

Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade

Thieres G. F. da Silva¹, Karina R. de Miranda², Djalma C. dos Santos³, Maria G. de Queiroz⁴,
Maria da C. Silva³, José F. da Cruz Neto¹, José E. M. Araújo¹

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Fazenda Saco, s/n, Zona Rural, CEP 56900-000, Serra Talhada-PE, Brasil. Caixa Postal 063. E-mail: thieres_freire@yahoo.com.br; zenetto.agronomia@gmail.com; eduardo_ta2005@hotmail.com

² Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Zootecnia, Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, CEP 52171-900, Recife-PE, Brasil. E-mail: karina_miranda18@hotmail.com

³ Instituto Agrônomo de Pernambuco, Estação Experimental de Arcoverde, BR 232, km 254, s/n, Sucupira, CEP 56500-000, Arcoverde-PE, Brasil. Caixa Postal 51. E-mail: djalma.cordeiro@ipa.br; mcsilvaforragem@hotmail.com

⁴ Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, Departamento de Engenharia Agrícola, sala 330, CEP 36570-000, Viçosa-MG, Brasil. E-mail: mg.gabi@hotmail.com

RESUMO

Objetivou-se, com este trabalho, validar o uso da técnica da imagem digital e de modelos matemáticos baseados em dimensões lineares na obtenção da área do cladódio (AC) de clones de palma forrageira. Essas técnicas foram avaliadas para nove clones dos gêneros *Opuntia* sp. e *Nopalea* sp. Os modelos linear, exponencial e de Gompertz, foram ajustados para a estimativa da AC a partir de dados biométricos. O modelo de Gompertz também foi aplicado na análise da evolução dos cladódios. Estabeleceu-se a relação entre a produtividade e o índice de área do cladódio (IAC). Os modelos matemáticos de estimativa da AC foram usados na análise da evolução do IAC de três clones. Com os resultados, observou-se que a técnica de imagem digital apresentou ótimo desempenho na determinação da área dos cladódios ($r = 0,9998$; $d = 0,9999$; $MBE = 4,90 \text{ cm}^2$; $RMSE = 5,83 \text{ cm}^2$). O modelo linear único e os de Gompertz individual e único, são os mais recomendados para a estimativa da AC. Constatou-se que a evolução da área do cladódio está associada aos seus comprimentos e perímetros. A produtividade da palma forrageira tendeu a estabilizar quando os valores de IAC foram acima de $1,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e a Orelha de Elefante Mexicana possui evolução do IAC superior à IPA Sertânia e Miúda.

Palavras-chave: estatística, métodos das imagens digitais, *Nopalea* sp., *Opuntia* sp.

Cladode area of cactus forage clones: modeling, analysis and applicability

ABSTRACT

The objective this work was to evaluate the use of the digital image technique and of mathematical models based on linear dimensions in the determination of the cladode area (CA) of cactus forage clones. These techniques were evaluated for nine clones of the genus *Opuntia* sp. e *Nopalea* sp. Linear, exponential and Gompertz models were fitted to estimate the area through biometric data. The Gompertz model was also applied in the analysis of the evolution of the cladodes. A relationship between the green mass yield and the cladode area index (CAI) was established. The CA models were used in analyze of the evolution of the CAI of three clones. With the results, it was observed that the digital image technique presented excellent performance in the determination of the cladode area ($r = 0.9998$; $d = 0.9999$; $MBE = 4.90 \text{ cm}^2$; $RMSE = 5.83 \text{ cm}^2$). The single linear model and the individual and unique Gompertz models are the most recommended in the estimate of the CA. It has been found that the evolution CA is associated to their length and width. The green mass yield of the cactus forage has tended to stabilize when the CAI values were above $1.5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, and the 'Orelha de Elefante Mexicana' obtained evolution of CAI greater to 'IPA Sertânia' and 'Miúda'.

Key words: statistics, digital image method, *Opuntia* sp., *Nopalea* sp.

Introdução

A palma forrageira é uma planta bastante utilizada como recurso forrageiro nos períodos de estiagem, especialmente em regiões áridas e semiáridas (Dubeux Júnior et al., 2010; Oliveira et al., 2010). Todavia, estudos sobre sua resposta morfofisiológica a diferentes ambientes ainda são incipientes. Neste sentido, são necessárias informações sobre a área fotossintetizante da planta, que é um parâmetro muito utilizado em estudos agrônomicos e fisiológicos, que permite a avaliação de práticas culturais e a análise da produção vegetal de espécies como resultado da capacidade fotossintética e de interceptação da radiação, influenciando na produção final da cultura (Adami et al., 2008; Carvalho et al., 2011; Cepeda et al., 2013). Além disto, é um dado que permite inferir sobre a cobertura do solo, na competição com outras plantas, na ocorrência de pragas e doenças e em vários aspectos fisiológicos (Lucena et al., 2011).

A palma forrageira apresenta folhas muito pequenas que caducam com o desenvolvimento dos cladódios, os quais se tornam os responsáveis pelas funções fotossintéticas na planta. Com isto, se utiliza, para analisar a interceptação de radiação fotossinteticamente pela palma, o índice de área de cladódio (IAC), obtido pela relação entre a área total dos cladódios e a área que a planta ocupa no solo. O IAC pode variar com o tipo de gênero, clone e condição de cultivo, sendo uma informação que permite a avaliação do desenvolvimento da planta sem a necessidade de se conhecer a biomassa acumulada até então pela cultura (Dubeux Júnior et al., 2006; Oliveira Júnior et al., 2009).

A área foliar pode ser obtida através de métodos diretos, em que as medições são realizadas nas folhas usando-se equipamentos eletrônicos e análise planimétrica, e por métodos indiretos, os quais estimam a área foliar a partir da correlação de medidas simples e não destrutivas da folha (Adami et al., 2008; Carvalho et al., 2011; Godoy et al., 2007; Marcon et al., 2011). Embora seja uma alternativa aos métodos diretos, as correlações entre a área da folha e as variáveis independentes dependem da espécie, da variedade, do sistema de produção, do ambiente de cultivo e de lâminas de irrigação, entre outros (Peduzzi et al., 2012).

O uso de imagens digitais tem sido bastante difundido com o objetivo de se quantificar a área foliar de plantas sendo possível utilizar scanner comercial e programas computacionais capazes de processar as imagens, calculando a área desejada, por meio da contagem do número de pixel e sua conversão em área. Esta técnica permite obter resultados com acurácia similar e custo muito menor do que os integradores de área foliar. Todavia, seu desempenho deve ser avaliado comparando-se com os métodos diretos de medição (Adami et al., 2008).

