270,1 ± 126,4	141,5 ± 68,3	411,6 ± 194,4	1,94 ± 0,17
C. brasiliense	32	19,1 ± 3,7	98,86 ± 21,4	162,6 ± 71,0	89,4 ± 32,8	252,0 ± 103,0	1,79 ± 0,27
C. myrianthum	36	14,6 ± 3,9	34,8 ± 8,7	98,1± 57,9	44,2 ± 25,1	142,3 ± 82,8	2,15 ± 0,47
E. macrophylla	37	22,8 ± 6,6	61,4 ±6,0	102,4± 60,6	58,4 ± 33,9	160,8 ± 94,3	1,76 ± 0,16
I. capitata	30	17,2± 5,2	90,8 ± 14,3	180,4 ± 90,8	90,3 ± 44,5	270,7 ± 134,7	1,97 ± 0,23
T. guianensis	30	14,2 ± 3,8	55,5 ± 8,0	160,6 ± 72,1	106,6 ± 39,8	267,1 ± 111,4	1,5 ± 0,19

Para os índices de reflectância, os maiores valores foram encontrados para a espécie *B. rubescens* e os menores para *C. myrianthum* (Tabela 4). Os valores de SR_{705} e de ND_{705} foram 100% maiores em *B. rubescens* do que em *C. myriantum*. Observando-se os índices de clorofila, as espécies *B. rubescens* e *I. capitata* foram os que apresentaram maiores valores tanto do ICF *a*, *b* e *t* quanto do SPAD. Houve um acréscimo para o índice de clorofila Falker a (IF Chl a) em *B. rubescens* de 7% em relação a *I. capitata.* E um acréscimo de 81 % em relação a espécie com menor valor (*C. myriantum*) e a que apresentou maior valor (*B. rubescens*).

Tabela 4. Valores médios para os índices de reflectância e índices de clorofila Falker e SPAD em folhas de mudas de seis espécies arbóreas nativas: *B. rubescens*, *C. brasiliense*, *C. myriantum*, *E. macrophylla*, *I. capitata* e *T.guianensis*.

Espécie	SR_{705}	ND_{705}	IF *Chl a*	IF *Chl b*	IF *total*	SPAD
B. rubescens	3,2 ± 1,1	0,48 ± 0,15	34,8 ± 8,3	16,1 ± 9,4	50,9 ± 17,2	48,2 ± 15,9
C. brasiliense	2,0 ± 0,63	0,32 ± 0,12	27,2 ± 6,4	7,8 ± 3,8	35,0 ± 10,1	34,1 ± 9,9
C. myrianthum	1,6 ± 0,37	0,22 ± 0,11	19,2 ± 7,1	4,5 ± 2,0	23,6 ± 9,1	21,8 ± 9,2
E. macrophylla	1,7 ± 0,45	0,23 ± 0,13	22,2 ± 8,9	5,1± 2,6	27,3 ± 11,3	22,6 ± 10,2
I. capitata	2,4 ± 0,82	0,38 ± 0,15	32,5 ± 7,6	12,7± 6,8	45,1 ± 14,1	43,2 ± 13,9
T. guianensis	1,9 ± 0,49	0,30 ± 0,11	21,9 ± 6,5	7,0 ± 3,4	29,0 ± 9,8	28,6 ± 9,1

Devido à ação da clorofila, a curva apresenta duas bandas de absorção bem marcadas (Figura 1), na região do azul próximo a 480 nm e na região do vermelho próximo a 670 nm, e um pico de reflectância na região do verde próximo a 550 nm.

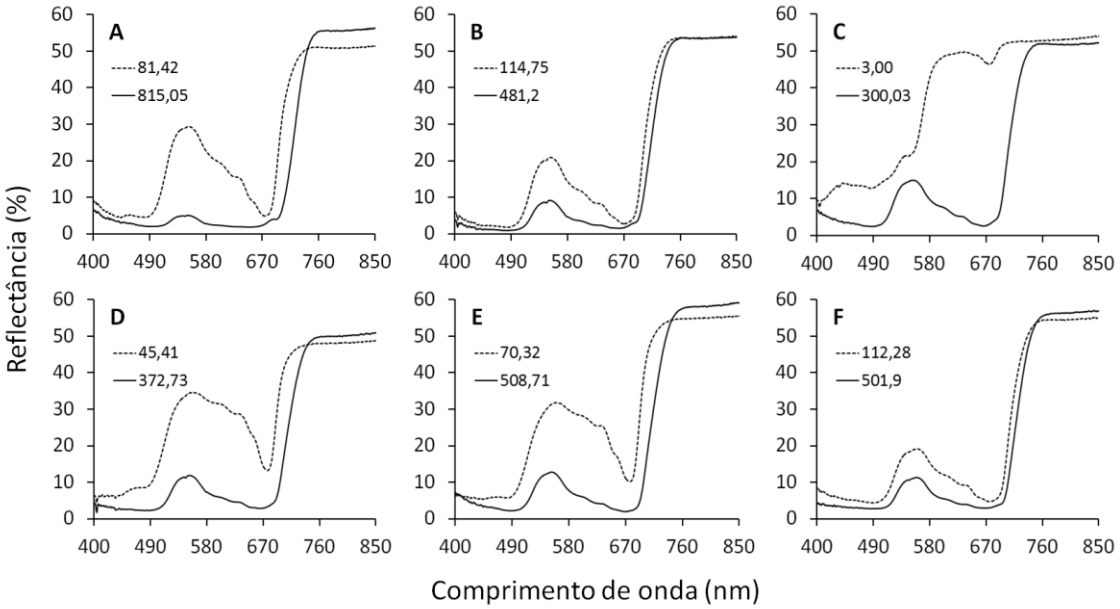

Figura 1. Reflectância de folhas de mudas de seis espécies arbóreas tropicais com os menores e maiores teores de clorofila total (mg m^{-2}): (A) *B. rubescens* (n = 35), (B) *C. brasiliense* (n = 32), (C) *C. myriantum* (n = 36), (D) *E. macrophylla* (n = 37) , (E) *I. capitata* (n = 30) e (F) *T.guianensis* (n = 30). Os menores e maiores teores de clorofila para cada espécie são representados por linhas pontilhada e contínua, respectivamente.

Observou-se que um menor teor de clorofila faz com que as espécies apresentem uma menor absorção da radiação luminosa na região do espectro entre 500nm e 650nm, portanto uma maior reflectancia. Houve um comportamento similar entre as espécies com exceção de *C. myriantum* que obteve menores valores de clorofilas (3 mg m^{-2}) e devido a um menor teor desses pigmentos apresentam altos valores de reflectância em todo espectro. Em aproximadamente 700 nm, na região espectral de transição entre o visível e o infravermelho próximo, ocorre um aumento significativo da reflectância apresentada pelas folhas.

Observou-se uma relação positiva entre os valores obtidos para o índice de reflectância SR_{705} e os teores de clorofilas *a*, *b* e *t*, para as seis espécies estudadas (Figura 2).

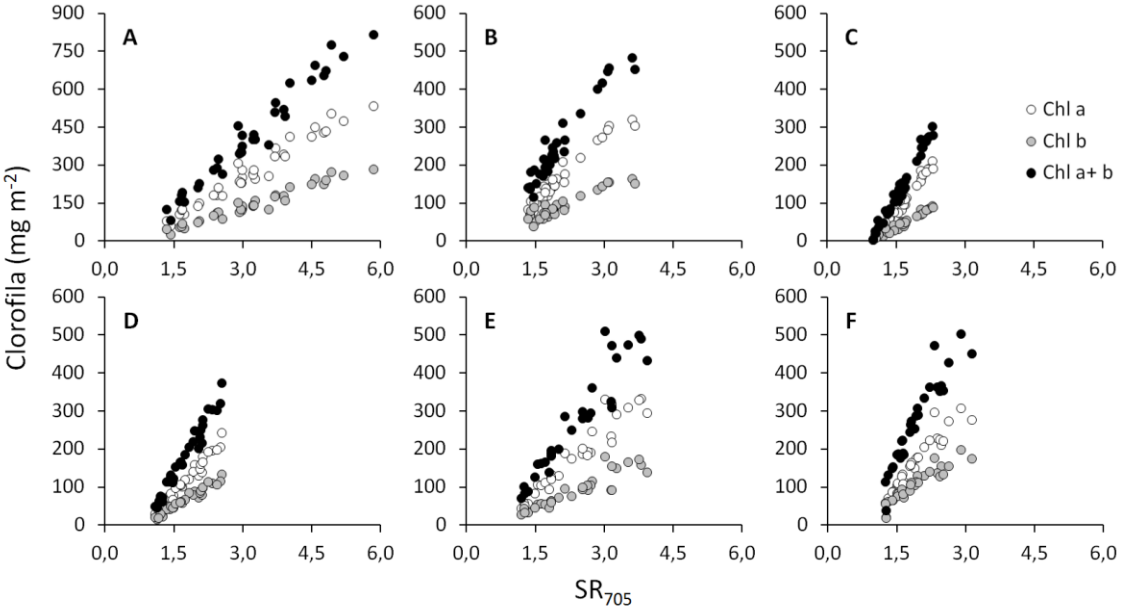

Figura 2. Relações entre o índice de reflectância simples $SR_{705} = R_{750}/R_{705}$ e os teores de clorofila em folhas de mudas de seis espécies arbóreas tropicais: (A) *B. rubescens* (n = 35), (B) *C. brasiliense* (n = 32), (C) *C. myriantum* (n = 36), (D) *E. macrophylla* (n = 37) , (E) *I. capitata* (n = 30) e (F) *T.guianensis* (n = 30).

