

MARCELA LÚCIA BARBOSA

**INTER-RELAÇÕES DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS COM  
CARACTERÍSTICAS MORFOPRODUTIVAS E HÍDRICAS DE  
CACTÁCEAS *Nopalea* sp. e *Opuntia* sp. NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de Magister Scientiae.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2015

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

B238i  
2015  
Barbosa, Marcela Lúcia, 1989-  
Inter-relações de variáveis ambientais com características morfoprodutivas e hídricas de cactáceas *Nopalea* sp. e *Opuntia* sp. no semiárido brasileiro / Marcela Lúcia Barbosa. – Viçosa, MG, 2015.

xviii, 98f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Sérgio Zolnier.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Meteorologia agrícola. 2. Palma forrageira. 3. Correlação canônica (Estatística). 4. Evapotranspiração. 5. Produtividade.  
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-graduação em Meteorologia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 630.2515

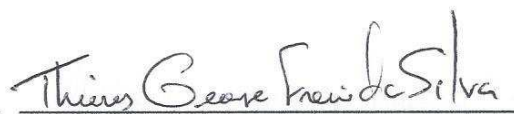
MARCELA LÚCIA BARBOSA


**INTER-RELAÇÕES DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS COM  
CARACTERÍSTICAS MORFOPRODUTIVAS E HÍDRICAS DE CACTÁCEAS  
*Nopalea sp.* E *Opuntia sp.* NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 28 de julho de 2015.

  
Williams Pinto Marques Ferreira

  
Thieres George Freire da Silva  
(Coorientador)

  
Sérgio Zolnier  
(Orientador)

À minha família,  
Em especial tia Luzia, tia Deda e meus primos-irmãos Rafaela, Gordo, Lucas (in  
memoriam), Carlos Eduardo, Pedro Gabriel e Nayana, por serem um incentivo na  
minha vida.

Às minhas amigas-irmãs Cidinha e Tarcísia,  
Por compartilharem sonhos, momentos difíceis e alegrias ao longo dos muitos anos  
de amizade.

Ao meu amigo Thieres George Freire da Silva,  
Pela amizade, apoio e compreensão.

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, por sempre ter sido e ser o meu amparo.

Ao meu orientador, professor Sérgio Zolnier, pela oportunidade, competência, ensinamentos e profissionalismo.

Ao meu coorientador, Thieres George Freire da Silva, pelo apoio, empenho, dedicação, exemplo, paciência e ensinamentos.

Ao meu coorientador, Sérvulo Mercier Siqueira e Silva, pela valorosa contribuição no presente trabalho.

A todos os membros do grupo de Agrometeorologia no Semiárido (GAS) que foram fundamentais para a implantação e condução do experimento, além da ótima convivência em campo.

Aos colegas e amigos do Programa de Meteorologia Agrícola, em especial Davi, Poliana, João Vitor, Gabi, Vágna, Ana Paula, Valéria, Andréia, Mariana, Emily, Manuel, Douglas e Álvaro, que tornaram o ambiente de trabalho mais leve e divertido.

À Graça, secretária do Programa de Meteorologia Agrícola, pelo carinho, auxílio, prontidão, por toda a ajuda e apoio.

À todas as companheiras e amigas de república: Denise, Vanessa, Taty, Mary, Railla, Monique, Aninha, Angélica, Poliana, Gabi, Suely, Morena e Amanda, pelo apoio, amizade e pelos ótimos momentos compartilhados.

Às minhas amigas-irmãs Viviane, Claudeane, Tarcísia e Cidinha, pelos anos de amizade, pela compreensão nos momentos ausentes e por sempre serem um apoio nos momentos difíceis.

Às amigas Denise, Karina Miranda, Vanessa, Angélica, Poliana, Aninha e Gabi pelos  
muitos momentos compartilhados ao longo dos anos de convívio.

Aos amigos do Encontro de Jovens com Cristo (EJC) e da Juventude Marial  
Vicentina (JMV) da Paróquia Nossa Senhora do Rosário, em Serra Talhada-PE, pelo  
apoio espiritual, compreensão nos momentos ausentes e pelos ótimos momentos  
compartilhados.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada  
e Instituto Agrônômico de Pernambuco pela infraestrutura para a realização do  
experimento.

À Universidade Federal de Viçosa pela excelente infraestrutura.

Ao CNPq pelo suporte financeiro.

Muito obrigada!

## **BIOGRAFIA**

MARCELA LÚCIA BARBOSA nasceu em 28 de outubro de 1989, na cidade de Caruaru, Pernambuco. É filha de Maria Lúcia da Conceição e Damião Alves de Almeida. Em março de 2009, iniciou o curso de Bacharelado em Ciências Biológicas, pela Universidade Federal Rural de Pernambuco na Unidade Acadêmica de Serra Talhada, localizada na cidade de Serra Talhada-PE. Durante três anos, foi bolsista do Programa de Educação Tutorial, desenvolvendo, nesse período, atividades nas áreas de Ensino, Pesquisa e Extensão. Graduiu-se no primeiro semestre de 2013.

Em agosto de 2013, iniciou o mestrado no Programa de Meteorologia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em 28 de julho de 2015.

## SUMÁRIO

|  |      |
|--|------|
| LISTA DE SÍMBOLOS .....  | vii  |
| LISTA DE FIGURAS .....   | ix   |
| LISTA DE TABELAS .....   | x    |
| RESUMO .....   | xv   |
| ABSTRACT .....   | xvii |
| INTRODUÇÃO .....   | 01   |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....   | 03   |
|  |      |
| CAPÍTULO 1: Variáveis ambientais condicionando a expressão de características morfológicas e suas associações influenciando a transferência de água na interface palma-atmosfera ..... | 06   |
| RESUMO .....   | 06   |
| ABSTRACT .....   | 07   |
| INTRODUÇÃO .....   | 08   |
| MATERIAIS E MÉTODOS .....  | 11   |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 19   |
| CONCLUSÕES .....   | 32   |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....   | 33   |
|  |      |
| CAPÍTULO 2: Associação de fatores de crescimento e hídricos de clones de palma forrageira irrigada com a capacidade de produção de biomassa .....                                      | 57   |
| RESUMO .....   | 57   |
| ABSTRACT .....   | 58   |
| INTRODUÇÃO .....   | 59   |
| MATERIAIS E MÉTODOS .....  | 62   |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 69   |
| CONCLUSÕES .....   | 79   |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....   | 80   |
|  |      |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS DA DISSERTAÇÃO .....  | 98   |