Para a palma forrageira não há estudos com a aplicação dessa técnica de imagens digitais. O mais comum é o uso de modelos matemáticos lineares, elaborados para *Opuntia ficus-indica* (L.) por Cortázar & Nobel (1991), amplamente utilizado em pesquisas com essa cultura. Assim, é notória a necessidade de obtenção de modelos matemáticos que contemplem as características de vários clones e que, supostamente, representem as condições edafoclimáticas de diferentes regiões de estudo.

O objetivo desse estudo foi validar a aplicação da técnica da imagem digital e de modelos matemáticos baseados em dimensões lineares na estimativa da área do cladódio de clones de palma forrageira visando à análise e aplicabilidade em estudos de resposta do crescimento da cultura.

Material e Métodos

Os dados experimentais foram coletados em dois ambientes de cultivo: Arcoverde e Serra Talhada, ambos no Estado de Pernambuco. Em Arcoverde, os dados coletados foram usados na avaliação do método digital; no ajuste e avaliação dos modelos matemáticos em termos de área de cladódio (AC) e de IAC; na análise da evolução do tamanho dos cladódios; comparação do AC e IAC entre clones e na relação do IAC com a produtividade da palma forrageira. Em Serra Talhada os dados também foram utilizados na aplicabilidade dos modelos matemáticos e na avaliação da evolução do IAC de três clones de palma forrageira ao longo do tempo, em ambiente de cultivo distinto daqueles que foram calibrados.

Experimento e coleta de dados no município de Arcoverde (PE)

A coleta de dados foi realizada na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambucano - IPA (latitude: 8°25'S, longitude: 37°04'O e altitude: 664 m), em uma área situada no município de Arcoverde, região de transição entre o Agreste e o Sertão pernambucano. O clima da região é caracterizado por apresentar temperatura média anual em torno de 22,9°C, com valores médios da temperatura máxima e mínima do ar atingindo 29,3°C e 18,2°C, respectivamente. O número de horas de radiação totaliza 2778 horas por ano, precipitação anual de 694 mm ocorrendo sobretudo nos meses mais frios (junho, julho e agosto), e a umidade relativa do ar média de 70% (Brasil, 2009). O solo predominante na área experimental é do tipo Regossolo eutrófico solódico e não solódico A fraco e moderado de textura arenosa e média, com cascalho e cascalhenta fase caatinga hiperxerófila relevo plano e suave ondulado (Embrapa, 2006).

A área experimental foi preparada com uma capina, sendo o plantio dos cladódios realizado nos dias 22 e 23 de abril de 2010, onde 50% dos seus comprimentos foram enterrados em espaçamento de 1,0 m x 0,5 m. No dia 27 de abril de 2010 foi aplicada uma adubação mineral com 50 kg ha⁻¹ da mistura NPK. Quando necessário, foram realizadas capinas ao longo do ciclo da cultura.

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos ao acaso, com três repetições, em que foram plantados, em cada bloco e com dimensões de 18 m x 4 m, totalizando 216 m², nove clones de palma forrageira, sendo três do gênero *Nopalea* sp., a IPA Sertânia (IPA-200205) (IPA), Miúda (IPA-10004) (MIU) e F21 (IPA-200021) (F21) e seis do gênero *Opuntia* sp., a IPA Clone 20 (IPA-100003) (IPA-20), Orelha de Elefante Mexicana (IPA-200016) (OEM), F8 (IPA-200008) (F8), F13 (IPA-200013) (F13), F15 (IPA-200015) e V19 (IPA-200149) (V19), representando os tratamentos experimentais.

Foram coletados os cladódios de todas as ordens das plantas com um ano e meio de idade, contabilizados e identificados

quanto ao clone, bloco, repetição da planta e a ordem de seu surgimento, totalizando oitenta e duas plantas e mil seiscentos e sessenta e cinco cladódios. A produtividade de cada clone foi obtida por meio da pesagem dos cladódios colhidos a partir da primeira ordem deixando-se apenas os cladódios basais. Os cladódios foram colocados em sacos de papel e conduzidos ao Laboratório de Análises de Alimentos e Vegetais - LANAV, da Unidade Acadêmica de Serra Talhada - UAST, da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, onde foram mensurados os valores das variáveis biométricas dos cladódios, representadas pelo comprimento (CC), largura (LC) e perímetro (PC), obtidos mediante o uso de fita métrica, e a espessura do terço médio do cladódio (EC), por meio de um paquímetro.

Experimento e coleta de dados no município de Serra Talhada (PE)

A área experimental em Serra Talhada, PE, pertencente ao Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA (latitude: 7°59'S, longitude: 38°15'O e altitude: 431 m), está localizada na região semiárida da microrregião do Vale do Pajeú. As normais climatológicas do município indicam uma precipitação em torno de 642,1 mm ano⁻¹, distribuída sobretudo entre os meses de janeiro e abril. A temperatura média anual é de 24,8°C, com máximas e mínimas de 30,4°C e de 19,9°C, respectivamente e umidade relativa do ar de 62,5%, o que resulta em uma demanda atmosférica em torno de 1800 mm ano⁻¹ e um déficit anual de 1143 mm ano⁻¹. Os solos predominantes na região são os Planossolos e Luvisolos (Embrapa, 2006).

Os clones de palma forrageira utilizados foram a IPA Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana, cultivados no espaçamento de 1,6 x 0,2 m, em condições de sequeiro. O ensaio experimental foi conduzido em blocos ao acaso com unidades experimentais com área de 32 m² (5 x 6,4m), sendo 12,8 m² (4 x 3,2 m) de área útil. Foram feitas medições biométricas em noventa plantas previamente selecionadas por clone, em intervalos médios de 45 dias totalizando doze datas de coleta de dados biométricos. Na ocasião da colheita foram amostrados 200 cladódios representativos de todas as plantas. As produtividades dos clones foram obtidas mediante a pesagem dos cladódios da área útil deixando-se apenas os cladódios basais, cujos resultados foram expressos em toneladas de massa verde por hectare.

Obtenção da área do cladódio por meio da técnica da imagem digital

Para determinar a área dos cladódios coletados utilizou-se, em ambos os ambientes de cultivo, a técnica de imagens digitais, em que os mesmos foram digitalizados individualmente em um “scanner” comercial (modelo F4280, Marca HP) e a imagem gerada foi processada por meio do software “Leaf Area FOR Everyone (C) by Veiko Lehsten” (“LAFore”). Contudo, para o uso desta técnica, tornou-se imprescindível a realização de algumas adaptações na metodologia de escaneamento além da adoção de peculiaridades no processamento da imagem.