Maiores valores de SR_{705} foi encontrado para a espécie *B. rubescens* com valor de aproximadamente 6,0 e os menores valores foram encontrados para as espécies *C. myriantum* e *E. macrophyla* com SR_{705} máximo entre 2,5 e 3,0 para as duas espécies. Considerando as espécies estudadas, modelos matemáticos foram ajustados para as relações entre o índice de reflectância SR_{705} e os teores de clorofilas *a*, *b* e *t* (Tabela 5), foram observados a significância dos coeficientes do modelo, considerando como significativo aqueles que apresentaram até 5 % de probabilidade, menores valores de raiz quadrada média do erro (RQME) expresso em porcentagem, e um maior coeficiente de determinação (r^2).

Para as espécies *B. rubescens*, *C. brasiliense*, *C. myrianthum*, *E. macrophyla* e *I. capitata* o modelo que melhor representou a relação entre o índice de reflectância SR_{705} e os teores de clorofila *a*, *b* e *t*, foi o modelo linear, com todas as equações altamente significativas ($P< 0,01$), o RQME < 21% e o $r^2 > 0,84$. Para a espécie *T. guianensis*, a relação foi melhor representada por meio da equação polinomial quadrático, onde os coeficientes apresentou-se com alta significância ($P< 0,01$), o RQME < 33% e o $r^2> 0,89$.

Tabela 5. Equações de regressão, coeficiente de determinação, raiz do quadrado médio do erro expresso em porcentagem para a predição dos teores de clorofila *a*, *b* e *t* de mudas de seis espécies florestais nativas, *B. rubescens*, *C. brasiliense*, *C. myriantum*, *E. macrophylla* , *I. capitata* e *T.guianensis*, em função do índice de reflectância SR_{705}. Para todos os modelos P <0,05.

Espécie	Índice	Modelo	r^2	RQME (%)
B.rubenscens	Chl *a*	y = -74,9 + 107,9**x	0,96	9,41
	Chl *b*	y = - 44,23 + 58,16 ** x	0,95	10,42
	Chl *t*	y = - 118,77 + 166,05 **x	0,96	9,31
C.brasiliense	Chl *a*	y = - 59,9 + 109,0**x	0,94	10,87
	Chl *b*	y= - 9,7 + 48,6**x	0,87	13,47
	Chl *t*	y = - 69,5 + 157,6 **x	0,93	10,76
C.myriantum	Chl *a*	y = - 151,5 + 153,1**x	0,98	8,22
	Chl *b*	y = - 62,26 + 65,34**x	0,95	12,90
	Chl *t*	y = - 214,04 + 218,65**x	0,97	8,82
E. macrophyla	Chl *a*	y = - 117,3 + 131,9**x	0,97	9,77
	Chl *b*	y = - 64,2 + 73,6**x	0,96	10,78
	Chl *t*	y = - 181,43 + 205,49**x	0,97	9,65
I.capitata	Chl *a*	y = - 75,45 + 106,53**x	0,91	15,09
	Chl *b*	y = - 29,94 + 50,05**x	0,84	20,22
	Chl *t*	y = - 105,39 + 156,59**x	0,89	16,39
T.guianensis	Chl *a*	y = - 327,22 + 361,06**x – 52,60 **x^2	0,93	12,37
	Chl *b*	y = - 143,34 + 180,66**x – 24,85**x^2	0,89	32,25
	Chl *t*	y = - 470,56 + 541,73**x – 77,45**x^2	0,92	11,79

Observou-se uma relação positiva entre os valores obtidos para o índice de reflectância ND_{705} e os teores de clorofilas *a*, *b* e *t*, para as seis espécies estudadas (Figura 3). Maiores valores de ND_{705} foi encontrado para a espécie *B. rubescens* com valor de aproximadamente 0,7 e os menores valores foram encontrados para as espécies *C. myriantum* e *E. macrophyla* com ND_{705} máximo entre 0,4 e 0,5.

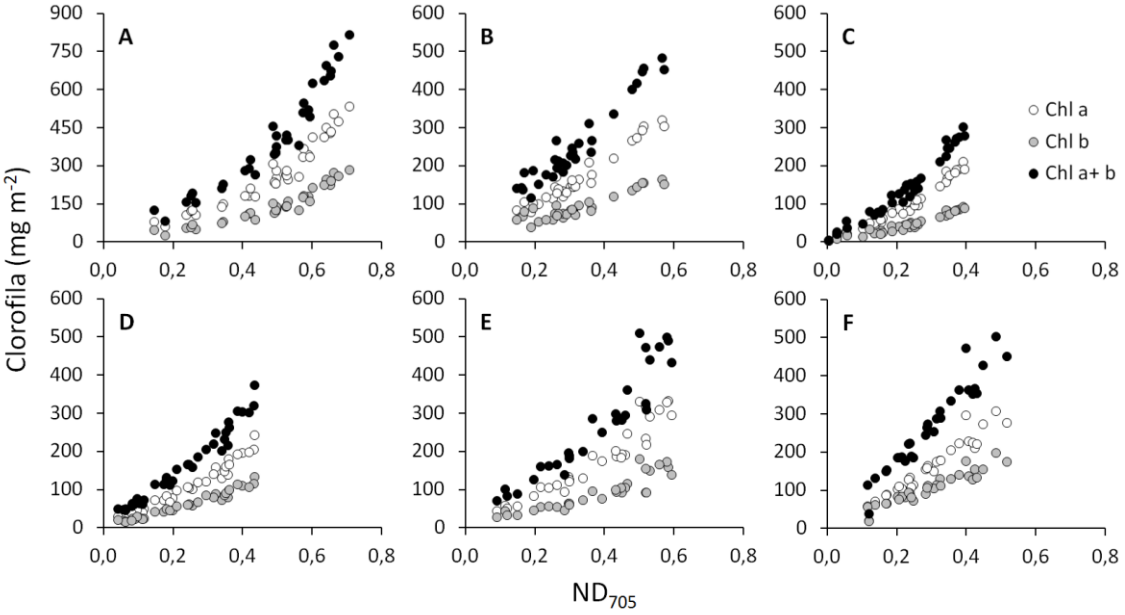

Figura 3. Relações entre o índice de reflectância normalizada ND_{705} = (R_{750}-R_{705})/ (R_{750}+R_{705}) e os teores de clorofilas em folhas de mudas de seis espécies arbóreas tropicais: (A) *B. rubescens* (n = 35), (B) *C. brasiliense* (n = 32), (C) *C. myriantum* (n = 36), (D) *E. macrophylla* (n = 37) , (E) *I. capitata* (n = 30) e (F) *T.guianensis* (n = 30).

Considerando as espécies estudadas, os modelos que melhor representam as relações entre o índice de reflectância ND_{705} e os teores de clorofilas *a*, *b* e *t* (Tabela 6), foram selecionados observando-se a significância dos coeficientes do modelo, considerando como significativo aqueles que apresentaram até 5 % de probabilidade, menores valores de raiz quadrada média do erro (RQME) expresso em porcentagem, e um maior coeficiente de determinação (r^2).

Para as espécies *C. brasiliense*, *I. capitata* e *T. guianensis*, o modelo que melhor representou a relação entre o índice de reflectância ND_{705} e os teores de clorofila *a*, *b* e *t*, foi o modelo linear, com todas as equações altamente significativas (P< 0,01), o RQME < 23% e o $r^2 > 0,81$. Para a espécie *B. rubenscens*, a relação foi melhor representada por meio da equação polinomial de segundo grau, onde os coeficientes apresentou-se com alta significância (P< 0,01), o RQME < 12 % e o $r^2 = 0,95$. As espécies *C. myrianthum* e *E. macrophyla* o modelo polinomial de segundo grau, foi o que melhor representou a relação entre o índice de reflectância e o teor de clorofila *a* e *t*, com (P< 0,01), o RQME < 11%, e o coeficiente de determinação com

valores entre 0,97 e 0,98. Sendo que, para essas espécies o teor de clorofila *b* foi melhor representado pelo modelo linear, com (P< 0,01), RQME < 18% e o r^2 de 0,91 para *C. myriantum* e de 0,96 para *E. macrophyla*.

Tabela 6. Equações de regressão, coeficiente de determinação, raiz do quadrado médio do erro expresso em porcentagem para a predição dos teores de clorofila *a*, *b* e *t* de seis espécies florestais nativas, *B. rubescens*, *C. brasiliense*, *C. myriantum*, *E. macrophylla* , *I. capitata* e *T.guianensis*, utilizando o índice de reflectância $ND_{705.}$ Para todos os modelos P <0,05.