## LISTA DE SÍMBOLOS

|                    |   |                                |
|--------------------|---|--------------------------------|
| AC1                | Área do cladódio de primeira ordem                      | cm <sup>2</sup>                |
| AC2                | Área do cladódio de segunda ordem                       | cm <sup>2</sup>                |
| AC3                | Área do cladódio de terceira ordem                      | cm <sup>2</sup>                |
| AC4                | Área do cladódio de quarta ordem                        | cm <sup>2</sup>                |
| ACB                | Área do cladódio basal                                  | cm <sup>2</sup>                |
| AP                 | Altura da planta  | cm                             |
| BAS                | Balanço de água no solo                                 | -                              |
| BFC                | Biomassa fresca do cladódio                             | g                              |
| BSC                | Biomassa seca do cladódio                               | g                              |
| CAM                | Crassulacean Acid Metabolism                            | -                              |
| CC1                | Comprimento do cladódio de primeira ordem               | cm                             |
| CC2                | Comprimento do cladódio de segunda ordem                | cm                             |
| CC3                | Comprimento do cladódio de terceira ordem               | cm                             |
| CC4                | Comprimento do cladódio de quarta ordem                 | cm                             |
| CCB                | Comprimento do cladódio basal                           | cm                             |
| CE-Cladódios       | Características estruturais dos cladódios               | -                              |
| CE-Planta          | Características estruturais das plantas                 | -                              |
| CMS                | Conteúdo de matéria seca                                | %                              |
| DAC                | Dias após o corte                                       | dias                           |
| EC1                | Espessura do cladódio de primeira ordem                 | mm                             |
| EC2                | Espessura do cladódio de segunda ordem                  | mm                             |
| EC3                | Espessura do cladódio de terceira ordem                 | mm                             |
| EC4                | Espessura do cladódio de quarta ordem                   | mm                             |
| ECB                | Espessura do cladódio basal                             | mm                             |
| ET                 | Evapotranspiração real                                  | mm                             |
| ET/ET <sub>o</sub> | Evapotranspiração real em relação à demanda atmosférica | mm                             |
| ET <sub>o</sub>    | Evapotranspiração de referência                         | mm                             |
| I                  | Irrigação   | mm                             |
| IAC                | Índice de área do cladódio                              | m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> |
| IPA                | IPA Sertânia  | -                              |
| LC1                | Largura do cladódio de primeira ordem                   | cm                             |

|         |   |                    |
|---------|---|--------------------|
| LC2     | Largura do cladódio de segunda ordem      | cm                 |
| LC3     | Largura do cladódio de terceira ordem     | cm                 |
| LC4     | Largura do cladódio de quarta ordem       | cm                 |
| LCB     | Largura do cladódio basal                 | cm                 |
| LP      | Largura da planta                         | cm                 |
| MIU     | Miúda                                     | -                  |
| NC1     | Número de cladódios de primeira ordem     | ud                 |
| NC2     | Número de cladódios de segunda ordem      | ud                 |
| NC3     | Número de cladódios de terceira ordem     | ud                 |
| NC4     | Número de cladódios de quarta ordem       | ud                 |
| NCT     | Número de cladódios totais da planta      | ud                 |
| OEM     | Orelha de Elefante Mexicana               | -                  |
| P       | Precipitação                              | mm                 |
| PC1     | Perímetro do cladódio de primeira ordem   | cm                 |
| PC2     | Perímetro do cladódio de segunda ordem    | cm                 |
| PC3     | Perímetro do cladódio de terceira ordem   | cm                 |
| PC4     | Perímetro do cladódio de quarta ordem     | cm                 |
| PCB     | Perímetro do cladódio basal               | cm                 |
| Q       | Fluxo vertical de água no solo            | mm                 |
| r       | Coefficiente de correlação de Pearson     | -                  |
| REND    | Grupo rendimento                          | -                  |
| REND-MF | Produtividade em base fresca              | t ha <sup>-1</sup> |
| REND-MS | Produtividade em base seca                | t ha <sup>-1</sup> |
| Rg      | Radiação solar global                     | MJ m <sup>-2</sup> |
| SAS     | Suprimento de água no solo                | mm                 |
| Tm      | Temperatura média                         | °C                 |
| Tn      | Temperatura mínima                        | °C                 |
| Tx      | Temperatura máxima                        | °C                 |
| u       | Velocidade do vento                       | m s <sup>-1</sup>  |
| URm     | Umidade Relativa média                    | %                  |
| URn     | Umidade Relativa mínima                   | %                  |
| URx     | Umidade Relativa máxima                   | %                  |
| ΔA      | Variação do armazenamento de água no solo | mm                 |

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

- FIGURA 1 Vista da área experimental situada no Instituto Agronômico de Pernambuco, em Serra Talhada, PE (A), instalação de tubo de acesso (B), clone IPA Sertânia (C), clone Miúda (D), clone Orelha de Elefante Mexicana (E), Leitura com a sonda capacitiva Diviner@2000 (F), tratos culturais (G), tubo de acesso (H), marcação das plantas para monitoramento biométrico (I), sistema de irrigação por gotejamento (J), colheita da área experimental (K) e calibração da sonda capacitiva (L) 38
- FIGURA 2 Medidas biométricas na cultura da palma forrageira. (A) altura da planta – AP; (B) largura da planta - LP; (C) ordenamento de ocorrência dos cladódios - CB: cladódio basal, CO1 - cladódio de 1ª ordem, sucessivamente; (D) contagem do número de cladódios por planta - 1, 2, 3, 4, n; (E) comprimento do cladódio - CC; (F) largura do cladódio - LC; (G) perímetro do cladódio - PC; e (H) espessura do cladódio - EC 39
- FIGURA 3 Fluxograma das inter-relações entre as variáveis explicativas e respostas para análise da influência do ambiente na expressão de características morfológicas estruturais e de suas associações sobre a transferência de água na interface palma-atmosfera, de clones dos gêneros *Nopalea* sp. (Miúda - MIU e IPA Sertânia - IPA) e *Opuntia* sp. (Orelha de Elefante Mexicana - OEM) cultivados no município de Serra Talhada, estado de Pernambuco, Semiárido brasileiro. Obs.: AMB - Ambiente, PL - Planta, CL - Cladódio e ET – Evapotranspiração real da cultura 40

