

KARINA MENDES PINHEIRO

MÉTODOS INDIRETOS DE ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA DO CLADÓDIO DA
PALMA FORRAGEIRA E SUA RELAÇÃO COM AS CARACTERÍSTICAS
MORFOGÊNICAS E PRODUTIVAS

SERRA TALHADA-PE

2014

KARINA MENDES PINHEIRO

MÉTODOS INDIRETOS DE ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA DO CLADÓDIO DA
PALMA FORRAGEIRA E SUA RELAÇÃO COM AS CARACTERÍSTICAS
MORFOGÊNICAS E PRODUTIVAS

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva

Coorientadores: Magna Soelma B. de Moura
Maria da Conceição Silva

Serra Talhada-PE

2014

Com base no disposto na **Lei Federal N° 9.610**, de 19 de fevereiro de 1998. [...] Autorizo para fins acadêmicos e científico a UFRPE/UAST, a divulgação e reprodução TOTAL, desta dissertação “Métodos indiretos de estimativa do índice de área do cladódio da palma forrageira e sua relação com as características morfológicas e produtivas”, sem ressarcimento dos direitos autorais, da obra, a partir da data abaixo indicada ou até que manifestação em sentido contrário de minha parte determine a cessação desta autorização.

Karina Mendes Pinheiro

Assinatura

23/04/2014

Data

Ficha catalográfica

P654m Pinheiro, Karina Mendes.

Métodos indiretos de estimativa do índice de área do cladódio da palma forrageira e sua relação com as características morfológicas e produtivas / Karina Mendes Pinheiro. – 2014.

57 f.: il.

Orientador: Thieres George Freire da Silva.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, 2014.

Referências, anexos e apêndice.

1. Palma forrageira – análise de crescimento. 2. Semiárido – rendimento da palma. 3. *Nopalea* sp. 4. *Opuntia* sp. I. Silva, Thieres George Freire da, orientador. II. Moura, Magna Soelma Bezerra de, coorientadora. III. Silva, Maria da Conceição, coorientadora. IV. Título.

CDD 631

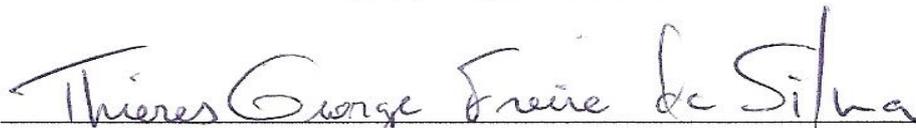
KARINA MENDES PINHEIRO

MÉTODOS INDIRETOS DE ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA DO CLADÓDIO DA
PALMA FORRAGEIRA E SUA RELAÇÃO COM AS CARACTERÍSTICAS
MORFOGÊNICAS E PRODUTIVAS

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

APROVADO em 26 / 02 / 2014 .

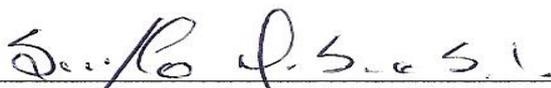
Banca Examinadora



Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva– UAST/UFRPE
Orientador



Prof. Dr. André Luiz Alves de Lima– UAST/UFRPE
Examinador Interno



Dr. Sérvulo Mercier Siqueira e Silva– IPA Arco Verde
Examinador Externo



Dr. Sérgio Zolnier- UFV
Examinador Externo

Aos meus pais Antônio Gomes Pinheiro e Rosana Mendes, por todo amor, compreensão, educação, orações e por acreditarem em minha capacidade. Incentivando, apoiando minhas escolhas e não medindo esforços para realizá-las.

Aos meus irmãos: Adriana, Kátia e José Rogério (*In Memoriam*) por todo amor, carinho e amizade.

Ao meu noivo Edilson Cantanhede Garcia, por seu apoio, companheirismo, confiança, estímulo, paciência e força para conquistar os meus objetivos.

À minha família e amigos pela torcida e momentos alegres.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À DEUS, pela vida, pela saúde e todas as conquistas alcançadas, sem Ele nada seria possível.
Ao meu orientador, professor Thieres George Freire da Silva, pelos inúmeros ensinamentos, atenção, conselhos, dedicação e disponibilidade que me forneceu durante esses anos de trabalho.

À minha coorientadora Magna Soelma Bezerra de Moura, pela sua ajuda.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Unidade Acadêmica de Serra Talhada-UAST, pela oportunidade.

Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco-IPA, por permitir utilizar a área experimental e realizar meu trabalho.

À Fundação de Amparo a Pesquisa de Pernambuco-FACEPE, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao coordenador do Curso de Pós- Graduação em Produção Vegetal, pelo apoio e confiança.

Aos docentes do Curso de Pós- Graduação em Produção Vegetal, pelos conhecimentos e experiência transmitidos.

Aos amigos Francilene, Vanessa, Taciana e Antunes pela convivência, companhia nas longas madrugadas de estudo e acima de tudo pela amizade construída.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal-2012.

A todos os membros do Grupo de Agrometeorologia do Semiárido (Herica, Mery, Wellington, Janailton, Jandelson, José Edson, José Eduardo, José Neto, Lucivânia, Taciana, Poliana, Tamara, Naiara, Carlos André, Carlos Thiago, Gabriela, Jucilene, Elvis, Marcelo, Anderson, Dedé e George) pela convivência, ajuda e companhia nos trabalhos de campo e laboratório, além da amizade construída durante esses anos.

A todos os amigos e familiares que contribuíram direta ou indiretamente para que tudo fosse possível.

Há três métodos para ganhar sabedoria: primeiro, por reflexão, que é o mais nobre; segundo, por imitação, que é o mais fácil; e terceiro, por experiência, que é o mais amargo.

(Confúcio)

MÉTODOS INDIRETOS DE ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA DO CLADÓDIO DA PALMA FORRAGEIRA E SUA RELAÇÃO COM AS CARACTERÍSTICAS MORFOGÊNICAS E PRODUTIVAS

RESUMO GERAL

O índice de área foliar é uma informação imprescindível na investigação da adaptação ecológica de indivíduos a novos ambientes e, crucial na avaliação dos efeitos do manejo no desempenho da cultura. Com isso, a precisão de sua medida é fundamental. Há vários métodos indiretos que são usados para esse fim, com intuito de facilitar a coleta de dados em campo. Todavia, muitos são onerosos e, ou, trabalhosos, por isso a necessidade de serem analisados individualmente. A modelagem, por requerer poucas informações de entrada, surge como uma alternativa de simplificação na obtenção desses dados. O índice de área foliar depende de características morfogênicas das plantas, e condiciona a produtividade das culturas. Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o uso de métodos indiretos de medida do índice de área do cladódio (IAC) de palma forrageira para a avaliação da relação do IAC com características morfogênicas e produtivas. Os dados experimentais foram coletados em um Banco Ativo de Germoplasma (BAG), situado no Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, em Serra Talhada. Em 180 plantas de três clones (IPA Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana) do BAG, foram registrados dados morfogênicos e, ou, de biomassa. Por meio desses dados, foram avaliados diferentes técnicas de mensuração do IAC, em relação ao método digital, que serviu como referência nesse trabalho. Os métodos indiretos de estimativa do índice de área foliar utilizados foram: o método da interceptação de luz (ceptômetro - AccuPAR, LP-80, Decagon Devices, Pullman, EUA) e suas derivações quanto ao formato de obtenção da medição dentro da subárea experimental, discos foliares do cladódio médio, planimetria do cladódio médio, e modelagem com base na morfogênese total da planta, da ramificação representativa ou do cladódio médio. O desempenho dos métodos foi analisado por índices e erros estatísticos, e com o teste t de Student a 5% de significância ($p > 5\%$). No desdobramento da contribuição das características morfogênicas sobre o IAC, e desta sobre a produtividade da cultura, foi usada a análise de trilha ($p < 5\%$). O método do ceptômetro, planimetria e área foliar específica não são recomendados para a estimativa do IAC da palma forrageira. O uso do método da modelagem obteve melhor desempenho em relação aos demais métodos indiretos. Por sua vez, o IAC e o NCT podem ser utilizados como indicativo

de resposta produtiva da cultura ao ambiente, ou seja, as características morfogênicas da planta são determinantes na definição do IAC dos clones da palma forrageira.

Palavras-chave: Análise de crescimento, *Nopalea* sp., *Opuntia* sp., Rendimento da palma, Semiárido

**INDIRECT METHODS THE DETERMINATION OF THE CLADODE AREA
INDEX FORAGE CACTUS CLONES AND ITS RELATION TO MORPHOGENETIC
AND PRODUCTION CHARACTERISTICS.**

GENERAL ABSTRACT

The leaf area index (LAI) is a fundamental information on investigation of the ecological adaptation of individuals to new environments and crucial in assessing the effects of the management on crop yield. This, the accuracy of the measurement of LAI is critical. There are several indirect methods that are used for this purpose, in order to facilitate the collection of data in the field. However many are onerous and, or, costly, why the need to be analysed individually. The modelling method, by requiring less entry information, appears as an alternative of simplification in obtaining these data. The LAI depends on morphogenetic features of plants, and makes the crop productivity. Therefore, the objective of this work was to evaluate the use of indirect methods of measurement of cladode area index (CAI) of forage cactus for the evaluation of the relationship of the IAC with morphogenetic features and productive. The experimental data were collected in a Germplasm Active Bank (GAB) located at the Instituto Agronômico de Pernambuco - IPA, in Serra Talhada. In 180 plants of three clones (IPA Sertânia, Miúda and Orelha de Elefante Mexicana) morphogenesis and biomass data were recorded. The techniques of estimative of the CAI were evaluated in relation to the digital method (reference). The Indirect methods used were: the method of light interception (ceptômetro-AccuPAR, LP-80, Decagon Devices, Pullman, USA) and its derivations with regard to obtaining the measurement format within the sub-area experimental, foliar discs of medium cladode, planimetric method of medium cladode, and modelling method based on plant total morphogenesis, plant representative ramification morphogenesis and medium cladode morphogenesis. The performance of methods was reviewed by statistical indexes and errors, and with Student's t-test at 5% of significance ($p > 5\%$). In the analyze of the contribution of the morphogenetic features about the IAC, and this on the crop yield was used in the path analysis. The ceptometer, planimetric and specific leaf area methods are not recommended for the estimation of the forage cactus IAC Palm. The use of the method of modeling obtained better performance compared to other indirect methods. In turn, the IAC and cladode total number can be used as indicative crop productive response to environment, i.e. the morphogenetic features of the plant are crucial in definition of the forage cactus clones IAC.

Keywords: growth analysis, *Nopalea* sp., *Opuntia* sp., cactus forage yield, Semiarid

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1- Relação entre os valores observados de referência e estimados pelo método da modelagem (I, II e III) do índice de área do cladódio de clones de palma forrageira (IPA Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana).....	33
---	----

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1-Avaliação do método indireto da interceptação de radiação pelo dossel (ceptômetro) aplicado em diferentes formatos de medição na parcela para a estimativa do índice de área do cladódio do clone IPA Sertânia.....	34
Tabela 2- Avaliação do método indireto da interceptação de radiação pelo dossel (ceptômetro) aplicado em diferentes formatos de medição na parcela para a estimativa do índice de área do cladódio do clone Miúda.....	35
Tabela 3- Avaliação do método indireto da interceptação de radiação pelo dossel (ceptômetro) aplicado em diferentes formatos de medição na parcela para a estimativa do índice de área do cladódio do clone Orelha de Elefante Mexicana.....	36
Tabela 4- Avaliação dos métodos indiretos da planimetria do cladódio médio e dos discos foliares (DF Total - discos foliares de todos os cladódios da planta; DF Ramificação - discos foliares dos cladódios de uma ramificação representativa; DF Cladódio Médio – discos foliares do cladódio médio da planta) aplicados a três clones de palma forrageira (IPA – IPA Sertânia, MIU-Miúda, OEM- Orelha de Elefante Mexicana.....	37
Tabela 5- Avaliação dos métodos indireto de modelagem (I - morfogênese de todos os cladódios da planta; II - morfogênese dos cladódios de uma ramificação representativa; III - morfogênese de um cladódio médio da planta) aplicados a três clones de palma forrageira (IPA – IPA Sertânia, MIU – Miúda OEM – Orelha de Elefante Mexicana).....	38

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1- Coeficientes de correlação fenotípica de Pearson entre as variáveis respostas e explicativas do clone IPA Sertânia em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro.....	51
Tabela 2 - Coeficientes de correlação fenotípica de Pearson entre as variáveis respostas e explicativas do clone Miúda em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro.....	52
Tabela 3- Coeficientes de correlação fenotípica de Pearson entre as variáveis respostas e explicativas do clone Orelha de Elefante Mexicana em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro.....	54
Tabela 4- Desdobramento das correlações fenotípicas do índice de área do cladódio e do rendimento do clone IPA Sertânia em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro.....	55
Tabela 5- Desdobramento das correlações fenotípicas do índice de área do cladódio do clone Miúda em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro.....	56
Tabela 6- Desdobramento das correlações fenotípicas do rendimento do clone Miúda em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro.....	58
Tabela 7- Desdobramento das correlações fenotípicas do índice de área do cladódio do clone Orelha de Elefante Mexicana em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro.....	60
Tabela 8- Desdobramento das correlações fenotípicas do rendimento do clone Orelha de Elefante Mexicana em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro.....	61

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS DO CAPÍTULO 1.....	11
LISTA DE TABELAS DO CAPÍTULO 1.....	12
LISTA DE TABELAS DO CAPÍTULO 2.....	13
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	15
2 REFERÊNCIAS.....	18
3 CAPÍTULO 1: AVALIAÇÃO DE MÉTODOS INDIRETOS PARA A DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ÁREA DO CLADÓDIO DE CLONES DE PALMA FORRAGEIRA.....	20
3.1 RESUMO.....	20
3.2 ABSTRACT.....	21
3.3 INTRODUÇÃO.....	22
3.4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
3.6 CONCLUSÕES.....	29
REFERÊNCIAS.....	30
4 CAPÍTULO 2: RELAÇÕES DO ÍNDICE DE ÁREA DO CLADÓDIO DE PALMA FORRAGEIRA COM CARACTERÍSTICAS MORFOGÊNICAS E PRODUTIVAS.....	39
4.1 RESUMO.....	39
4.2 ABSTRACT.....	40
4.3 INTRODUÇÃO.....	41
4.4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	42
4.5 RESULTADOS.....	44
4.6 DISCUSSÃO.....	46
4.7 CONCLUSÕES.....	47
REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO GERAL

O semiárido está inserido em 57,53 % do Nordeste brasileiro, representando em torno de 70 % de Pernambuco, com características marcadas por precipitação pluviométrica anual inferior a 750 mm, altas temperaturas e elevadas taxas de evapotranspiração. Esses fatores dificultam ou até mesmo impossibilitam a ampla produção agrícola em condições de sequeiro (SUDENE, 2012). Desta forma, a pecuária tornou-se umas das atividades econômicas mais importantes, porém a produção de forragens para alimentação animal encontra obstáculos (LOPES, 2007). Assim, a utilização de plantas, como a palma forrageira, adaptadas às condições climáticas do semiárido surge como alternativa para contornar esse problema e minimizar a escassez de alimentos (OLIVEIRA et al., 2006).