Espécie	Índice	Modelo	r^2	RQME (%)
B.rubenscens	*Chl a*	$y = 136,90 – 537,47^{**}x + 1534,0^{**}x^2$	0,95	9,90
	Chl b	$y = 76,87 – 323,60^{**}x + 863,01^{**}x^2$	0,95	11,25
	Chl t	$y = 213,77 – 861,08^{**}x + 2397,0^{**}x^2$	0,95	9,95
C.brasiliense	Chl *a*	$y = - 23,85 + 586,30^{**}x$	0,94	9,99
	Chl *b*	$y = 8,26 + 255,15^{**}x$	0,83	14,89
	Chl *t*	$y = - 15,58 + 841,46^{**}x$	0,92	11,03
C.myriantum	Chl *a*	$y = 6,83 + 205,02^{**}x + 727,39^{**}x^2$	0,98	8,38
	Chl *b*	$y = - 4,52 + 217,70^{**}x$	0,91	17,04
	Chl *t*	$y = 15,11 + 257,09^{**}x + 1117,3^{**}x^2$	0,97	8,87
E. macrophyla	Chl *a*	$y = 19,29 + 178,16^{**}x + 623,27^{**}x^2$	0,97	10,18
	Chl *b*	$y = - 2,26 + 264,96^{**}x$	0,96	11,53
	Chl *t*	$y = 26,70 + 330,00^{**}x + 862,97^{**}x^2$	0,97	9,93
I.capitata	Chl *a*	$y = - 34,53 + 570,56^{**}x$	0,89	16,89
	Chl *b*	$y = - 9,96 + 266,10^{**}x$	0,81	22,17
	Chl *t*	$y = - 44,50 + 836,66^{**}x$	0,87	18,30
T.guianensis	Chl *a*	$y = - 30,28 + 639,11^{**}x$	0,92	12,24
	Chl *b*	$y = 2,91 + 346,99^{**}x$	0,89	12,17
	Chl *t*	$y = - 27,37 + 986,11^{**}x$	0,92	11,51

Observou-se uma relação positiva entre os valores obtidos para o índice de clorofila Falker e os teores de clorofilas *a*, *b* e *t*, para as seis espécies estudadas (Figura 4).

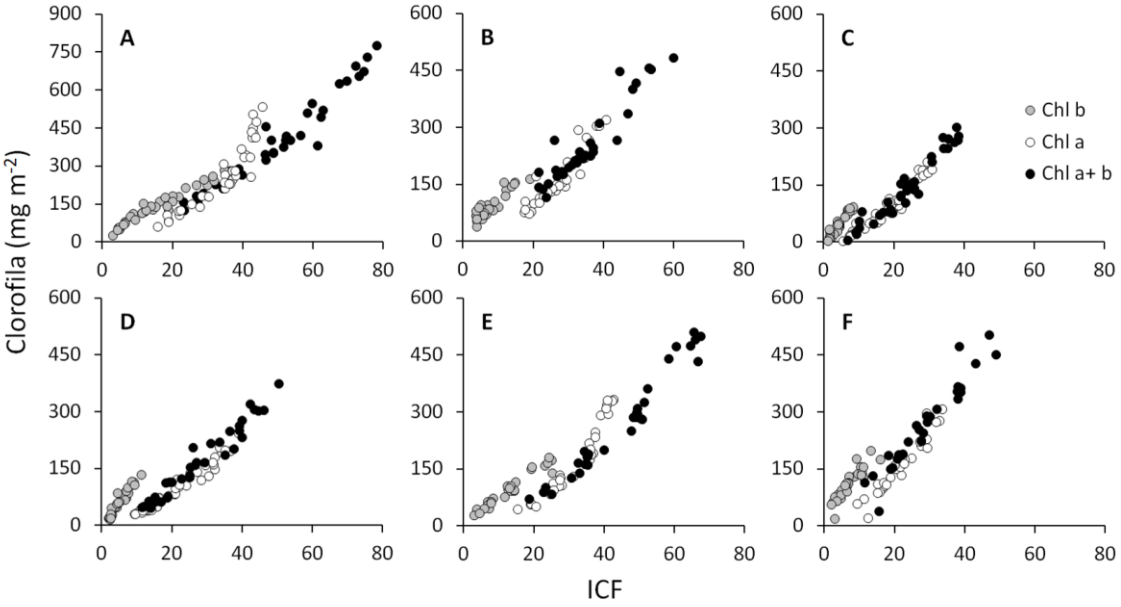

Figura 4. Relações entre o índice de clorofilas Falker (ICF) e os teores de clorofilas em folhas de mudas de seis espécies arbóreas tropicais: (A) *B. rubescens* (n = 35), (B) *C. brasiliense* (n = 32), (C) *C. myriantum* (n = 36), (D) *E. macrophylla* (n = 37) , (E) *I. capitata* (n = 30) e (F) *T.guianensis* (n = 30).

Considerando as espécies estudadas, os modelos que melhor representam as relações entre o índice de clorofila Falker (ICF) e os teores de clorofilas *a*, *b* e *t* (Tabela 7), foram selecionados observando-se a significância dos coeficientes do modelo, considerando como significativo aqueles que apresentaram até 5 % de probabilidade, menores valores de raiz quadrada média do erro (RQME) expresso em porcentagem, e um maior coeficiente de determinação (r^2).

O modelo linear foi o que melhor representou a relação entre o ICF e os teores de clorofila *a*, para as espécies *C. brasiliense*, *C. myrianthum*, *E.macrophyla* e *T. guianensis*, com as equações altamente significativas (P< 0,01), o RQME < 18% e o $r^2 > 0,85$. Para a relação entre o ICF e os teores de clorofila *b* o modelo que melhor representou essa relação foi o linear com exceção das espécies *E. macrophyla* e *T. guianensis* que o melhor ajuste para Chl *b* foi com o modelo polinomial quadrático. Para o teor de Chl *t*, o modelo que melhor representou a relação foi o linear, com P< 0,01, RQME < 15 % e $r^2 > 0,87$, exceto para a espécie *C. myrianthum*, sendo melhor representada pelo modelo polinomial quadrático.

Tabela 7. Equações de regressão, coeficiente de determinação, raiz do quadrado médio do erro expresso em porcentagem para a predição dos teores de clorofila *a*, *b* e *t* de seis espécies florestais nativas, *B. rubescens*, *C. brasiliense*, *C. myriantum*, *E. macrophylla* , *I. capitata* e *T.guianensis,* em função do índice de clorofila Falker (ICF). Para todos os modelos P <0,05.

Espécie	Índice	Modelo	r^2	√ QME (%)
B.rubenscens	Chl *a*	$y = 283,16 – 20,03^{**}x + 0,53^{**}x^2$	0,89	15,54
	Chl *b*	$y = 26,65 + 7,13^{**}x$	0,95	10,59
	Chl *t*	$y = - 150,09 + 11,03^{**}x$	0,94	11 ,06
C.brasiliense	Chl *a*	$y = - 115,15 + 10,20^{**}x$	0,85	17,01
	Chl *b*	$y = 27,68 + 7,8^{**}x$	0,84	14,74
	Chl *t*	$y = - 80,78 + 9,48^{**}x$	0,87	14,65
C.myriantum	Chl *a*	$y = - 52,79 + 7,87^{**}x$	0,92	16,16
	Chl *b*	$y = - 9,54 + 11,98^{**}x$	0,92	15,61
	Chl *t*	$y = - 14,52 + 3,67^{*}x + 0,10^{**}x^2$	0,94	13,75
E. macrophyla	Chl *a*	$y = - 43,85 + 6,59^{**}x$	0,95	13,00
	Chl *b*	$y = - 23,71 + 19,90^{**}x - 0,59^{**}x^2$	0,94	14,42
	Chl *t*	$y = - 58,03 + 8,02^{**}x$	0,95	12,51
I.capitata	Chl *a*	$y = 174,61 – 14,06^{**}x + 0,41^{**}x^2$	0,96	10,56
	Chl *b*	$y = 9,33 + 6,38^{**}x$	0,94	11,69
	Chl *t*	$y = - 150,43 + 9,32^{**}x$	0,95	10,87
T.guianensis	Chl *a*	$y = - 74,31 + 10,67^{**}x$	0,93	12,13
	Chl *b*	$y = 6,74 + 18,18^{**}x + 0,45^{*}x^2$	0,86	14,69
	Chl *t*	$y = - 49,45 + 10,91^{**}x$	0,92	11,75

Ao relacionar os resultados obtidos pelo clorofilômetro SPAD-502 com o teor de clorofila (*a*, *b*, e *t*) extraído em laboratório, observou-se uma relação positiva entre os valores obtidos para o índice de clorofila SPAD e os teores de clorofilas *a*, *b* e *t*, para as seis espécies estudadas (Figura 5).

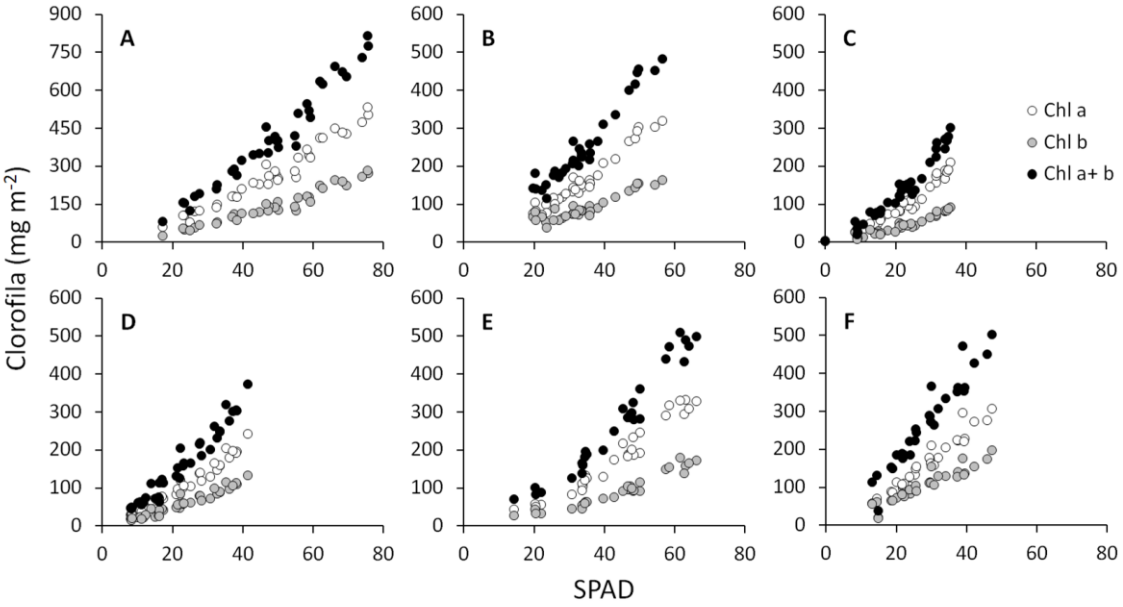

Figura 5. Relações entre o índice SPAD e os teores de clorofilas em folhas de mudas de seis espécies arbóreas tropicais: (A) *B. rubescens* (n = 35), (B) *C. brasiliense* (n = 32), (C) *C. myriantum* (n = 36), (D) *E. macrophylla* (n = 37) , (E) *I. capitata* (n = 30) e (F) *T.guianensis* (n = 30).