### CAPÍTULO 2

- FIGURA 1 Fluxograma das inter-relações entre as variáveis explicativas e respostas para análise da associação de fatores de crescimento e hídricos de clones de palma forrageira irrigada com a capacidade de produção de biomassa, de clones dos gêneros *Nopalea* sp. (Miúda - MIU e IPA Sertânia - IPA) e *Opuntia* sp. (Orelha de Elefante Mexicana - OEM) cultivados no município de Serra Talhada, estado de Pernambuco, Semiárido brasileiro. Obs.: PL - Planta, CL - Cladódio, ET - Evapotranspiração real da cultura, REND - Rendimento 84

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

|          |   |    |
|----------|---|----|
| TABELA 1 | Matrizes de correlação de Pearson entre as variáveis dos grupos “Evapotranspiração” (ET), “Ambiente”, “Planta” e “Cladódio” das Análises I e II, de clones de palma forrageira (IPA Sertânia - IPA, Miúda - MIU e Orelha de Elefante Mexicana - OEM), sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil                               | 41 |
| TABELA 2 | Correlações canônicas e pares canônicos entre o grupo “Planta” (características estruturais das plantas) e o grupo “Ambiente” (variáveis ambientais), do clone IPA Sertânia – IPA, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil  | 42 |
| TABELA 3 | Correlações canônicas e pares canônicos entre o grupo “Cladódio” (características estruturais dos cladódios) e o grupo “Ambiente” (variáveis ambientais), do clone IPA Sertânia – IPA, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil  | 43 |
| TABELA 4 | Correlações canônicas e pares canônicos entre o grupo “Planta” (características estruturais das plantas) e o grupo “Ambiente” (variáveis ambientais), do clone Miúda – MIU, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil   | 44 |
| TABELA 5 | Correlações canônicas e pares canônicos entre o grupo “Cladódio” (características estruturais dos cladódios) e o grupo “Ambiente” (variáveis ambientais), do clone Miúda – MIU, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil   | 45 |
| TABELA 6 | Desdobramento do coeficiente de correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre as variáveis do grupo resposta “Planta” (características estruturais das plantas), com as variáveis do grupo explicativo “Ambiente” (variáveis ambientais), do clone IPA Sertânia – IPA, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil | 46 |
| TABELA 7 | Desdobramento do coeficiente de correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre as variáveis do grupo resposta “Cladódio”  |    |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
|           | (características estruturais dos cladódios), com as variáveis do grupo explicativo “Ambiente” (variáveis ambientais), do clone IPA Sertânia - IPA, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil   | 47 |
| TABELA 8  | Desdobramento do coeficiente de correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre as variáveis do grupo resposta “Planta” (características estruturais das plantas), com as variáveis do grupo explicativo “Ambiente” (variáveis ambientais), do clone Miúda - MIU, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil                           | 48 |
| TABELA 9  | Desdobramento do coeficiente de correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre o grupo resposta “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), o grupo explicativo “Ambiente” (variáveis ambientais), do clone Miúda - MIU, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil   | 49 |
| TABELA 10 | Desdobramento do coeficiente de correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre as variáveis do grupo resposta “Planta” (características estruturais das plantas), com as variáveis do grupo explicativo “Ambiente” (variáveis ambientais), do clone Orelha de Elefante Mexicana – OEM, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil     | 50 |
| TABELA 11 | Desdobramento do coeficiente de correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre as variáveis do grupo resposta “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), com as variáveis do grupo explicativo “Ambiente” (variáveis ambientais), do clone Orelha de Elefante Mexicana – OEM, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil | 51 |
| TABELA 12 | Correlações canônicas e pares canônicos entre o grupo “Evapotranspiração” (ET) e os grupos “Ambiente” (variáveis ambientais), “Planta” (características estruturais das plantas) e “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone IPA Sertânia – IPA, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil                                | 52 |
| TABELA 13 | Correlações canônicas e pares canônicos entre o grupo “Evapotranspiração” (ET) e o grupo “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone Miúda – MIU, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil   | 53 |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| TABELA 14 | Correlações canônicas e pares canônicos entre o grupo “Evapotranspiração” (ET) e os grupos “Ambiente” (variáveis ambientais) e “Planta” (características estruturais das plantas), do clone Orelha de Elefante Mexicana – OEM, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil  | 53 |
| TABELA 15 | Desdobramento da correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre o grupo resposta “Evapotranspiração”, com os grupos explicativos “Ambiente”, “Planta” (características estruturais das plantas) e “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone IPA Sertânia – IPA, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil  | 54 |
| TABELA 16 | Desdobramento da correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre as variáveis do grupo resposta “Evapotranspiração” (ET), com as variáveis dos grupos explicativos “Ambiente” (variáveis ambientais), “Planta” (características estruturais das plantas) e “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone Miúda - MIU, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil                       | 55 |
| TABELA 17 | Desdobramento da correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre as variáveis do grupo resposta “Evapotranspiração” (ET), com as variáveis dos grupos explicativos “Ambiente” (variáveis ambientais), “Planta” (características estruturais das plantas) e “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone Orelha de Elefante Mexicana – OEM, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil | 56 |

## CAPÍTULO 2

|          |   |    |
|----------|---|----|
| TABELA 1 | Matrizes de correlação de Pearson entre as variáveis do grupo resposta “Planta” (características estruturais das plantas) com o grupo explicativo “Cladódio” (características de estruturais dos cladódios) da Análise I, e entre o grupo resposta “Rendimento” com os grupos explicativos “Planta” e “Cladódio” da Análise II, de clones de palma forrageira (IPA Sertânia - IPA, Miúda - MIU e Orelha de Elefante Mexicana - OEM), sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, município de Serra Talhada, PE, Brasil | 85 |
| TABELA 2 | Correlações canônicas e pares canônicos entre o grupo “Planta”  |    |

