



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

FERNANDA DA SILVA PINHEIRO

**ÁREA FOLIAR DE MUDAS DE URUCUM (*Bixa orellana* L.) ESTIMADA POR MÉTODOS
DIRETOS E INDIRETOS**

Prof. Dr. GUSTAVO BASTOS LYRA
Orientador

SEROPÉDICA, RJ

JUNHO – 2018



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

FERNANDA DA SILVA PINHEIRO

ÁREA FOLIAR DE MUDAS DE URUCUM (*Bixa orellana* L.) ESTIMADA POR MÉTODOS DIRETOS E INDIRETOS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. GUSTAVO BASTOS LYRA
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2018

**ÁREA FOLIAR DE MUDAS DE URUCUM (*Bixa orellana* L.) ESTIMADA POR MÉTODOS
DIRETOS E INDIRETOS**

FERNANDA DA SILVA PINHEIRO

Monografia aprovada ___/___/_____.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Gustavo Bastos Lyra – UFRRJ
Orientador

Prof. Dr. José Carlos Arthur Júnior – UFRRJ
Membro

Prof. Dr. Marcel Carvalho Abreu – UFRRJ
Membro

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Cícera Pinheiro e Luiz Mota, aos meus irmãos Rodrigo e Rudyson e a minha sobrinha Cecília.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por toda a saúde e proteção concedida para que eu pudesse estar concluindo mais uma etapa.

Aos meus pais e aos meus irmãos, por toda preocupação, motivação, incentivo e apoio.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, por ter me proporcionado uma excelente educação, gratuita e com ótimos profissionais.

Ao professor Gustavo, por ser um ótimo orientador, um excelente profissional, sempre com bastante alegria, bom humor e principalmente paciência.

Aos membros da banca professor Arthur e Marcel, por toda a ajuda e contribuição para este trabalho, com toda calma e paciência.

Ao Tião, por toda a ajuda e suporte durante o experimento no viveiro.

As minhas companheiras de longa jornada, desde lica, Dayanne e Julyana, pela amizade ao longo desses seis anos de Rural e por serem essas pessoas maravilhosas, que me ajudaram a estar concluindo a graduação.

Aos amigos floresteiros Marcos, Isabel, Thasso, Carolina, Karine, Nathalia e Barbara, pela amizade ao longo da graduação.

As amigas Thaísa, Alessandra, Mayara, Danielle, Marina e Jéssica por todo incentivo e amizade, mesmo que agora em cursos diferentes, eternas liqueiras.

Ao Felipe, por toda a ajuda e incentivo nos últimos anos e por estar ao meu lado em todos os momentos, sempre com grande alegria e motivação.

RESUMO

O urucum (*Bixa orellana* L.) é uma espécie arbórea nativa das florestas Amazônica e Atlântica, conhecida pelos pigmentos avermelhados extraídos de suas sementes, que dão origem a corantes naturais mundialmente usados. A determinação da área foliar para as culturas é essencial como parâmetro indicativo de crescimento e produtividade, logo, a busca por métodos capazes de estimar a área foliar com precisão e exatidão se faz necessário. Assim, o presente estudo teve como objetivo comparar métodos diretos e indiretos para a determinação da área foliar em mudas de urucum (*Bixa orellana* L.). Para isso assumiu o método planimétrico como padrão, e as possíveis interrelações existentes entre os diversos métodos. Foram separadas cinco mudas semanalmente durante oito semanas, sendo quatro dessas mudas utilizadas nas avaliações métodos das variáveis biométricas, método do scanner e uma muda para o método planimétrico. Ajustou-se um regressão linear sem intercepto ($Y = \beta_1 X$) entre o método padrão e os métodos alternativos e verificou-se por meio de parâmetros de precisão e exatidão como: a raiz do quadrado médio do erro (RQME), erro de predição absoluto médio (EPAM), o índice BIAS, o coeficiente de correlação (r), o coeficiente de determinação (r^2), o índice de concordância (d) e o índice de desempenho (c), o desempenho dos métodos para a estimativa da área foliar. Os métodos do scanner e das dimensões foliares apresentaram “ótimo” desempenho com base no índice c ($c > 0,85$) e precisão ($r^2 > 0,99$) e exatidão ($d > 0,99$ e $RQME < 0,54 \text{ cm}^2$, $EPAM < 3,27\%$ e $BIAS < -0,0063$) satisfatórios, e demonstram serem métodos que podem ser usados com alta precisão e exatidão na estimativa da área foliar.

Palavras-chave: urucum, área foliar, regressão linear.

ABSTRACT

Urucum (*Bixa orellana L.*) is a native arboreal species of the Amazonian and Atlantic forest, particularly known for its colored pigments extracted from its seeds, which are used worldwide as a natural dye. The determination of the leaf area for the cultures is essential as an indicative parameter of growth and productivity, so the search for methods capable of estimating the leaf area with precision and accuracy is necessary. Therefore, the present study has an objective to compare direct and indirect methods for the determination of leaf area in urucum (*Bixa orellana L.*). In the evaluations, assuming the planimetric method as a standard, the possible existing interrelations between the diverse methods. Five changes had been separate weekly during eight weeks; four of these changes are used in the evaluation methods of the biometric variables, and the method of scanner and one for the planimetric method. A linear regression was adjusted without intercepts, forced to pass through the origin ($Y = \beta_1 X$), between the evaluated standard method and alternative methods and verified by means of parameters of precision and exactness, using: the quadratic average error (RQME), average error of absolute prediction (EPAM), BIAS index, correlation coefficient (r), determination coefficient (r^2), concordance index (d) and performance index (c), had evaluated the performance of the methods for the estimate of the foliar area. The methods of the scanner and of the leaf dimensions presented an excellent performance based on the c index ($c > 0.85$) and precision ($r^2 > 0.99$) and accuracy ($d > 0.99$ and $RQME < 0.54 \text{ cm}^2$, $EPAM < 3.27\%$ and $BIAS < -0.0063$), and demonstrate to be methods that can be used with high precision and accuracy in the estimation of the leaf area.

Keywords: urucum, leaf area, linear regression

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Características gerais sobre o urucum.....	2
2.2 Usos e propriedades do urucum.....	3
2.3 Importância da determinação da área foliar.....	3
2.4 Métodos para determinação da área foliar.....	4
3. MATERIAL E MÉTODOS	6
3.1. Método das dimensões foliares	7
3.2. Método planimétrico.....	8
3.3. Método do scanner.....	9
3.4. Análise Estatística.....	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	12
4.1. Ajuste do fator ‘f’ das dimensões foliares.....	12
4.2. Área foliar método padrão x método das dimensões e scanner.....	13
4.3. Estatística de desempenho entre os métodos.....	14
5. CONCLUSÕES	15
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1. Classificação dos valores do coeficiente de correlação.....	11
Tabela 2. Análise dos modelos com base no índice de desempenho.....	12
Tabela 3. Análise de variância (Anova) para o fator 'f'.....	12
Tabela 4. Teste de hipóteses para o coeficiente β_1 ; $H_0: \beta_1 = 1$ (hipótese nula); e $H_1: \beta_1 \neq 1$ (hipótese alternativa).....	14
Tabela 5. Valores obtidos pela comparação do método padrão (planimétrico) com o métodos alternativos (Scanner e Dimensões lineares).....	15

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fruto do urucum contendo sementes que dão origem aos corantes naturais.....	2
Figura 2. Produção nacional de sementes de urucum entre os anos de 1990 a 2016....	3
Figura 3. a) Técnica da planimetria b) somatório das unidades em cm ² e mm ² , para obter a área foliar.....	5
Figura 4. a) Medição do IAF com o uso do ceptômetro. b) sensor externo do ceptômetro, que permite medições simultâneas.....	5
Figura 5. LAI-2000 Plant Canopy Analyzer. Fonte: LI-COR Corporate.....	6
Figura 6. Espaçamento utilizado na disposição das mudas nas bandejas experimentais com suas respectivas dimensões.....	7
Figura 7. Medição da maior largura do limbo foliar com o auxílio do paquímetro digital.....	8
Figura 8. Determinação da área foliar de urucum pelo método planimétrico, com auxílio do papel milimetrado.....	8
Figura 9. a) Utilização da scanner como ferramenta de auxílio para a determinação da área foliar b) folhas escaneadas para serem analisadas no ImageJ.....	9
Figura 10. Layout <i>software</i> ImageJ.....	10
Figura 11. Reta estabelecida através da relação entre as áreas obtidas pelo ImageJ e o produto das dimensões para a determinação do fator “f”.....	13
Figura 12. Dispersão dos dados para os métodos do Papel x ImageJ (a) e para os métodos Papel x Dimensões lineares (b).....	14

1. INTRODUÇÃO

O urucum (*Bixa orellana* L.) é uma espécie nativa da floresta amazônica, conhecida pelo corante avermelhado, que é bastante utilizado pelos indígenas como ornamento e proteção contra os insetos, como também usos medicinais e na culinária (CASTRO et al., 2009). Mundialmente, o urucum apresenta importância por ser a principal fonte de corantes naturais (KISSMANN, 2013), com grande valorização econômica, devido à restrição imposta pelos países Europeus e os EUA aos corantes artificiais utilizados nas industriais de alimentos e cosméticos (FERREIRA, 1991). O urucuzeiro pode ainda ser usado como planta ornamental e para a recuperação de áreas degradadas, devido ao rápido crescimento da espécie (LORENZI, 2000).