Os equipamentos comerciais de “scanner” são projetados para se obter imagens reais de objetos com espessura semelhante à das folhas de papel. Entretanto, para a determinação da AC de

palma forrageira por meio de um “scanner”, fica condicionada a realização de adaptações uma vez que a espessura e as irregularidades morfológicas dos cladódios impedem o fechamento da tampa superior, o que acaba promovendo a formação de uma imagem com partes escurecidas, induzindo a erro na contabilização da área pelo “LAFore”. Nesta situação o software reconhece a área do cladódio com a tonalidade verde acrescida de uma área circunvizinha com tonalidade escurecida. Assim, para a digitalização dos cladódios este processo foi realizado em um ambiente iluminado e a tampa do scanner foi substituída por papel vegetal, que permitia um contraste com o plano de fundo branco e a passagem de luz, evitando as partes escurecidas ao redor da imagem do cladódio.

Outras adaptações foram realizadas para se obter as imagens digitalizadas pelo “scanner”, tais como testes preliminares foram realizados para definir a resolução da imagem sendo a de 200 dpi (“Dots Per Inch” – pontos por polegada) a mais adequada para ser utilizada no software “LAFore” e que a imagem foi salva no formato “tif”, por combinar menor tempo de processamento e maior precisão de se obter a área do cladódio. Para os cladódios cujas dimensões eram superiores à área de escaneamento do equipamento, normalmente do tamanho de uma folha A4, os mesmos foram fracionados em duas ou três partes e suas áreas obtidas pelo somatório das áreas de suas respectivas frações.

Assumindo essas adaptações e peculiaridades, o cálculo da área do cladódio utilizando o software “LAFore” foi realizado importando a imagem ao ambiente do software; na resolução em que os cladódios foram digitalizados (200 dpi); indicando o menor tamanho do objeto que deverá ser reconhecido pelo software (100 mm x mm) permitindo, assim, excluir a contabilização, independente da área de pequenas sujeiras e/ou, deformações ou lesões dos cladódios; estabeleceu-se o brilho ou contraste de pelo menos 80% e se realizou a classificação da imagem considerando-se que o software reconhece apenas um objeto e que a área é expressa em mm².

Avaliação da técnica da imagem digital

A avaliação da técnica da imagem digital na determinação da área dos cladódios de palma forrageira foi realizada quando comparada com o método da Área Foliar Específica (AFE). Para isso, inicialmente foram desenhadas em cartolina verde e depois pesadas em uma balança de precisão (0,001 g), figuras geométricas (triângulo retângulo, círculo, trapézio, retângulo e quadrado) em que suas áreas são facilmente obtidas por equações matemáticas. A AFE da cartolina foi obtida através da relação entre a massa das figuras geométricas e suas respectivas áreas sendo a média em torno de 0,004787 m² g⁻¹. Em seguida, foram projetadas as áreas de sete a nove cladódios de cada clone, na mesma cartolina utilizada para desenhar as figuras geométricas visando obter objetos com as mesmas deformações dos cladódios. As suas áreas foram determinadas a partir do produto entre a AFE da cartolina e a massa dos respectivos cladódios desenhados. As figuras dos cladódios foram escaneadas e processadas por meio do LAFore e os resultados obtidos comparados com aqueles determinados pelo método da AFE. Estatisticamente, a avaliação do desempenho deste método foi realizada usando-se índices de

precisão (coeficiente de correlação, r), de exatidão (índice de concordância, d) e pela classificação do índice de confiança ($r.d$) (Camargo & Sentelhas, 1997), bem como erros de estimativa: erro médio de estimativa (MBE) e a raiz quadrada do quadrado do erro médio (RMSE).

Ajuste e avaliação dos modelos matemáticos

Após a avaliação do uso das imagens digitais as áreas de cladódios dos nove clones foram utilizadas para se calibrar modelos de estimativa de área do cladódio (AC) por meio de dados biométricos (CC, LC, PC e EC). Para isto, foram selecionadas, das oitenta e duas plantas coletadas em campo, sessenta, de modo que seus respectivos cladódios foram digitalizados e processados pelo “scanner” comercial e pelo “LAFore”, respectivamente. As áreas dos cladódios determinadas foram submetidas à análise de regressão com os dados de CC, LC, CC.LC e PC no programa SigmaPlot®11 (Systat Software Inc.), por meio de modelos tradicionalmente utilizados na literatura para determinação de AC, que são os modelos linear ($AC = a \times b + c$) e exponencial ($AC = c \exp(dx)$), em que “a”, “b”, “c” e “d” são os coeficientes dos modelos e “x” é a variável independente (CC, LC, CC.LC e PC). Como alternativa a esses dois modelos propôs-se, no presente estudo calibrar aquele referido por Gompertz ($AC = rm (1 - \exp(-rdx))/rd$), que assume parâmetros com princípios biofísicos (rm e rd), sendo “x” a variável independente (CC, LC, CC.LC ou PC), rm a taxa máxima de crescimento relativo do cladódio e rd o parâmetro que define o decréscimo de rm .

Os modelos foram obtidos individualmente para cada clone (modelos individuais), utilizando-se os cladódios apenas de um clone de cada vez, e para todos os clones (modelos únicos), quando foram utilizados todos os cladódios dos nove clones, sendo suas significâncias e as dos seus respectivos parâmetros avaliadas com base no teste F e no teste t de Student, respectivamente, considerando-os válidos, desde que $p < 0,05$. A análise dos ajustes dos modelos foi feita utilizando-se o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}), que assume o número de cladódios usado em cada regressão. Os modelos matemáticos com maiores valores de R^2_{adj} foram utilizados para a análise de desempenho.

Para avaliação da eficiência dos modelos propostos, os mesmos foram aplicados aos dados biométricos dos cladódios das 22 plantas que não foram usadas na calibração dos modelos e seus resultados foram comparados, em termos de AC e do índice de área do cladódio (IAC), com os valores determinados pelo software “LAFore”, usando-se os índices de precisão (r) e de exatidão (d), coeficiente de confiança ($r.d$) (Camargo & Sentelhas, 1997), e os erros estatísticos (MBE e RMSE), antes utilizados na avaliação da técnica das imagens digitais. Entretanto, nesta avaliação a $AC_{(Ref.)}$ foi representada por aquela obtida pelo “LAFore”, enquanto que a $AC_{(Aval.)}$ foi composta pelos resultados dos modelos. Os valores de IAC foram determinados a partir da soma da área de todos os cladódios de cada planta e os resultados divididos inicialmente, divididos por 10000, para converter de cm^2 para m^2 , em seguida, foi dividido por 0,5 m^2 , que se refere à área de ocupação da planta (espaçamento 1,0 x 0,5 m). A eficiência dos modelos em termos de AC foi realizada por clone gerando

“n” número de cladódios enquanto os de IAC foram analisados a partir dos valores das 22 plantas, resultando exatamente 22 observações ou pontos. Os modelos também foram avaliados usando-se um conjunto de dados de área do cladódio (determinado pela técnica da imagem digital), coletados no experimento conduzido em Serra Talhada para avaliação da sua aplicabilidade na estimativa da AC, em condições de clima e cultivo distintos daqueles em que foram ajustados.