|          |   |    |
|----------|---|----|
|          | (características estruturais das plantas) e o grupo “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone IPA Sertânia – IPA, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil  | 86 |
| TABELA 3 | Correlações canônicas e pares canônicos entre o grupo “Planta” (características estruturais das plantas) e o grupo “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone Miúda – MIU, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil  | 87 |
| TABELA 4 | Correlações canônicas e pares canônicos entre o grupo “Planta” (características estruturais das plantas) e o grupo “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone Orelha de Elefante Mexicana – OEM, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil  | 88 |
| TABELA 5 | Desdobramento do coeficiente de correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre as variáveis do grupo resposta “Planta” (características estruturais das plantas), com as variáveis do grupo explicativo “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone IPA Sertânia – IPA, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil                | 89 |
| TABELA 6 | Desdobramento do coeficiente de correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre as variáveis do grupo resposta “Planta” (características estruturais das plantas), com as variáveis do grupo explicativo “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone Miúda – MIU, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil                       | 90 |
| TABELA 7 | Desdobramento do coeficiente de correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre as variáveis do grupo resposta “Planta” (características estruturais das plantas), com as variáveis do grupo explicativo “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone Orelha de Elefante Mexicana – OEM, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil | 91 |
| TABELA 8 | Correlações canônicas e pares canônicos entre o grupo “Rendimento” e o grupo “Cladódio” (características estruturais dos cladódios) do clone IPA Sertânia – IPA, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil  | 92 |
| TABELA 9 | Correlações canônicas e pares canônicos entre o grupo “Rendimento”  |    |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
|           | e o grupo “Planta” (características estruturais da planta) do clone Orelha de Elefante Mexicana – OEM, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil  | 93 |
| TABELA 10 | Desdobramento da correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre as variáveis do grupo resposta “Rendimento”, com as variáveis dos grupos explicativos “Planta” (características estruturais das plantas) e “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone IPA Sertânia – IPA, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil | 94 |
| TABELA 11 | Desdobramento da correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre as variáveis do grupo resposta “Rendimento” com as variáveis do grupo explicativo “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone Miúda – MIU, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil   | 95 |
| TABELA 12 | Desdobramento da correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre o grupo resposta “Rendimento”, com os grupos explicativos “Planta” (características estruturais das plantas) e “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone Orelha de Elefante Mexicana – OEM, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil              | 96 |



## RESUMO

BARBOSA, Marcela Lúcia, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2015. **Inter-relações de variáveis ambientais com características morfoprodutivas e hídricas de cactáceas** *Nopalea* sp. e *Opuntia* sp. **no Semiárido brasileiro**. Orientador: Sérgio Zolnier. Coorientadores: Thieres George Freire da Silva e Sérvulo Mercier Siqueira e Silva.

Há uma carência de estudos que abordem as inter-relações entre as variáveis ambientais, o crescimento, a evapotranspiração e o acúmulo de biomassa de clones de palma forrageira em condições de campo. Assim, o objetivo deste estudo foi analisar a contribuição de variáveis ambientais nas características morfológicas de clones dos gêneros *Nopalea* e *Opuntia*, assim como destas variáveis e dos aspectos morfológicos na transferência de água na interface palma-atmosfera. Além disso, verificou-se a influência das características estruturais dos cladódios (CE-Cladódios) sobre a arquitetura das plantas (CE-Planta). Finalmente, foram avaliados os efeitos destas características, em conjunto com a evapotranspiração, na explicação da capacidade de acúmulo de biomassa da cultura. O experimento foi conduzido em Serra Talhada, no estado de Pernambuco, onde os clones IPA Sertânia (IPA, *Nopalea*), Miúda (MIU, *Nopalea*) e Orelha de Elefante Mexicana (OEM, *Opuntia*) foram submetidos a três lâminas (2,5 mm, 5,0 mm e 7,5 mm) e intervalos fixos de irrigação (7, 14 e 28 dias), entre março de 2012 e agosto de 2013. Durante o período experimental, foram obtidos dados de variáveis biométricas, meteorológicas, da evapotranspiração real dos clones (ET) e, na ocasião da colheita, da produtividade da cultura, os quais constituíram os grupos: “CE-Cladódios”, “CE-Planta”, “Ambiente”, “ET” e “REND”. Adicionalmente, foi realizada a estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e, posteriormente, calculada a razão ET/ET<sub>o</sub>. Os grupos de variáveis foram caracterizados como resposta ou explicativo na inter-relação entre os mesmos para cada um dos clones estudados. Em seguida, elaborou-se a matriz de correlação de Pearson entre as variáveis e aplicaram-se análises de multicolinearidade, canônica e de trilha. A partir dos resultados obtidos, foi verificado que as variáveis meteorológicas afetaram a expressão das características morfológicas. A radiação solar global destacou-se como a variável que mais influenciou na redução da ET dos três clones e a velocidade do vento àquela que afetou positivamente a razão ET/ET<sub>o</sub> dos clones OEM e IPA. O aumento do índice

de área do cladódio implicou na redução da ET dos clones IPA e OEM, ao passo que, para o clone MIU, constatou-se que os efeitos do número de cladódios de primeira e de segunda ordens foram os mais importantes. As características dos cladódios de ordens superiores dos clones Nopalea (IPA e MIU) foram aquelas que mais afetaram a relação ET/ET<sub>o</sub>. As características estruturais dos cladódios de segunda e de terceira ordens, foram as que mais contribuíram para a arquitetura das plantas dos clones IPA e MIU. Para o clone OEM, os cladódios de primeira e terceira ordens foram os mais importantes. O número de cladódios de terceira ordem e a dimensão dos cladódios de segunda e terceira ordens afetaram a capacidade de acúmulo de biomassa do clone IPA. Em contraste, o rendimento foi mais influenciado pelo crescimento do cladódio basal no clone MIU. Os números de cladódios de primeira e segunda ordens e as suas dimensões, promoveram maior acúmulo de biomassa para o clone OEM. Com relação à disponibilidade de água, a ET não afetou a expressão do potencial produtivo dos clones de palma forrageira. As variáveis meteorológicas, e ou características morfológicas de clones dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, afetaram a transferência de água na interface palma-atmosfera, a capacidade produtiva da cultura e a dinâmica de formação do dossel vegetativo.

## ABSTRACT

BARBOSA, Marcela Lúcia, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2015. **Inter-relationships of environmental variables with morphoproductive and water characteristics of Cactaceae Nopalea sp. and Opuntia sp. in the Brazilian semi-arid region.** Adviser: Sérgio Zolnier. Co-advisers: Thieres George Freire da Silva and Sérvulo Mercier Siqueira e Silva.