As mudas de espécies arbóreas são utilizadas em projetos, que visam à conservação e exploração. Contudo, procedimentos para a produção de mudas são escassos, existindo apenas para as de maior interesse econômico (CARVALHO, 2000). Assim, para a produção de mudas de qualidade é de suma importância o conhecimento do crescimento das plantas no viveiro (SILVA, 2007), que pode ser observado pela estimativa da área foliar.

A determinação da área foliar de uma cultura é essencial como parâmetro indicativo de seu crescimento e produtividade, além de ter relação direta entre energia luminosa interceptada e a sua conversão em energia química na fotossíntese (FAVARIN, 2002). Fornece também parâmetros biométricos e fisiológicos importantes para inferências sobre padrões de crescimento (análise de crescimento) e desenvolvimento, eficiência fotossintética, transpiração vegetal, danos foliares causados por doenças e, ou pragas, práticas de manejo, melhoramento genético, dentre outros (DA FONSECA, 1994; GRAÇA et al., 2010). Além disso, a estimativa da área foliar permite o cálculo de diversos índices, como por exemplo, o índice de área foliar, a razão área foliar/produção, a razão superfície exposta/superfície foliar e a área foliar específica (SMART e ROBINSON, 1991).

Existem diversos métodos para a determinação da área foliar, que podem ser diretos ou indiretos; destrutivos ou não-destrutivos. Os métodos diretos, apesar de serem mais exatos, por serem medidas realizadas diretamente na folha, são métodos de difícil utilização, por demandar trabalho moroso e que pode implicar na destruição da planta (CARUZZO e ROCHA, 2000). Os métodos indiretos têm como vantagens a maior rapidez e a possibilidade de frequência de mensuração e, apresentam resultados satisfatórios, desde que calibrados corretamente (COELHO FILHO, 2012). Por normalmente não serem destrutivos, permitem acompanhar o crescimento e a expansão foliar da mesma planta até o final do ciclo (BIANCO et al. 2002). A escolha do método depende do objetivo do trabalho, do grau de precisão desejado, do tamanho da amostra, da morfologia das folhas, dos equipamentos disponíveis, dos custos envolvidos e do tempo que poderá ser despendido (COELHO FILHO, 2005).

Os principais métodos descritos na literatura para estimativa da área foliar e, ou do IAF são: das dimensões (OGA e DA FONSECA, 1994), que é um método não-destrutivo e considerado preciso, no qual a área foliar é determinada por meio da relação entre o comprimento e a largura do limbo foliar com o uso de paquímetro ou régua milimetrada; método da imagem digital por fotografia (SEVERINO et al., 2005) e da imagem digital por scanner (DE LUCENA, 2011), que são métodos destrutivos, considerados precisos, porém, necessitam de softwares capazes de processar e calcular a área, e em geral, de alto custo (GODOY et al., 2007); técnicas planimétricas (JUNIOR et al., 1986), que apesar de simples, são destrutivas e morosas, principalmente em folhas com bordas irregulares (GONÇALVES et al., 2002); e o uso de ceptomêtro (ARAUJO, 2013), que permitiu leituras instantâneas de IAF, além de não ser destrutivo e apresentar alta precisão (CAVALLI, 2016).

Métodos matemáticos, não destrutivos, foram desenvolvidos como alternativa rápida e fácil de serem executados (ZUCOLOTO et al., 2008). Contudo, técnicas indiretas, não destrutivas, principalmente em espécies arbóreas, podem implicar em grandes erros, que envolvam a densidade foliar da copa das árvores, de acordo com cada cultura (COELHO FILHO et al., 2005).

Embora exista diversidade de métodos e estudos que ajustaram e compararam as estimativas de área foliar entre esses métodos, poucos compararam métodos não destrutivos em relação aos não destrutivos quanto a sua equivalência. Essa comparação torna-se de extrema importância para embasar a substituição de métodos destrutivos, que visam o acompanhamento do crescimento e expansão foliar, que os métodos não destrutivos proporcionam. Por isso, o presente estudo teve como objetivo geral comparar métodos diretos e indiretos para a determinação da área foliar em mudas de urucum (*Bixa orellana* L.), assumindo o método planimétrico como padrão e, as possíveis interrelações existentes entre os diversos métodos. Como objetivo específico, estimar o fator de forma “f” para a espécie, a fim de ser utilizado para estimativa da área foliar pelo método das dimensões.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Características gerais sobre o urucum.

O urucum (*Bixa orellana* L.), pertence ao gênero *Bixa*, da família das Bixaceae. É uma espécie que tem sua origem na América Tropical, sendo nativa das florestas Amazônica e Atlântica, conhecida no Brasil como urucum, urucu, açafoa, entre outros (MARCHIORI, 2000). É uma planta arbórea perene, que pode chegar aos 6 m de altura e apresenta crescimento rápido, com potencial de produção de 40 a 50 anos (MOREIRA, 2013).

As folhas têm dimensão de média a grande, coloração verde-clara e flores hermafroditas de tonalidade rósea, com abundância de estames (CASTRO et al., 2009). Os frutos são em formato de cápsulas (Figura 1), que variam de 3 a 4 cm de comprimento e 3 a 4,5 cm de diâmetro, recobertas por espinhos e apresentam numerosas sementes, envoltos por uma polpa de cor vermelha (FRANCO et al, 2002).



Figura 1. Fruto do urucum contendo sementes que dão origem aos corantes naturais. Fonte: Leonardo Aguiar/Creative Commons/Flickr.

A reprodução da espécie é por polinização cruzada, que resulta em grande variabilidade genética das plantas propagadas via sementes e, assim, provoca variações em relação ao teor de bixina, à resistência às pragas, à produtividade, entre outros (MELO e LIMA, 1990).

A produção de mudas pode ser feita por meio do método sexuado ou gâmica e assexuado ou agâmica (CASTRO et al., 2009). Na produção sexuada são colhidas sementes de plantas produtivas, livres e tolerantes a patógenos, com alto teor de bixina para a formação de mudas, que normalmente são produzidas em sacos plásticos ou em canteiros (FARIA, 2000). A produção via assexuada é realizada por estaquia (estacas enraizadas), borbulhia (enxertia por borbulhia) ou pelo tecido meristemático (broto terminal). O método da borbulhia é o mais indicado para a propagação do urucuzeiro, por reproduzir todas as características da planta matriz e por desenvolver a raiz pivotante, provendo maior sustentação à planta (FALESI, 1987).

A cultura do urucum ainda não dispõe de variedades, mas possui cultivares, e os principais são: Peruana Paulista (São Paulo), Bico de Pato (Bahia), Piave Vermelha (Pará), Piave Vermelha Grande, Bico de Calango e Verde Amarela (REBOUÇAS e SÃO JOSÉ, 1996). O

urucueiro é uma espécie de fácil adaptabilidade edafoclimática, e para se obtenha grãos de qualidade, com altos teores de bixina, são necessários manejos adequados para condições de solo e de clima de cada região (SÃO JOSÉ et al., 2012).

2.2. Usos e propriedades do urucum

A pigmentação extraída dos revestimentos externos das sementes do urucum é uma das principais matérias-primas para a produção de corantes naturais no Brasil (STRINGHETA; SILVA, 2008; DEMCZUK-JÚNIOR et al., 2015). A presença da coloração avermelhada do corante é devido ao carotenóide bixina, presente no arilo da sua semente (MOREIRA, 2013).

O Brasil se tornou um dos maiores produtores de corantes à base dos pigmentos extraídos das sementes de urucum (MERCADANTE et al., 1997). O baixo custo de produção e a baixa toxicidade tornam os pigmentos desta cultura muito atrativos para substituição de muitos corantes sintéticos (FABRI e TERAMOTO, 2015). Segundo o IBGE (2016), o Brasil produziu 12.817 toneladas de sementes de urucum no ano de 2016 (Figura 2). A Região Sudeste foi a mais produtiva, apenas o estado de São Paulo produziu 3.378 toneladas, aproximadamente 26,4% da produção nacional.