A palma forrageira (*Nopalea* sp. e *Opuntia* sp.) apresenta boa adaptação às regiões áridas e semiáridas, com uma grande área cultivada no Nordeste brasileiro para alimentação animal. É uma planta com elevado potencial morfofisiológico, capaz de suportar condições climáticas de altas temperaturas e déficit hídrico, além de acumular elevada fitomassa, devido seu metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), resultando em alta eficiência no uso da água (RANGEL et al., 2009). Possui um enorme potencial produtivo e de múltiplas utilidades, com uso na alimentação humana, na produção de medicamentos, cosméticos e corantes, na conservação e recuperação de solos, cercas vivas, paisagismo, além de uma infinidade de usos (LOPES, 2007).

Entretanto, faltam estudos que possam relacionar a resposta morfofisiológica da palma forrageira a sua capacidade produtiva. Para obtenção desses dados, faz-se necessário o uso da área foliar, conhecida por ser um parâmetro indicativo de produtividade, pois o processo fotossintético depende da interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e da sua conversão em energia química, além de realizar trocas gasosas e transpiração (TAIZ e ZEIGER, 2004). A avaliação do desenvolvimento da área foliar pode ser usada para investigar a sua adaptação ecológica a novos ambientes, sua competição com outras espécies, os efeitos de seu manejo e tratamentos culturais, a identificação da capacidade produtiva de seus diferentes genótipos e o efeito do ataque de doenças (MONTEIRO et al., 2005). A área foliar de uma planta irá depender do número e do tamanho das folhas, além do tempo que irá permanecer na planta. A utilização de um método não destrutivo permitirá realizar um acompanhamento da planta até o final do seu ciclo ou do estudo que se pretende realizar (BIANCO et al., 2007)

No entanto, existe carência de trabalhos com técnicas de estimativa de área foliar com métodos indiretos em palma forrageira, havendo a necessidade de se estudar uma técnica de medição indireta que apresente a mesma eficiência de uma técnica direta, e que possa ser uma alternativa mais rápida. O objetivo deste trabalho foi, assim, para o desenvolvimento de um modelo não-destrutivo, empírico para estimar a área foliar de coqueiro-anão verde com o número de variáveis reduzido ao mínimo, o que facilita a coleta de dados e o que o torna útil para uma medida mais ampla de usuários, tais como técnicos agrícolas e agricultores. A palma forrageira apresenta folhas, porém, as mesmas são muito pequenas e caducam com o desenvolvimento dos cladódios, que se tornam responsáveis pelas funções fotossintéticas da planta. Desta forma, para analisar a interceptação de radiação fotossintética pela palma, utiliza-se o índice de área de cladódio (IAC) (SILVA et al., 2010), que é um índice que pode ser utilizado para a avaliação de técnicas culturais como poda, adubação, densidade de plantio e aplicação de defensivos (PEREIRA et al., 1997).

A área foliar de uma planta pode ser obtida através de métodos diretos ou destrutivos e métodos indiretos, o qual é feita a estimativa da área foliar, porém necessita de aferição para diferentes condições de ambiente. Os métodos diretos, na sua maioria são destrutivos e demorados, necessitando fazer a colheita de folhas ou de biomassa, apresentando como limitações a aplicação em amostras com disponibilidade limitada e a impossibilidade, ao longo do tempo, a avaliação, na mesma amostra, de outras características além da área foliar (ARAUJO et al., 2005). Por sua vez, os métodos indiretos estimam a área foliar a partir de uma determinada variável independente. Aparelhos eletrônicos que fornecem a área foliar (ex.: LI-COR 3100, Área meter) são bastante precisos, mas por não serem fabricados no Brasil possuem custo elevado e são de difícil manutenção (GODOY et al., 2007). Existem os métodos indiretos, que se baseiam em medidas de radiação solar e utilizam apenas a informação da fração de radiação transmitida que não sofreu atenuação pela estrutura do dossel vegetativo, destacando-se dentre os muitos aparelhos comercializados o LAI2000 e o Ceptômetro (COELHO FILHO et al., 2005). O uso de modelos para estimar a área foliar é simples, rápido, preciso e confiável (TOEBE et al., 2010). A utilização de imagens digitais obtidas por scanner e processadas por programas computacionais específicos, surge como outra técnica e já tem sido bastante difundida, de modo que as imagens são processadas e se obtém confiabilidade semelhante aos métodos diretos (ADAMI et al., 2008).

O índice de área foliar em uma cultura agrícola depende das condições edafoclimáticas, da cultivar e da densidade populacional, entre outros fatores (MONTEIRO et al., 2005). A produtividade máxima da palma está relacionada com o aumento do seu IAC,

porém a mesma pode apresentar uma redução em decorrência de uma menor incidência de radiação fotossinteticamente ativa e, conseqüentemente da captação de dióxido de carbono (CORTÁZAR e NOBEL, 1991). Uma importante ferramenta para avaliação da dinâmica do crescimento de folhas e perfilhos em comunidade de plantas forrageiras é o estudo dos processos morfogênicos (FAGUNDES et al., 2006). No entanto, pode sofrer influência dos fatores ambientais como, temperatura, disponibilidade hídrica, nutrientes e outros (FAGUNDES et al., 2005).

Assim, para estabelecer relações do IAC, com características morfogênicas e produtividade, pode-se utilizar a matriz de correlação e a análise de trilha. Segundo Kurek et al. (2001), a análise de trilha é um método em que se pode entender as causas envolvidas nas associações entre as características e decompor a correlação que existe em efeitos diretos e indiretos, sobre uma variável principal.

Diante da ausência dessas informações, citadas para a palma forrageira, faz-se necessário estabelecer métodos para determinação do índice de área de cladódio em diferentes clones de palma forrageira, além de verificar a sua relação com a produtividade e as características morfogênicas.

2 REFERÊNCIAS

ADAMI, M.; FREITAS, R. M.; PADOVANI, C. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; MOREIRA, M. A. Estudo da dinâmica espaço-temporal do bioma Pantanal por meio de imagens MODIS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 1371-1378, 2008.

ARAÚJO, E. C. E.; SANTOS, E. P.; PRADO, C. H. B. A. Estimativa da área foliar da mangueira (*Mangifera indica* L.) cvs. Tommy Atkins e Haden, utilizando dimensões lineares. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.27, p.308-309, 2005.

BIANCO, S.; BIANCO, M. S.; PAVANI, M. C. M. D.; DUARTE, D. J.; Estimativa da área foliar de *Ipomea hederifolia* e *Ipomea nil* ROTH. Usando dimensões foliares do limbo foliar. **Revista Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.25, n.2, p.325-329, 2007.

COELHO FILHO, M. A.; ANGELOCCI, L. R.; VASCONCELOS, M. R. B.; COELHO, E. F. Estimativa da área foliar de plantas de lima ácida 'Tahiti' usando métodos não destrutivos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.27, p.163-167, 2005.

CORTAZAR, V.; NOBEL, P. S. Prediction and measurement of high annual productivity for *Opuntia ficus-indica*. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 56, p. 261-272, 1991.

FAGUNDES, J. L. Acúmulo de forragem em pastos de *Brachiaria decumbens* adubados com nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.4, p.397-403, abr, 2005.

FAGUNDES, J. L.; FONSECA, D. M.; MISTURA, C; MORAIS, R.V.; VITOR, C. M. T.; GOMIDE, J. A.; JUNIOR, D. N.; CASAGRANDE, D. R.; COSTA, L. T. Características morfogênicas e estruturais do capim-braquiária em pastagem adubada com nitrogênio avaliadas nas quatro estações do ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.1, p.21-29, 2006.

GODOY, L. J. G.; YANAGIWARA, R. S.; BÔAS, R. L. V.; BACKES, C.; LIMA, C. P. Análise da imagem digital para estimativa da área foliar em plantas de laranja "Pêra". **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v. 29, n.3, 2007.

KUREK, A. J.; CARVALHO, F. I. F.; ASSMANN, I. C.; MARCHIORO, V. S.; CRUZ, P. J. Análise de trilha como critério de seleção indireta para rendimento de grãos em feijão. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.07, n.01, p.29-32, 2001.

LOPES, E. B. Palma Forrageira: Cultivo, Uso Atual e Perspectivas de Utilização no Semiárido Nordestino. In: LOPES, E.B.; SANTOS, D.C.; VASCONCELOS, M. F. **Cultivo da Palma Forrageira**. João Pessoa: EMEPA/FAEPA, 2007, p.11-29.

MONTEIRO, J. E. B. A.; SENTELHAS, P. C.; CHIAVEGATO, E. J.; GUISELINI C.; SANTIAGO, A. V.; PRELA, A. Estimação da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.1, p.15-24, 2005.

OLIVEIRA, V. S. **Substituição total do milho e parcial do feno de capim Tifton por palma forrageira em dietas para vacas da raça holandesa em lactação**. 2006. 92f. Tese (Doutorado em Zootecnia) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE. 2006.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ/ESALQ/USP, 1997.70p.

RANGEL, J. A. F.; SANTOS, E. M.; LEITE, M. L. M. V.; VIANA, B. L.; LOPES, I. S.; SILVA, J. E. R.; FIGUEIREDO, J. M. Caracterização dos sistemas de plantio da palma forrageira no Cariri Ocidental Paraibano. In: **Jornada de ensino pesquisa e extensão**. 2009. Anais. 2009.

SILVA, N. G. M.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; DUBEUX JUNIOR., J. C. B.; MELLO, A. C. L.; SILVA, M. C. Relação entre características morfológicas e produtivas de clones de palma-forrageira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p. 2389-2397, 2010.

SUDENE. Desenvolvimento sustentável. Disponível em: <http://www.sudene.gov.br/acesso-a-informação>. 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TOEBE, M.; BRUM, B.; LOPES, S. J.; FILHO, A. C.; SILVEIRA, T. R. Estimativa da área foliar de *Crambe abyssinica* por discos foliares e por fotos digitais. **Ciência Rural**, v.40, n.2, p.475-478, 2010.

3 CAPÍTULO 1

MÉTODOS INDIRETOS NA DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ÁREA DO CLADÓDIO DA PALMA FORRAGEIRA

3.1 RESUMO - O objetivo desse estudo foi analisar o uso de diferentes métodos indiretos na estimativa do índice de área do cladódio da palma forrageira. O experimento foi realizado no Instituto Agronômico de Pernambuco, em Serra Talhada, PE. Foram utilizados cladódios dos clones IPA Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana, dos quais se amostrou sessenta plantas por clone, distribuídas em cinco subáreas com doze plantas. Foram avaliados os métodos da interceptação de luz e suas derivações quanto à forma de amostragem das medidas dentro das subáreas experimentais, planimétrico, discos foliares e da modelagem. Os métodos foram avaliados mediante índices e erros estatísticos. A estimativa do índice de área do cladódio da palma forrageira pelo método da modelagem foi considerada a mais precisa por apresentar valores de coeficiente de precisão e de exatidão acima de 0,90, e desempenho de muito bom a ótimo. Porém, a sua aplicabilidade depende do uso de parâmetros ou equações de ajuste dos valores estimados. Não se recomenda o uso dos métodos da interceptação de luz e de suas derivações, discos foliares do cladódio médio e da planimetria do cladódio médio para a estimativa do índice de área do cladódio da palma forrageira.

Palavras-chave: amostragem, equipamento analisador de dossel, método destrutivo, *Nopalea* sp., *Opuntia* sp.