There is a lack of studies that address the interrelationships among environmental variables, growth, evapotranspiration and biomass accumulation of forage cactus clones of the genus *Opuntia* and *Nopalea* under field conditions. Thus, the objective of this study was to analyze the environmental variables contribution to morphological characteristics of the *Opuntia* and *Nopalea* genus clones, as well as these variables and morphological aspects to water transfer in the cactus-atmosphere interface. In addition, it was verified the influence of the cladode structural characteristics (EC-Cladode) on the plant architecture (EC-plant). Finally, it was evaluated the effect of these characteristics, combined with evapotranspiration, on the explanation of crop biomass accumulation capacity. The experiment was carried out in Serra Talhada, in the State of Pernambuco, where the clones IPA Sertânia (IPA, *Nopalea*), Miúda (MIU, *Nopalea*) and Orelha de Elefante Mexicana (OEM, *Opuntia*) were subjected to three depths (2.5 mm, 5.0 mm and 7.5 mm) and fixed irrigation intervals (7, 14 and 28 days), from March 2012 to August 2013. Data of the biometric and meteorological variables and the actual evapotranspiration (ET) were obtained during the experimental period. Besides, the crop yield was determined at the harvest time. These data constituted the groups: “CE-Cladode”, “CE-plant”, “Environment”, “ET” and “REND”. Additionally, the crop reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) was estimated and then the ratio ET/ET<sub>o</sub> was calculated. The groups of variables were characterized as response or explanation on the interrelation between them for each studied clones. Then, it was elaborated the Pearson correlation matrix among variables and multicollinearity, canonical and path analysis were applied. Based on the obtained results, it was verified that the meteorological variables affected the expression of morphological characteristics. Global solar radiation stood out as the most important variable in reducing the ET of the three clones and wind speed the one that positively affected the ratio ET/ET<sub>o</sub> of the OEM and IPA clones. The increase in the cladode area index implied in the

reduction of the ET of the IPA and OEM clones, whereas the effects of cladode number of first and second order were the most important for the MIU clone. The cladode characteristics of superior orders of the clones Nopalea (IPA and MIU) were those that mostly affected the ratio ET/ET<sub>0</sub>. The structural characteristics of cladodes of second and third orders, were those that mostly contributed to the plant architecture of the clones IPA and MIU. For the OEM clone, the cladodes of first and third orders were the most important. The number of cladodes of the third order and the cladode dimensions of the second and third orders affected the biomass accumulation capacity of IPA clone. In contrast, the yield was more affected by the basal cladode growth for the MIU clone. The number of cladodes of the first and second orders and their dimensions promoted greater biomass accumulation for the OEM clone. As regard to the water availability, the ET did not affect the expression of the productive potential of the forage cactus clones. The meteorological variables, and or morphological characteristics of the genus *Opuntia* and *Nopalea* clones, affected the water transfer in the interface cactus-atmosphere, the crop productive capacity and the formative dynamics of the vegetative canopy.

## 1. INTRODUÇÃO

As plantas possuem a habilidade de regular suas características estruturais e morfogênicas mediante as condições ambientais as quais são expostas, como diferentes níveis de radiação solar (BALIZA et al., 2012), temperatura (GUERRA et al., 2014), disponibilidade de água (OLIVEIRA et al., 2013), concentração de CO<sub>2</sub> (MARIN; NASSIF, 2013), salinidade (TABOT; ADAMS, 2014), entre outras, induzindo-as ao máximo crescimento em condições ideais ou desencadeando mecanismos que as possibilitem tolerar as adversidades. Dessa forma, o crescimento e o rendimento das plantas são condicionados pelos fatores do ambiente (COLARES et al., 2007; FALLEH et al., 2012; TONELLO; TEIXEIRA FILHO, 2012).

Dentre os fatores ambientais supracitados, pode-se destacar a água. Para controlar a sua perda, as plantas passam por variações morfológicas e fisiológicas, com reflexo em sua taxa de crescimento (RODRIGUES et al., 2011; TAIZ; ZEIGER, 2013). Plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>, em ambientes com completo suprimento de água, têm a sua transpiração regulada pelas condições de disponibilidade de energia (RODRIGUES et al., 2011; SILVA et al., 2012).

Para reduzir a perda de água em condições de estresse hídrico, a planta pode diminuir a turgescência das folhas, promover o fechamento parcial ou total dos estômatos, inibir o crescimento foliar ou estimular sua abscisão, acentuar o crescimento das raízes ou fazer ajustamento osmótico. Este último consiste no acúmulo intracelular de solutos como Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>, de modo que o potencial hídrico da célula seja menor do que o do ambiente, mantendo um gradiente que permita a absorção de água (CHAVES FILHO; CCIARINI-SERAPHIN, 2001; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Além disso, em plantas com metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), esse controle induz à maior eficiência do uso de água, garantindo uma vantagem competitiva e maior adaptação das CAM em ambientes com baixa disponibilidade hídrica. Diferente das plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>, as plantas CAM abrem os seus estômatos à noite para captarem o CO<sub>2</sub> necessário ao seu metabolismo (LÜTTGE, 2010). Neste período, é maior a umidade relativa e menor o déficit de pressão de vapor d'água no ar, diminuindo, assim, as suas perdas por transpiração (LE MOS FILHO et al., 2010). Raros são os estudos que enfatizam as modificações morfofisiológicas de espécies CAM às alterações do ambiente de crescimento (POTGIETER, 2007).

A perda de água pelas plantas por meio da transpiração e a água evaporada do solo, ou seja, a evapotranspiração (ET), sofrem influência direta dos elementos meteorológicos e de características da planta e do solo. A ET varia entre as espécies, bem como com a fase de desenvolvimento, em função de alterações das resistências ao processo de transpiração, altura, área foliar e entre outros fatores relacionados à morfologia das plantas (ALLEN et al., 1998; LEMOS FILHO et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2009). Ao mesmo tempo, é afetada pelo manejo da cultura e irrigação (VENDRAME et al., 2000).

Distintas espécies de palma forrageira são cultivadas no Nordeste do Brasil, destacando-se as do gênero *Opuntia* e *Nopalea* que, apesar de apresentarem o mesmo mecanismo fotossintético (CAM), possuem especificidades que as diferenciam entre si, como, por exemplo, eficiência do uso da água e características morfológicas (FERREIRA et al., 2003; SILVA et al., 2014).

Embora apresentem determinada resistência à seca, espécies de palma forrageira respondem às condições do ambiente, como à variação na temperatura e umidade do ar, radiação solar, velocidade do vento e disponibilidade de água no solo. Alterações no ambiente de cultivo resultam, por exemplo, em mudanças bioquímicas e fisiológicas, na abertura diferenciada dos estômatos, em diferenças no desenvolvimento e na taxa de emissão de novos cladódios, o que pode refletir no crescimento (ACEVEDO et al., 1983; LÜTTGE, 2010). Assim, estudos que correlacionem o crescimento e desenvolvimento de clones de palma forrageira com as variáveis ambientais e do solo são fundamentais.