Análise da evolução da AC e relação do IAC com a produtividade da cultura

Os dados obtidos pelo método da imagem digital foram usados na comparação dos valores de AC e IAC e na análise da evolução do tamanho dos cladódios dos clones de palma forrageira. Para isto, foram considerados os dados obtidos para as 82 plantas coletadas em campo. Os valores de AC e de IAC foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) e no caso de significativa procedeu-se à realização do teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade utilizando-se o Software “Genética Quantitativa e Estatística Experimental” – GENES (Cruz, 2006). Na evolução do tamanho da área dos cladódios, usaram-se os valores de rm obtidos por meio do modelo de Gompertz. E finalmente, determinou-se uma correlação entre os valores de produtividade dos clones e seus respectivos valores de IAC, por meio do software Sigmaplot, considerando-se os valores de coeficiente de determinação.

Aplicabilidade dos modelos matemáticos na evolução do IAC de clones de palma forrageira, em Serra Talhada (PE)

A aplicabilidade dos modelos matemáticos foi realizada inicialmente pela avaliação do desempenho dos melhores modelos na estimativa da AC de cladódios dos clones Miúda, Orelha de Elefante Mexicana e IPA Sertânia conduzidos no município de Serra Talhada. Em seguida, foram usados na estimativa da AC para os três clones, ao longo do tempo, para análise da evolução do IAC, durante doze datas de medição de dados biométricos da cultura. O IAC foi determinado pela expressão: $IAC = \sum(AC1+...+ACn)/10000/(1,6 \times 0,2 \text{ m})$.

Resultados e Discussão

Desempenho da técnica da imagem digital

O uso da técnica de imagens digitais na determinação da AC apresentou alta precisão ($r \sim 0,9998$) e exatidão ($d \sim 0,9999$), resultando um ótimo desempenho de acordo com a classificação de Camargo & Sentelhas (1997). Os baixos valores de MBE revelaram, para uma ampla faixa de tamanhos de cladódios, ou seja, para a estimativa da área média dos cladódios de uma planta, que houve apenas uma superestimativa de 4,90 cm^2 enquanto o RMSE indicou que, para um cladódio qualquer da planta, este erro médio foi de 5,83 cm^2 (Figura 1). A precisão dessa técnica também foi confirmada por Toebe et al. (2010), comparando os métodos de discos foliares e de fotos digitais na estimativa de área foliar do crambe (*Crambe abyssinica*) e por Godoy et al. (2007) avaliando o uso de imagens digitais em relação a um integrador óptico de área (LICOR-3100) na estimativa da área foliar de plantas de laranja “Pera”, podendo, assim, ser utilizado na avaliação de modelos matemáticos de

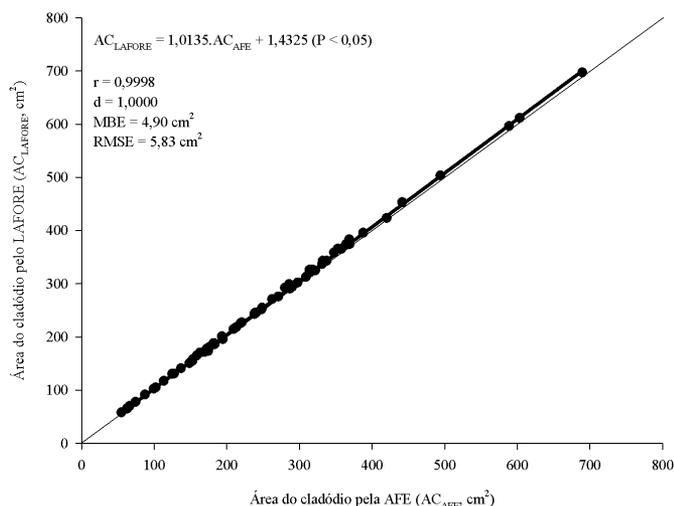


Figura 1. Avaliação do método de imagens digitais para a estimativa da área do cladódio de clones de palma forrageira

estimativa da área foliar. Os resultados do presente estudo mostram que, com as adaptações do método da imagem digital, os formatos irregulares e a espessura dos cladódios dos diferentes clones não resultaram em erros na aplicabilidade desta técnica.

Ajuste e desempenho dos modelos matemáticos

A avaliação da técnica de imagens digitais na determinação da AC de clones de palma forrageira permitiu o ajuste dos coeficientes dos modelos linear, exponencial e de Gompertz individuais, para cada clone, e o modelo único, que pode ser utilizado para qualquer um dos clones. Em todos os modelos a espessura do cladódio não explicou a AC resultando em baixos coeficientes de determinação (R^2_{adj}).

Analisando o desempenho de cada modelo para os diferentes clones, constatou-se que no modelo linear individual a variável CC.LC foi a que apresentou os melhores R^2_{adj} , variando de 0,9650 a 0,9860. Resultados similares foram obtidos por Cortázar & Nobel (1991) ajustando modelos lineares para a palma forrageira. Isoladamente, o CC explicou apenas os valores da AC dos clones F8, Miúda, F21 e V19, que tiveram a LC como a variável de menor ajuste.

No que se refere aos modelos individuais exponenciais, o PC foi a variável que melhor explicou a AC de todos os clones com exceção da Miúda, em que o CC.LC foi a variável que obteve o maior R^2_{adj} . O CC foi a variável que permitiu os menores ajustes para os clones OEM, F21, IPA Sertânia, V19

e F15 enquanto a LC foi a de menor R^2_{adj} para os clones IPA Clone 20, F8, Miúda e F13.

Em relação aos modelos individuais, de Gompertz (Tabela 1), o CC.LC resultou em elevados valores de R^2_{adj} para a IPA Clone 20, F8, Miúda, F21, F15 e V19, enquanto que o PC foi aquela que proporcionou melhores ajustes para os modelos da OEM e F13.