INDIRECT METHODS IN THE DETERMINATION OF THE CLADODE AREA INDEX FORAGE CACTUS CLONES

3.2 ABSTRACT - The objective of this study was to evaluate different methods of estimating the cladode area index forage cactus clones. The experiment was accomplished in the Instituto Agronômico de Pernambuco, in the district of Serra Talhada, State of Pernambuco. IPA Sertânia, Miúda and Orelha de Elefante Mexicana clones were studied. They were sampled plants sixty of each clone, distributed in five subareas with twelve plants each. We evaluated the methods of light interception and its derivations on the sampling form of measures within the experimental subareas, planimetric, foliar discs and modelling. The methods were evaluated through statistical indices and errors. The estimation of cladode area index of forage cactus by the method of modeling was considered the most accurate by presenting values of precision and accuracy coefficient above 0.90 and performance from very good to great. However, their applicability depends on the use of equations or tuning parameters of the estimated values. It is not recommended the use light interception and its derivations with regard to obtaining the measurement format within the sub-area, foliar discs of middle cladode and planimetric of middle cladode for the estimation of the cladode area index forage cactus.

Index terms: Sampling, Canopy analyzer equipment, Destructive method, *Nopalea* sp., *Opuntia* sp.

3.3 INTRODUÇÃO

A palma é uma forrageira alternativa para as regiões áridas e semiáridas, pois apresenta aspecto fisiológico peculiar quanto à absorção, aproveitamento e transferência de água para a atmosfera. É adaptada às condições adversas de clima e solo, suportando longos períodos de estiagem, e pode atingir uma produtividade de até 40 toneladas de matéria seca por hectare por colheita bienal (SANTOS et al., 2006). O desempenho produtivo de uma cultura agrícola pode ser avaliado ao longo do seu crescimento, por meio do acompanhamento da área foliar da planta (SANPEDRO et al., 2008), visto que o processo fotossintético depende da interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e da sua capacidade de conversão em energia química (FAVARIN et al., 2002; GODOY et al., 2007).

Para espécies folhosas, a área foliar total, em geral, aumenta até um limite, no qual permanece por algum tempo, decrescendo em seguida, em razão da senescência das folhas. Desta forma, o rendimento da cultura será maior quanto mais rápido a planta atingir o máximo de área foliar e quanto mais tempo a mesma permanecer ativa (MANFRON et al., 2003). Na palma forrageira, a função fotossintética é feita pelo cladódio, que apresenta características morfológicas de emissão e dimensões lineares diferentes das demais culturas, com superfície vegetal persistindo até a ocasião da colheita. O conhecimento dessa área fotossintetizante é uma informação de muita importância na condução de pesquisas que envolvem a resposta da palma forrageira ao ambiente Semiárido, as quais são pouco exploradas.

A relação entre a área total foliar, de uma das faces do tecido fotossintético, e a superfície que a planta ocupa acima do solo caracteriza o índice de área foliar (IAF) (JONCKHEERE et al., 2004; Monteiro et al., 2005), denominado para a palma como índice de área do cladódio (IAC). O IAF ou IAC da planta varia com a espécie, estágio de desenvolvimento e com a sazonalidade. Além disso, é fortemente dependente das condições do local de plantio e das práticas culturais (Jonckheere et al., 2004).

Segundo Gower et al. (1999), a estimativa da área foliar pode ser realizada através de métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos, na sua maioria são destrutivos e demorados, necessitando a coleta de folhas ou de biomassa, de tal modo que limita a aplicação devido o baixo número de amostras e a impossibilidade, ao longo do tempo, da avaliação, na mesma amostra, de outras características além da área foliar (ADAMI et al., 2008; ARAÚJO et al., 2005; LUCENA et al., 2011). Por sua vez, um método indireto, possibilita acompanhar o

crescimento e a expansão foliar da mesma planta até o final do ciclo; contudo, a sua calibração e avaliação são cruciais para a confiabilidade dos resultados (LIMA et al., 2008; ZUCOLOTO et al., 2008).

Para obtenção indireta do IAF ou IAC é possível utilizar integradores portáteis de área foliar, que são práticos, porém com uso ainda de pouca expressão, por causa do seu alto custo de aquisição (BLANCO e FOLEGATTI, 2005). Esses são baseados em medidas da transmitância da radiação através das copas ou do dossel (ANTUNES JÚNIOR et al., 2009; JONCKHEERE et al., 2004). Outros métodos são a medição planimétrica, muitas vezes usado como referência por alguns autores (ARAÚJO et al., 2005). É destrutivo, trabalhoso e têm como limitações a aplicação em amostras com disponibilidade limitada. O método dos discos foliares permite estimar a área foliar real através de vazadores com área conhecida e da massa do restante da folha (SOUZA et al., 2012). E o método da modelagem, que tolera realizar a estimativa da área foliar com uma ou mais variáveis dimensionais, visando encontrar uma equação que possa representar, de forma simples, precisa e rápida a área da folha. O uso de modelos matemáticos para expressar o crescimento e suas derivações (AF, IAF, entre outros) é uma técnica muito comum e pode, eventualmente, fornecer subsídios para estudos de morfogênese da planta (LIMA et al., 2008). Não há registro da aplicação desses métodos para a palma forrageira.

Assim, objetivou-se avaliar o desempenho de métodos indiretos de estimativa do índice de área do cladódio de três clones de palma forrageira.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados foram coletados entre setembro e novembro de 2013, em uma área de cultivo de palma forrageira do Banco Ativo de Germoplasma, pertencente ao Instituto Agrônomo de Pernambuco IPA, mantido em condições de sequeiro, em Serra Talhada (latitude: 7°59'S, longitude: 38°50'O, e altitude: 489 m), localizado na região semiárida da microrregião do Vale do Pajeú. O clima local é caracterizado do tipo BSh, de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2014).

Os métodos indiretos de estimativa de área foliar utilizados foram: o método da interceptação da radiação solar e suas derivações quanto à técnica de medição dentro da subárea experimental, planimetria do cladódio médio, discos foliares do cladódio médio e

modelagem com base na morfogênese total da planta, da ramificação representativa ou do cladódio médio.

Foram aplicados esses métodos para três clones de palma forrageira, a IPA Sertânia (espaçamento $E1 = 1,5 \times E2 = 0,3$ m; com idade de 5 anos e 1 mês), Miúda (espaçamento $E1 = 1,5 \times E2 = 0,5$ m; com idade de 4 anos e 8 meses), e a Orelha de Elefante Mexicana (espaçamento $E1 = 1,5 \times E2 = 0,5$ m; com idade de 4 anos), cada qual composto por 5 subáreas de doze plantas, com 3 fileiras de quatro plantas, ou seja, sessenta plantas por clone, totalizando cento e oitenta plantas e quinze parcelas experimentais. Em todas as plantas foram obtidas medidas de altura e largura com auxílio de uma fita métrica e contabilizadas o número de cladódios por ordem.

Em todas as sessenta plantas por clone foram realizadas leituras com um aparelho analisador de dossel (ceptômetro) (AccuPAR, LP-80, Decagon Devices, Pullman, EUA), que se baseia na interceptação da luz pelo dossel para a estimativa do índice de área de cladódio. As configurações do ceptômetro seguiram as recomendações do fabricante (DECAGON DEVICES, 2001). Esse ceptômetro, leve e de fácil manuseio, tem uma sonda de 0,80 m que contém 80 sensores lineares, espaçadas em um centímetro. Os fotossensores medem a radiação fotossinteticamente ativa (comprimento de onda de 400 a 700 nm). As leituras foram realizadas no horário entre 11:00 e 13:00 horas, de modo a evitar o efeito do sombreamento das plantas adjacentes. Os dados foram coletados quatro vezes na parte superior do dossel da planta e quarenta e quatro na parte inferior (abaixo do dossel), de forma alternada (cada lado), totalizando 48 leituras por planta, mantendo-se sempre o aparelho nivelado no momento que os dados eram coletados. Após essa etapa, as plantas foram coletadas, identificadas (ordem, cladódio e planta), acondicionadas em sacos de rafia e pesadas em campo para evitar perda de água; e em seguida, foram levadas ao laboratório para pesagem e realização da biometria individual dos cladódios (comprimento, largura, espessura e perímetro).

Na análise de uso do ceptômetro foram considerados os formatos, definidos após a coleta dos dados: individual (IAC de cada planta), parcela (IAC médio de todas as plantas de cada parcela), triangular (IAC médio de quatro plantas selecionadas aleatoriamente dispostas em formato triangular na parcela), diagonal (IAC médio de três plantas selecionadas aleatoriamente dispostas na diagonal na parcela), cruzado (IAC médio de cinco plantas selecionadas aleatoriamente dispostas no formato de "X" na parcela), quadrado (IAC médio de quatro plantas selecionadas aleatoriamente dispostas em formato quadrangular na parcela)

e retangular (IAC médio de seis plantas selecionadas aleatoriamente dispostas em formato retangular na parcela).

Dentre as 60 plantas por clone foram selecionadas cinco, a partir das quais se amostrou três cladódios (um pequeno, um médio e um grande) de cada planta, totalizando quinze cladódios por clone para aplicação do método indireto da planimetria. Nesse método, colocou-se uma cartolina branca fixada em uma mesa com fita adesiva, e uma folha de papel milimetrado, onde os cladódios foram desenhados, visando posterior contabilização da área de ocupação. A área foliar foi estimada pelo número de quadrículas ocupadas. O IAC (em, $m^2 m^{-2}$) foi calculado por meio do número médio de quadrículas dos 3 cladódios (nq , unidades), área individual da quadrícula ($0,25 cm^2$), fator de conversão (10000) de cm^2 para m^2 , com os valores do número total de cladódio por planta (NCT) e espaçamento ($E1 \times E2$) de cada clone:

$$IAC = (nq \cdot 0,25 \cdot NCT) / 10000 / (E1 \times E2)$$

O método dos discos foliares consistiu na utilização de um vazador com diâmetro 0,0465 m, para retirada de segmentos da parte mediana de todos os cladódios de cinco plantas de cada clone. Os cladódios e seus respectivos segmentos amostrados foram acondicionados em sacos de papel Kraft e levados a uma estufa de circulação forçada de ar a $65^\circ C$, até obter peso constante. O índice de área foliar foi estimado pela fórmula:

$$IAC = (w \cdot AFE \cdot NCT) / 10000 / (E1 \times E2)$$

onde: w é o peso seco individual do cladódio (g); AFE é a área foliar específica (calculada pela relação média entre a área do vazador e a massa seca do disco, $m^2 g^{-1}$).

O método da modelagem foi implementado por meio dos dados da biometria das 180 plantas dos três clones, aplicando-se três tipos de configurações: I, II e III. A partir desses dados foi estimada a área individual dos cladódios (AC , em cm^2) com equações previamente elaboradas para os clones IPA Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana, nessa ordem, sendo:

$$ACe = 1,6691 \cdot (1 - \exp(0,0243 \cdot PC)) / -0,0243$$

$$ACe = 0,7198 \cdot (CC \cdot LC)$$

$$ACe = 0,7086 \cdot (1 - \exp(-0,000045765 \cdot CC \cdot LC)) / 0,000045765$$

em que, o PC, CC e LC são o perímetro, comprimento e a largura do cladódio, em cm.

Assim, na Modelagem I foi considerada a soma da área estimada de todos os cladódios da planta:

$$IAC = \left(\sum_n^{i=1} ACe \right) / 10000 / (E1 \times E2)$$

Na modelagem II, utilizou-se uma ramificação representativa de cada planta, de tal modo que se tivesse a ACE de um cladódio por ordem de surgimento (1ª, 2ª, 3ª, n ordens), e esses valores foram multiplicados pelo número de cladódio de cada ordem:

$$IAC = (ACE_{OB} + ACE_{O1} \cdot NC_{O1} + ACE_{O2} \cdot NC_{O2} + \dots + ACE_{On} \cdot NC_{On}) / 10000 / (E1 \times E2)$$

Na modelagem III foi considerada a área de um cladódio médio (neste caso, a ordem “x” com o maior número de cladódios) e o número total de cladódios (NCT, unidades):

$$IAC = (ACE_{Ox} \cdot NCT) / 10000 / (E1 \times E2)$$

Todos os métodos indiretos foram avaliados em comparação aos resultados do método direto de referência da imagem digital, com procedimentos de escaneamento e configurações específicas para a cultura. Para isso, os cladódios das 180 plantas foram escaneados através de um escâner comercial, gerando imagens TIFF (Tagged Image File Format) com resolução de 200 dpi (dots per inch - pontos por polegada). Posteriormente, as imagens foram processadas no programa computacional “LAFore”, que classifica a área com base na tonalidade esverdeada da imagem. Os valores obtidos foram considerados como a área observada de referência (ACr), e o IAC, de cada planta, foi calculado mediante a seguinte expressão:

$$IACr = \left(\sum_n^{i=1} ACr \right) / 10000 / (E1 \times E2)$$

sendo, IACr o índice de área do cladódio observado de referência, em m² m⁻².