Técnicas como a matriz de correlação de Pearson permitem avaliar a existência, a intensidade e a direção da relação linear entre duas variáveis. Porém, na maioria dos casos, há a interação entre um conjunto de variáveis explicando determinada característica. Dessa forma, análises multivariadas, como as correlações canônicas são mais indicadas, pois permitem avaliar as inter-relações existentes entre dois grupos de variáveis (BRUM et al., 2011, CUNHA et al., 2011). Com o objetivo de avaliar se o grau de correlação entre as variáveis selecionadas é de causa direta ou se ocorre por influência de outras, a análise de trilha é utilizada para fornecer esta informação (SOUZA, 2013).

Em geral, relatos na literatura científica sobre a influência de variáveis ambientais no crescimento, desenvolvimento e produtividade da palma forrageira limitam-se a experimentos conduzidos em laboratório ou a partir de pesquisa

observacional (NOBEL; HARTSOCK, 1983; POTGIETER, 2007). Em razão de ajustes morfofisiológicos provocados pelas alterações ambientais, pode-se identificar quais elementos e variáveis mais influenciam no crescimento da palma e em sua produtividade, informação útil para auxiliar o produtor nas práticas de manejo da cultura no Semiárido Brasileiro.

Na literatura mundial não tem sido dada ênfase às diferenças morfofisiológicas de espécies cactáceas, sobretudo a palma forrageira. Assim, há dúvidas se a teoria de influência de variáveis ambientais sobre a transferência de água na interface planta-atmosfera de plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> se aplica às espécies cactáceas. Além disso, há pouca informação sobre a relação da capacidade produtiva de espécies cactáceas à expressão morfológica das plantas.

Diante da ausência de estudos que abordem as inter-relações entre as condições do ambiente, com o crescimento, evapotranspiração e capacidade de acúmulo de biomassa de clones de palma forrageira, em condições de campo, o presente estudo busca obter informações capazes de auxiliar na identificação de características de crescimento que resultem em maior produtividade, bem como avaliar as variáveis meteorológicas que mais influenciam no crescimento dos clones.

### Referências Bibliográficas

ACEVEDO, E.; BADILLA, I.; NOBEL, P.S. Water relations, diurnal acidity changes, and productivity of a cultivated cactus, *Opuntia ficus-indica*. **Plant physiology**, v. 72, n. 3, p. 775-780, 1983.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMUTH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**, Rome: FAO, Irrigation and Drainage Paper 56, 1998. 301p.

BALIZA, D.P.; CUNHA, R. L.; CASTRO, E.M.; BARBOSA, J.P.R.A..D.; PIRES, M.F.; GOMES, R.A. Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, v. 7, n. 3, p. 250-258, 2012.

BRUM, B.; LOPES, S.J.; STORCK, L.; LÚCIO, A.D.; OLIVEIRA, P.H.; MILANI, M. Correlações canônicas entre variáveis de semente, plântula, planta e produção de grãos em mamoneira. **Ciência Rural**, v. 41, n. 3, p. 404-411, 2011.

CHAVES FILHO, J. T.; STACCIARINI-SERAPHIN, E. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum*

lycocarpum St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 24, n. 2, p. 199-204, 2001.

COLARES, I. G.; BATISTA, T. de L.; MAGALHÃES, U. A. S.; SANTOS, L. C. dos; SCHLEE, M. D. B. Efeito da temperatura e do fotoperíodo no crescimento e nas respostas fotossintéticas de *Potamogeton pectinatus* L. (potamogetonaceae), em cultivo experimental. **Revista estudos de biologia**, Curitiba, v.29, n. 68-69, p. 297-306, 2007.

CUNHA, M.V; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F.; FREITAS, E.V.; DUBEUX JUNIOR, J.C.B.; MELLO, A.C.L.; MARTINS, K.G.R. Association between the morphological and productive characteristics in the selection of elephant grass clones. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 3, p. 482-488, 2011.

FALLEH, H.; KSOURI, R.; BOULAABA, M.; GUYOT, S.; ABDELLEY, C.; MAGNÉ, C. Phenolic nature, occurrence and polymerization degree as marker of environmental adaptation in the edible halophyte *Mesembryanthemum edule*. **South African Journal of Botany**, v. 79, p. 117–124, 2012.

FERREIRA, C.A.; FERREIRA, R.L.C.; SANTOS, D.C.; SANTOS, M.V.F.; SILVA, J.A.A.; LIRA, M.A.; MOLICA, S.G. Utilização de técnicas multivariadas na avaliação da divergência genética entre clones de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 6, p. 1560-1568, 2003.

GUERRA, A.; BARBOSA, A. D. M.; GUIDORIZZI, K. A.; SOUZA, G. M. Efeitos da temperatura do ar na fotossíntese da cana-de-açúcar na fase inicial do desenvolvimento. **Agrarian**, v. 7, n. 24, p. 211-217, 2014.

LEMOS FILHO, L.C.A.; CARVALHO, L.G.; EVANGELISTA, A.W.P.; ALVES JÚNIOR, J. Análise espacial da influência dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração de referência em Minas Gerais. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 14, n. 12, p. 1294-1303, 2010.

LÜTTGE, Ulrich. Ability of crassulacean acid metabolism plants to overcome interacting stresses in tropical environments. **AoB plants**, v. 2010, p. 1-15, 2010.

MARIN, F.; NASSIF, D.S.P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 232-239, 2013.

NOBEL, P.S.; HARTSOCK, T.L. Relationships between photosynthetically active radiation, nocturnal acid accumulation, and CO<sub>2</sub> uptake for a crassulacean acid metabolism plant, *Opuntia ficus-indica*. **Plant physiology**, v. 71, n. 1, p. 71-75, 1983.

OLIVEIRA, G.X.S.; COELHO FILHO, M.A.; PEREIRA, F.D.C.; COELHO, E.F.; PAZ, V.D.S.; CASTRO NETO, M.D. Relações entre transpiração máxima, evapotranspiração de referência e área foliar em quatro variedades de mangueira. **Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal**, v. 31, n. 1, p. 20-27, 2009.



OLIVEIRA, J.M.; COELHO FILHO, M.A.; COELHO, E.F. Crescimento da bananeira Grande Naine submetida a diferentes lâminas de irrigação em tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.10, p. 1038-1046, 2013.

POTGIETER, J.P. **The influence of environmental factors on spineless cactus pear (*Opuntia spp.*) fruit yield in Limpopo Province, South Africa.** 2007. Dissertação (Mestrado em Agricultural Sciences) - University of the Free State, Bloemfontein, 2007.