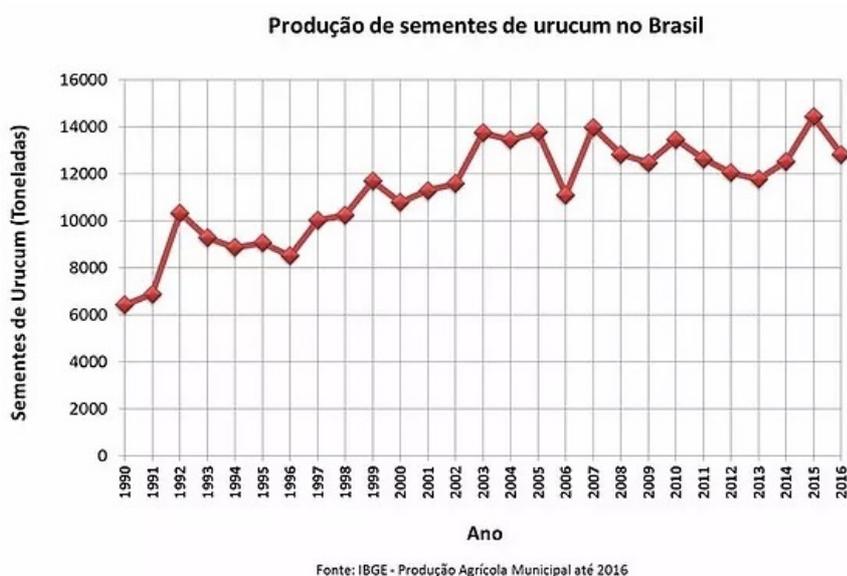


Figura 2. Produção nacional de sementes de urucum entre os anos de 1990 a 2016.

Diversos são os usos dos corantes provenientes do urucum; indígenas utilizam com fins medicinais, ornamento e proteção contra insetos, em forma de pintura sobre a pele, o pó, conhecido como colorau ou colorífico é utilizada na culinária, para dar cor aos alimentos e a bixina, corante do urucum, age como fixador da cor nos produtos comerciais e empregado para fins industriais. (CASTRO et al., 2009).

Segundo Sandi et al. (2013), as propriedades terapêuticas das folhas e raízes do urucueiro também são usadas. O extrato etanólico das folhas é apontado como antídoto eficaz em caso de envenenamento por mandioca, como também potente antifúngico.

2.3. Importância da determinação da área foliar

Estudos sobre o conhecimento da área foliar são fundamentais, devido à sua importância como parâmetro de avaliação, por estar relacionada à determinação ou estimativa da superfície

fotossinteticamente ativa (GODOY et al., 2007), parte essencial das análises clássicas de crescimento, e necessária em muitos estudos fisiológicos (SANOJA, 1983).

Através da faixa espectral da radiação solar, compreendida entre 400 a 710 nm, as plantas realizam o processo de fotossíntese, e como a fotossíntese depende da área foliar, o rendimento da cultura estará associado ao número e do tamanho das folhas presentes na planta (MONTEIRO et al., 2005), e também do tempo em que a área foliar permanecer viva (PEREIRA e MACHADO, 1987).

Além disso, a medição da área foliar é de suma importância como variável biofísica relacionada à evapotranspiração (ROSENBERG et al., 1983), produtividade da vegetação e interceptação de chuva pelo dossel (KERGOAT, 1998; DIJK e BRUIJNZEEL, 2001), o que possibilita assim, conhecer melhor as características de uma cultura e a dinâmica de desenvolvimento e crescimento das plantas.

2.4. Métodos para determinação da área foliar

Existem diversos métodos capazes de determinar ou estimar a área foliar, que podem ser classificados em: i) métodos diretos e indiretos ou ii) destrutivos e não destrutivos. Os métodos diretos são realizados diretamente nas folhas, enquanto que os métodos indiretos são baseados na correlação conhecida entre a variável medida e área foliar. Os métodos destrutivos exigem a retirada das folhas ou de outras estruturas das plantas, enquanto que nos métodos não destrutivos, as medições são realizadas diretamente nas plantas, o que não afeta a estrutura e possibilita as medições na mesma planta (ADAMA, 2008).

Para a determinação da área foliar por meio de métodos diretos pode se utilizar a scanner, a planimetria, dentre outros. Porém, esses métodos apresentam como desvantagens a perda de tecido foliar e a demora no processamento.

A metodologia que se utiliza das imagens obtidas por scanner de mesa é considerado preciso, por proporcionar melhor digitalização das folhas ao controlar as sombras, luzes e evitar erros de perspectiva, porém apresenta limitações para grandes experimentos (SOUZA, 2012). Godoy et al. (2007) acreditam que a utilização dos *softwares* podem ser um fator limitante para este método, por geralmente serem de custo elevado. Por meio desses *softwares*, é realizado o processamento das imagens digitais da folha da planta, que estimam a área foliar diretamente. Existem disponíveis, versões gratuitas com uso consagrado por diversos, como é o caso do software ImageJ (EASLON e BLOOM, 2015; SALA, et al., 2015). O ImageJ tem mostrado resultados precisos quando comparado ao método do integrador de área foliar, sendo eficiente em estimar a área foliar (SANTOS et al. 2014, MARTIN et al. 2013), com alta precisão (99,95-100%) (SALA, et al., 2015).

Na técnica da planimetria (Figura 3a), as áreas foliares são determinadas mediante a projeção das folhas em papel milimetrado, que podem ser sobrepostas a figuras geométricas que apresentam similaridade com a folha analisada, como pode ser observado no trabalho de Junior et. al (1986) ao utilizarem a área do círculo para determinar a área foliar em videira, ou simplesmente obtidas pelo somatório das menores unidades (mm²) do papel milimetrado (Figura 3b) (MOREIRA, et al., 2007).

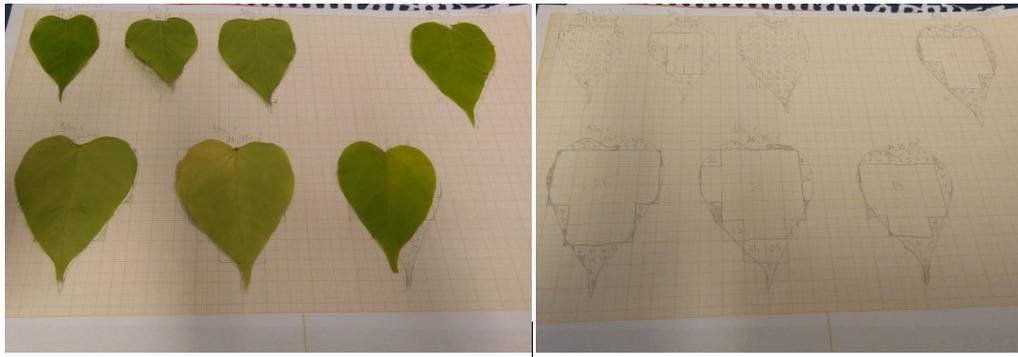


Figura 3. a) Técnica da planimetria b) somatório das unidades em cm^2 e mm^2 , para obter a área foliar.

Nos métodos indiretos equipamentos específicos são utilizados como o LI-COR modelo LAI-2000 e o Ceptômetro (ACCUPAR – 80, Decagon Devices Inc., Pulman, USA), que estimam o índice de área foliar de forma rápida e não destrutiva

O ceptômetro (Figura 4a) composto por sensores de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), que determina o IAF pela interceptação da luz, possui um par de sensores que permitem medições simultâneas acima (Figura 4b) e abaixo do dossel, em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (COELHO et al., 2014). Os dados de RFA podem ser associados com outros dados meteorológicos para estimar a produção de biomassa, sem destruir a planta (DECAGON, 2018). Além disso, permite medições em diversos pontos em tempo real, com rapidez e facilidade, como também o acompanhamento do crescimento das plantas. Porém é necessário que haja a calibração do equipamento, para que as medições sejam realizadas com veracidade (DA SILVA, 2016).

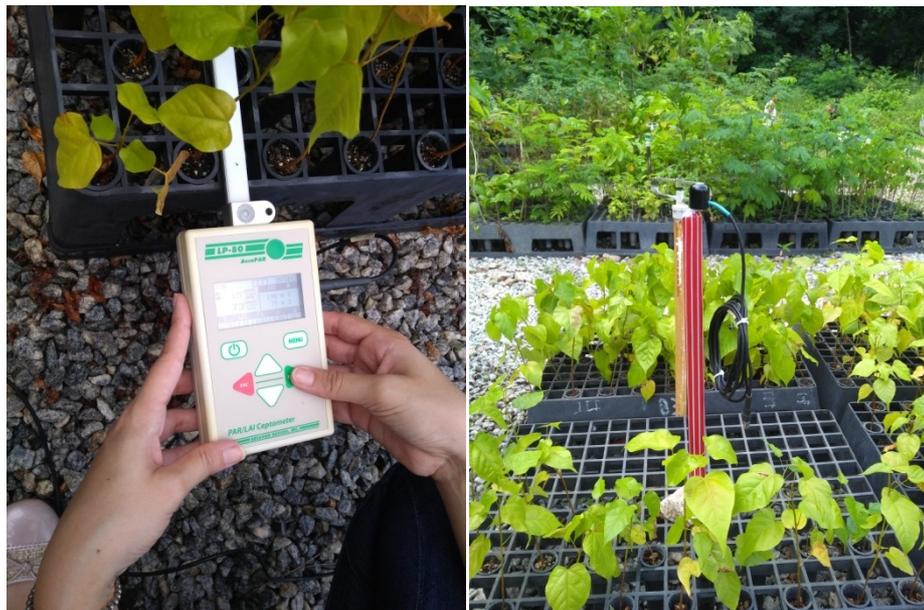


Figura 4. a) Medição do IAF com o uso do ceptômetro. b) sensor externo do ceptômetro, que permite medições simultâneas.