Na comparação dos métodos indiretos de estimativa de IAC, em relação ao método de referência, os dados obtidos foram submetidos a índices estatísticos de precisão (coeficiente de correlação “r”), exatidão (índice de concordância “d”), bem como aos erros de estimativa: erro médio de estimativa (MBE), a raiz quadrada do quadrado do erro médio (RMSE), erro máximo (MAX) e teste t de Student ao nível de significância de 5%, em que valores de probabilidade p > 0,05, indicando que não há diferença entre os valores estimados e observados. Os valores de precisão (r) mais próximos de 1 indicam que os valores obtidos apresentaram um baixo grau de dispersão em relação à média. Por sua vez, os valores de exatidão (d) mais próximos de 1 representam que os dados estimados possuem pequeno desvio dos observados. Valores dos erros estatísticos mais próximos de zero refletem a confiabilidade do método. Por meio do produto dos valores de r e d foi estimado o índice de confiança (c), que representa o desempenho dos métodos, sendo classificados de acordo com Camargo & Sentelhas (1997).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação do método da interceptação da radiação solar pelo dossel vegetativo, com uso do ceptômetro aplicado ao clone IPA Sertânia, mostrou melhor precisão ($r > 0,674$) do que exatidão ($d < 0,644$) na estimativa do índice de área do cladódio; porém, o desempenho foi de sofrível a péssimo, de acordo com o índice de confiança (Tabela 1). De modo geral, a estimativa do IAC por esse método resultou em subestimativas, demonstrados pelos valores negativos de MBE, o que significou um erro elevado quando se considera uma ampla faixa de valores de IAC. A baixa exatidão, independente do formato de medição, promoveu valores de RMSE mais elevados, mostrando o erro em termos absolutos de se utilizar o ceptômetro na estimativa do IAC de uma planta isolada de palma forrageira. Reflexo também pode ser visto nos erros máximos resultantes para todos os formatos ($> 1,461 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$). Apenas o formato diagonal não apresentou diferenças em relação ao método direto da imagem digital ($p > 0,05$), apesar do baixo desempenho.

Para a Miúda, o método da interceptação de radiação apresentou desempenho ainda mais baixo (Tabela 2). O formato diagonal foi o único que os resultados não foram diferentes do método direto, porém não é recomendado para a palma, devido a baixa magnitude dos índices de precisão e de exatidão. Resultado semelhante foi obtido para o clone Orelha de Elefante Mexicana, que o desempenho foi de mau a péssimo, decorrência dos baixos valores de r e d , mesmo os formatos diagonal e cruzado, não apresentando diferenças em relação ao método direto (Tabela 3).

Esse baixo desempenho do método da interceptação da radiação solar está associada às dificuldades em se realizar medições em copas não homogêneas, em decorrência das variações na densidade de fluxo da radiação solar no momento das leituras, pois abaixo de um dossel, a radiação pode variar de pleno sol a baixos valores no espaço de alguns centímetros. Apesar do manual não possuir informações relacionados ao uso desse método para cultura da palma, o aumento do número de leituras poderia ser um fator compensador, da grande variabilidade da incidência da radiação abaixo do dossel das plantas, resultando em medidas mais confiáveis e representativas (JONCKHEERE et al., 2004). Todavia, isso não foi verificado, logo que a baixa uniformidade do dossel é induzida pela morfologia de emissão dos cladódios (MENEZES et al., 2005). Em dosséis uniformes, esse método tem obtido excelentes resultados (CUNHA et al., 2010).

Com relação ao método da planimetria do cladódio médio (Tabela 4), verificou-se desempenho muito bom e bom para os clones MIU e OEM, respectivamente. Contudo, no primeiro houve diferença dos valores em relação ao método direto ($p < 0,05$). Esses resultados foram reflexos da boa precisão e exatidão, e devido aos baixos erros de estimativa, mostrando que esse método pode ser uma alternativa para a estimativa do IAC da Orelha de Elefante Mexicana. Por outro lado, para o clone IPA Sertânia, o seu desempenho foi baixo, mesmo não sendo verificada diferença em relação ao método direto.

O método planimétrico apresentou bons resultados apenas para a Miúda, com valores altos dos coeficientes de precisão e exatidão. Porém, não se verificou diferença em relação aos estimados com os observados ($p < 0,05$). Cunha et al. (2010), comparando métodos de estimativa da área foliar em *Chrysobalanus icaco* L. (guajurú), encontraram boa precisão ($R^2 =$ de 0,840), porém os autores citam que o formato das folhas, por não preencher uniformemente os quadrados, afetam a sua aplicabilidade. Os cladódios da palma possuem irregularidades nos seus formatos, bem como a espessura varia muito ao longo de sua extensão, dificultando a aplicação desse método na maioria dos clones. Para a Muída, o seu desempenho foi melhor, devido a pequena área dos cladódios, induzindo a maiores precisões e exatidões.

No método dos discos foliares, verificou-se que todas as derivações (total, ramificação e do cladódio médio) foram significativas apenas para o clone Orelha de Elefante Mexicana, apresentando maior índice de precisão do que de exatidão no primeiro formato. Os demais apresentaram péssimo desempenho. A alta variabilidade da área foliar específica, tanto com relação aos clones, quanto a idade e posição de inserção na planta, podem ser as justificativas para o baixo desempenho. Esse resultado foi diferente daqueles encontrados por outros autores, como Souza et al. (2012), ao comparar métodos de mensuração da área foliar para a cultura da melancia. Contudo, alguns autores verificaram a necessidade do uso de um fator de correção, a ser multiplicado aos valores de índice de área foliar estimados pelo método dos discos foliares, visando a sua real calibração (Dombroski et al., 2010).

Na avaliação dos métodos da Modelagem I, II e III, as três configurações apresentaram valores de índices de precisão e exatidão elevados. Todavia, vale ressaltar que, a Modelagem III, que usa morfogênese apenas do cladódio médio, é o mais simplificado. Os desempenhos obtidos pelas três configurações foram de muito bom a ótimo, com baixos erros (Tabela 5). Porém, verificou-se diferenças entre os seus valores estimados e os observados do método direto de referência ($p < 0,05$). Assim, a aplicabilidade das três configurações para os clones necessita ser complementada com uso de parâmetros ou de equações lineares que

variam de acordo com o método da Modelagem (I, II ou III) e com o clone de palma (Figura 1).

Para o clone IPA, os coeficientes de ajuste a serem multiplicados aos valores de IAC estimados pelos métodos da Modelagem I, II e III são o inverso do coeficiente angular das equações da Figura 1, ou seja, $1/1,0535$, $1/1,2140$ e $1/1,2801$, nessa ordem. Para o clone Miúda, esses valores são $1/1,1712$ e $1/1,1496$ para os métodos da Modelagem II e III, respectivamente. Para a Orelha de Elefante Mexicana, os coeficientes lineares foram significativos, assim os resultados do IAC pelos três métodos de modelagem devem ser aplicados a equações lineares completas, conforme demonstradas na Figura 1.

O método da modelagem tem sido citado como o de maior precisão na estimativa dos valores de IAF de culturas folhosas (Lima et al., 2008). Contudo, devido o número de folhas das plantas, outras características morfológicas são utilizadas na relação com o IAF. Barbosa et al. (2012), ao estimar o índice de área foliar (IAF), verificaram que a variabilidade da forma das copas e da geometria da região sem folhas, fator definido geneticamente e pelas condições de cultivo e do ambiente, foram as propriedades que mais explicaram o IAF do cafeeiro. Para essa mesma cultura, Favarin et al. (2002) ajustaram equações que refletem uma estreita relação linear, observada entre o IAF e características relacionadas a quantidade de folhas das plantas e volume do dossel. Esse método apresenta a vantagem de não ser destrutivo e de fácil manuseio. No entanto, para culturas de copas desuniformes, (i.e. palma forrageira), necessita-se de parâmetros ou equações para o ajuste dos valores estimados aos observados. Dombroski et al. (2010) citam a necessidade desse tipo de ajuste para outros métodos indiretos.

3.6 CONCLUSÕES

1. O uso do método da interceptação da radiação solar pelo dossel com o ceptômetro, não é recomendado para a estimativa do índice de área do cladódio de clones de palma forrageira.
2. De modo geral, os métodos da planimetria e dos discos foliares dos cladódios não devem ser aplicados na estimativa do índice de área do cladódio da palma forrageira.
3. O método da modelagem foi o que apresentou melhores desempenhos estatísticos, sendo o mais indicado para estimativa do índice da área de cladódio, desde que sejam utilizados equações ou parâmetros e equações de ajustes dos valores estimados, que dependem do tipo de modelagem (I, II ou III) e do clone.

REFERÊNCIAS

- ADAMI, M.; HASTENREITER, F.A.; FLUMIGNAN, D. L.; FARIA, R.T. Estimativa de área de folíolos de soja usando imagens digitais e dimensões foliares. **Bragantia**, v.67, n.4, p.1053-1058, 2008.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; GONÇALVEZ, J.L.M.; SENTELHAS, P.C.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, 711-728, 2014.
- ANTUNES JÚNIOR, M.Z.; FERRONATO, A.; FERRONATO, S.D.; RODRIGUES, K.; GALLON, M.M.P.; GOMES, N.M.G.; STIEVEN, A.C.; STIEVEN, A.C.; CAMPELO JUNIOR, J.H. Métodos não destrutivos para estimativa de densidade de área foliar em mangueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.12, 2009.
- ARAÚJO, E.C.E.; SANTOS, E.P.; PRADO, C.H.B.A. Estimativa da área foliar da mangueira (*Mangifera indica* L.) cvs. Tommy Atkins e Haden, utilizando dimensões lineares. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.27, p.308-309, 2005.
- BARBOSA, J.P.R.A.; MARTINS, G.A; FERREIRA, R.T.; PENNACCHI, J.P.; SOUZA, V.F.; SOARES, A.M. Estimativa do IAF de cafeeiro a partir do volume de folhas e arquitetura da planta. **Coffee Science**, v.7, n.3, p.267-274, 2012.
- BLANCO, F.F.; FOLEGATTI, M.V. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. **Horticultura Brasileira**, v.21, n.4, p.666-669, 2003.
- 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.
- CUNHA, J.L.X.L.; NASCIMENTO, P.G.M.L.; MESQUITA, H.C.; SILVA, M.G.O.; DOMBROSKI, J.L.D.; SILVA, J.N. Comparação de métodos de área foliar em *Chrysobalanus icaco* L. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.6, n.3, p.22-27, 2010.
- DECAGON DEVICES. **AccuPAR Linear PAR/LAI ceptometer**: operator's manual version 3.4. Pullman, WA: Decagon Devices, Inc., 2001. 149p. Disponível em: [http://manuals.decagon.com/Manuals/Discontinued/AccuPAR-PAR-80-Operators-Manual-\(discontinued\).pdf](http://manuals.decagon.com/Manuals/Discontinued/AccuPAR-PAR-80-Operators-Manual-(discontinued).pdf). Acesso em: 02 fev. 2014.

DOMBROSKI, J.L.D.; RODRIGUES, G.S.O.; BATISTA, T.M.V., LOPES, W.A.R.; LUCENA, R.R.M. Análise comparativa de métodos de determinação de área foliar em Pinha (*Annona Squamosa* L.). **Revista Verde**, v.5, n.3, p.188-194, 2010.

FAVARIN, J.L.; DOURADO NETO, D.; GARCIA, A.G.; VILLA NOVA, N.A. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.6, p.769-773, 2002.

GODOY, L.J.G.; YANAGIWARA, R.S.; BÔAS, R.L.V.; BACKES, C.; LIMA, C.P. 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.

GOWER, S.T.; KUCHARIK, C.J.; NORMAN, J.M. Direct and indirect estimation of leaf area index, *f*APAR, and net primary production of terrestrial ecosystems. **Remote Sensing of Environment**, v.70, p.29-51, 1999.

JONCKHEERE, I.; FLECK, S.; NACKAERTS, K.; MUYD, B.; COPPIN, P. Review of methods for in situ leaf area index determination – Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.121, n.1-2, p.19-35. 2004.

LIMA, C.J.G.S.; OLIVEIRA, F.A.; MEDEIROS, J.F.; OLIVEIRA, M.K.T.; OLIVEIRA FILHO, A.F. Modelos matemáticos para estimativa de área foliar de feijão-caupi. **Revista Caatinga**, v.21, n.1, p.120-127, 2008.

LUCENA, R.R.M.; BATISTA, T.M.V.; DOMBROSKI, L.D.; LOPES, W.A.R.; RODRIGUES, G.S.O. Medição de área foliar de aceroleira. **Revista Caatinga**, v.24, n.2, p.40-45, 2011.

MANFRON, P.A.; DOURADO NETO, D.; PEREIRA, A.R.; BONNECARRÈRE, R.A.G.; MEDEIROS, S.L.P.; PILAU, F.G. Modelo de índice de área foliar da cultura do milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, p.333-342, 2003.

MENEZES, R.S.C.; SIMÕES, D.A.; SAMPAIO, E.V.S.B. **A palma no nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife: UFPE, 2005. p.27-42.

MONTEIRO, J.E.B.A.; SENTELHAS, P.C.; CHIAVEGATO, E.J.; GUISELINI C.; SANTIAGO, A.V.; PRELA, A. Estimção da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. **Bragantia**, v.64, n.1, p.15-24, 2005.

SANPEDRO, M.C.G.; TOAN, T.L.; MORENO, J.F.; KERGOAT, L.; RUBIO, E. Seasonal variations of leaf area index of agricultural fields retrieved from landsat data. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.810-824, 2008.

SANTOS, D.C.; FARIAS, I.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F.; ARRUDA, G.P.; COELHO, R.S.B.; DIAS, F.M.; MELO, J.N. **Manejo e utilização da palma forrageira (Opuntia e Nopalea) em Pernambuco**. Recife: IPA, 2006. 48p. (Documentos IPA, 30). Disponível em: http://www.ipa.br/publicacoes_tecnicas/Pal01.pdf. Acesso em: 05 fev. 2014.

SOUZA, M.S.S.; ALVES, S.S.V.; DOMBROSKI, J.L.D.; FREITAS, J.D.B.; AROUCHA, E.M.M. Comparação de métodos de mensuração de área foliar para a cultura da melancia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.42, n.2, p.241-245, 2012.