Considerando as espécies estudadas, os modelos que melhor representam as relações entre o índice de clorofila SPAD e os teores de clorofilas *a*, *b* e *t* (Tabela 8), foram selecionados observando-se a significância dos coeficientes do modelo, considerando como significativo aqueles que apresentaram até 5 % de probabilidade, menores valores de raiz quadrada média do erro (RQME) expresso em porcentagem, e um maior coeficiente de determinação (r^2).

Tabela 8. Equações de regressão, coeficiente de determinação, raiz do quadrado médio do erro expresso em porcentagem para a predição dos teores de clorofila *a*, *b* e *t* de folhas de mudas de seis espécies florestais nativas, *B. rubescens*, *C. brasiliense*, *C. myriantum*, *E. macrophylla* , *I. capitata* e *T.guianensis,* em função do índice de clorofila SPAD. Para todos os modelos P <0,05.

Espécie	Índice	Modelo	r²	RQME (%)
B.rubenscens	Chl *a*	$y = 0,91 + 2,78*x + 0,05**x^2$	0,96	8,69
	Chl *b*	$y = - 59,66 + 4,17**x$	0,94	11,74
	Chl *t*	$y = 4,24 + 3,98*x + 0,08**x^2$	0,96	8,74
C.brasiliense	Chl *a*	$y = - 75,75 + 6,97**x$	0,95	9,93
	Chl *b*	$y = - 14,90 + 3,05**x$	0,85	14,61
	Chl *t*	$y = - 90,66 + 10,03**x$	0,93	10,84
C.myriantum	Chl *a*	$y = - 1,53 + 2,03**x - 0,09**x^2$	0,97	10,62
	Chl *b*	$y = - 13,05 + 2,62**x$	0,91	16,72
	Chl *t*	$y = 4,05 + 2,44*x + 0,15**x^2$	0,97	10,25
E. macrophyla	Chl *a*	$y = 5,55 + 2,26*x + 0,07**x^2$	0,96	11,27
	Chl *b*	$y = - 13,93 + 3,20**x$	0,93	14,80
	Chl *t*	$y = 3,59 + 4,22*x + 0,10**x^2$	0,95	12,18
I.capitata	Chl *a*	$y = - 93,94 + 6,34**x$	0,94	12,28
	Chl *b*	$y = - 42,09 + 3,06**x$	0,91	14,74
	Chl *t*	$y = - 136,03 + 9,40**x$	0,94	12,33
T.guianensis	Chl *a*	$y = - 57,57 + 7,62**x$	0,93	11,71
	Chl *b*	$y = - 10,64 + 4,09**x$	0,88	13,03
	Chl *t*	$y = - 68,21 + 11,72**x$	0,92	11,63

O modelo linear foi o que melhor representou a relação entre o SPAD e os teores de clorofila *a*, *b*, e *t*, para as espécies *C. brasiliense*, *I. capitata* e *T. guianensis*, com as equações altamente significativas (P< 0,01), o RQME < 15% e o r² > 0,88. Para as espécies *B. rubenscens*, *C. myrianthum*, e *E. macrophyla* a relação entre o SPAD e os teores de clorofila *a* e *t* foram melhor representadas pelo modelo polinomial quadrático, significativo (P<0,05), RQME < 13 % e r² > 0,95 e considerando as mesmas espécies, para Chl *b*, o modelo que melhor representou essa relação foi o linear.

Uma relação positiva pode ser observada entre teores de clorofilas *a*, *b* e *t* e os valores obtidos para o índice de reflectância SR_{705} e ND_{705}, os índices de clorofilas ICF e SPAD para as seis espécies estudadas (Figura 6).

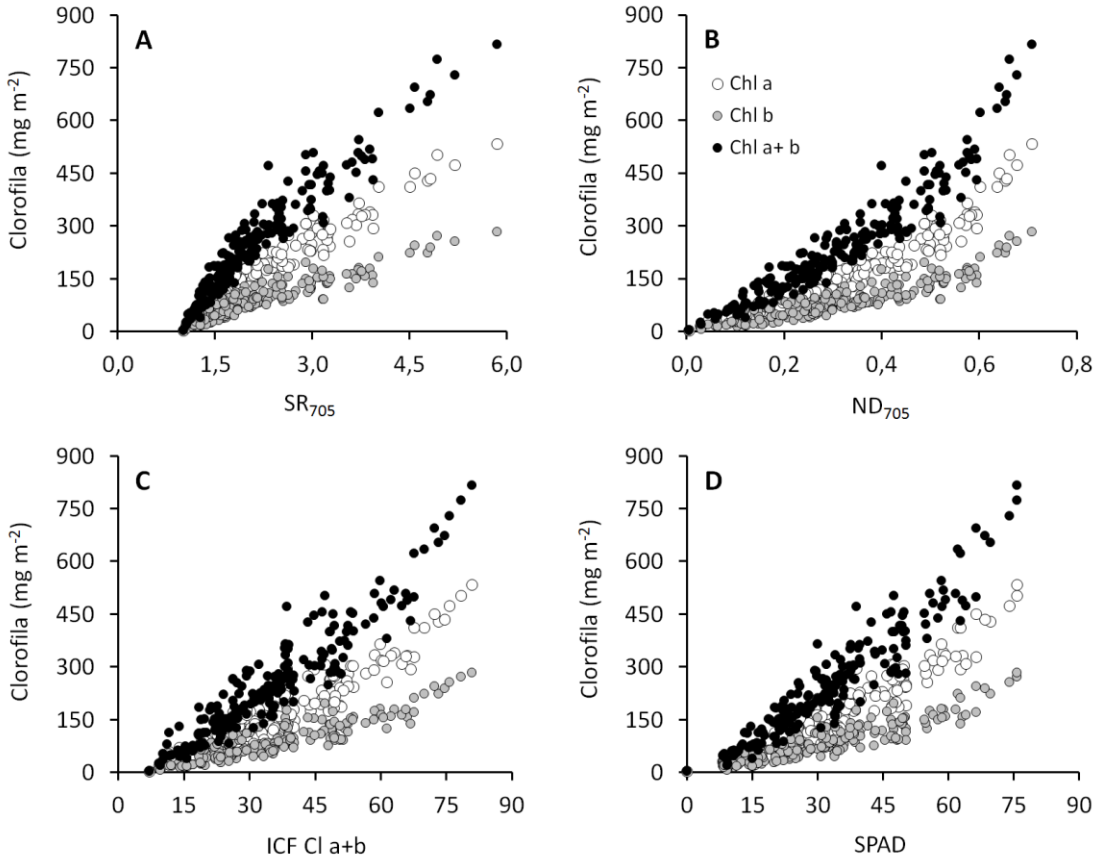

Figura 6. Relações entre os conteúdos de clorofila em folhas de mudas de seis espécies arbóreas tropicais e os índices de reflectância SR_{705} (A) e ND_{705} (B) e os índices de clorofilas Falker (C) e SPAD (D), (n = 200).

Considerando o conjunto de todas as espécies estudadas, os modelos que melhor representam as relações entre os índices de clorofila (ICF e SPAD) e os índices de reflectância e os teores de clorofilas *a*, *b* e *t* (Tabela 9), foram selecionados observando-se a significância dos coeficientes do modelo, considerando como significativo aqueles que apresentaram até 5 % de probabilidade, menores valores de raiz quadrada média do erro (RQME) expresso em porcentagem, e um maior coeficiente de determinação (r^2).

Relacionando as espécies estudadas em conjunto, o modelo polinomial quadrático é o que melhor representa a relação entre SR_{705} e os teores de clorofila *b* e *t*, com $P < 0,01$, RQME < 23 % e $r^2 > 0,86$, enquanto que para a relação entre SR_{705} e o teor de clorofila *a*, observou-se uma relação linear. Ao relacionar o conjunto de dados para ND_{705} e os teores de clorofila *a*, *b* e *t* o

modelo que melhor representou a relação foi o polinomial quadrático com P< 0,01, RQME < 24% e r^2 > 0,85. Da mesma forma para os índices de clorofila os modelos que melhor representaram a relação foi o polinomial quadrático com P< 0,01, RQME < 27% e r^2 > 0,81.