O LAI-2000 (LICOR, 1992) (Figura 5) realiza medidas simultâneas da atenuação de luz, por meio de medidas tomadas com o sensor acima do dossel comparado com medidas tomadas sob o dossel próximas ao nível do solo, assim, permite o cálculo do IAF (WELLES e NORMAN, 1991).



Figura 5. LAI-2000 Plant Canopy Analyzer. Fonte: LI-COR Corporate.

O método de dimensões foliares é bastante utilizado em campo pela facilidade de aplicação e por não ser um método destrutivo (ADAMI, 2008). Vários autores utilizam-se de equações obtidas da relação comprimento (C) e largura (L) para obter a área foliar (AF), em que é ajustado um fator de forma “f” por meio de regressão linear simples, entre a área de amostra de uma folha e o produto de suas dimensões (BIANCO et al., 2002; MONTEIRO, 2005; MALDANER et al., 2009; AQUINO et al., 2011; ABREU et al., 2015), como pode ser observado:

$$AF = f \times C \times L$$

Moraes et al. (1993) buscando uma equação que permitisse a estimativa da área foliar do urucuzeiro (*Bixa orellana* L.) por meio da relação entre o comprimento máximo da folha ao longo da nervura (C) e a largura máxima das folhas (L), encontrou a fórmula $AE = 0,6630 \times (C \times L)$. Os fatores de formas obtidos pelo método das dimensões, possibilitam a estimação da área foliar de qualquer espécie, porém, quando não calibrados corretamente, podem ocasionar erros e incertezas na estimativa da área foliar, por isso, é importante realizar estudos que busquem verificar a equivalência entre os métodos e a precisão e exatidão obtidos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi instalado no Viveiro Florestal (Fernando Luiz Oliveira Capelão), pertencente ao Instituto de Florestas, localizado na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, município de Seropédica (latitude 22°46' 27" S, longitude 43°41'10" W e altitude 26 m), no estado do Rio de Janeiro. O clima de Seropédica, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger é tropical megatérmico com estação seca no inverno (Aw).

No viveiro florestal, foram separadas mudas de urucum, em tubetes, distribuídos em seis bandejas experimentais. Cada bandeja apresentava dimensões de 58,2 x 41,0 x 16,5 cm, com 187 células para tubetes de 50 cm³. As mudas foram espaçadas de forma em que ficassem 51 mudas em cada bandeja, espaçadas de acordo com a Figura 6. As mudas de quatro bandejas foram usadas nas avaliações dos métodos e duas bandejas usadas para a reposição das mudas que foram retiradas semanalmente para as avaliações.



Figura 6. Espaçamento utilizado na disposição das mudas nas bandejas experimentais com suas respectivas dimensões.

O substrato utilizado no cultivo das mudas foi o Mec Plant[®]. As mudas utilizadas no experimento estavam na área de rustificação, sendo a irrigação realizada por meio de aspersores, acionados duas vezes ao dia, no início da manhã e no final da tarde, por aproximadamente 15 minutos. Foi feita uma adubação em todas as mudas, com 1 kg de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (sulfato de amônio) e 260 gramas de KCL (cloreto de potássio), diluídos em 100 litros de água com o uso de um regador.

As determinações da área foliar foram realizadas no período de 22 de março até 10 de maio de 2018, o que totalizou oito semanas. Para os meses de março, abril até 10 de maio de 2018, houve acumulo de chuva, respectivamente, de 113,2 mm, 83,2 mm e 16,4 mm (Figura 11a) e as médias de temperatura para os meses de março, abril e maio foram, de modo respectivo, 26,8°C, 24,2°C e 23,3°C.

Semanalmente, entre 08h:30min e 9h:30min, no viveiro florestal, foram selecionadas aleatoriamente cinco mudas de urucum das bandejas experimentais. As folhas das mudas selecionadas foram utilizadas na avaliação dos seguintes métodos de obtenção de área foliar: método das variáveis biométricas, método do scanner e método planimétrico. A estimativa da área foliar pelo método planimétrico foi feita com apenas uma muda, devido ao processo moroso de trabalho. As mudas selecionadas foram repostas com o uso de mudas da bandeja de reposição.

3.1. Método das dimensões foliares

No Laboratório de Pesquisa em Reflorestamento (LAPER), todas as folhas das cinco mudas foram destacadas, separadas e, com a utilização do paquímetro digital (Figura 7), efetuaram-se as medidas das variáveis comprimento (C) e largura (L) de todas as folhas de cada muda. O comprimento foi medido ao longo da nervura principal e a largura, de forma perpendicular, à inserção do pecíolo no limbo (MALDANER et al., 2009; SALA et al., 2015).



Figura 7. Medição da maior largura do limbo foliar com o auxílio do paquímetro digital.

O fator de forma "f" foi determinado pela análise de regressão simples entre a área das folhas (Y , cm^2) obtidas pelo Image J e o produto (X , cm^2) de suas dimensões, comprimento (C , cm) e largura (L , cm). Por meio da regressão $Y = b X$, em que, o coeficiente angular da reta b corresponde ao fator "f", Y é área foliar determinada pelo método do scanner e X , é o produto do comprimento pela largura da folha ($C \times L$). A calibração desse método foi realizada com as mudas de 2 a 5 de cada campanha de amostragem, totalizando 179 folhas.

Esse método é considerado indireto, por conta da área foliar ser obtida por meio de uma equação ajustada entre as dimensões lineares da folha e um fator "f" ajustado, e não diretamente, como nos outros métodos analisados, e é um método não-destrutivo, visto que, as dimensões podem ser mensuradas em campo, sem danificar a estrutura foliar.

3.2. Método planimétrico

O método planimétrico consistiu em desenhar, sobre o papel milimetrado, o contorno de todas as folhas da muda número 1, semanalmente, o que totalizou oito mudas e 50 folhas. Por meio da contagem das maiores (cm^2) e menores unidades (mm^2) de áreas, foi determinada a área foliar (Figura 8). Este método foi considerado o padrão para a comparação entre os métodos.

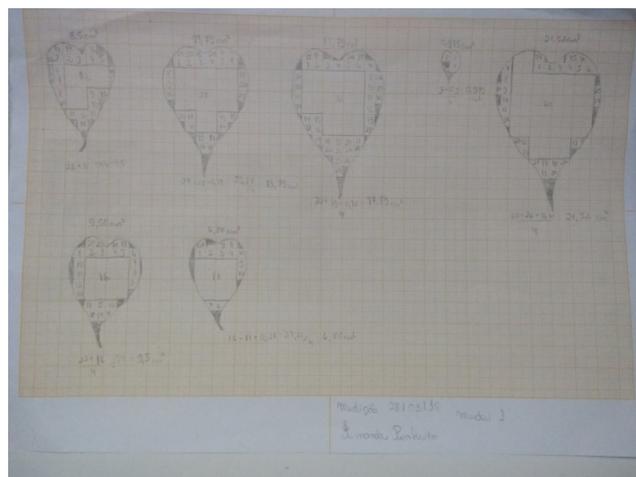


Figura 8. Determinação da área foliar de urucum pelo método planimétrico, com auxílio do papel milimetrado.

Este método foi considerado o padrão para o experimento, que apesar de ser um método moroso, é economicamente viável, pela fácil aquisição do instrumento utilizado e também pela determinação direta da área foliar.

3.3. Método do scanner

No método do scanner, as folhas de cada muda foram digitalizadas separadamente, para fins de organização. Todas as folhas, separadas semanalmente e identificadas, foram colocadas sobre uma scanner de mesa do modelo HP Deskjet F4280 (Figura 9a), acoplado a um computador, junto com uma régua para serem digitalizadas. A régua era digitalizada junto com as folhas, para que as imagens fossem calibradas de acordo com a distância, em centímetros, obtidos da régua. As imagens foram escaneadas numa resolução de 200 ppp em preto e branco (Figura 9b), salvas em jpeg e processadas pelo programa Image J (Figura 10) (SCHINDELIN, 2012).



Figura 9. a) Utilização da scanner como ferramenta de auxílio para a determinação da área foliar
b) folhas escaneadas para serem analisadas no ImageJ.