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

LISTA DE FIGURAS

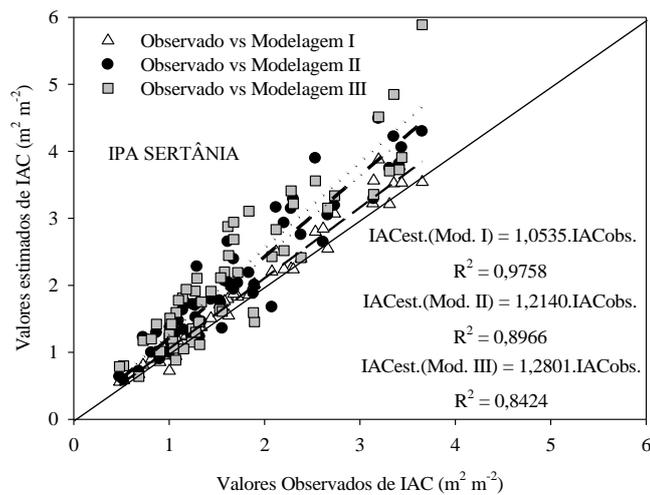
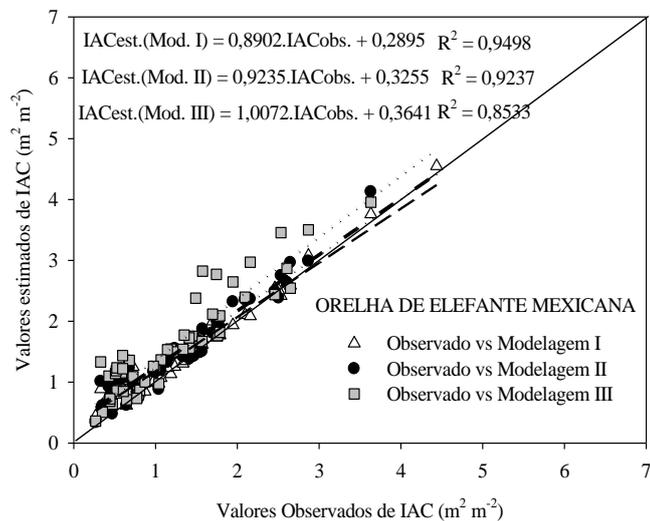
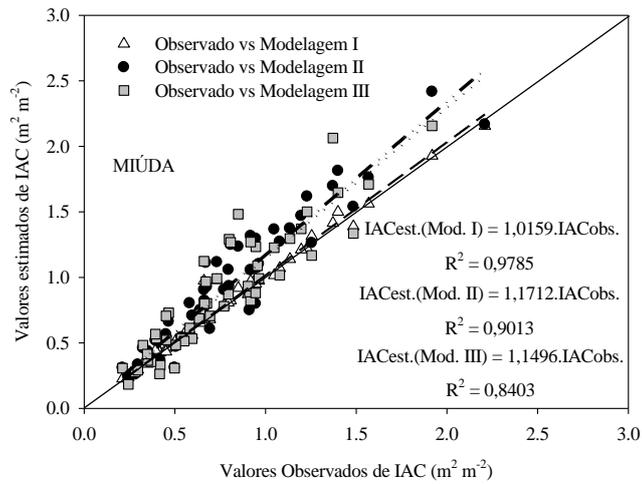


Figura 1. Relação entre os valores observados de referência e estimados pelo método da modelagem (I, II e III) do índice de área do cladódio de clones de palma forrageira (IPA Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana).

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Avaliação do método indireto da interceptação de radiação pelo dossel (ceptômetro) aplicado em diferentes formatos de medição na parcela para a estimativa do índice de área do cladódio do clone IPA Sertânia

Formatos	r	d	c	Desempenho	MBE	RMSE	MAX	t (p > 0,05)
Individual	0,674	0,640	0,431	Mau	-0,419	0,969	5,407	0,001
Parcela	0,818	0,613	0,501	Mau	-0,452	0,620	1,461	0,011
Triangular	0,881	0,599	0,528	Sofrível	-0,484	0,757	1,615	0,034
Diagonal	0,630	0,522	0,329	Péssimo	-0,202	0,913	2,490	0,513
Cruzado	0,804	0,637	0,512	Sofrível	-0,422	0,664	1,761	0,035
Retangular	0,859	0,644	0,553	Sofrível	-0,419	0,609	1,585	0,019
Quadrado	0,732	0,560	0,410	Mau	-0,505	0,753	1,983	0,024

r - índice de correlação (decimal), d - índice de concordância (decimal), c- índice de confiança, MBE - erro médio de estimativa ($m^2 m^{-2}$), RMSE - raiz quadrada do quadrado do erro médio ($m^2 m^{-2}$), EM - erro máximo ($m^2 m^{-2}$), t - teste de Student ao nível de 5% de significância.

Tabela 2. Avaliação do método indireto da interceptação de radiação pelo dossel (ceptômetro) aplicado em diferentes formatos de medição na parcela para a estimativa do índice de área do cladódio do clone Miúda

Formatos	r	d	C	Desempenho	MBE	RMSE	MAX	t (p > 0,05)
Individual	0,430	0,609	0,262	Péssimo	0,321	0,568	1,191	0,000
Parcela	0,093	0,431	0,040	Péssimo	0,329	0,393	0,656	0,001
Triangular	-0,111	0,377	-0,042	Péssimo	0,346	0,483	0,847	0,013
Diagonal	0,507	0,598	0,303	Péssimo	0,187	0,328	0,580	0,067
Cruzado	0,035	0,467	0,016	Péssimo	0,319	0,422	0,735	0,007
Retangular	-0,094	0,316	-0,030	Péssimo	0,332	0,424	0,790	0,004
Quadrado	0,306	0,460	0,141	Péssimo	0,311	0,405	0,728	0,006

r - índice de correlação (decimal), d - índice de concordância (decimal), MBE - erro médio de estimativa ($m^2 m^{-2}$), RMSE - raiz quadrada do quadrado do erro médio ($m^2 m^{-2}$), EM - erro máximo ($m^2 m^{-2}$), t - teste de Student ao nível de 5% de significância.

Tabela 3. Avaliação do método indireto da interceptação de radiação pelo dossel (ceptômetro) aplicado em diferentes formatos de medição na parcela para a estimativa do índice de área do cladódio do clone Orelha de Elefante Mexicana

Formatos	r	d	c	Desempenho	MBE	RMSE	MAX	t (p > 0,05)
Individual	0,628	0,733	0,460	Mau	0,444	0,822	2,011	0,000
Parcela	0,531	0,634	0,034	Péssimo	0,448	0,681	0,930	0,028
Triangular	0,519	0,625	0,324	Péssimo	0,451	0,671	1,106	0,023
Diagonal	0,473	0,617	0,292	Péssimo	0,367	0,786	1,001	0,147
Cruzado	0,472	0,621	0,293	Péssimo	0,411	0,720	0,935	0,067
Retangular	0,676	0,710	0,480	Mau	0,407	0,618	0,921	0,027
Quadrado	0,639	0,692	0,442	Mau	0,411	0,659	0,983	0,040

r - índice de correlação (decimal), d - índice de concordância (decimal), MBE - erro médio de estimativa ($m^2 m^{-2}$), RMSE - raiz quadrada do quadrado do erro médio ($m^2 m^{-2}$), EM - erro máximo ($m^2 m^{-2}$), t - teste de Student ao nível de 5% de significância.

Tabela 4. Avaliação dos métodos indiretos da planimetria do cladódio médio e dos discos foliares (DF Total - discos foliares de todos os cladódios da planta; DF Ramificação - discos foliares dos cladódios de uma ramificação representativa; DF Cladódio Médio – discos foliares do cladódio médio da planta) aplicados a três clones de palma forrageira (IPA – IPA Sertânia, MIU – Miúda, OEM – Orelha de Elefante Mexicana)

Clones	Formatos	r	d	c	Desempenho	MBE	RMSE	MAX	t (p > 0,05)
IPA	Planimetria	0,139	0,475	0,066	Péssimo	0,072	0,481	0,636	0,776
	DF Total	0,336	0,290	0,097	Péssimo	-1,732	1,781	2,369	0,001
	DF Ramificação	-0,289	0,299	-0,086	Péssimo	-1,558	1,633	2,362	0,003
	DF Cladódio Médio	-0,349	0,263	-0,092	Péssimo	-1,614	1,770	2,684	0,011
MIU	Planimetria	0,854	0,898	0,767	Muito bom	-0,398	0,388	0,601	0,006
	DF Total	0,786	0,296	0,233	Péssimo	-0,332	0,336	0,410	0,000
	DF Ramificação	-0,221	0,128	-0,028	Péssimo	-0,754	0,760	0,859	0,000
	DF Cladódio Médio	-0,422	0,123	-0,052	Péssimo	-0,765	0,771	0,870	0,000
OEM	Planimetria	0,879	0,786	0,691	Bom	0,133	0,247	0,376	0,269
	DF Total	-0,662	0,115	0,076	Péssimo	-0,275	1,527	2,359	0,732
	DF Ramificação	-0,443	0,224	0,099	Péssimo	-0,009	1,530	2,399	0,991
	DF Cladódio Médio	-0,787	0,076	0,060	Péssimo	-0,667	1,540	2,514	0,391

r - índice de correlação (decimal), d - índice de concordância (decimal), MBE - erro médio de estimativa ($m^2 m^{-2}$), RMSE - raiz quadrada do quadrado do erro médio ($m^2 m^{-2}$), EM - erro máximo ($m^2 m^{-2}$), t - teste de Student ao nível de 5% de significância.

Tabela 5. Avaliação dos métodos indireto de modelagem (I - morfogênese de todos os cladódios da planta; II - morfogênese dos cladódios de uma ramificação representativa; III - morfogênese de um cladódio médio da planta) aplicados a três clones de palma forrageira (IPA – IPA Sertânia, MIU – Miúda, OEM – Orelha de Elefante Mexicana)

Clones	Formatos	r	d	c	Desempenho	MBE	RMSE	MAX	t (p > 0,05)
IPA	Modelagem I	0,988	0,991	0,979	Ótimo	0,086	0,170	0,681	0,000
	Modelagem II	0,948	0,933	0,884	Ótimo	0,361	0,506	1,363	0,000
	Modelagem III	0,918	0,899	0,825	Muito bom	0,449	0,664	2,237	0,000
MIU	Modelagem I	0,990	0,996	0,986	Ótimo	0,017	0,060	0,313	0,029
	Modelagem II	0,950	0,955	0,907	Ótimo	0,131	0,208	0,499	0,000
	Modelagem III	0,917	0,947	0,868	Ótimo	0,105	0,210	0,692	0,000
OEM	Modelagem I	0,975	0,980	0,956	Ótimo	0,140	0,241	0,618	0,000
	Modelagem II	0,962	0,964	0,927	Ótimo	0,214	0,299	0,684	0,000
	Modelagem III	0,925	0,927	0,857	Ótimo	0,336	0,461	1,248	0,000

r - índice de correlação (decimal), d - índice de concordância (decimal), MBE - erro médio de estimativa ($m^2 m^{-2}$), RMSE - raiz quadrada do quadrado do erro médio ($m^2 m^{-2}$), EM - erro máximo ($m^2 m^{-2}$), t - teste de Student ao nível de 5% de significância.

RELAÇÃO DO ÍNDICE DE ÁREA DO CLADÓDIO DE PALMA FORRAGEIRA COM CARACTERÍSTICAS MORFOGÊNICAS E PRODUTIVAS

4.1 RESUMO - Objetivou-se avaliar a relação das características morfológicas dos cladódios e das plantas com o índice de área do cladódio, e suas contribuições para a produtividade de clones de palma forrageira cultivados em ambiente Semiárido. O experimento foi conduzido no Instituto Agrônomo de Pernambuco, no município de Serra Talhada, PE. Foram avaliadas cento e oitenta plantas de três clones de palma forrageira (IPA Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana), de idades diferentes e em condições de sequeiro. Foram obtidos os dados morfológicos dos cladódios e da planta, do índice de área do cladódio (por meio da aplicação do método digital), e a biomassa acumulada. A relação entre os dados morfológicos com o índice de área do cladódio, e desses com a produtividade da planta foi analisada, usando a análise de trilha, após aplicação da matriz de correlação de Pearson e do teste de multicolinearidade. Com os resultados, verificou-se que as características altura x largura e número total de cladódios foram as variáveis que melhor explicaram o índice de área de cladódio. Por sua vez, essa variável juntamente com o número total de cladódios e a morfologia dos cladódios de 4ª ordem, a depender do clone, foram àquelas que mais explicaram a variação da produtividade dos clones de palma forrageira cultivados em ambiente Semiárido.

Palavras-chave: análise de trilha, *Opuntia* sp., *Nopalea* sp., planta forrageira, semiárido

RELATIONSHIP OF THE CLADODE AREA INDEX OF THE FORAGE CACTUS WITH MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS AND YIELD

4.2 ABSTRACT - The objective was to evaluate the relationship of morphological characteristics of the cladode and plant with the cladode area index, and their contributions to the yield of the forage cactus clones grown in Semi-arid environment. The experiment was conducted at Institute Agronomic of Pernambuco, in municipality of Serra Talhada, State of Pernambuco. One hundred and eighty plants of the three forage cactus clones (IPA Sertânia, Miúda and Orelha de Elefante Mexicana), of different ages and in dryland conditions, were evaluated. Morphological data from cladode and plant, cladode area index (through the application of the digital method), and the accumulated dry biomass were obtained. The relationship between the morphological data with cladode area index, and those with the yield of the plant was analyzed, after application of the Pearson correlation matrix and multicollinearity test. With the results, it was verified that the characteristics heights x width and cladode total number were the variables that best explained the cladode area index. In turn, this variable along with the number of total cladode and morphology of cladode of 4th order, depending on the clone, were those that most explained the variation of yield of forage cactus clones grown in Semi-arid environment.