Tabela 9. Equações de regressão, coeficiente de determinação, raiz do quadrado médio do erro expresso em porcentagem para a predição dos teores de clorofila *a*, *b* e *t* de folhas de mudas de seis espécies florestais nativas, *B. rubescens*, *C. brasiliense*, *C. myriantum*, *E. macrophylla* , *I. capitata* e *T.guianensis,* em função do índice de clorofila e índices de reflectância , (n = 200). Para todos os modelos P <0,05.

Índice	Clorofila	Modelo	r^2	RQME (%)
SR_{705}	Chl *a*	y = -75,82 + 110,88**x	0,94	15,40
	Chl *b*	y = - 51,09 + 71,95**x - 2,84*x^2	0,86	22,83
	Chl *t*	y = - 175,61 + 224,34**x + 10,30**x^2	0,92	16,61
ND_{705}	Chl *a*	y = 22,42 + 179,01**x + 641,25**x^2	0,94	15,14
	Chl *b*	y = 17,42 + 90,48**x + 323,27**x^2	0,85	23,46
	Chl *t*	y = 39,84 + 269,50**x + 964,53**x^2	0,92	17,28
ICF	Chl *a*	y = - 11,23 + 3,64**x + 0,03**x^2	0,91	19,04
	Chl *b*	y = 4,04 + 1,64**x + 0,01**x^2	0,81	26,47
	Chl *t*	y = - 7,19 + 5,28**x + 0,04**x^2	0,88	20,94
SPAD	Chl *a*	y = - 4,33 + 3,59**x + 0,03**x^2	0,92	17,99
	Chl *b*	y = 4,44 + 1,79**x + 0,01**x^2	0,83	25,57
	Chl *t*	y = 0,11 + 5,38**x + 0,05**x^2	0,89	19,91

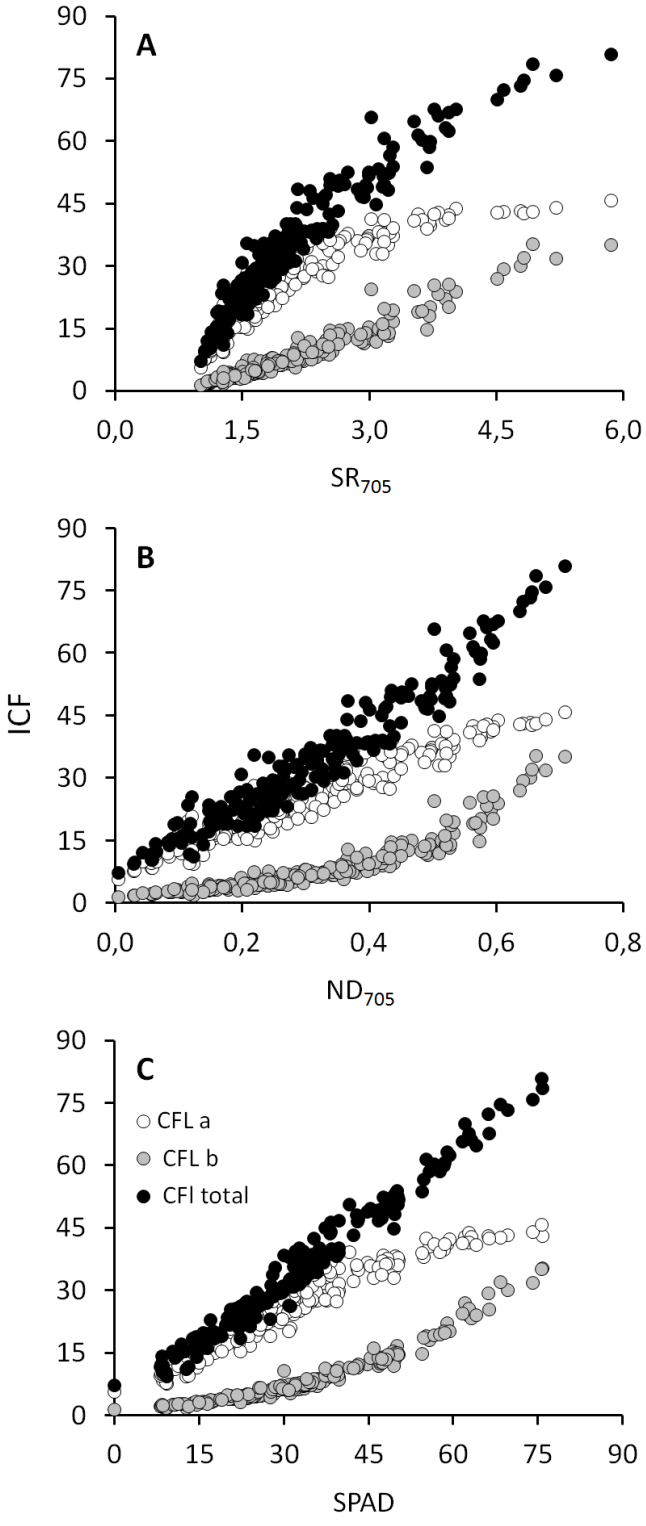

Figura 7. Relações entre o índice de clorofilas Falker (ICF) e os índices de reflectância SR_{705} (A) e ND_{705} (B) e o índice de clorofilas SPAD (C) em folhas de mudas de seis espécies arbóreas tropicais, (n = 200).

Observou-se uma relação positiva entre os valores obtidos quando os instrumentos são comparados (Figura 7). Considerando o conjunto de todas as espécies estudadas, os modelos que melhor representam as relações entre os índices de clorofila (ICF e SPAD) e os índices de reflectância e os teores de clorofilas *a*, *b* e *t* (Tabela 10), foram selecionados observando-se a significância dos coeficientes do modelo, considerando como significativo aqueles que apresentaram até 5 % de probabilidade, menores valores de raiz quadrada média do erro (RQME) expresso em porcentagem, e um maior coeficiente de determinação (r^2).

Tabela 10. Equações de regressão, coeficiente de determinação, raiz do quadrado médio do erro expresso em porcentagem mostrando a relação entre os diferentes instrumentos utilizados.

Variável Independente	Dependente	Modelo	r^2	RQME (%)
SR_{705}	CFL *t*	$y = - 16,96 + 30,31^{**}x - 2,39^{**}x^2$	0,94	10,91
ND_{705}	CFL *t*	$y = 9,79 + 53,29^{**}x + 63,90^{**}x^2$	0,94	10,78
SPAD	CFL *t*	$y = 3,52 + 0,89^{**}x + 0,001^{**}x^2$	0,97	7,10

Relacionando as variáveis independentes, índices de reflectância e SPAD com a variável dependente CFL *t* o modelo polinomial quadrático é o que melhor representa a relação com $P < 0,01$, RQME < 11 % e $r^2 > 0,94$.

Observou-se uma relação positiva entre os valores obtidos quando são comparados os índices de reflectancia com o SPAD (Figura 8). Os modelos que melhor representam as relações entre os índices de reflectância e o indice SPAD (Tabela 10), foram selecionados observando-se a significância dos coeficientes do modelo, considerando como significativo aqueles que apresentaram até 5 % de probabilidade, menores valores de raiz quadrada média do erro (RQME) expresso em porcentagem, e um maior coeficiente de determinação (r^2).

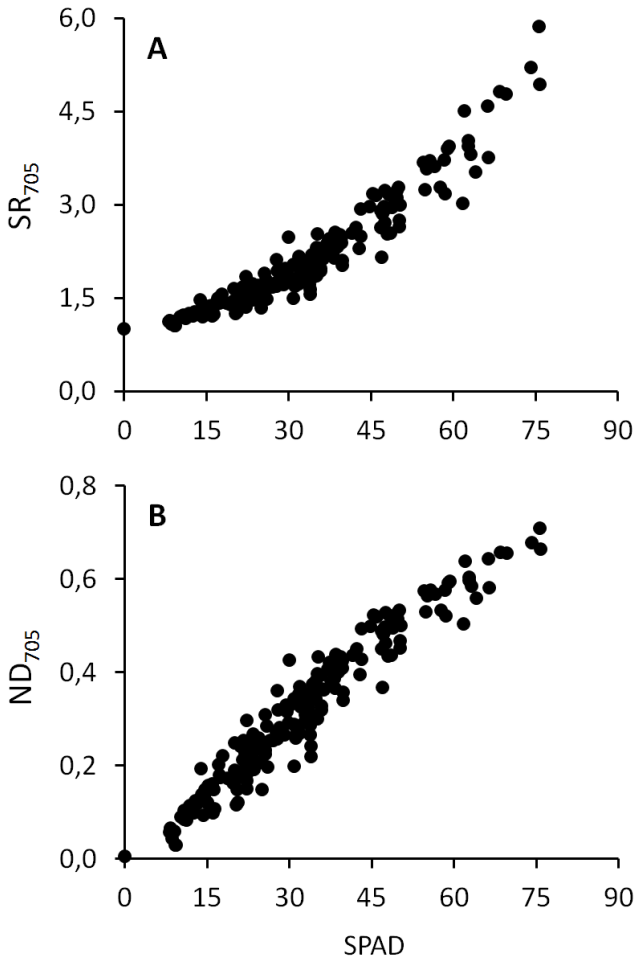

Figura 8. Relações entre o índice de clorofilas SPAD e os índices de reflectância SR_{705} (A) e ND_{705} (B) em folhas de mudas de seis espécies arbóreas tropicais. (n = 200).