Dentre os modelos lineares individuais, os menores R^2_{adj} foram obtidos pelo clone F8 e os maiores pela V19 enquanto para os exponenciais foram a Miúda e F13 e no modelo de Gompertz foram os clones F8 e F13, nesta mesma ordem, o que esteve associado, a maior ou menor ocorrência de irregularidades na forma de seus cladódios, respectivamente.

Quanto aos modelos únicos, verificou-se que seu R^2_{adj} foi superior aos modelos individuais linear e de Gompertz indicando a possibilidade de seu uso para os diferentes clones em substituição à aplicação dos seus respectivos modelos individuais.

Apesar do desempenho dos três modelos ter sido evidenciado para todos os clones, os melhores resultados foram aqueles apresentados na Tabela 1, onde também são destacados seus respectivos índices e erros estatísticos. Observa-se que o modelo de Gompertz foi o que teve melhor desempenho para a maioria dos clones com exceção da Miúda e F15, em que o modelo linear apresentou destaque. A variável CC.LC foi a que melhor explicou a variação dos resultados da AC. Todavia, para os clones IPA Sertânia e V19, os valores de PC foram os melhores.

Os valores de r foram elevados sendo inferiores a 0,9000 apenas para o clone F15, mostrando a ótima precisão dos modelos em determinar a AC, ou seja, o baixo desvio dos valores estimados em relação às suas respectivas médias. Quanto ao índice d , todos os valores também se mostraram elevados tanto para os modelos individuais quanto para os únicos indicando que, de modo geral, os valores estimados pelos modelos estiveram bem próximos daqueles obtidos pela técnica da imagem digital, resultando em ótimo desempenho dos modelos matemáticos.

Em termos de MBE, seus valores variaram entre -5,14 e 5,74 cm^2 , sinalizando baixa magnitude do erro na estimativa da área média dos cladódios da planta, o que também foi verificado quanto ao RMSE, em que os valores dos erros variaram entre 10,31 e 47,47 cm^2 , refletindo o erro na estimativa da área de determinado cladódio da planta.

Além da avaliação dos modelos em termos de estimativa da AC, os mesmos foram analisados quanto à determinação do

Tabela 1. Avaliação de modelos individual (ajustado para determinado clone) e único (ajustado para todos os clones) na estimativa da área do cladódio de clones de palma forrageira (*Opuntia* sp. e *Nopalea* sp.)

Clones	Modelo	Variável	r	d	Desempenho	MBE	RMSE	
IPA Clone 20	Único	Gompertz	CC.LC	0,9295	0,9972	Ótimo	-0,71	47,47
OEM	Individual	Gompertz	CC.LC	0,9917	0,9996	Ótimo	-4,41	16,89
F8	Único	Gompertz	CC.LC	0,9894	0,9998	Ótimo	0,76	11,07
Miúda	Único	Linear	CC.LC	0,9847	0,9999	Ótimo	0,26	10,31
F21	Único	Gompertz	CC.LC	0,9818	0,9998	Ótimo	-3,01	12,09
IPA Sertânia	Único	Gompertz	PC	0,9549	0,9982	Ótimo	3,62	24,50
V19	Individual	Gompertz	PC	0,9944	0,9998	Ótimo	5,74	12,59
F13	Individual	Gompertz	CC.LC	0,9845	0,9993	Ótimo	-5,14	15,63
F15	Único	Linear	CC.LC	0,8865	0,9962	Ótimo	0,86	33,75

r = coeficiente de correlação de Pearson (adimensional); d = índice de concordância (adimensional); MBE = erro médio de estimativa (cm^2) e, RMSE = raiz quadrada do quadrado do erro médio (cm^2). OEM = Orelha de Elefante Mexicana

Tabela 2. Avaliação de modelos de estimativa em termos de índice da área do cladódio (IAC) de clones de palma forrageira (*Opuntia* sp. e *Nopalea* sp.)

	Modelo	Variável	r	d	Desempenho	MBE	RMSE
Individual	Linear	CC.LC	0,9983	0,9999	Ótimo	0,01	0,04
	Exponencial	PC	0,9980	0,9999	Ótimo	0,00	0,04
	Gompertz	CC.LC	0,9986	0,9999	Ótimo	0,00	0,03
	Gompertz	PC	0,9987	0,9999	Ótimo	0,00	0,03
Único	Linear	CC.LC	0,9993	1,0000	Ótimo	0,00	0,02
	Exponencial	PC	0,9932	0,9990	Ótimo	0,01	0,13
	Gompertz	CC.LC	0,9994	1,0000	Ótimo	0,00	0,02
	Gompertz	PC	0,9933	0,9992	Ótimo	0,01	0,12

r = coeficiente de correlação de Pearson (adimensional); d = índice de concordância (adimensional); MBE = erro médio de estimativa (cm²) e RMSE = raiz quadrada do quadrado do erro médio (cm²).

IAC (Tabela 2), demonstrando desempenhos ainda melhores. Os índices obtidos foram elevados para todos os modelos, entretanto, os modelos lineares únicos e o de Gompertz (CC.LC) foram os que apresentaram os maiores valores, classificando-se com ótimo desempenho. Quanto aos erros, esses modelos também se destacaram obtendo valores de RMSE e MBE muito próximos ou iguais a zero.

Na literatura, os modelos matemáticos mais usados na estimativa da área foliar das plantas são os lineares e exponenciais assumindo valores de CC, LC ou CC.LC (Adami et al., 2008; Godoy et al., 2007), todavia, o uso do modelo de Gompertz sugerido neste estudo é uma alternativa a esses modelos, visto que o mesmo possui ótimo ajuste a tendências lineares e exponenciais de distribuição dos dados.

Os modelos de estimativa da AC que apresentaram os melhores índices de precisão e de exatidão com os menores erros por clone (Tabelas 1 e 2) são destacados na Tabela 3. Percebe-se, para os clones IPA Clone 20, F8 e F21, que devem ser usados os mesmos modelos e para os demais clones devem ser utilizados seus respectivos modelos matemáticos no cálculo da AC.

A análise do desempenho desses modelos (Tabela 3) na estimativa da AC de clones cultivados no município de Serra Talhada em um ambiente climático e de cultivo diferente daquele em que foram calibrados, revelou que sua precisão e exatidão também foram ótimas e os erros foram baixos para três clones analisados (Tabela 4). A precisão dos modelos foi elevada (> 0,9301) o mesmo ocorrendo com a exatidão (> 0,9639). O MBE foi baixo, sendo inferior a -2,37 cm², enquanto que o RMSE foi menor do que 35,98 cm², significando que

Tabela 3. Modelos com melhores desempenhos para a estimativa da área do cladódio (AC, cm²) de clones de palma forrageira (*Opuntia* sp. e *Nopalea* sp.)