Keywords: Path analysis, *Opuntia* sp., *Nopalea* sp., forage plant, semiarid

4.3 INTRODUÇÃO

A palma forrageira tem sido muito cultivada no Semiárido brasileiro para alimentação animal. É uma planta tolerante a períodos de longas estiagens, com metabolismo fisiológico diferenciado (Metabolismo Ácido das Crassuláceas), podendo tolerar altas temperaturas, déficit hídrico, e ainda acumular fitomassa (LOPES et al., 2007). Devido a sua capacidade de suportar tais condições, destaca-se como reserva forrageira, que contribui na sustentabilidade da pecuária, segmento que nessa região é atingida pela escassez de alimentos (Oliveira et al., 2010). Essa interação entre as plantas e o ambiente de cultivo condiciona a produção vegetal, que está diretamente relacionada com o aproveitamento da energia solar, transformada pelas folhas em energia química, durante o processo fotossintético. Entretanto, diversos fatores são importantes na determinação da interceptação luminosa, como o hábito de crescimento da planta, ângulo foliar e disposição das folhas no dossel (FAGUNDES et al., 2001), que definiram o rendimento da cultura (MALDANER et al., 2009).

Na palma forrageira, o uso da radiação é feito pelo cladódio, que promove a produção de carboidratos e de biomassa seca. É uma cultura que possui baixo índice de área do cladódio, quando comparada com espécies leguminosas, o que resulta em uma menor taxa de acúmulo de biomassa (OLIVEIRA et al., 2007; AMORIM, 2011). Todavia, essa característica depende também do clone, logo que possuem diferentes morfologias de emissão, tamanho, formato e distribuição dos cladódios, que podem afetar o índice de área do cladódio da palma forrageira, e da arquitetura do dossel da planta, influenciando na sua capacidade fotossintetizante, e logo, no rendimento (SILVA et al., 2010).

A relação entre as características morfológicas (i.e. altura e largura da planta, índice de área do cladódio, comprimento do cladódio, etc.) e a produtividade da planta representa um dado de grande importância para a compreensão da resposta da palma forrageira às condições do ambiente de cultivo. Nos programas de melhoramento genético, o conhecimento prévio dessas características permite selecionar clones com melhores desempenhos produtivos (AMORIM, 2011). Estudos mostram que essa informação proporciona o acompanhamento do acúmulo de forragem e uma estimativa de sua qualidade, que podem ser melhoradas com a adequação de práticas de manejo ao longo do ciclo da cultura (COSTA et al., 2012). Dubeux Junior et al. (2006) mostraram a variação da produtividade da palma (clone IPA 20), como reflexo do índice de área do cladódio atingido em áreas de cultivo de distintos municípios do estado de Pernambuco, e submetidas a diferentes manejos, quanto a densidade e a adubação.

Silva et al. (2010) comprovaram a influencia de características morfológicas na produtividade de clones de palma forrageira. Para outras culturas, a produtividade tem sido relacionada com os componentes de produção (FIRINCIOGLU et al., 2010; Lu et al., 2011) e com as variáveis meteorológicas (RAO et al., 1998).

Nesse tipo de relação, é imprescindível a aplicação de correlações lineares, por meio da análise de trilha, como uma maneira de conhecer os efeitos direto e indireto, por exemplo, de características dos cladódios sobre o índice de área do cladódio da planta, e desses sobre a produtividade da palma forrageira (SILVA et al., 2010). As correlações lineares possibilitam avaliar quanto da alteração de um caráter pode ser afetada pelos demais (CRUZ et al., 2004). Para Vencovsky e Barriga (1992), a maioria das correlações é explicada pelos efeitos aditivos dos genes, afetando simultaneamente dois caracteres. Porém, a decomposição da correlação depende do conjunto de caracteres estudados, que pode assumir um valor positivo, negativo ou igual a zero (KUREK et al., 2001). Nesse tipo de análise, o grau de multicolinearidade entre as variáveis explicativas ou respostas deve ser analisado, logo que pode promover superestimava ou subestimativa dos efeitos diretos ou indiretos, conforme destacado por Toebe e Cargnelutti Filho et al. (2013).

Com base no exposto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a relação das características morfogênicas dos cladódios e das plantas com o índice de área do cladódio, e suas contribuições para a produtividade da palma forrageira cultivada em ambiente Semiárido.

4.4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados foram coletados entre setembro e novembro de 2013, em uma área de cultivo de palma forrageira, pertencente ao Banco Ativo de Germoplasma do Instituto Agronômico de Pernambuco, mantida em condições de sequeiro, em Serra Talhada (latitude: 7°59'S, longitude: 38°50'O e altitude: 489 m), localizado na região semiárida da microrregião do Vale do Pajeú. O clima local é caracterizado pelo tipo BSh', de acordo com a classificação de Köppen (ALVAREZ et al., 2014).

Foram avaliados três clones de palma forrageira, com diferentes idades: a IPA Sertânia (espaçamento E1 = 1,5 x E2 = 0,3 m; com idade de 5 anos e 1 mês), Miúda (espaçamento E1 = 1,5 x E2 = 0,5 m; com idade de 4 anos e 8 meses), e a Orelha de Elefante Mexicana (espaçamento E1 = 1,5 x E2 = 0,5 m; com idade de 4 anos), cada qual composto por 5

subáreas de doze plantas, com 3 fileiras de quatro plantas, ou seja, sessenta plantas por clone, totalizando cento e oitenta plantas e quinze parcelas experimentais.

As características morfogênicas foram medidas na ocasião da colheita, registrando-se os valores biométricos das plantas e dos cladódios. Nas plantas, analisou-se a altura, largura e o número de cladódios por ordem. A altura foi medida desde a superfície do solo até o cladódio mais alto. Por sua vez, a largura foi obtida, usando como referência as suas duas maiores dimensões. Ambas foram realizadas com auxílio de uma fita métrica. Em seguida, as plantas foram cortadas, deixando-se apenas o cladódio basal, e identificadas conforme numeração da planta, quantidade, ordem de surgimento dos cladódios, e pesadas individualmente em campo para evitar perda de água, visando determinar a massa da planta em base fresca. Todos os cladódios foram colocados em sacos de rafia, e conduzidos ao laboratório para pesagem e biometria individual. Nessa etapa foram medidos o comprimento, largura, perímetro e espessura dos cladódios, por meio de uma fita métrica, considerando as partes de maior comprimento e largura, e o contorno, obtendo-se o perímetro. A espessura foi medida com auxílio de um paquímetro na região mediana do cladódio.

Após as medidas biométricas, todos os cladódios, das 180 plantas, foram escaneados através de um escâner comercial, gerando imagens TIFF (Tagged Image File Format) com resolução de 200 dpi (dots per inch - pontos por polegada), visando à obtenção da área individual dos cladódios. Essas imagens foram processadas no programa computacional “LAFore”, que classifica a área com base na tonalidade esverdeada da imagem. Os valores usados no cálculo do índice de área do cladódio de cada planta:

$$IACr = \left(\sum_n^{i=1} AC \right) / 10000 / (E1 \times E2)$$

sendo, IAC o índice de área do cladódio observado, em $m^2 m^{-2}$; 10000 é o fator de conversão de cm^2 para m^2 ; e $E1 \times E2$, o espaçamento entre fileiras e plantas de cada clone.

Ao final das medições foram obtidas as seguintes características morfológicas dos três clones: altura e largura da planta (AP x LP); número total de cladódios (NTC); índice de área de cladódio (IAC); comprimento médio de cladódios de primeira, segunda, terceira, quarta e quinta ordens (CMC1, CMC2, CMC3, CMC4 e CMC5); largura média dos cladódios de primeira a quinta ordens (LMC1, LMC2, LMC3, LMC4 e LMC5); espessura média dos cladódios de primeira, a quinta ordens (EMC1, EMC2, EMC3, EMC4 e EMC5); e, perímetro médio dos cladódios de primeira a quinta ordens (PMC1, PMC2, PMC3, PMC4 e PMC5). Estas foram consideradas como características explicativas.

Cinco plantas de tamanho mediano foram selecionadas por clone para obtenção da matéria seca. Todos os cladódios foram fragmentados e acondicionados em sacos de papel, identificados, e levado para uma estufa de ventilação forçada a 65°C, até atingir peso constante. As massas fresca e seca das cinco plantas foram usadas para determinar o conteúdo médio de matéria seca, visando o cálculo do rendimento em base seca das demais plantas. Os dados foram extrapolados em tonelada por hectare, por meio da multiplicação do valor da massa individual pela densidade de plantio inicial de cada clone, calculada conforme os valores de seus respectivos espaçamentos.

Para estudar as relações das características morfológicas dos cladódios e das plantas sobre o índice de área de cladódio, e destes na produtividade foi realizada primeiramente a matriz de correlação de Pearson, com nível de significância de 1 % e 5 % de probabilidade pelo teste t de Student. As variáveis explicativas que apresentaram efeito significativo foram submetidas ao teste de multicolinearidade, para análise do número de condição inferior a 100, caracterizada como multicolinearidade fraca. No estudo dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre as respostas, inicialmente foi considerada como variável resposta o índice de área do cladódio, e em seguida, o rendimento. Todas essas análises foram realizadas por meio do programa computacional “GENES” (CRUZ, 2006).

4.5 RESULTADOS

No clone IPA Sertânia, das 25 variáveis estudadas, apenas duas apresentaram efeito significativo sobre o índice de área de cladódio (Tabela 1), verificando-se efeito significativo da altura x largura e do número total de cladódios, com correlação positiva, porém magnitude mediana, segundo classificação de Martins e Domingues (2011). Ao analisar as correlações das características morfológicas, incluindo o IAC, com o rendimento, observou-se que as mesmas foram positivas e medianas (Tabela 1), destacando-se o número total de cladódios, com maior magnitude da correlação.

Para a Miúda foram analisadas 56 variáveis morfológicas, porém as que apresentaram correlação significativa e positiva com o índice de área do cladódio foram: a altura x largura; número total de cladódios; largura média dos cladódios de 1ª e 2ª ordem; comprimento médio dos cladódios de 2ª, 3ª, 4ª ordem; espessura média dos cladódios de 2ª, 3ª; e, perímetro médio dos cladódios de 2ª, 3ª, 4ª e 5ª ordem. No entanto, a correlação foi classificada de péssima ou baixa magnitude (Tabela 2). Assumindo o rendimento como variável resposta, constatou-se

que houve correlação significativa com dezenove características explicativas, no entanto, apenas as variáveis altura x largura e número total de cladódios apresentaram alta correlação.

As variáveis morfológicas do clone Orelha de Elefante Mexicana quando submetidas à correlação de Pearson para análise em relação ao índice de área do cladódio, mostraram as seguintes características com efeito significativo: altura x largura; número total de cladódios; comprimento, largura, espessura e perímetro médio dos cladódios de 1ª ordem; espessura média dos cladódios de 2ª e 3ª ordem e largura média dos cladódios de 4ª ordem. Apesar de apresentar correlação positiva, estas foram classificadas como péssima a média magnitude. No que diz respeito à correlação genotípica relacionada ao rendimento, onze variáveis tiveram correlação significativa. A característica número total de cladódios foi a que resultou em correlação mais alta, seguida da altura x largura. O comprimento médio dos cladódios de 5ª ordem apresentou correlação negativa, enquanto que as demais variáveis apresentaram correlação positiva (Tabela 3).

As características significativas pela correlação de Pearson foram submetidas ao teste de multicolinearidade, de tal modo que muitas não foram utilizadas na análise de trilha, para desdobramento das correlações fenotípicas em efeito direto e indireto das características de palma forrageira. Para a IPA Sertânia, observou-se que as variáveis analisadas tiveram efeito direto em pelo menos 49% no índice de área de cladódio. Embora a correlação tenha sido positiva, a magnitude foi baixa para o efeito direto da altura x largura, enquanto que o número total de cladódios, mesmo de magnitude baixa, teve maior influência, devido os seus efeitos diretos e indiretos. Quanto ao rendimento, a correlação apresentou-se positiva e mediana, com 59% de sua variação sendo explicada, sobretudo pelo do índice de área de cladódio, altura x largura e número total de cladódios; essa última se destacando com a maior contribuição direta e indireta (Tabela 4).

O desdobramento das variáveis biométricas da Miúda revelou que as características morfogênicas apresentaram efeito em apenas 29% da variação do índice de área de cladódio. A maioria das características apresentou baixa magnitude, com exceção do comprimento médio dos cladódios de 4ª ordem, para o qual a correlação foi positiva e moderada, e do perímetro médio dos cladódios de 4ª ordem que apresentou correlação negativa e moderada (Tabela 5). Percebeu-se que as características morfológicas explicaram em 95% a variabilidade do rendimento desse clone, com maior influência do número total de cladódios, tanto com efeitos diretos quanto indiretos (Tabela 6).

Quando realizado o desdobramento das características fenotípicas para o clone Orelha de Elefante Mexicana, as características morfológicas explicaram 63% do comportamento do índice de área de cladódio, com correlação moderada e positiva, sendo o número total de cladódios àquela de maior peso direto ou indiretamente (Tabela 7). Por sua vez, no que diz respeito à correlação genotípica relacionada ao rendimento do clone Orelha de Elefante Mexicana mostrou que as variáveis analisadas responderam por 94% de sua variabilidade. Assim como nos outros clones, o número total de cladódios foi a característica de maior importância, com efeitos diretos e indiretos (Tabela 8).