Tabela 11. Equações de regressão, coeficiente de determinação, raiz do quadrado médio do erro expresso em porcentagem mostrando a relação entre os índices de reflectância em função do índice SPAD. Para todos os modelos P <0,05.

Variável				
Independente	Dependente	Modelo	r^2	RQME (%)
SR_{705}	SPAD	$y = 1,03 + 0,009^{**}x + 0,0006^{**}x^2$	0,94	9,38
		$y = - 0,03 \times 0,01^{**x}$	0,94	1,48
ND_{705}	SPAD	$y = - 0,05 + 0,01^{**}x – 0,00004^{**}x^2$	0,93	12,11

6. DISCUSSÃO

Estabelecer modelos matemáticos para estimativa de clorofilas em mudas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica, a partir de medidores portáteis de clorofila e índices de reflectância surge como uma alternativa viável para estudos com essas espécies, diminuindo o custo e a onerosidade do método padrão de quantificação, facilitando as avaliações para aqueles que tenham acesso a apenas alguns dos aparelhos medidores do índice de clorofila ou medidores do índice de reflectância.

Os pigmentos Chl *a* e Chl *b* estão diretamente envolvidos na absorção da radiação luminosa, que desencadeia o processo fotossintético nas plantas. Existem diversos estudos com quantificação de pigmentos nas folhas de diversas espécies, através de solventes e utilização dos medidores portáteis para estimar os teores de pigmentos em árvores tropicais (JESUS; MARENCO, 2008). Estudos com espécies florestais nativas ainda são incipientes sendo importante obter informações sobre as diversas espécies existentes.

Para os índices de reflectância observou-se que as espécies estudadas apresentaram um comportamento similar, variando apenas a porcentagem de reflectancia e absorção da radiação ao longo do espectro. Este comportamento espectral na região do visível está relacionado à presença de pigmentos fotossintetizantes (SIMS; GAMON, 2002). Quanto maior a quantidade de pigmentos presentes em uma folha, maior a absorção de radiação na região do visível. A resposta espectral da radiação fotossinteticamente ativa, na região do visível do espectro eletromagnético, corresponde a uma baixa reflectância devido à absorção da radiação incidente pela clorofila e pelos carotenoides, sendo que a partir do infravermelho próximo ocorre um aumento da reflectância devido à estrutura celular da folha (PONZONI; SHIMABUKURU, 2010).

Considerando a região do visível (400 a 700 nm), as propriedades espectrais de reflectância, transmitância e absorbância estão relacionadas à presença, tipo e quantidade de pigmentos na folha. Regra geral, quanto maior a concentração de pigmentos, maior será a absorbância e, consequentemente, a reflectância e a transmitância apresentarão valores mais baixos (KUMAR, 1974; GOEL, 1988).

Devido à ação das clorofilas, a curva apresenta duas bandas de absorção bem marcantes ao longo do espectro, próximas a 450 nm (região do azul) e a 650 nm (região do vermelho) (GUYOT et al, 1989). Entre as duas bandas de absorção mencionadas ocorre uma elevação na quantidade de radiação refletida, gerando um pico de reflectância em aproximadamente 540 nm, correspondente à região do verde (SWAIN; DAVIS, 1978). A reduzida absorção da vegetação nesta região espectral é responsável pela cor verde apresentada pela vegetação sadia (NOVO, 1989). Em aproximadamente 700 nm, na região espectral de transição entre o visível e o infravermelho próximo, ocorre um aumento significativo da reflectância apresentada pelas folhas. Nessa região o fator de maior influência na interação da radiação eletromagnética com a folha é a própria estrutura interna da folha, por exemplo, número de interfaces ar-água e tamanho das células e organelas (SIMS; GAMON, 2002). Nesta região, a reflectância e a transmitância tendem a ser maior do que a absorbância.

Diferentemente das outras espécies, *C. myrianthum* apresentou-se com folhas senescentes com valor mínimo de clorofila. No início da fase de senescência das folhas, em virtude da degradação da clorofila, a absorção da radiação eletromagnética diminui e provoca o aumento da reflectância da região do visível, especialmente na região do verde e do vermelho (GUYOT, 1990).

Conceitualmente, os índices de vegetação são transformações matemáticas de bandas espectrais utilizados para estimar a contribuição espectral da vegetação em observações multiespectrais (ELVIDGE; CHEN, 1995). As equações da maioria dos índices de vegetação são derivadas principalmente das bandas do verde, vermelho e infravermelho próximo, sobretudo das últimas duas (ELVIDGE; CHEN, 1995; PONZONI, 2001).

Modelos matemáticos foram gerados para expressar a relação entre os teores de clorofila e o índice de reflectancia SR_{705}, os modelos que melhor se ajustaram foram o quadrático para *C. brasiliense* e *T. guianensis* apresentando coeficientes de determinação elevados e altamente significativos. Para as demais espécies o modelo que melhor se ajustou foi o linear.

O NDVI é um índice de vegetação correlacionado com a resposta espectral do solo e da vegetação. Este índice é o resultado de uma operação aritmética que consiste na razão das bandas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo. Para Jensen (1996) e Lyon et al. (1998) os comprimentos de onda do vermelho e do infravermelho têm sido os mais utilizados porque há contraste de reflectância entre eles e há relação com as características da vegetação. Observou-se que para todas as espécies estudadas os valores de ND_{705} aumentaram de acordo com o aumento do teor de clorofilas. O aumento da diferença de reflectância entre o infravermelho próximo e o vermelho, ao serem normalizados, levam ao aumento do valor do NDVI. Portanto, quanto maiores as quantidades de clorofila, que absorvem a radiação eletromagnética no vermelho, e de estruturas celulares (tecidos), que refletem o infravermelho próximo, maiores serão os valores do NDVI (VARIANI, 2011).

A espécie *B. rubescens* apresentou altos valores de clorofila *t*, enquanto que as espécies *C. myriantum* e *E. macrophyla* apresentaram os menores valores. Resultados parecidos foram encontrados por Oppelt (2012) ao relacionar o teor de clorofila com o NDVI e encontrou resultados bem próximos onde o teor de clorofila variou entre 200 a 800 mg m^{-2}. Modelos matemáticos foram gerados para expressar a relação entre os teores de clorofila e o índice de reflectancia ND_{705}, os modelos que melhor se ajustaram foram o quadrático para *B. rubescens* e *E. macrophyla* apresentando coeficientes de determinação elevados e altamente significativos. Para as demais espécies o modelo que melhor se ajustou foi o linear o mesmo encontrado por Oppelt (2012) quando relacionou os teores de clorofila e o índice de reflectância NDVI.

Richardson (2002) observou que os índices relacionam-se de uma forma melhor para Chl *a* e Chl *t* do que Chl *b*. Apresentando valores bem próximos ao encontrado no presente estudo para a relação Chl e ND_{705} valores para os coeficientes de determinação onde Clorofila *a* (r^2 =0,97), teor de clorofila *t* (r^2 = 0,97) e clorofila b com um menor valor (r^2 = 0,92).

Ao relacionar os resultados dos medidores portáteis de clorofila nas folhas das espécies florestais ao teor de clorofila expresso em mg m^{-2}, obtido em laboratório, observou-se que os resultados mostraram que os medidores de

índice de clorofila portátil tanto o SPAD quanto o Clorofilog exibem boa precisão quando comparados aos valores obtidos com a forma clássica de determinação apresentando um elevado coeficiente de determinação. Assim, os modelos matemáticos gerados podem ser utilizados para estimar o nível deste pigmento com alta precisão, rapidez e eficiência, sem gastos com reagentes. Rigon et al. (2012) também encontrou uma forte relação entre leituras do medidor de clorofilas e os obtidos convencionalmente em laboratório para gergelim. Observações semelhantes foram feitas por Torres-Netto et al. (2005) para plantas de café e Brito et al. (2011) para as folhas de algodão. Portanto, o dispositivo portátil pode ser utilizado para estimar de forma precisa o conteúdo de clorofila nas folhas das diferentes espécies arbóreas.

A mensuração do conteúdo de clorofila *b* por meio dos equipamentos portáteis é mais difícil quando comparada à leitura da clorofila *a*, como reportam Richardson et al. (2002) e Neves et al. (2005). Isto ocorre devido ao fato de o comprimento de onda emitido pelo aparelho aproximar-se mais ao pico de absorção da clorofila *a*, do que ao pigmento *b*. Verificou-se, no entanto, alta eficiência nas leituras do clorofilômetro SPAD em relação às análises laboratoriais para a clorofila *b*, com R^2 elevado.

A relação entre a leitura com medidor portátil de clorofila e o teor de clorofila extraível evidencia que as leituras efetuadas com clorofilômetro estimam adequadamente o grau de esverdeamento da folha, ou seja, o teor relativo de clorofila na folha. Portanto, as leituras efetuadas por este equipamento podem substituir, com boa precisão, as determinações tradicionais do teor de clorofila (ARGENTA et al., 2001). Em estudos feitos com espécies frutíferas tropicais (JESUS; MARENCO, 2008) utilizando o SPAD encontrou-se valores semelhantes para teores de clorofilas totais onde os teores variaram entre 50 e 700 mg m^{-2}.

Quando a luz atinge uma folha, parte dessa luz é refletida, parte absorvida e parte transmitida através da folha. A função dos pigmentos cloroplastidicos é absorver a luz incidente que está chegando à superfície da folha. Com isso poderíamos supor que os instrumentos que avaliam o conteúdo Chl medindo diretamente a quantidade de radiação absorvida devem ser capazes de proporcionar melhores estimativas do teor de clorofila do que

aqueles que dependem de medidas de reflectância (RICHARDSON et.al, 2002).