Clones	Modelos de estimativa da AC
IPA Clone 20	AC=0,7318(1-exp(-0,0034.CC.LC))/0,0034
Orelha de elefante Mexicana	AC=0,7086(1-exp(-0,000045765.CC.LC))/0,000045765
F8	AC=0,7318(1-exp(-0,0034.CC.LC))/0,0034
Miúda	AC=0,7198.CC.LC
F21	AC=0,7318(1-exp(-0,0034.CC.LC))/0,0034
IPA Sertânia	AC=1,6691(1-exp(0,0243.PC))-0,0243
V19	AC=1,9610(1-exp(0,0242.PC))-0,0242
F13	AC=0,7696(1-exp(-0,0003.CC.LC))/0,0003
F15	AC=0,7169.CC.LC

Tabela 4. Avaliação dos modelos dos clones Orelha de Elefante Mexicana (OEM), Miúda (MIU) e IPA Sertânia (IPA) ajustados utilizando-se dados de experimento conduzido em Arcoverde - PE e aplicados para dados coletados em Serra Talhada - PE

Clone	Variável	r	d	Desempenho	MBE	RMSE
Orelha de Elefante Mexicana	CC.LC	0,9772	0,9890	Ótimo	-0,22	26,38
Miúda	CC.LC	0,9682	0,9820	Ótimo	-2,37	10,62
IPA Sertânia	PC	0,9301	0,9639	Ótimo	-1,61	35,98

r = coeficiente de correlação de Pearson (adimensional); d = índice de concordância (adimensional); MBE = erro médio de estimativa (cm²) e RMSE = raiz quadrada do quadrado do erro médio (cm²)

as formas dos cladódios são características inerentes aos seus respectivos clones e o ambiente e o manejo influenciam, basicamente, no tamanho e no número de cladódios das plantas podendo, com isto, os modelos serem aplicados em diferentes regiões de cultivo na estimativa da AC. O ambiente e o manejo são mais determinantes nos valores do IAC. Essa tendência é confirmada por Dubeux Jr. et al. (2006), que destacaram a influência das práticas de manejo sobre o IAC do clone IPA clone 20.

Comparação da AC e do IAC dos clones

Comparando a AC e o IAC dos clones de palma forrageira (Tabela 5) verifica-se que o maior valor da AC encontrado foi para a Orelha de Elefante Mexicana, a qual não se diferenciou da IPA Clone 20 e esta da IPA Sertânia e V19. Por sua vez, a IPA Sertânia não se diferenciou da F15, e este clone dos demais (F13, F21, Miúda e F8), sendo esses os de menores valores de AC. Oliveira Júnior et al. (2009) verificam, avaliando a evolução da área do cladódio de oito clones de palma forrageira sob diferentes espaçamentos no Semiárido paraibano, que a IPA Clone 20 foi a que apresentou maior área do cladódio, enquanto a Miúda foi a de menor área. Já o IAC, no presente trabalho, os maiores valores foram obtidos pela Miúda, entretanto não apresentaram diferenças dos clones F8, Orelha de Elefante Mexicana, IPA Clone 20, F21 nem de IPA Sertânia, mas foram semelhantes entre si e em relação a V19.

Os mesmos clones, com exceção da F21, também não obtiveram diferenças entre si nem com a F15, mas, com exceção

Tabela 5. Médias da área do cladódio (AC) e do índice de área do cladódio (IAC) de clones de palma forrageira (*Opuntia* sp. e *Nopalea* sp.), com um ano e meio de ciclo, cultivados em Arcoverde, Pernambuco

Clone	AC	IAC
IPA-20	367,23 ab	0,986 abcd
Orelha de Elefante Mexicana	426,77 a	1,164 abcd
F8	150,85 d	1,766 abc
Miúda	120,75 d	2,313 a
F21	120,24 d	1,938 ab
IPA Sertânia	284,86 bc	1,070 abcd
V19	297,09 b	0,570 bcd
F13	173,32 d	0,338 d
F15	200,57 cd	0,382 cd

Médias seguidas pelas mesmas letras na vertical não se diferenciam entre si pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

da F8, se diferenciaram entre si e da F15. Os menores valores de IAC foram verificados para a F13 porém sem diferenças com os clones IPA Clone 20, Orelha de Elefante Mexicana, IPA Sertânia, V19 e F15.

Inferese, portanto, que nem todo clone de palma que possui a maior área do cladódio, necessariamente irá apresentar maior IAC pois, como observado na Tabela 5, a Orelha de Elefante Mexicana, mesmo apresentando a maior AC, não foi a que obteve o maior IAC, mas sim, a Miúda, mesmo não apresentando diferenças significativas entre si. Este resultado pode ser explicado pelo fato da Miúda, embora possuindo AC menores, emite mais cladódios do que a Orelha de Elefante Mexicana totalizando, no final, maior IAC, porém, esta tendência pode variar com a condição do cultivo, conforme demonstrado por Dubeux Jr. et al. (2006), Oliveira Junior et al. (2009), Sales et al. (2013) e Zegbe et al. (2014).

Evolução do tamanho dos cladódios dos clones

A partir dos modelos de Gompertz foi possível determinar as taxas máximas de crescimento da área do cladódio em relação ao aumento do CC, LC e PC (Tabela 6). A Orelha de Elefante Mexicana foi a que apresentou maior resposta da sua AC em relação ao crescimento do CC e do PC, ou seja, a cada aumento de unidade no seu comprimento e no seu perímetro, a AC aumentou o equivalente a 8,0873 ($\pm 0,8294$) e 2,1350 ($\pm 0,0902$) cm^2 , respectivamente. Por sua vez, a IPA Sertânia foi a que apresentou os maiores valores em relação a LC e a F8 os menores valores. A Miúda foi o clone que apresentou as menores taxas máximas para o CC e PC justificando o fato de seus cladódios apresentarem área reduzida uma vez que os incrementos de seu comprimento (3,1938 $\pm 0,1459$) e perímetro (1,2620 $\pm 0,0461$) são pequenos e pouco contribuem para o aumento de sua área. Por sua vez, para a Orelha de Elefante Mexicana tende a apresentar maiores valores de área dos cladódios devido à contribuição, sobretudo do crescimento de seu CC e o PC.