4.6 DISCUSSÃO

O clone IPA Sertânia, não apresenta um grande número de cladódios, no entanto, o seu hábito de crescimento semiaberto permite que as plantas possam ter um maior aproveitamento fotossintético, além de evitar o auto sombreamento, induzindo ao maior crescimento dos seus cladódios. A influência direta do número total de cladódios reflete na maior magnitude do índice de área do cladódio; medida essa útil para se estimar a capacidade fotossintética da palma, que pode ser usada na mensuração do crescimento vegetativo, e permite refletir os efeitos do manejo sobre o desenvolvimento da cultura (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2009).

Dubeux Junior et al. (2006), ao avaliarem a resposta da palma forrageira, em quatro locais do Semiárido pernambucano, concluíram que o número de cladódios foi superior na menor densidade de plantas, devido a maior superfície de solo explorado. Esse hábito de crescimento foliar influencia na absorção de luz no dossel e, conseqüentemente, a fotossíntese da planta (DECKMYN et al., 2000). Como reflexo do maior número total de cladódios, pôde-se verificar que esse clone tem correlação moderada, com efeito direto sobre o rendimento. Desta forma, é possível perceber que a menor quantidade de emissão de cladódios pelo clone pode ser compensada pelos seus tamanhos.

As características explicativas da Miúda que foram significativas resultaram em baixa correlação com índice de área de cladódio, mostrando que outras características podem estar influenciando nessa variável. Ao realizar o desdobramento dos seus efeitos, verificou-se que o comprimento médio dos cladódios de 4ª ordem (CMC4) (efeito direto e positivo sobre o IAC) e perímetro médio dos cladódios de 3ª ordem (PMC3) e 4ª ordem (PMC4) (efeito direto e indireto), são os principais contribuintes no índice de área do cladódio. Esse clone destaca-se

por sua elevada quantidade de cladódios terciários e quaternários. Por essa razão, se explica a maior contribuição dessas variáveis no IAC.

Apesar da baixa influência das características morfogênicas sobre o índice de área do cladódio da Miúda, observou-se que sobre o rendimento, as variáveis explicativas tiveram efeito direto expressivo (95%), com destaque para o número total de cladódios e o perímetro médio dos cladódios de 4ª ordem. O número superior de cladódios da Miúda sobre as demais variedades já foi observado por Leite (2009) e Silva et al. (2011), de tal modo que justifica a elevação da produção de massa fresca e seca desse clone (AMORIM, 2011; DUBEUX JUNIOR et al., 2006). A alta contribuição dos cladódios de 4ª ordem no rendimento está associada ao sombreamento dos cladódios inferiores e a menor idade dos cladódios de ordens superiores.

No clone Orelha de Elefante Mexicana, o desdobramento da análise de trilha mostrou correlação moderada das características morfológicas com o índice de área do cladódio, destacando-se o efeito direto e positivo do número total de cladódios. Outras variáveis tiveram boa participação sobre o IAC como, o comprimento e a espessura média dos cladódios de 1ª ordem (CMC1 e EMC1), a espessura média dos cladódios de 2ª e 3ª ordens (EMC2 e EMC3) e a largura dos cladódios de 4ª ordem (LMC4). Sabe-se que o número total de cladódios apresenta correlação positiva com o IAC, enquanto o CMC1 pode ser explicado pelo hábito de crescimento semiaberto desse clone, que favorece a emergência de cladódios primários, devido a conformação e tamanho dos cladódios basais.

Com o rendimento foi observada uma alta influência das variáveis morfológicas, com ênfase para o índice de área do cladódio, que pode variar em função do clone, condições edafoclimáticas e densidade populacional (RAMOS et al., 2011). O número de cladódios totais também apresentou alto efeito indireto sobre o rendimento, enquanto que o CMC1 apresentou efeito negativo e indireto. Silva et al. (2010), estudando o efeito de características morfogênicas de clones de palma forrageira no rendimento, verificaram que, as de maior importância foram a altura e a largura das plantas.

4.7 CONCLUSÃO

A relação das características dos cladódios e das plantas com o índice de área do cladódio, e desses com o rendimento de clones de palma forrageira, cultivados em ambiente Semiárido, revelou que o índice de área do cladódio da Orelha de Elefante Mexicana e da IPA

Sertânia são mais explicados pelo número total de cladódios, enquanto que da Miúda, o perímetro médio dos cladódios de terceira, e o comprimento e perímetro dos cladódios de quarta ordem, também são variáveis importantes. A variabilidade do rendimento dos clones de palma forrageira é mais influenciada pelo número total de cladódios.

REFERÊNCIAS

AMORIM, P.L. **Caracterização morfológica e produtiva em variedades de palma forrageira**. 2011. 54 f. Dissertação (mestrado em zootecnia). Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo - AL, 2011.

COSTA, N. de L.; GIANLUPPI, V.; MORAES, A. de. Produtividade de forragem e morfogênese de *Trachypogon vestitus*, durante o período seco, em área de cerrado, Roraima. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v.6, n.1, 93-103, 2012.

CRUZ, C.D. Programa Genes: Biometria. Editora UFV. Viçosa (MG). 382p. 2006.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora universitária da UFV, 2004. p.180-192.

DECKMYN, G.; NIJS, I.; CEULEMANS, R. A simple method to determine leaf angles of grass species. **Journal of Experimental Botany**, v.51, n.349, p.1467-1470, 2000.

DUBEUX JUNIOR, J.C.B.; SANTOS, M.V.F.; LIRA, M.A.; CORDEIRO dos SANTOS, D.; 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, p. 357-372, 2006.

FAGUNDES, J.L.; SILVA, S.C.; PEDREIRA, C.G.S.; CARNEVALLI, R.A.; CARVALHO, C.A.B. de; SBRISSIA, A.F.; PINTO, L.F.M. Índice de área foliar, coeficiente de extinção luminosa e acúmulo de forragem em pastagens de *Cynodon* spp. sob lotação contínua. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.1, p.187-195, 2001.

FIRINCIOGLU, H.K. et al. Relationships between seed yield and yield components in common vetch (*Vicia sativa* ssp. *sativa*) populations sown in spring and autumn in central Turkey. **Field Crops Research**, v.116, p.30-37, 2010.

KUREK, A.J.; CARVALHO, F.I.F. de; ASSMANN, I.C.; MARCHIORO, V.S.; CRUZ, P.J. Análise de trilha como critério de seleção indireta para rendimento de grãos em feijão. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.7 n.1, p. 29-32, 2001.

LEITE, M.L.M.V. **Avaliação de clones de palma forrageira Submetidos a adubações e Sistematização de informações em propriedades do semiárido paraibano**. 2009.186f. Tese (Doutorado em Zootecnia), Universidade Federal da Paraíba UFPB, Areia, PB. 2009.

LOPES, E.B.; BRITO, C.H.; GUEDES, C.C.; SANTOS, D.C.; ARAÚJO, E.; BATISTA, J.L.; ARAÚJO, L.F.; VASCONCELOS, M.F.; COELHO, R.S.B.; CAVALCANTI, V.A.L. **Palma forrageira: cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no semiárido nordestino.** João Pessoa: EMEPA/FAEPA, 2007. 130p.

MALDANER, I.C.; HELDWEIN, A.B.; LOOSE, L.H.; LUCAS, D.D.P.; GUSE, F.I.; BERTOLUZZI, M.P. Modelos de determinação não-destrutiva da área foliar em girassol. **Ciência Rural**, v.39, p.1356-1361, 2009.

LU, G. et al. Relationship Among Yield components and selection criteria for yield improvement in early rapeseed (*Brassica napus* L.). **Agricultural Sciences in China**, v.10, p.997-1003, 2011.

MARTINS, G.A; DOMINGUES, O. **Estatística Geral e Aplicada.** 4 ed. São Paulo: Atlas, 2011.662p.

OLIVEIRA JUNIOR, S.; NETO, B.M.; RAMOS, J.P.F.; LEITE, M.L.M.V, BRITO, E.A.; NASCIMENTO, J.P. Crescimento vegetativo da palam forrageira (*Opuntia ficus-indica*) em função do espaçamento no Semiárido paraibano. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v.3, n.1, p.7-12, 2009.

OLIVEIRA, F.T.; SOUTO, J.S.; SILVA, R.P.; ANDRADE FILHO, F.C.; PEREIRA JUNIOR, E.B. Palma forrageira: adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.5, n.4, p.27-37, 2010.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; BESPALHOK-FILHO, J. C.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; SILVA, D. K. T. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.37, n.2, p.71-76, 2007.

RAMOS, I.J.P.F.; LEITE, M. L. M. V.; OLIVEIRA JUNIOR, S.; NASCIMENTO, J.P.; ANTOS, E. M. Crescimento vegetativo de *Opuntia ficus-indica* em diferentes espaçamentos e plantio. **Revista Caatinga**, v.24, n.3, p.41-48, 2011.

RAO, P. S.; SARASWATHYAMMA, C. K.; SETHURAJ, M. R. Studies on the relationship between yield and meteorological parameters of para rubber tree (*Hevea brasiliensis*). **Agricultural and Forest Meteorology**, v.90, p.235-245, 1998.

SILVA, G. M.; GOMES, E. S.; GÓIS, R. L. T.; MOTA, L. F. M.; SOUZA, N. O. B. MARTUSCELLO, J. A.; CUNHA, D. N. F. V.; Correlações do peso com medidas de comprimento, largura, espessura, área e volume de cladódios de Palma forrageira cultivar Miúda. In: Congresso Brasileiro de Zootecnia. Maceió. **Anais...** Maceió, 2011.

SILVA, N.G.M.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F.; DUBEUX JÚNIOR, J.C.B.; MELLO, A.C.L.; SILVA, M.C. Relação entre características morfológicas e produtivas de clones de palma-forrageira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n.11, p.2389-2397, 2010.

TOEBE, M.; CARGNELUTTI FILHO, A. Multicollinearity in path analysis of maize (*Zea mays* L.). **Journal of Cereal Science**, v.57, p.453-462, 2013.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética biométrica no fitomelhoramento. **Revista Brasileira de Genética**, v.15, n.4, p.496, 1992.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Coeficientes de correlação fenotípica de Pearson entre as variáveis respostas e explicativas do clone IPA Sertânia em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro

Variável resposta	Variável explicativa	r
Índice de área do cladódio	Altura x Largura da planta	0,5971 **
	Número total de cladódios	0,6834 **
Rendimento	Índice de área do cladódio	0,5942 **
	Altura x Largura	0,6247 **
	Número total de cladódios	0,7535 **

** significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

Tabela 2. Coeficientes de correlação fenotípica de Pearson entre as variáveis respostas e explicativas do clone Miúda em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro.

Variável resposta	Variável explicativa	r
Índice de área do cladódio	Altura x Largura	0,4870 **
	Número total de cladódios	0,4718 **
	Largura média dos cladódios 1 ^a ordem	0,3014 *
	Comprimento médio dos cladódios 2 ^a ordem	0,3510 **
	Largura média dos cladódios 2 ^a ordem	0,3789 **
	Espessura média dos cladódios 2 ^a ordem	0,3954 **
	Perímetro médio dos cladódios 2 ^a ordem	0,4162 **
	Comprimento médio dos cladódios 3 ^a ordem	0,2953 *
	Espessura média dos cladódios 3 ^a ordem	0,3286 *
	Perímetro médio dos cladódios 3 ^a ordem	0,3076 *
	Comprimento médio dos cladódios 4 ^a ordem	0,3260 *
	Perímetro médio dos cladódios 4 ^a ordem	0,2679 *

** , * significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste t.

Continuação...

Variável resposta	Variável explicativa	r
Rendimento	Índice de área do cladódio	0,4721 **
	Altura x Largura	0,8698 **
	Número total de cladódios	0,9438 **
	Espessura média dos cladódios 1 ^a ordem	0,5118 *
	Perímetro médio dos cladódios 1 ^a ordem	0,2850 **
	Comprimento médio dos cladódios 2 ^a ordem	0,5952 **
	Largura média dos cladódios 2 ^a ordem	0,5621 **
	Espessura média dos cladódios 2 ^a ordem	0,6924 **
	Perímetro médio dos cladódios 2 ^a ordem	0,7100 **
	Comprimento médio dos cladódios 3 ^a ordem	0,6437 **
	Largura média dos cladódios 3 ^a ordem	0,5504 **
	Espessura média dos cladódios 3 ^a ordem	0,5669 **
	Perímetro médio dos cladódios 3 ^a ordem	0,6354 **
	Comprimento médio dos cladódios 4 ^a ordem	0,6057 **
	Largura média dos cladódios 4 ^a ordem	0,4235 **
	Espessura média dos cladódios 4 ^a ordem	0,3974 **
	Perímetro médio dos cladódios 4 ^a ordem	0,5670 **
	Comprimento médio dos cladódios 5 ^a ordem	0,4627 **
Perímetro médio dos cladódios 5 ^a ordem	0,3702 **	

** , * significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste t.

Tabela 3. Coeficientes de correlação fenotípica de Pearson entre as variáveis respostas e explicativas do clone Orelha de Elefante Mexicana em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro.