As relações positivas obtidas para teor de clorofila sugerem que estes índices podem ser aplicados em espécies sem grandes calibrações para cada uma das espécies. Uma vez que as medições de reflectância poderiam ser feita de maneira rápida e não destrutiva, isto faria possíveis levantamentos em ampla escala e em menor tempo de plantas em condições de campo (SIMS; GAMON 2002).

A determinação do teor de clorofila pelo clorofilômetro apresenta algumas vantagens sobre o método tradicional de extração de clorofila: a leitura pode ser realizada com pouco tempo, o aparelho tem custo baixo de manutenção, não há necessidade de envio de amostras para o laboratório, o que resulta em economia de tempo e dinheiro (PIEKIELEK; FOX, 1992; MIELKE et. al, 2012), e as leituras podem ser realizadas em quantas amostras forem necessárias, sem implicar na destruição das folhas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível obter modelos matemáticos com bons ajustes para as estimativas de clorofilas individualmente para cada uma das espécies e métodos analisados. O modelo linear foi o que melhor representou a relação entre os métodos testados e os teores de clorofila *a*, *b* e *t*, para a maioria das espécies, com todas as equações altamente significativas ($P < 0,01$), a raiz do quadrado médio do erro expressa em porcentagem (RQME) < 25% e o coeficiente de determinação (r^2) > 0,80. Para o conjunto das espécies estudadas, o modelo polinomial quadrático foi o que melhor representou a relação entre os métodos avaliados e os teores de clorofila, com $P < 0,01$, RQME < 23 % e $r^2 > 0,80$. Os resultados obtidos nesse estudo também demonstraram uma boa relação entre os métodos ($r2 > 0,90$), indicando a possibilidade de interconversão de dados obtidos com os diferentes equipamentos e índices de reflectância testados.

8. REFERÊNCIAS

AFONSO, M. V.; MARTINAZZO, E. G.; AUMONDE, T. Z.; VILLELA, F.Z. Composição do substrato, vigor e parâmetros fisiológicos de mudas de timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum* (VELL.) morong). **Revista Árvore**, v.36, n.6, p.1019-1026, 2012.

ALVARENGA, B. S.; D'ARCO, E.; ADAMI, M.; FORMAGGIO, A. R. O ensino de conceitos e práticas de espectrorradiometria laboratorial: estudo de caso com solos do estado de São Paulo. **Anais XI SBSR**, Belo Horizonte, Brasil, INPE, p. 739-747, 05 - 10 abril, 2003.

ARAÚJO, D. D. Crescimento de mudas de Jatoba (*Hymenaea courbaril*) sob quatro níveis de sombreamento. 2009. 72 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - **Ministério da Educação. Ministério da Ciência e Tecnologia**. Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, 2009.

ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, v.24, p.1-15, 1949.

ARGENTA, G.; DA SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G. et al. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, p.158-167, 2001.

ASSENHEIMER, A. Benefícios do uso de biossólidos como substratos na produção de mudas de espécies florestais. **Revista Ambiência**, v.5, n.2, p.321-330, 2009.

BARNES, J. D.; BALAGUER, L.; MANRIQUE, E.; ELVIRA, S.; DAVISON, A. W. A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chorophylls *a* and *b* in lichens and higher plants. **Environmental and Experimental Botany***,* v.32, p.85-100, 1992.

CALDEIRA, M. V. W.; ROSA, G. N.; FENILLI, T. A. B.; HARBS, R. M. P. Composto orgânico da produção de mudas de aroeira-vermelha. **Scientia Agrária**, v.9, n.1, p.27-33, 2008.

CARNEIRO, J. C. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.

CARTER, G. A. Responses of leaf spectral reflectance to plant stress. **American Journal of Botany**, v.80, n.3, p.2310-2343, 1994.

CARTER, G. A.; DELL T. R.; CIBULA, W. G. Spectral reflectance characteristics and digital imagery of a pine needle blight in the southeastern United States. **Canadian Journal of Forest Research**, v.1, n.26, p.402-407, 1996.

CATE, T.M., PERKINS, T.D.: Chlorophyll content monitoring in sugar maple (*Acer saccharum*). **Tree Physiology**. v.23, p.1077-1079, 2003.

CODOGNOTTO, L. M.; LEITE, I.C.; SANTOS, D. M. M.; MADALENO, L.L.; KOBORI, N.N.; MARIN, A.; MADALENO, L. L.; KOBORI, N. N.; BANZATTO, D. A. Efeito do alumínio nos teores de clorofilas de plântulas de feijão-mungo e labe-labe. **Revista Ecossistema**, v.27, n.12, p. 27-30, 2002.

COSTE, S.; BARALOTO, C.; LEROY, C.; MARCON, E.; RENAUD, A.; RICHARDSON, A. D.; ROGGY, J. C.; SCHIMANN, H.; UDDLING, J.; H´ERAULT, B. Assessing foliar chlorophyll contents with the SPAD-502 chlorophyll meter: a calibration test with thirteen tree species of tropical rainforest in French Guiana. **Annals of Forest Science**, v.67, p.607, 2010.

CRUZ, A. C. F.; SANTOS, R. P.; IAREMA, L.; FERNANDES, K. R. G.; KUKI, K.N.; ARAUJO, R.F.; OTONI, W.C. Métodos comparativos na extração de pigmentos foliares de três híbridos de *Bixa orellana* L. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, p.777-779, 2007.

DEMMING-ADAMS, B.; ADAMS, W.W. Photoprotection in an ecological context: the remarkable complexity of thermal energy dissipation. **New Phytologist,** v.172, p.11-21, 2006.

DEWAR, R. C.; MEDLYN, B. E.; MCMURTRIE, R. E. A mechanistic analysis of light and carbon use efficiencies. **Plant Cell and Environment**, v.21, p.573-588, 1998.

ELVIDGE, C. D.; CHEN, Z. Comparison of broad-band and narrow-band red and near-infrared vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.54, p.38-48, 1995.

ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.3, n.1, p.39-45, 1991.

FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA Ltda. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG / CFL 1030)**. Porto Alegre: Falker Automação Agrícola. Revisão B, 2008. p.33

FERNANDES, L. A.; FURTINITI NETO, A. F.; VALE, F. R. Crescimento inicial, níveis críticos de fósforo e frações fosfatadas em espécies florestais**. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.6, p.1191-1198, 2000.

FRANKE, R. C.; ROCHA, P. L. B.; KLEIN, W.; GOMES, S.L. **Mata Atlântica e Biodiversidade**. Salvador: Edufba, 2005. 461p.

FONSECA, E. P.; VALERI, S. V.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, N. A. N; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L) Blume. **Revista Árvore**. v.26, n.4, p.515-523, 2002.

FONSECA, E. P. **Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, *Cedrela fissilis* Veli. e *Aspidosperma polyneuron* Müll Arg. produzidas sob diferentes períodos de sombreamento**. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, Brasil, 2000.

GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I. G. Status do hotspot Mata Atlântica: uma síntese. In: GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I.G. (Eds). **Mata Atlântica: Biodiversidade, Ameaças e Perspectivas**. Belo Horizonte: Conservação Internacional, 2005. p.3-11.

GAMON, J. A.; FIELD, C. B.; GOULDEN, M. L.; GRIFFIN, K. L.; HARTLEY, A. E.; JOEL, G.; PEÑUELAS, J.; VALENTINI, R. Relationships between NDVI, canopy structure, and photosynthesis in three Californian vegetation types. **Ecological Applications**. v.5, p.28-41, 1995.

GAMON, J. A.; SURFUS, J. S. Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. **New Phytologist**, v.143, p.105-117, 1999.

GATES, D. M. Physical and physiological properties of plants. In: **Remote Sensing with Especial Reference to Agriculture and Forestry**. Washigton: National Academy of Sciences, 1970. p.164-223.

GITELSON, A.; MERZLYAK, M. N. Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves: Spectral features and relation to chlorophyll estimation. **Journal of Plant Physiology**, v.143, p.286-292, 1994.

GODOY, L. J. G.; SANTOS, T. da S.; VILLAS BÔAS, R. L.; LEITE JUNIOR, J. B. Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em nitrogênio durante o ciclo do cafeeiro fertirrigado**. Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.32, n.1, p.217-226, 2008.

GOMES, J. M. **Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*, produzidas em diferentes tamanhos de tubetes e de dosagens de N-P-K**. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil, 2001.

GOMES, J. M. et al. Efeito de diferentes substratos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, em “Win-Strip”. **Revista Árvore**, v.15, n.1, p.35-42, 1991.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista árvore**, v.26. n.26, p.655-664, 2002.

GUYOT, G.; GUYON, D.; RIOM, J. Factor affeting the spectral response of forest canopies: a review. **Geocarto International**, v.4, n.3, p.3-18, 1989.

GUYOT, G. Optical properties of vegetation canopies. In: Steven, M.D.; Clark, J. A. (Ed.), **Applications of remote sensing in agriculture**. London: Butterworths, 1990. p.19-42.

JESUS, S. V.; MARENCO, R. A.; O SPAD-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas. **Acta Amazônica**, v.38, n.4, p.815-818, 2008.

JORDAN, C. F. Derivation of leaf area index from quality of light on the Forest floor. **Ecology**, v. 50, p.663-666, 1969.