Relação do IAC e a produtividade da palma forrageira

Para os clones estudados verificou-se uma relação entre a produtividade, em toneladas de matéria verde por hectare e o IAC (Figura 2). Pelos resultados, e à medida que há um aumento do IAC, a produtividade dos clones também apresenta um incremento até se estabilizar em valores superiores a 1,5 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$, ou seja, acima desses valores o rendimento da cultura se torna praticamente constante. Contudo, vale salientar que este comportamento depende também do espaçamento de plantio utilizado. Cortázar & Nobel (1991) e Nobel (1991) citam que a produtividade máxima da palma ocorreu quando os valores

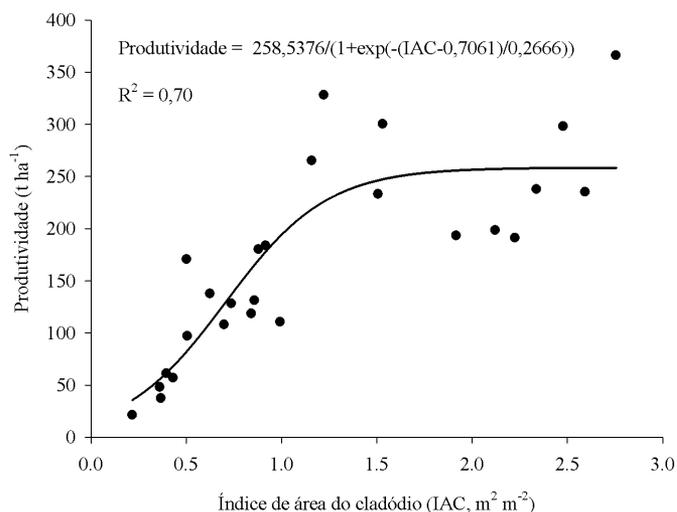


Figura 2. Relação entre a produtividade e o índice de área do cladódio de clones de palma forrageira (*Opuntia* sp. e *Nopalea* sp.), cultivados em Arcoverde, Pernambuco

de IAC da cultura variaram entre 4 e 5 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ considerando-se na estimativa do IAC, os dois lados dos cladódios que neste caso, equivaleriam de 2 a 2,5 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$, assumindo apenas uma face. Segundo esses autores, uma redução da produtividade é observada quando o IAC apresenta valores superiores a esses (2 a 2,5 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$), logo que seu aumento induz a diminuição da incidência de radiação fotossinteticamente ativa e, conseqüentemente, da captação de dióxido de carbono por unidade de área do cladódio. No presente estudo o IAC explicou, em 70%, a variação dos valores da produtividade dos clones de palma forrageira (Figura 2), os quais ainda podem estar associados às condições meteorológicas do ambiente de cultivo e do manejo adotado para a cultura (Dubeux Jr. et al., 2006; Peduzzi et al., 2012; Sales et al., 2013; Zegbe et al., 2014).

Evolução do IAC de clones de palma forrageira

Os modelos matemáticos de AC, desenvolvidos e avaliados a partir de dados coletados em Arcoverde, PE, e também analisados para as condições de Serra Talhada, PE, foram utilizados na avaliação da evolução do IAC de três clones (Figura 3). Verifica-se que o clone OEM apresentou os maiores valores de IAC quando comparados à Miúda e IPA Sertânia que, por outro lado não se diferenciaram entre si ($p > 0,05$). Esses resultados refletiram na produtividade dos clones, a qual foi superior para a *Opuntia* sp. (Orelha de Elefante Mexicana = 163,0 t ha^{-1}), quando comparada aos outros dois clones do gênero *Nopalea* sp. (Miúda = 117,5 t ha^{-1} e IPA = 124,3 t ha^{-1}).

Tabela 6. Taxa máxima de crescimento da área do cladódio, $\text{cm}^2 \text{cm}^{-1} \text{dia}^{-1}$, em função da evolução do comprimento (CC), largura (LC) e perímetro do cladódio (PC) de clones de palma forrageira (*Opuntia* sp. e *Nopalea* sp.)

Clones	CC	LC	PC
IPA Clone 20	4,8004 ($\pm 0,4187$)	10,6556 ($\pm 0,9075$)	1,7648 ($\pm 0,0980$)
Orelha de Elefante Mexicana	8,0873 ($\pm 0,8294$)	8,9814 ($\pm 0,6852$)	2,1350 ($\pm 0,0902$)
F8	4,3099 ($\pm 0,1611$)	6,1990 ($\pm 0,3469$)	1,5057 ($\pm 0,0394$)
Miúda	3,1938 ($\pm 0,1459$)	7,0231 ($\pm 0,3526$)	1,2620 ($\pm 0,0461$)
F21	3,7679 ($\pm 0,1704$)	6,0587 ($\pm 0,2955$)	1,3806 ($\pm 0,0431$)
IPA Sertânia	4,5228 ($\pm 0,3691$)	10,8191 ($\pm 0,7386$)	1,8226 ($\pm 0,0999$)
V19	6,6190 ($\pm 0,3546$)	6,8487 ($\pm 0,4517$)	1,9610 ($\pm 0,0614$)
F13	4,3390 ($\pm 0,3095$)	7,6001 ($\pm 0,4948$)	1,4248 ($\pm 0,0456$)
F15	6,3689 ($\pm 0,6639$)	7,7001 ($\pm 0,5832$)	1,6703 ($\pm 0,1003$)

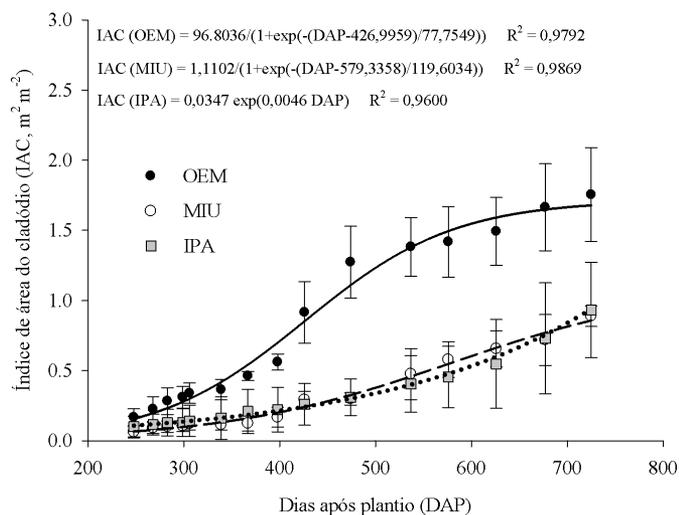


Figura 3. Evolução do índice de área do cladódio (IAC) de três clones palma forrageira (IPA Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana), em Serra Talhada, PE, Semiárido brasileiro

Tendências semelhantes têm sido verificadas em vários estudos indicando não apenas as diferenças da evolução do IAC mas também a influência do ambiente de cultivo e do manejo sobre seus respectivos valores de produtividade (Dubeux Jr. et al., 2006; Sales et al., 2013).