Primeiramente, a imagem das folhas de cada muda analisada foi aberta no programa ImageJ por meio do comando (File > Open). Para a calibração, utilizou-se a ferramenta *straight*, para estabelecer a medida de 1 cm, com o uso da imagem da régua. Foi utilizado o máximo zoom, para visualizar melhor os *pixels* e, por meio do comando (Analyze > Set Scale), realizou-se a equivalência do *pixel* da imagem ao centímetro selecionado (Know distance: 1,00; Unit of length: cm). Após este procedimento, algumas funções foram feitas para a melhoria da qualidade da imagem (Image > Type: 8bits; Process > Binary > Make binary) para que assim a análise da imagem fosse realizada (Analyze > Analyze Particles > Size(cm²):1,00 > Circularity:1,00). Com a função *wand*, é possível obter a área foliar apenas clicando em cima da imagem da folha escolhida e a visualização do resultado fica disponível por meio do atalho ctrl + m. Caso esta função não esteja selecionando a área corretamente é possível utilizar a função *polygon selections*, que permite delimitar a área manualmente.

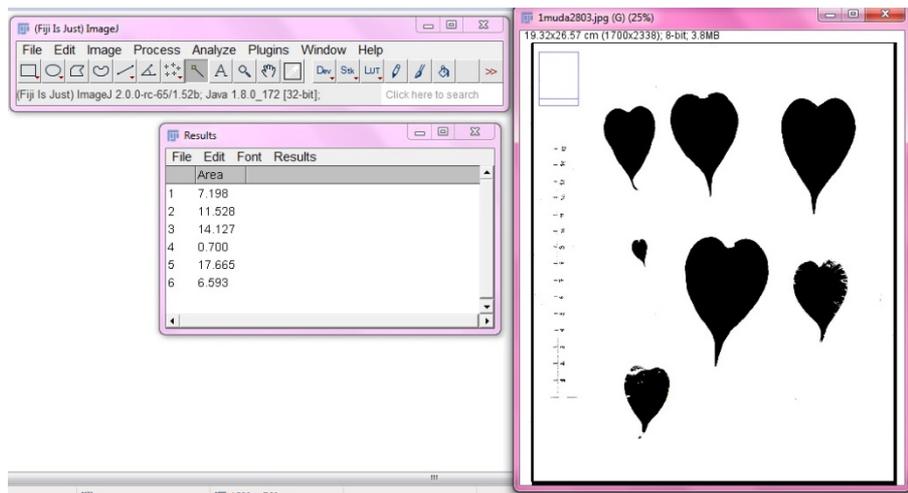


Figura 10. Layout *software* ImageJ.

3.4. Análise estatística

Ajustou-se por meio do Programa *MS Excel*[®] um modelo de regressão linear simples ($Y = \beta_1 X$) sem intercepto, entre a área foliar determinada pelos métodos planimétrico (X) x scanner (Y) e outra considerando, planimétrico (X) x dimensões foliares (Y), para realizar a comparação das determinações da área foliar.

Foi realizada a análise de variância pelo teste F e pelo p-valor a fim de verificar se a regressão é estatisticamente significativa, e após analisado o teste t de Student e o p-valor dos coeficientes, com significância (α) de 5%, a fim de verificar se os coeficientes são significativos ou não, testou-se as seguintes hipóteses: $H_0: \beta_1 = 1$ (hipótese nula); e $H_1: \beta_1 \neq 1$ (hipótese alternativa).

A análise de regressão foi utilizada com expectativa de obtenção de uma relação 1:1 entre os coeficientes dos métodos comparados (coeficiente angular igual a 45°; $\beta_1 = 1$), logo, usou-se o modelo de regressão linear de primeiro grau sem intercepto ($Y = \beta_1 X$). com o intuito de verificar a existência de concordância entre dois modelos ou métodos distintos (OLIVEIRA, 2016).

Para a avaliação do desempenho entre os métodos para a estimativa de área foliar, foram calculados índices de erro e estatísticas de precisão e exatidão como: a Raiz do Quadrado Médio do Erro (RQME), erro de predição absoluto médio (EPAM), o índice BIAS, o coeficiente de correlação (r), o coeficiente de determinação (r^2), o índice de concordância (d) e o índice de desempenho (c).

Os erros foram avaliados pelo RQME que é uma medida de exatidão e quantifica a amplitude média dos erros estimados, e pelo EPAM, que representa a média percentual da divisão entre erro estimado e o valor real. O valor sempre será positivo e quanto menor for o valor de RQME e EPAM, melhor. As equações são representadas, respectivamente, a seguir:

$$RQME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{n}}$$

$$EPAM = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(E_i - O_i)}{E_i}}{n} \times 100$$

em que, E_i são os valores simulados pelos métodos alternativos (scanner e dimensões), O_i são os valores observados no método padrão (planimétrico), O é a média dos valores observados no método padrão e n é o número de observações.

O índice de BIAS mede a tendência do modelo em superestimar ou subestimar as estimativas. Se $BIAS > 0$, o método tem tendência de superestimativa; se $BIAS < 0$, o método tem tendência de subestimativa; quanto mais próximo de 0, menos tendencioso e melhor é o método (LEITE e ANDRADE, 2002):

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n E_i - \sum_{i=0}^n O_i}{\sum_{i=1}^n O_i}$$

O coeficiente de correlação (r) determina o grau de associação entre duas ou mais variáveis, e quanto mais próximo de 1 (positivo ou negativo), maior a relação entre valores observados e estimados e melhor é o modelo (MARTINS e STRECK, 2007):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - O)(E_i - E)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - O)^2 \sum_{i=1}^n (E_i - E)^2}}$$

em que, E é a média dos valores simulados nos métodos alternativos.

Tabela 1. Classificação dos valores do coeficiente de correlação.

Coeficiente de correlação	Interpretação da correlação
0,0 a 0,1	Muito baixa
0,1 a 0,3	Baixa
0,3 a 0,5	Moderada
0,5 a 0,7	Alta
0,7 a 0,9	Muito alta
0,9 a 1,0	Quase perfeita

O coeficiente de determinação (r^2) é uma medida da proporção da variabilidade de uma variável que é explicada pela variabilidade da outra, o r^2 varia entre zero e um, em que um é uma

correlação perfeita. O coeficiente de determinação é obtido pelo quadrado do coeficiente de correlação (r). Quando aplicado a avaliação de métodos, o r² indica a precisão das estimativas.

O índice de concordância (d) de Willmott et al. (1985) expressa a exatidão das estimativas em relação aos valores observados, varia de zero para nenhuma concordância e 1 que indica perfeita concordância (exatidão) (BACK, 2008). O valor (d) é dado pela equação abaixo:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - O| + |O_i - O|^2)}$$

em que, O é a média dos valores observados experimentalmente.

O índice de desempenho (c) proposto por Camargo e Sentelhas (1997), utiliza-se dos índices de precisão (r) e exatidão (d) para avaliar o desempenho dos métodos utilizados. É determinado pela seguinte fórmula:

$$c = r * d$$

Os critérios de avaliação do desempenho de modelos pelo índice de desempenho, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Análise dos modelos com base no índice de desempenho.

Valor de c	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

4. RESULTADOS

4.1. Ajuste do fator 'f' das dimensões foliares

A Tabela 3 mostra a análise de variância do modelo ajustado para expressar a relação entre a área foliar e as dimensões da folha (C x L) do urucum. O modelo linear foi considerado significativo pelo teste F (p-valor <0,05), assim como os parâmetros do modelo pelo teste t (p-valor < 0,05).

Tabela 3. Análise de variância (Anova) para o fator 'f'.

Anova	GL	SQ	MQ	Teste F	F	Teste T	T	p-
-------	----	----	----	---------	---	---------	---	----

					tabelado	tabelado	tabelado	valor
Regressão	1	21645,7	21645,7	37329,4	3,89	193,21	1,97	9,3E-209
Resíduo	178	103,21	0,579857					
Total	179	21748,9						

Assim, a equação ajustada [$AF = 0,6373 \times (C \times L)$] expressa a área foliar da espécie em função das dimensões da folha de forma satisfatória e pode ser utilizada para estimar a área das folhas da espécie de urucum. A reta ajustada e a dispersão dos dados podem ser observadas na Figura 11.

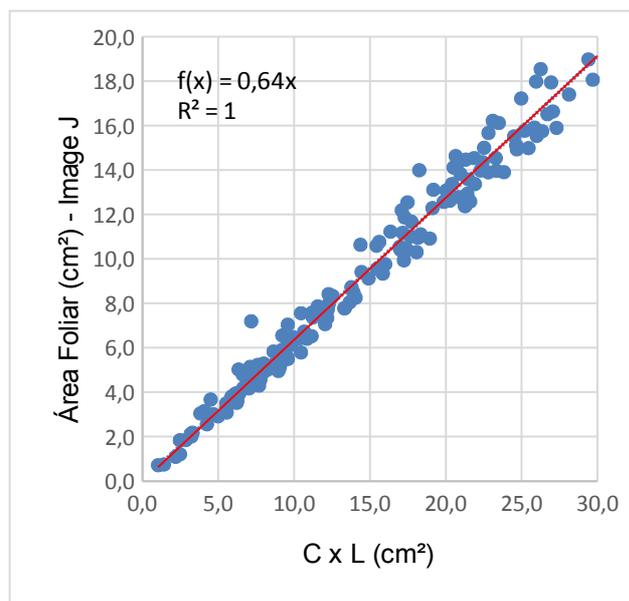


Figura 11. Reta estabelecida através da relação entre as áreas obtidas pelo ImageJ e o produto das dimensões para a determinação do fator “f”.