RODRIGUES, H. J. B; COSTA, R. F; RIBEIRO, J. B. M; SOUZA FILHO, J. D. C; RUIVO, M. L. P; SILVA JÚNIOR, J. A. S. Variabilidade sazonal da condutância estomática em ecossistema de manguezal Amazônico e suas relações com variáveis meteorológicas. **Revista Brasileira de meteorologia**, v. 26, n. 2, p. 189-196, 2011.

SILVA, T.G.F.; ARAÚJO PRIMO, J.T.; SILVA, S.M.S.; MOURA, M.S.B.; SANTOS, D.C.; SILVA, M.C.; ARAÚJO, J.E.M. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. **Bragantia**, v. 73, n. 2, p. 184-191, 2014.

SILVA, T.G.F.; ZOLNIER, S.; MOURA, M.S.B.; CARMO, J.F.A.; RIBEIRO, A. Fator de desacoplamento em um canavial irrigado no Submédio do Vale do São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 8, p. 849-858, 2012.

SOUZA, T.V. **Aspectos estatísticos da análise de trilha (PATH ANALYSIS) aplicada em experimentos agrícolas.** 2013. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

TABOT, P.T.; ADAMS, J.B. Salt secretion, proline accumulation and increased branching confer tolerance to drought and salinity in the endemic halophyte *Limonium linifolium*. **South African Journal of Botany**, v. 94, p. 64–73, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

TONELLO, K.C.; TEIXEIRA FILHO, J. Ecofisiologia de três espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica do Brasil em diferentes regimes de água. **Irriga**, v. 17, n. 1, 2012.

VENDRAME, I.; ALBUQUERQUE, V.F.; FISCH, G. Influência da condutância estomática no cálculo da evapotranspiração em Rondônia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 2, p. 59-70, 2000.

## **Variáveis ambientais condicionando a expressão de características morfológicas e suas associações influenciando a transferência de água na interface palma-atmosfera**

**Resumo:** Os fatores que afetam a evapotranspiração durante o cultivo de espécies cactáceas, assim como a importância das características das plantas e de variáveis ambientais, são pouco conhecidos. O objetivo foi analisar a contribuição de variáveis ambientais nas características morfológicas de cladódios e de plantas de clones dos gêneros *Nopalea* e *Opuntia*, e de ambas na transferência de água na interface palma-atmosfera. O experimento foi conduzido em Serra Talhada, Pernambuco, onde os clones IPA Sertânia (IPA, *Nopalea*), Miúda (MIU, *Nopalea*) e Orelha de Elefante Mexicana (OEM, *Opuntia*) foram submetidos a distintas lâminas (2,5; 5,0; e 7,5 mm) e intervalos fixos de irrigação (7, 14 e 28 dias), entre março de 2012 e agosto de 2013. Dados biométricos, de evapotranspiração e de variáveis meteorológicas foram obtidos durante o período experimental. Os dados disponíveis foram utilizados na elaboração da matriz de correlação de Pearson entre as variáveis selecionadas e em análises de multicolinearidade, canônica e de trilha. Verificou-se que as variáveis meteorológicas afetaram as características morfológicas, independentemente do clone. A radiação solar global destacou-se como a variável que mais influenciou na redução da evapotranspiração real (ET) dos três clones e a velocidade do vento àquela que afetou a razão entre os valores de evapotranspiração real e de referência (ET/ET<sub>o</sub>) dos clones OEM e IPA. O aumento do índice de área do cladódio implicou na redução da ET desses dois últimos clones, enquanto os efeitos do número de cladódios de 1ª e 2ª ordens foram os mais importantes para o clone MIU. As características dos cladódios de ordens superiores dos clones *Nopalea* foram àquelas que mais afetaram na resposta da ET ao incremento da demanda atmosférica.

**Termos de indexação:** análise canônica, análise de trilha, evapotranspiração, *Nopalea* sp., *Opuntia* sp.

## **Environmental variables conditioning the expression of morphological characteristics and their associations influencing the water transfer on cactus-atmosphere interface**

**Abstract:** The factors that affect the evapotranspiration during cultivation of cacti species, as well as the importance of the plant characteristics and environmental variables, are not very well known. The objective was to analyze the contribution of the environmental variables to the cladode and plant morphological characteristics of the *Opuntia* and *Nopalea* genus clones, and of both on the water transfer in the cactus-atmosphere interface. The experiment was carried out in Serra Talhada, Pernambuco, where the IPA Sertânia (IPA, *Nopalea*), Miúda (MIU, *Nopalea*) and Orelha de Elefante Mexicana (OEM, *Opuntia*) clones were subjected to different depths (2.5; 5.0; and 7.5 mm) and fixed irrigation intervals (7, 14 and 28 days), from March 2012 to August 2013. Biometric, evapotranspiration and meteorological data were obtained during the experimental period. The available data were utilized to elaborate the Pearson matrix correlation among selected variables and to perform multicollinearity, canonical and path analysis. It was verified that the meteorological variables affected the morphological characteristics, regardless of the clone. Global solar radiation stood out as the variable that mostly influenced the reduction of the actual evapotranspiration (ET) of the three clones, and wind speed was the one that affect the ratio between the actual and reference crop evapotranspiration values (ET/ET<sub>o</sub>) for the OEM and IPA clones. The increase in the cladode area index implied in the reduction of ET for these last two clones, while the effects of cladode number of first and second order were the most important for the MIU clone. The cladode characteristics of superior orders of *Nopalea* clones were the ones which mostly affected the ET response to the increased atmospheric demand.

**Index terms:** canonical analysis, path analysis, evapotranspiration, *Nopalea* sp., *Opuntia* sp.

## Introdução

O conhecimento da interação entre as plantas e o ambiente auxilia na compreensão da influência dos elementos meteorológicos sobre o crescimento, desenvolvimento e produtividade das espécies (Sentelhas & Monteiro, 2009). Os elementos meteorológicos como radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento condicionam a dinâmica do metabolismo das plantas, interferindo de forma direta ou indireta em processos como captação de CO<sub>2</sub>, ação enzimática, germinação, respiração, abertura e fechamento estomático, reprodução, fotossíntese, morfologia, transpiração, duração de fases fenológicas, entre outros (Azevedo et al., 2013; Bahuguna & Jagadish, 2015; Jia et al., 2015; Kim et al., 2014; Llorens et al., 2015; Mortensen & Gislerød, 2005; Mortensen, 2000; Motsa et al., 2015; Sentelhas & Monteiro, 2009).