Conclusões

A técnica de imagens digitais obtidas a partir de “scanner” comercial, pode ser aplicada para determinação da área de cladódios de palma forrageira desde que sejam realizadas adaptações e peculiaridades no processo de escaneamento. O modelo linear único e o de Gompertz individual ou único, apresentam eficiência na obtenção da AC. A Orelha de Elefante Mexicana foi o clone com maior área do cladódio. Houve um incremento da produtividade de massa verde da palma forrageira com o aumento do índice de área do cladódio. O IAC da Orelha de Elefante Mexicana apresenta nas condições semiáridas, evolução superior à dos clones Miúda e IPA Sertânia.

Literatura Citada

- Adami, M.; Hastenreiter, F. A.; Flumignan, D. L.; Faria, R. T. de. Estimativa de área de folíolos de soja usando imagens digitais e dimensões foliares. *Bragantia*, v.67, n.4, p.1053-1058, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052008000400030>>.
- Brasil. Normais climatológicas 1961-1990. Brasília: INMET, 2009. 465 p.
- Camargo, A. P.; Sentelhas, P. C. Avaliação de desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.5, n.1, p.89-97, 1997.
- Carvalho, D. F.; Oliveira, A. D. de; Pereira, J. B. A. Ajuste de modelos para estimativa do índice de área foliar e acúmulo de biomassa do pimentão em função de graus-dias. *Semina: Ciências Agrárias*, v.32, n.3, p.971-982, 2011. <<http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n3p971>>.
- Cepeda, R. D. V.; Macías, F. B.; Quintanar, R. M.; Alvarado, R. V.; Gallegos, S. de J. M. Fruit weight and number of fruits per cladode depend on fruiting cladode fresh and dry weight in *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller variety ‘Rojo pelón’. *Scientia Horticulturae*, v.161, p.165-169, 2013. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2013.06.009>>.
- Cortázar, V.; Nobel, P. S. Prediction and measurement of high annual productivity for *Opuntia ficus-indica*. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.56, n.3-4, p.261-272, 1991. <[http://dx.doi.org/10.1016/0168-1923\(91\)90095-8](http://dx.doi.org/10.1016/0168-1923(91)90095-8)>.
- Cruz, C. D. Programa Genes: análise multivariada e simulação. Viçosa, MG, UFV, 2006. 175 p.
- Dubeux Jr., J. C. B.; Santos, M. V. F. dos; Lira, M. de A.; Santos, D. C. dos; Farias, I.; Lima, L. E.; Ferreira, R. L. C. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in north-east Brazil. *Journal of Arid Environments*, v.67, n.3, p.357-372, 2006. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.02.015>>.
- Dubeux Júnior, J. C. B.; Araújo Filho, J. T. de; Santos, M. V. F. dos; Lira, M. de A.; Santos, D. C. dos; Pessoa, R. A. S. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira - Clone IPA-201. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.5, n.1, p.129-135, 2010. <<http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v5i1a591>>.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa, 2006. 306p.
- Godoy, L. J. G. de; Yanagiwara, R. S.; Bôas, R. L. V.; Backes, C.; Lima, C. P. de. Análise da imagem digital para estimativa da área foliar em plantas de laranja “pêra”. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.29, n.3, p.420-424, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452007000300004>>.
- Lucena, R. R. M. de; Batista, T. M. de V.; Dombroski, J. L. D.; Lopes, W. de A. R.; Rodrigues, G. S. de O. Medição da área foliar de aceroleira. *Revista Caatinga*, v.24, n.2, p.40-45, 2011. <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=237117605006>> 21 Dez. 2013.
- Marcon, M.; Mariano, K.; Braga, R. A.; Paglis, C. M.; Scalco, M. S.; Horgan, G. W. Estimation of total leaf area in perennial plants using image analysis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.1, p.96-101, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000100014>>.
- Nobel, P. S. Achievable productivities of CAM plants: basis for high values compared with C3 and C4 plants. *New Phytology*, v.119, n.2, p.183-205, 1991. <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.1991.tb01022.x>>.
- Oliveira Júnior, S.; Barreiro Neto, M.; Ramos, J. P. de F.; Leite, M. L. de M. V.; Brito, E. A. de; Nascimento, J. P. do. Crescimento vegetativo da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) em função do espaçamento no Semiárido paraibano. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, v.3, n.1, p.7-12, 2009. <http://www.emepa.org.br/revista/volumes/tca_v3_n1_fev/tca02_palma.pdf>. 18 Dez. 2013.
- Oliveira, F. T. de; Souto, J. S.; Silva, R. P. da; Andrade Filho, F. C. de; Pereira Júnior, E. B. Palma forrageira: adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. *Revista Verde*, v.5, n.4, p.27-37, 2010. <<http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/336>>. 16 Dez. 2013.

- Peduzzi, A.; Wynne, R. H.; Fox, T. R.; Nelsonm, R. F.; Thomas, V. A. Estimating leaf area index in intensively managed pine plantations using airborne laser scanner data. *Forest Ecology and Management*, v.270, p.54-65, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2011.12.048>>.
- Sales, A. T.; Leite, M. L. de M. V.; Alves, A. Q., Ramos, J. P. de F.; Nascimento, J. P. do. Crescimento vegetativo de palma forrageira em diferentes densidades de plantio no Curimatú Paraibano. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, v.7, n.1, p.19-24, 2013. <http://www.emepa.org.br/revista/volumes/tca_v7_n1_mar/tca7104.pdf>. 18 Dez. 2013.
- Toebe, M.; Brum. B.; Lopes, S. J.; Cargnelutti Filho, A.; Silveira, T. R. da. Estimativa da área foliar de *Crambe abyssinica* por discos foliares e por fotos digitais. *Ciência Rural*, v.2, n.2, p.475-478, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010000200036>>.
- Zegbe, J. A.; Pérez, A. S.; Covarrubias, J. M. Mineral nutrition enhances yield and affects fruit quality of ‘Cristalina’ cactus pear. *Scientia Horticulturae*, v.167, p.63-70, 2014. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2013.12.023>>.