O fator de forma foi de 0,6373, sendo próximo ao valor determinado por Moraes et al. (1993) de 0,6630 para estimar a área foliar do urucuzeiro (*Bixa orellana* L.), por meio da relação entre o produto do comprimento (C) e largura (L). Contudo, o R^2 obtido pelos autores (0,8815) foi inferior ao observado no presente trabalho (0,9808).

Quando comparado com o fator de forma de outras espécies, o urucuzeiro apresenta menor valor em relação aos obtidos para macieira (entre 0,68 e 0,74) (RUBIN E DANILEVSKAIA, 1957; GLADYSHEV, 1969), para mangueira (0,71) (LIMA et al., 2012), espécies de *Eucalyptus* (entre 0,67 e 0,77) (MARTINS 2007; ABREU, 2014) e para o *Corymbia citriodora* (0,72) (ABREU et al., 2015). Isso reforça a necessidade de estudo como este, que visam estabelecer fatores de forma específicos para cada espécie, uma vez que existem diferenças expressivas entre elas.

4.2. Área foliar método padrão x método das dimensões e scanner

Na Tabela 4 é possível observar os valores teste F, p-valor e do intervalo de confiança, obtidos por meio da ANOVA, para a comparação dos métodos (padrão x alternativos), na qual foi testada a hipótese se, $H_0: \beta_1 = 1$ (hipótese nula); ou $H_1: \beta_1 \neq 1$ (hipótese alternativa). Foram observados valores de F tabelado > F calculado e de p-valor > 0,05. Portanto, deixou-se de rejeitar a hipótese nula e admitiu-se que a um nível de significância de 5%, não houveram

evidências suficientes para rejeitar a hipótese H_0 de que $\beta_1 = 1$, ou seja, estatisticamente $\beta_1 = 1$. Em termos práticos pode-se admitir a substituição de um método padrão, porém extremamente trabalhoso (planimétrico), por métodos de execução mais simples e com a mesma precisão na estimativa da área foliar.

Tabela 4. Teste de hipóteses para o coeficiente β_1 ; $H_0: \beta_1 = 1$ (hipótese nula); e $H_1: \beta_1 \neq 1$ (hipótese alternativa).

Comparação dos métodos	Valor de β_1	$H_0: \beta_1 = 1$; $H_1: \beta_1 \neq 1$		Intervalo de confiança	
		F	p-valor	95% inferiores	95% superiores
Planimétrico x Scanner	0,992	1,617	0,2095	0,98	1,004
Planimétrico x Dimensões	1,008	1,098	0,2998	0,992	1,025

Na Figura 12 é possível observar os coeficientes obtidos pelo ajuste da regressão e a reta ajustada para cada comparação dos métodos, além da dispersão dos dados.

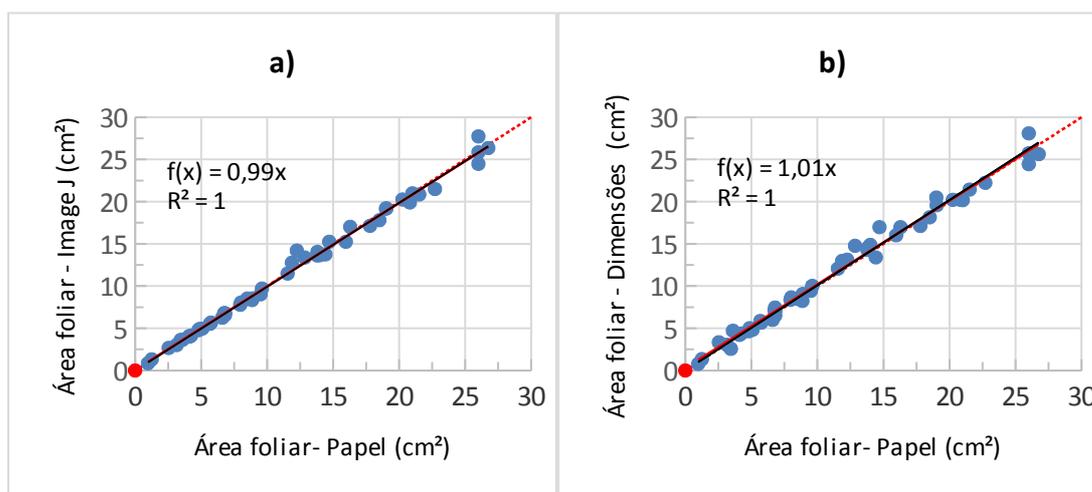


Figura 12. Dispersão dos dados para os métodos do Papel x ImageJ (a) e para os métodos Papel x Dimensões lineares (b).

4.3. Estatística de desempenho entre os métodos

A Tabela 5 mostra os valores obtidos na comparação entre os métodos planimétrico (padrão) e o scanner e dimensões (alternativos). Observou-se que os coeficientes de correlação foram próximos de um ($r = 0,997$ - scanner; $0,994$ - dimensões), o que demonstrou alto grau de associação entre as variáveis e segundo a classificação de correlação (Tabela ??), pode ser considerada quase perfeita. Os coeficientes de determinação também foram próximos de um ($r^2 = 0,994$ - scanner; $0,988$ - dimensões), indicou-se, assim, que a equivalências entre os métodos foi quase perfeita e que os métodos alternativos são precisos.

Os valores encontrados para o índice BIAS foram próximos à zero, o que demonstrou que os modelos não são tendenciosos. Os valores observados nos métodos do scanner e das dimensões para os índices de concordância 'd' expressaram uma perfeita concordância ($d = 0,999$; $0,999$) e, dessa forma, pode-se inferir que os métodos foram exatos. De acordo com a

classificação do índice ‘c’ (Tabela 1), os métodos apresentam desempenho “ótimo” ($c = 0,997$ - scanner; $0,994$ - dimensões), sendo considerados precisos e exatos.

Flumignam et al. (2007) encontraram valores de coeficiente de determinação e índice “d” para os métodos de imagem digital ($r^2 = 0,998$, $d = 0,9982$) e dimensões foliares ($r^2 = 0,9835$, $d = 0,9119$), em que é possível observar que o método das dimensões apresentou menor desempenho em relação ao observado no presente trabalho.

O erro de predição absoluto médio (EPAM) e a raiz do quadrado médio do erro foram considerados baixos, o que corroborou com a concordância/equivalência dos métodos testados. Esses erros foram menores que os observados por Tavares Junior et al. (2002), para o café.

Tabela 5. Valores obtidos pela comparação do método padrão (Planimétrico) com os métodos alternativos (Scanner e Dimensões lineares).

<i>Estatística de ajuste</i>	<i>r</i>	<i>r</i> ²	<i>BIAS</i>	<i>d</i>	<i>c</i>	<i>EPAM</i>	<i>RQME</i>
Planimétrico x Scanner	0,997	0,994	- 0,0063	0,99 9	0,997	3,277	0,523
Planimétrico x Dimensões	0,994	0,988	0,0153	0,99 9	0,994	6,558	1,270

Amaral et al. (2009) afirmam que a utilização de métodos destrutivos, como o método do scanner, apresentam como desvantagem a limitação no número de repetições e na quantidade de amostras, quando se deseja avaliar o crescimento da mesma folha durante o tempo e também necessitam de softwares capazes de processar e calcular a área, e em geral, de alto custo (GODOY et al., 2007). Porém o método do scanner é um método preciso, exato e é uma excelente alternativa para experimentos pequenos, que não necessitem manter a estrutura foliar, além de possuírem softwares gratuitos, como o ImageJ, que diminuem os custos deste método.

Morgado et al. (2013) ao avaliar o modelo entre folhas mensuradas e folhas estimadas pelo modelo de dimensões lineares de espécies de *Passiflora* encontrou R^2 superior a 0,929 e índice “c” superior a 0,942, o que indicou que as dimensões foliares é um ótimo método para a descrição da área foliar dessas espécies. Outros trabalhos usando o produto das dimensões lineares do limbo foliar como, por exemplo, Oliveira et al. (2016) para o pessegueiro, Santos et al. (2014) para os genótipos de cacau e de Zeist et al. (2014) para o morangueiro demonstraram que o método das dimensões é altamente preciso, que mais se aproximam do método padrão e eficiente em estimar a área foliar de diversas culturas e espécies arbóreas.