Variável resposta	Variável explicativa	r
Índice de área do cladódio	Altura x Largura	0,5817 **
	Número total de cladódios	0,6910 **
	Comprimento médio dos cladódios 1ª ordem	0,4603 **
	Largura média dos cladódios 1ª ordem	0,3114 *
	Espessura média dos cladódios 1ª ordem	0,4759 **
	Perímetro médio dos cladódios 1ª ordem	0,4028 **
	Espessura média dos cladódios 2ª ordem	0,3374 **
	Espessura média dos cladódios 3ª ordem	0,3686 **
	Largura média dos cladódios 4ª ordem	0,3102 *
Rendimento	Índice de área do cladódio	0,6711 **
	Altura x Largura	0,8228 **
	Número total de cladódios	0,9569 **
	Comprimento médio dos cladódios 1ª ordem	0,4360 **
	Largura média dos cladódios 1ª ordem	0,3674 **
	Espessura média dos cladódios 1ª ordem	0,4721 **
	Perímetro médio dos cladódios 1ª ordem	0,4349 **
	Espessura média dos cladódios 2ª ordem	0,5079 **
	Espessura média dos cladódios 3ª ordem	0,3879 **
Comprimento médio dos cladódios 5ª ordem	-0,4911 *	
	Perímetro médio dos cladódios 5ª ordem	0,5229 *

** , * significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste t.

Tabela 4. Desdobramento das correlações fenotípicas do índice de área do cladódio e do rendimento do clone IPA Sertânia em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro

Variável resposta	Efeito	Variável explicativa	r	
Índice de área do cladódio	Direto	Altura x Largura	0,2340	
	Indireto	Número total de cladódios	0,3631	
	Total		0,5971	
	Direto	Número total de cladódios	0,5200	
	Indireto	Altura x Largura	0,1634	
	Total		0,6834	
	Coeficiente de determinação (R^2)			0,4951
	Efeito da variável residual			0,7106
	Rendimento	Direto	Índice de área do cladódio	0,1113
		Indireto	Altura x Largura	0,0993
Indireto		Número total de cladódios	0,3837	
Total			0,5942	
Direto		Altura x Largura	0,1663	
Indireto		Índice de área do cladódio	0,0664	
Indireto		Número total de cladódios	0,3920	
Total			0,6247	
Direto		Número total de cladódios	0,5614	
Indireto		Índice de área do cladódio	0,0760	
Indireto		Altura x Largura	0,1161	
Total			0,7535	
Coeficiente de determinação (R^2)			0,5930	
Efeito da variável residual			0,6379	

Tabela 5. Desdobramento das correlações fenotípicas do índice de área do cladódio do clone Miúda em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro

Efeito	Variável explicativa	r (parcial)	r (total)
Direto	Altura x Largura	0,2307	
Indireto	Comprimento médio dos cladódios 4a ordem	0,4440	0,4870
Indireto	Total das demais variáveis	-0,1878	
Direto	Número total de cladódios	0,1744	
Indireto	Comprimento médio dos cladódios 4a ordem	0,3493	0,4718
Indireto	Total das demais variáveis	-0,0520	
Direto	Largura média dos cladódios 1a ordem	0,0289	
Indireto	Comprimento médio dos cladódios 4a ordem	0,2719	0,3014
Indireto	Total das demais variáveis	0,0005	
Direto	Comprimento médio dos cladódios 2a ordem	0,041	
Indireto	Comprimento médio dos cladódios 4a ordem	0,3225	0,3510
Indireto	Total das demais variáveis	-0,0127	
Direto	Largura média dos cladódios 2a ordem	0,0292	
Indireto	Comprimento médio dos cladódios 4a ordem	0,2895	0,3789
Indireto	Total das demais variáveis	0,0601	
Direto	Espessura média dos cladódios 2a ordem	0,0647	
Indireto	Comprimento médio dos cladódios 4a ordem	0,3094	0,4162
Indireto	Total das demais variáveis	0,0213	
Direto	Perímetro médio dos cladódios 2a ordem	-0,009	
Indireto	Comprimento médio dos cladódios 4a ordem	0,3564	0,4162
Indireto	Total das demais variáveis	0,0689	
Direto	Comprimento médio dos cladódios 3a ordem	-0,4699	
Indireto	Perímetro médio dos cladódios 3a ordem	0,4616	0,2953
Indireto	Total das demais variáveis	0,3036	
Direto	Espessura média dos cladódios 3a ordem	-0,0184	
Indireto	Comprimento médio dos cladódios 4a ordem	0,3024	0,3286
Indireto	Total das demais variáveis	0,0446	
Coeficiente de determinação (R^2)			0,2921
Efeito da variável residual			0,8414

Continuação...

Efeito	Variável explicativa	r (parcial)	r (total)
Direto	Perímetro médio dos cladódios 3a ordem	0,4762	
Indireto	Perímetro médio dos cladódios 4a ordem	-0,4344	0,3076
Indireto	Total das demais variáveis	0,2658	
Direto	Comprimento médio dos cladódios 4a ordem	0,6987	
Indireto	Perímetro médio dos cladódios 4a ordem	-0,6792	0,3260
Indireto	Total das demais variáveis	0,3064	
Direto	Perímetro médio dos cladódios 4a ordem	-0,7021	
Indireto	Comprimento médio dos cladódios 4a ordem	0,6759	0,2679
Indireto	Total das demais variáveis	0,2941	
Coeficiente de determinação (R^2)			0,2921
Efeito da variável residual			0,8414

Tabela 6. Desdobramento das correlações fenotípicas do rendimento do clone Miúda em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro

Efeito	Variável Explicativa	r(parcial)	r(total)
Direto	Índice de área do cladódio	0,0068	
Indireto	Número total de cladódios	0,3185	0,4721
Indireto	Total das demais variáveis	0,1466	
Direto	Altura x Largura	0,0962	
Indireto	Número total de cladódios	0,5674	0,8698
Indireto	Total das demais variáveis	0,2060	
Direto	Número total de cladódios	0,6750	
Indireto	Perímetro médio dos cladódios 4a ordem	0,2064	0,9438
Indireto	Total das demais variáveis	0,0623	
Direto	Espessura média dos cladódios 1a ordem	-0,0730	
Indireto	Número total de cladódios	0,3163	0,5118
Indireto	Total das demais variáveis	0,2686	
Direto	Perímetro médio dos cladódios 1a ordem	0,0701	
Indireto	Número total de cladódios	0,1470	0,2850
Indireto	Total das demais variáveis	0,0677	
Direto	Comprimento médio dos cladódios 2a ordem	0,0762	
Indireto	Número total de cladódios	0,3500	0,5952
Indireto	Total das demais variáveis	0,1690	
Direto	Largura média dos cladódios 2a ordem	-0,0579	
Indireto	Número total de cladódios	0,3716	0,5621
Indireto	Total das demais variáveis	0,2486	
Direto	Espessura média dos cladódios 2a ordem	0,1264	
Indireto	Número total de cladódios	0,4362	0,6924
Indireto	Total das demais variáveis	0,1298	
Direto	Perímetro médio dos cladódios 2a ordem	-0,0182	
Indireto	Número total de cladódios	0,4503	0,7100
Indireto	Total das demais variáveis	0,2778	
Direto	Comprimento médio dos cladódios 3a ordem	0,1861	
Indireto	Número total de cladódios	0,3589	0,6437
Indireto	Total das demais variáveis	0,0987	
Coeficiente de determinação (R^2)			0,9520
Efeito da variável residual			0,2191

Tabela 6. Continuação...

Efeito	Variável Explicativa	r (parcial)	r(total)
Direto	Largura média dos cladódios 3a ordem	0,0251	
Indireto	Número total de cladódios	0,2880	0,5504
Indireto	Total das demais variáveis	0,2373	
Direto	Espessura média dos cladódios 3a ordem	0,0010	
Indireto	Número total de cladódios	0,3529	0,5669
Indireto	Total das demais variáveis	0,2131	
Direto	Perímetro médio dos cladódios 3a ordem	-0,0497	
Indireto	Número total de cladódios	0,3481	0,6354
Indireto	Total das demais variáveis	0,3369	
Direto	Comprimento médio dos cladódios 4a ordem	-0,2104	
Indireto	Número total de cladódios	0,3375	0,6057
Indireto	Total das demais variáveis	0,4784	
Direto	Largura média dos cladódios 4a ordem	-0,2251	
Indireto	Número total de cladódios	0,2339	0,4235
Indireto	Total das demais variáveis	0,4149	
Direto	Espessura média dos cladódios 4a ordem	0,0030	
Indireto	Número total de cladódios	0,2115	0,3974
Indireto	Total das demais variáveis	0,1831	
Direto	Perímetro médio dos cladódios 4a ordem	0,4545	
Indireto	Número total de cladódios	0,3066	0,5670
Indireto	Total das demais variáveis	-0,1940	
Direto	Comprimento médio dos cladódios 5a ordem	0,1928	
Indireto	Número total de cladódios	0,2755	0,4627
Indireto	Total das demais variáveis	-0,0057	
Direto	Perímetro médio dos cladódios 5a ordem	-0,1894	
Indireto	Número total de cladódios	0,2173	0,3702
Indireto	Total das demais variáveis	0,3425	
Coeficiente de determinação (R^2)			0,9520
Efeito da variável residual			0,2191

Tabela 7. Desdobramento das correlações fenotípicas do índice de área do cladódio do clone Orelha de Elefante Mexicana em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro

Efeito	Variável explicativa	r (parcial)	r (total)
Direto	Altura x Largura	0,0143	
Indireto	Número total de cladódios	0,3770	0,5817
Indireto	Total das demais variáveis	0,1904	
Direto	Número total de cladódios	0,4676	
Indireto	Espessura média dos cladódios 2a ordem	-0,1317	0,6910
Indireto	Total das demais variáveis	0,3552	
Direto	Comprimento médio dos cladódios 1a ordem	0,2901	
Indireto	Número total de cladódios	0,1656	0,4603
Indireto	Total das demais variáveis	0,0046	
Direto	Largura média dos cladódios 1a ordem	-0,0830	
Indireto	Comprimento médio dos cladódios 1a ordem	0,2118	0,3114
Indireto	Total das demais variáveis	0,1826	
Direto	Espessura média dos cladódios 1a ordem	0,3084	
Indireto	Número total de cladódios	0,1953	0,4759
Indireto	Total das demais variáveis	-0,0279	
Direto	Perímetro médio dos cladódios 1a ordem	0,0686	
Indireto	Comprimento médio dos cladódios 1a ordem	0,2492	0,4028
Indireto	Total das demais variáveis	0,0850	
Direto	Espessura média dos cladódios 2a ordem	-0,2826	
Indireto	Número total de cladódios	0,2179	0,3374
Indireto	Total das demais variáveis	0,4021	
Direto	Espessura média dos cladódios 3a ordem	0,2131	
Indireto	Número total de cladódios	0,1736	0,3686
Indireto	Total das demais variáveis	-0,0181	
Direto	Largura média dos cladódios 4a ordem	0,1293	
Indireto	Número total de cladódios	0,1234	0,3102
Indireto	Total das demais variáveis	0,0575	
Coeficiente de determinação (R^2)			0,6369
Efeito da variável residual			0,6026

Tabela 8. Desdobramento das correlações fenotípicas do rendimento do clone Orelha de Elefante Mexicana em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro

Efeito	Variável explicativa	r (parcial)	r (total)
Direto	Índice de área do cladódio	-0,0653	
Indireto	Número total de cladódios	0,5686	0,6711
Indireto	Total das demais variáveis	0,1678	
Direto	Índice de área do cladódio	0,1070	
Indireto	Número total de cladódios	0,6634	0,8228
Indireto	Total das demais variáveis	0,0524	
Direto	Índice de área do cladódio	0,8228	
Indireto	Número total de cladódios	0,0862	0,9569
Indireto	Total das demais variáveis	0,0479	
Direto	Índice de área do cladódio	0,0685	
Indireto	Comprimento médio dos cladódios 1a ordem	0,2913	0,4360
Indireto	Total das demais variáveis	0,0761	
Direto	Índice de área do cladódio	-0,0826	
Indireto	Comprimento médio dos cladódios 1a ordem	0,2504	0,3674
Indireto	Total das demais variáveis	0,1996	
Direto	Índice de área do cladódio	0,0849	
Indireto	Comprimento médio dos cladódios 1a ordem	0,3437	0,4721
Indireto	Total das demais variáveis	0,0434	
Direto	Índice de área do cladódio	0,1413	
Indireto	Comprimento médio dos cladódios 1a ordem	0,2884	0,4349
Indireto	Total das demais variáveis	0,0053	
Direto	Índice de área do cladódio	-0,0311	
Indireto	Comprimento médio dos cladódios 1a ordem	0,3835	0,5079
Indireto	Total das demais variáveis	0,1555	
Coeficiente de determinação (R^2)			0,9427
Efeito da variável residual			0,2393

Continuação...

Efeito	Variável explicativa	r (parcial)	r (total)
Direto	Índice de área do cladódio	0,0513	
Indireto	Comprimento médio dos cladódios 1a ordem	0,3055	0,3879
Indireto	Total das demais variáveis	0,0310	
Direto	Índice de área do cladódio	0,0272	
Indireto	Comprimento médio dos cladódios 1a ordem	-0,4453	-0,4911
Indireto	Total das demais variáveis	-0,0730	
Direto	Índice de área do cladódio	0,0371	
Indireto	Comprimento médio dos cladódios 1a ordem	0,4229	0,5229
Indireto	Total das demais variáveis	0,0629	
Coeficiente de determinação (R^2)			0,9427
Efeito da variável residual			0,2393