KUMAR, R. **Radiation from plants-reflection and emission: a review**. Lafayette: Purdue Research Foundation. (Research Project n:5543), 1974. 88p.

KULL, O. Acclimation of photosynthesis in canopies: models and limitations. **Oecologia**, v.133, p.267-279, 2001.

LAMBERS, H.; CHAPIN III, F. S.; PONS, T.L. **Plant physiological ecology**. New York: Springer Verlag, 1998. 540p.

LAVRES JUNIOR, J.; MONTEIRO, F. A. Diagnose nutricional de nitrogênio no capim aruana em condições controladas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30 p.829-837, 2006.

LORENZZETTI, J. A. **Princípios Físicos de Sensoriamento Remoto: notas de aula dadas no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. São José dos Campos, 2002.

MARENCO, R. A., ANTEZANA-VERA, S. A., NASCIMENTO, H. C. S. Relationship between specific leaf área, leaf thickness, leaf water content and SPAD-502 readings in six Amazonian tree species. **Photosynthetica** v.47, p.184-190, 2009.

MARKWELL, J.; OSTERMAN, J. C.; MITCHELL, J. L. Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. **Photosynthesis Research**, v.46, p.467-472, 1995.

MENESES, P. R.; NETTO, J. S. M. Fundamentos de Radiometria Óptica Espectral. In: MENESES, P. R.; NETTO, J. S. M. (Orgs.) **Sensoriamento Remoto: reflectância de alvos naturais**. Brasília: Embrapa Cerrados, 2001.

MIELKE, M. S., SCHAFFER, B., LI, C. Use of a SPAD meter to estimate chlorophyll content in *Eugenia uniflora* L. leaves as affected by contrasting light environments and soil flooding. **Photosynthetica**. v. 48, p.332-338, 2010.

MIELKE, M. S.; SCHAFFER, B.; SCHILLING, A. C. Evaluation of reflectance spectroscopy indices for estimation of chlorophyll content in leaves of a tropical tree species. **Photosynthetica.** v.50, p.343-352, 2012.

MOREIRA, R. C. **Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, São José dos Campos, 2000.

MUSSI, L. **Eficiência fotodinâmica das protoporfirinas IX de magnésio e zinco**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Química, Instituto de Química, Unicamp, 2003.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**. v.403, p.853-858, 2000.

NAKAZONO, E. M.; COSTA, M. C.; FUTATSUGI, K. PAULILO, M. T. S. Crescimento inicial de *Euterpe edulis* Mart. em diferentes regimes de luz. **Revista Brasileira de Botânica**, v.24, p.173-179, 2001.

NETTO, A. T.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J. G.; SMITH, R. E. B. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, v.104, p.199-209, 2005.

NEVES, O. S. C.; CARVALHO, J. G.; MARTINS, F. A. D.; PÁDUA, T. R. P.; PINHO, P. J. Uso do SPAD-502 na avaliação dos teores foliares de clorofila, nitrogênio, enxofre, ferro e manganês do algodoeiro herbáceo. **Pesquisa Agropecuária. Brasileira**, v.40, n.5, p.517-521, 2005.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 1989. 307p.

OPPELT, N. **Remote Sensing of Photosynthetic Parameters, Applied Photosynthesis**, Dr Mohammad Najafpour (Ed.), 2012. Disponível em:

<http://www.intechopen.com/books/applied-photosynthesis/remote-sensing-of-photosynthetic-parameters>. Acessado em Janeiro de 2014.

PEÑUELAS, J.; FILELLA, I. Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. **Trends in Plant Science**, v.3, p.151-156, 1998.

PINTO, L. P. et al. A Mata Atlântica. In: RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. (Org.). **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. São Paulo: LERF/ESALQ, Instituto BioAtlântica, 2009. p.6-10.

PIEKIELEK, W. P.; FOX, R. H. Use of a chlorophyll meter to predict side dress nitrogen requirements for maize. **Agronomy Journal**, v.84, p.59-65, 1992.

PINKARD, E. E., PATEL, V., MOHAMMED, C.: Chlorophyll and nitrogen determination for plantation-grown *Eucalyptus nitens* and *E. globulus* using a non-destructive meter. **Forest Ecology and Management**, v.223, 2006.

PONZONI, F. J.; DISPERATI, A. A. **Comportamento espectral da vegetação**. São José dos Campos. INPE, 1995, 35p.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São Jose dos Campos: Editora Parêntese, 2007. 127p.

PORRA, R. J. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls *a* and *b*. **Photosynthesis Research**, v.73, p.149-156, 2002.

REGO, G. M.; POSSAMAI, E. Efeito do sombreamento sobre o teor de clorofila e crescimento inicial do Jequitibá-rosa. **Boletim de Pesquisa Florestal - Embrapa Florestas**, n.53, p.179-194, 2006.

REIS, A. R.; FURLANI JUNIOR, E.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M. Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, v.65, n.1, p.163-171, 2006.

RICHARDSON, A. D.; DUIGAN, S. P.; Berlyn, G. P. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. **New Phytologist**, v.153, p.185-194, 2002.

RITCHIE, R. J. Universal chlorophyll equations for estimating chlorophylls *a*, *b*, *c*, and *d* and total chlorophylls in natural assemblages of photosynthetic organisms using acetone, methanol, or ethanol solvents. **Photosynthetica**, v.46, p.115-126, 2008.

RIGON, J. P. G.; BELTRÃO, N. E. M.; CAPUANI, S.; NETO, J. F. B.; SILVA, F. V. F. Análise não destrutiva de pigmentos fotossintéticos em folhas de gergelim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.3, p.258-261, 2012.

ROCHA, E. B. **Métodos e modelos para estimativas da área foliar de espécies arbóreas da Mata Atlântica**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Botânica. Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, Brasil, 2013.

SALLA, L.; RODRIGUES, J. C.; MARENOS, R. A. Teores de clorofila em árvores tropicais determinados com SPAD-502. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, p.59-161, 2007.

SCARPINELLA, G. D. A. **Reflorestamento no Brasil e protocolo de Quioto.** Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Interunidades em Energia. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2002.

SENGE, M. O.; WIEHE, A.; RYPPA, C. Synthesis, reactivity and structure of chlorophylls. In: GRUMM, B.; PORRA, R.J.; RÜDGER, W.; SCHEER, H. (Eds.) **Chlorophylls and Bacteriochlorophylls: biochemistry, biophysics, functions and applications**. Dordrecht: Springer Science, 2006. p.27-37.

STREIT, N.M.; CANTERLE, L.P.; CANTO, M.W. do; HECKTHEUER, L.H.H. As clorofilas. Ciência Rural, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 748-755, 2005.

SILVA, P. H. M.; WICHERT, M. C. P.; GONÇALVES, J. L. M. Indicadores estatísticos sobre viveiros florestais no Brasil. **IPEF NOTÍCIAS**, 2008.

SILVA, E. A.; MARANGON, G. P.; DESSBESELL, L.; MORAIS, W. W.; LIPPERT, D. B.; PEREIRA, R. S. Caracterização espectral na reflectância de *Eucalyptus grandis.* **Floresta**, v.42, n.2, p.285-292, 2012.

STEELE, M. R.; GITELSON, A. A.; RUNDQUIST, D. C. A. Comparison of Two Techniques for Nondestructive Measurement of Chlorophyll Content in Grapevine Leaves. **Agronomy Journal**. v.100, 2008.

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W.; HECKTHEUER, L. H. H. As clorofilas. **Ciência Rural**, v.35, n.3, 2005.

SIMS, D. A.; GAMON, J. A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. **Remote Sensing of Environment**, v.81, p.337-354, 2002.

SWAIN, P. H.; Davis, S. **Remote sensing: the quantitative approach**. New York: MC Graw-Hill, 1978. 395p.

TAIT, M. A.; HIK, D. S. Is dimethylsulfoxide a reliable solvent for extracting chlorophyll under field conditions? **Photosynthesis Research**, v.78, p.87-91, 2003.

TAVARES-JÚNIOR, J. E.; FAVARIN, J. L.; DOURADONETO, D.; MAIA, A. H. N.; FAZUOLI, L. C.; BERNARDES, M. S. Análise comparativa de métodos de estimativa de área foliar em cafeeiro. **Bragantia**, v.61, n.2, p.199-203, 2002.

TORRES-NETTO, A., CAMPOSTRINI, E., OLIVEIRA, J. G., YAMANISHI, O. K.: Portable chlorophyll meter for the quantification of photosynthetic pigments, nitrogen and the possible use for assessment of the photochemical process in *Carica papaya* L. **Plant Physiology**. v.14, 2002.

VAN DEN BERG, A. K.; PERKINS, T. D. Evaluation of a portable chlorophyll meter to estimate chlorophyll and nitrogen contents in sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.) leaves. **Forest Ecology and management**, v.200, p.113-117, 2004.

VARIANI, C. **Sensor óptico ativo como ferramenta para aplicação de nitrogênio na cultura do trigo**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, RS, 2011.

WALKER, C.; ARAÚJO, M. M.; MACIEL, C. G.; MARCUZZO, S. B. Viveiro florestal: Evolução Tecnológica e Legalização. **Revista Verde**, v.6, n.5, p. 08-14, 2011.

WASKOM, R. M.; WESTFALL, D. G.; SPELLMAN, D. E.; SOLTANPOUR, P. N. Monitoring nitrogen status of corn with a portable chlorophyll meter. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.27, p.545- 560, 1996.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as weel as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, v.144, p.307-313, 1994.