Apesar do menor desempenho do método das dimensões lineares em relação ao método do scanner, ele pode ser utilizado com exatidão e precisão para a estimativa da área foliar, ainda mais por ser um método não destrutivo. Ambos métodos alternativos apresentaram ótima equivalência, com valores próximos ao encontrados pelo método padrão e, podem assim, substituírem método planimétrico.

5. CONCLUSÕES

O modelo que correlaciona o comprimento e largura das folhas com a área real, estimada pelo ImageJ, pode ser utilizado para estimar a área foliar do urucum. O fator de forma “f” das folhas do urucum é de 0,6373.

O método do scanner é o que melhor estimou a área foliar em comparação ao método padrão.

O método não destrutivo das dimensões foliares também apresenta ótimo desempenho, com resultados satisfatórios e pode ser utilizado para a determinação da área foliar. Foi considerado o

método mais indicado, por conta do estudo ter sido realizado em um viveiro florestal, e para a produção de mudas, é importante manter a estrutura foliar das mudas intactas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. C. **Transpiração e parâmetros de crescimento e desenvolvimento em mudas de espécies florestais submetidas a deficiência hídrica**. 2014. 80 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Itajubá.

ABREU, M. C. et al. Valores limítrofes para transpiração, desenvolvimento e crescimento de *Corymbia citriodora* (Hook.) KD Hill & LAS. Johnson em resposta à deficiência hídrica no solo. **Revista Árvore**, v. 39, n. 5, p.841-852, 2015, 2015.

ADAMI, M. et al. Estimativa de área de folíolos de soja usando imagens digitais e dimensões foliares. **Bragantia**, v. 67, n. 4, 2008.

AMARAL, J. A. T. et al. Métodos de análise quantitativa do crescimento de plantas. In: FERREIRA et al. (Eds). **Tópicos especiais em produção vegetal I**. Alegre: CCAUFES, 2009. p. 259-276.

ANGELOCCI, L. R. Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico. ed. **Piracicaba**, SP, 2002, v.1, 272p.

ARAÚJO, J. E. M. et al. Avaliação de métodos de uso de um ceptômetro na determinação do índice de área do cladódio de clones de palma forrageira. In: Jornada de ensino, pesquisa e extensão, 8., Recife. **Anais...** Recife: UFRPE, 2013.

AQUINO, L. A. et al. Estimativa da área foliar do girassol por método não destrutivo. **Bragantia**, v. 70, n. 4, 2011.

BACK, A. J. Desempenho de métodos empíricos baseados na temperatura do ar para a estimativa da evapotranspiração de referência em Urussanga, SC. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 4, p. 449-466, 2008.

BIANCO, S.; PITELLI, R. A.; CARVALHO, L. B. Estimativa da área foliar de *Cissampelos glaberrima* usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta Daninha**, p. 353-356, 2002.

BRÉDA, N. J. J. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 54, n. 392, p. 2403-2417, 2003.

BROWN, R. H.; BLASER, R.E. Leaf area index in pasture growth. **Herbage Abstracts**, v.38, n.1, p.1-9, 1968.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CARUZZO, A.; DA ROCHA, H. R. Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) em Regiões de Pastagem e Floresta com um método indireto ('gap fraction') durante o Experimento AMC/LBA-1999. In: **Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Rio de Janeiro. 2000.

CARVALHO, P. E. R. Produção de mudas de espécies nativas por sementes e a implantação de povoamentos. In: GALVÃO, A. P. M. (Org.). **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais**. Brasília: Embrapa, 2000. p.151-174.

CASTRO, C. B. et al. **A Cultura do Urucum**. 2ª. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 61p.

CAVALLI, J. et al. Comparação de dois métodos para avaliação de índice de área foliar em cultivares de panicum maximum. In: SIMPÓSIO DE PECUÁRIA INTEGRADA, 2., Sinop. **Anais...** Cuiabá: Fundação Uniselva, 2016. p. 214-215.

COELHO, J. S. et al. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária em sistema silvipastoril com diferentes arranjos espaciais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 3, p. 1487-1499, 2014.

COELHO FILHO, M. A. et al. Estimativa da área foliar de plantas de lima ácida 'Tahiti' usando métodos não-destrutivos Leaf area estimative of Young 'Tahiti' lime using non-destructive methods. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 1, p. 163-167, 2005.

COELHO FILHO, M. A.; et al. Método para estimativa do IAF de árvores isoladas ou de plantações com dossel fechado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.529-538, 2012.

DA FONSECA, C. E. L.; CONDÉ, R. C. C. Estimativa da área foliar em mudas de mangabeira (*Hancornia speciosa* Gom.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 593-600, 1994.

DA SILVA, G. D. et al. Calibração do ceptômetro e índice de área foliar da videira em diferentes sistemas de condução no Submédio do Vale do São Francisco. In: **Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA SEMIÁRIDO, 11., 2016, Petrolina. Anais... Petrolina: Embrapa Semiárido, 2016.

DECAGON. **Ceptômetro Accupar LP 80**. Disponível em: <<http://www.decagon.com.br/dossel/luz/accupar-lp-80/>>. Acesso em: 13 mai. 2018.

DE LUCENA, R. R. M. et al. Medição de área foliar de aceroleira. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 40-45, 2011.

DEMCZUK JR, B.; RIBANI, R. H. Atualidades sobre a química e a utilização do urucum (*Bixa orellana* L.). **Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos** v, v. 6, n. 1, p. 37-50.

DIJK, A. I. J. M.; BRUIJNZEEL, L. A. Modelling rainfall interception by vegetation of variable density using an adapted analytical model. Part 2 - Model validation for a tropical upland mixed cropping system. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.247, p.239-62, 2001.

EASLON, H. M.; BLOOM, A. J. Easy Leaf Area: Automated digital image analysis for rapid and accurate measurement of leaf area. **Applications in plant sciences**, v. 2, n. 7, p. 1400033, 2014.

FABRI, E. G.; TERAMOTO, J. R. Urucum: fonte de corantes naturais. **Horticultura brasileira**, v. 33, n. 1, p. 140, 2015.

FALESI, I. C. **Urucuzeiro**: recomendações básicas para o seu cultivo. Belém: EMBRAPA/UEPAE, 1987. 27 p.

FARIA, J. O. **Culturas: a cultura do urucum**. 2000. Disponível em: <<http://www.almanaquedocampo.com.br/imagens/files/a%20cultura%20do%20urucum%20emater.pdf>> Acesso em: 06 de mai de 2018.

FAVARIN, J. L. et al. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 6, p. 769-773, 2002.

FERREIRA, W. A.; FALESI, I. C. Teores de nutrientes e matéria seca na parte aérea e na raiz e percentagens de Bixina de três tipos de urucuzeiro. In: **Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: REUNIÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA SOBRE O MELHORAMENTO DO URUCUZEIRO, 1., 1991, Belém, PA. Anais. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1992., 1991.

FIGUEIREDO, R. T. et al. Relação entre a área foliar, número de folhas e biomassa seca e fresca da planta de rúcula. **Horticultura Brasileira, Brasília**, v.28, S913-S918, 2010.

FLUMIGNAN, D. L.; ADAMI, M.; FARIA, R. T. Área foliar de folhas íntegras e danificadas de cafeeiro determinada por dimensões foliares e imagem digital. **Coffee Science**, v. 3, n. 1, p. 1-6, 2008

FRANCO, C. F. O. et al. Urucuzeiro agronegócios de corantes naturais. João Pessoa: EMEPA-PB, 2002. 120 p.

GRACA, J. P. et al. Physiological parameters in sugarcane cultivars submitted to water deficit. **Braz. J. Plant Physiol.**, Londrina, v. 22, n. 3, p. 189-197, 2010.

GODOY, L. J. G. et al. Análise da imagem digital para estimativa da área foliar em plantas de laranja “Pêra”. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 420-424, 2007.

GONÇALVES, C. A. A. et. al. Estimativa de área foliar da videira (*Vitis labrusca* L. cv. Folha de Figo) sobre diferentes porta-enxertos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.26, n.3, p.500-504, 2002.

HUMPHREYS, L. R. Subtropical grass growth. II. Effects of variation in leaf area index in the field. **Queensland Journal of Agricultural and Animal Science**, Brisbane, v. 23, p. 337-358, 1966.

IBGE - Produção Agrícola Municipal, 2016. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>>. Acesso em: 06 de mai. 2018.

KISSMANN, Camila; SCALON, Silvana de Paula Quintão; TEODÓSIO, Tiara Kesli Conticelli. Condicionamento das sementes e sombreamento na emergência e no crescimento de plantas de *Bixa orellana* L. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n. 1, p. 48-56, 2013.

- JONES, James W. et al. The DSSAT cropping system model. **European journal of agronomy**, v. 18, n. 3-4, p. 235-265, 2003.
- JÚNIOR, M. J. P.; RIBEIRO, I. J. A.; MARTINS, F. P. Determinação da área foliar em videira cultivar niagara rosada. **Bragantia**, v. 45, n. 1, p. 199-204, 1986.
- KERGOAT, L. A model for hydrological equilibrium of leaf area index on a global scale. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v.212-13, p.268-86, 1998.
- LANDSBERG, J. J.; WARING, R. H. A generalised model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. **Forest ecology and management**, v. 95, n. 3, p. 209-228, 1997.
- LANG, A. R. G; MCMURTRIE, R.E. Total leaf areas of single trees of *Eucalyptus grandis* estimated from transmittances of the sun's beam. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.58, p.79- 92, 1992.
- LEITE, H. G.; ANDRADE, V.C.L. de. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Revista Árvore**, v.26, p.321-328, 2002.
- LI-COR. **Plant canopy analyzer: LAI-2000**; operating manual. Lincoln: 1992. 179p.
- LIMA, R. T. et al. Modelos para estimativa da área foliar da mangueira utilizando medidas lineares. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 4, p. 974-980, 2012.
- LORENZI, H. (2000) - **Árvores Brasileiras**. Plantarum, Nova Odessa, 352pp.
- MALDANER, I. C. et al. Modelos de determinação não-destrutiva da área foliar em girassol. **Ciência Rural**, v. 39, n. 5, p. 1356-1361, 2009.
- MANTOVANI, N. C. et al. Avaliação de genótipos de urucum (*Bixa orellana* L.) por meio da caracterização morfológica de frutos, produtividade de sementes e teor de bixina. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 2, 2013.
- MARTIN, T. N., et al. Uso do software ImageJ na estimativa de área foliar para a cultura do feijão. **Interciência**, v. 38, n. 12, 2013.
- MARTINS, F. B., STRECK, N. A. Aparecimento de folhas em mudas de eucalipto estimado por dois modelos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.8, p.1091-1100, 2007.
- MARTINS, F. B. et al. Deficiência hídrica no solo e seu efeito sobre transpiração, crescimento e desenvolvimento de mudas de duas espécies de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, 2008.
- MELO, A. A. A.; LIMA, L. C. F. **A situação da cultura de urucum no Brasil e perspectiva. Vitória da Conquista: UESB**, 1990. p.9-19.
- MARCHIORI, J. N. C. Dendrologia das angiospermas: das bixáceas às rosáceas. Santa Maria: Editora UFSM, 2000. 240 p.
- MERCADANTE, A. Z.; STECK, A.; PFANDER, H. Isolation and identification of new apocarotenoids from annatto (*Bixa orellana*) seeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, New York, v. 45, n. 4, p. 1050-1054, 1997.

MONTEIRO, J. E. et al. Estimação da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. **Bragantia**, v. 64, n. 1, 2005.

MORAES, E. C.; BIANCO, S.; ARAÚJO, J. A. SILVA, R C. Estimativa da área das urucunzeiro (*Bixa orellana* L.). Belém: FCAP. de Documentação e Informação, 1993. 10p.

MOREIRA, V. S. Atividade antioxidante e caracterização físico-química de variedades de urucueiros in natura e encapsulado. 2013. **Dissertação de Mestrado** em Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

MOREIRA FILHO, E. C. et al. Estimação da área foliar da flor de seda (*Calotropis procera*). **Archivos de zootecnia**, v. 56, n. 214, 2007.

MORGADO, M. A. D. et al. Estimação da área foliar por método não destrutivo, utilizando medidas lineares das folhas de espécies de Passiflora. **Revista Ceres**, v. 60, n. 5, 2013.

OGA, F. M.; DA FONSECA, C. E. L.. Um método rápido para estimar área foliar em mudas de cagaiteira (*Eugenia dysenterica* DC). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 571-578, 1994.

OLIVEIRA, E. A. **Métodos para análise de concordância: estudo de simulação e aplicação a dados de evapotranspiração**. Piracicaba, SP: Esalq-USP, 2016, 177p. Tese de Doutorado – Doutorado em Estatística e Experimentação Agrônoma - Universidade de São Paulo, 2016.

OLIVEIRA, J. S. et al. **Caracterização, extração e purificação por cromatografia de compostos de urucum (*Bixa orellana* L.)**. 2005.

OLIVEIRA, L. V. et al. Dimensões lineares da folha para estimativa da área foliar do pessegueiro. In: **Embrapa Uva e Vinho-Resumo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 1., 2016, Chapecó, SC. Resumos... Capecó, SC: Unochapecó, 21 a 22 outubro 2016.

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. 1987. Análise quantitativa do crescimento de comunidade vegetal. Campinas: Instituto Agrônomo. 33p. **Boletim Técnico**, 114.

REBOUÇAS, T. N. H.; SÃO JOSÉ, A. R. **A cultura do urucum: práticas de cultivo e comercialização**. Vitória da Conquista: DFZ/UESB/SBCN, 1996. 42 p.

REIS, T. E. S.; REIS, L. C.; BARROS, O. N. F. Comparação de métodos de determinação de área: superfície foliar do feijoeiro. **GEOGRAFIA (Londrina)**, v. 9, n. 2, p. 151-157, 2000.

ROCHA, C. C. **Avaliação de métodos para determinação de área foliar em jabuticabeira e pitangueira**. 2015. 24 f. Monografia – Universidade Federal de São João Del Rei, Sete Lagoas.

ROSENBERG, N. J.; BLAD, B. L.; VERMA, S. B. **Microclimate: the biological environment**. Washington: John Wiley, 1983. 459 p.

SALA, F. et al. Leaf area constant model in optimizing foliar area measurement in plants: A case study in apple tree. **Scientia Horticulturae**, v. 193, p. 218-224, 2015

SANDI, M. P., CUEN, BACERRA, ROSALBA, BIODIVERSITAS, El Achiote, Boletín Bimestral de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Año 7, n^o 46, 7-11, 2003.

SANOJA, M. J. **Estimación de área foliar de dos variedades de papa (*Solanum tuberosum*) en las localidades de Mariara, Estado Carabobo y Tucutunemo, Estado Aragua.** Diss. Tesis de grado. UCV, Facultad de Agronomía. Maracay, Venezuela, 1983.

SANTOS, S. N. et al. Análise comparativa de métodos de determinação de área foliar em genótipos de cacau. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 3, 2014.

SILVA, B. M. S. et al. Efeito da luz no crescimento de mudas de *Hymenaea parvifolia* Huber. **Revista Árvore**, v. 31, n. 6, 2007.

SOUZA, M. S. et al. Comparação de métodos de mensuração de área foliar para a cultura da melancia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, 2012.

SÃO JOSÉ, A. R. et al. **Corantes naturais em alimentos: ênfase no uso do urucum.** In: Congresso Brasileiro de Horticultura, 52. Disponível em: <http://www.abhorticultura.com.br/eventos/trabalhos/ev_1/PAL01.pdf>. Acesso em: 06 de mai. de 2018.

SBRISSIA, A. F. et al. Comparação de três métodos para estimativa do índice de área foliar em pastos de capim-marandu sob lotação contínua. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 2, p. 212-220, 2008.

SCHINDELIN, J. et al. (2012), "[Fiji: an open-source platform for biological-image analysis](#)", **Nature methods** **9(7)**: 676-682, PMID 22743772, doi:[10.1038/nmeth.2019](https://doi.org/10.1038/nmeth.2019)

SEVERINO, L. S.; CARDOSO, G. D; SANTOS, J. W. Método para determinação da área foliar da mamoneira. **Embrapa Algodão-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2005.

SICHMANN, L. H. et al. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, v. 65, n. 2, 2006.

SMART, R. E.; ROBINSON, M. D. Sunlight into wine: a handbook for winegrape canopy management Winetitles. **Adelaide, South Australia**, 1991.

STRINGHETA P. C.; SILVA P. I. Pigmentos de urucum: extração, reações químicas, usos e aplicações, Viçosa: Suprema, 2008.

TAVARES JÚNIOR, J. E. et al. Análise comparativa de métodos de estimativa de área foliar em cafeeiro. **Bragantia**, v. 61, n. 2, p. 199-203, 2002.

XAVIER, A. C. et al. Relação entre índice de área foliar e frações de componentes puros do modelo linear de mistura espectral, usando imagens ETM+/Landsat. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 2, 2004.

WATSON, D. J. Comparative physiological studies on growth of field crops. I - Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, London, v.11, p.41-76, 1947.

WILLMOTT, C. J. C. et.al. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n C5, p.8895- 9055,1985.

WELLES, J. M.; NORMAN, J. M. Instrument for indirect measurement of canopy architecture. **Agronomy Journal**, v.83, p.818-825, 1991.

ZEIST, A. R. et al. Comparação de métodos de estimativa de área foliar em morangueiro. **Pesq. agrop. gaúcha**, Porto Alegre, v. 20, ns. 1/2, p. 33-41, 2014.

ZUCOLOTO, M.; LIMA, J. S. S.; COELHO, R. I. Modelo matemático para estimativa da área foliar total de bananeira 'Prata-Anã'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.30, p.1152- 1154, 2008.