A depender da interação com as variáveis meteorológicas, as plantas podem passar por processos de plasticidade fenotípica, de modo a desenvolverem características de adaptação ao ambiente de crescimento (Louw et al., 2015). Como exemplo, pode-se mencionar o metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), o qual permite que as plantas tolerem condições de estresse hídrico com altas temperaturas ambientais, sendo constatadas em regiões áridas e semiáridas. As plantas CAM abrem os seus estômatos para captarem o CO<sub>2</sub> necessário ao seu metabolismo apenas à noite, quando são menores as temperaturas do ambiente e as perdas de água para a atmosfera. A fixação do CO<sub>2</sub> e a fotossíntese ocorrem durante o dia, pelo estímulo fotoquímico da radiação solar, porém, permanecendo com os estômatos fechados (Lüttge, 2010).

Dentre as espécies CAM, a palma forrageira (*Opuntia* sp. e *Nopalea* sp.) destaca-se na região semiárida, pela sua utilização nos períodos de estiagem como

fonte de alimentação e água para os animais (Stintzing & Carle, 2005). Nessa espécie, as folhas são atrofiadas e apenas espinhos permanecem em seu lugar, de tal modo que o tecido fotossintetizante está localizado nos cladódios, que além de armazenarem água e o CO<sub>2</sub> para a fotossíntese, fazem a conversão de energia luminosa em energia química (Azevedo et al., 2013; Silva et al., 2001).

Embora possuam o mesmo tipo fotossintético, clones de palma forrageira diferem entre si pelas suas características morfológicas, pois possuem diferentes tamanhos e estruturas de cladódios. Essas características refletem diferenças nas estruturas fotossintetizantes e na arquitetura do dossel das plantas (Silva et al., 2010; Silva et al., 2014a; Peña-Valdivia et al., 2008), o que implica em diferentes formas de extração de água do solo e armazenamento nos cladódios. Todavia, podem não resultar em distinções quanto à transferência de água para a atmosfera, ou seja, na evapotranspiração (Araújo Primo et al., 2015).

Nesse processo de troca de vapor d'água entre a vegetação e a atmosfera, três fatores ambientais são importantes: déficit de pressão de vapor d'água do ar, velocidade do vento e a disponibilidade de energia, os quais têm sido relatados para plantas folhosas como determinantes no processo de evapotranspiração. Quando o controle ocorre devido à força do déficit de pressão de vapor d'água e velocidade do vento, diz-se que a vegetação está acoplada com a atmosfera, ou seja, a vegetação exerce um controle efetivo sobre a evapotranspiração. Em contrapartida, quando a vegetação está desacoplada da atmosfera, há a inibição do fluxo de vapor d'água por causa da saturação do ar, assim, a evapotranspiração é mais sensível à energia proveniente do saldo de radiação (Silva et al., 2012; Souza Filho et al., 2005). Tratando-se de plantas CAM, que fecham os seus estômatos durante o dia abrindo-os apenas à noite, faz-se necessário conhecer quais os fatores que mais influenciam na

regulação do processo de evapotranspiração. Portanto, é importante identificar se são as plantas que exercem maior controle na perda de água ou se são as condições do ambiente.

Análises multivariadas, como a correlação canônica, permitem auxiliar nessa compreensão, uma vez que avaliam as inter-relações existentes entre dois grupos de variáveis (Cunha et al., 2011). Porém, a correlação canônica não identifica se o efeito exercido por uma variável explicativa sobre a variável resposta é direto ou se ocorre por influência de terceiras. A análise de trilha, por sua vez, permite fazer essa avaliação.

Muitos estudos têm sido desenvolvidos com o uso dessas técnicas, com os mais variados objetivos, destacando-se: identificação de espécies com maior potencial produtivo (Gomes et al., 2007); avaliação dos fatores que mais influenciam na densidade populacional de pragas (Fernandes et al., 2009); identificação das variáveis meteorológicas que mais contribuem no rendimento de culturas (Miloca et al., 2007) e estudos pertinentes ao melhoramento genético (Müller et al., 2012). Essas técnicas também têm sido aplicadas para a compreensão dos fatores relacionados à palma forrageira. Peña-Valdivia et al. (2008) fizeram uso de análises multivariadas para agrupar e correlacionar as características vegetativas dos cladódios e da planta de clones do gênero *Opuntia*; Pinheiro et al. (2014) utilizaram a análise de trilha para avaliar as correlações entre o índice de área do cladódio com as características morfogênicas e produtivas de clones do gênero *Opuntia* e *Nopalea*; Silva et al. (2010) e Neder et al. (2013), por meio da análise de trilha, identificaram as características morfológicas que mais contribuem para a produtividade de diferentes clones de palma forrageira.

Com base no exposto, espera-se que os seguintes questionamentos sejam respondidos: É possível identificar, por meio de procedimentos estatísticos de análise canônica e de trilha, variáveis que afetam a arquitetura do dossel das plantas e a sua evapotranspiração? Como as variáveis meteorológicas afetam na expressão das características morfológicas de clones de palma forrageira? A sazonalidade das variáveis ambientais e a dinâmica do crescimento de características morfológicas dos cladódios e da planta modificam a transferência de água na interface palma-atmosfera? Embora pertencentes ao mesmo grupo fotossintético (CAM), clones de gêneros distintos de palma forrageira respondem de maneira diferenciada às variáveis ambientais?

Assim, objetivou-se analisar a contribuição de variáveis ambientais na expressão de características morfológicas de cladódios e de plantas de clones dos gêneros *Nopalea* e *Opuntia*, e de ambas, na transferência de água na interface palma-atmosfera em ambiente Semiárido.

### **Materiais e Métodos**

O experimento foi desenvolvido na área experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), próximo à Universidade Federal Rural de Pernambuco, na Unidade Acadêmica de Serra Talhada. O município de Serra Talhada está localizado na região Semiárida do Estado de Pernambuco, cujas coordenadas são 7°59'S, 38°15'O e altitude de 431 m. As características climáticas locais são determinadas pela temperatura média anual de 24,8°C, umidade relativa média de 62% e precipitação pluviométrica de aproximadamente 642 mm ano<sup>-1</sup>, com distribuição mais concentrada entre os meses de janeiro a abril (Cavalcanti & Silva, 1994; Silva et al., 2007; SUDENE, 1990). O solo da área experimental é classificado como um

Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico com textura franco arenoso (EMBRAPA, 1999) e o clima do local é do tipo BSh, de acordo com a classificação de Köppen.

Foram avaliados três clones de palma forrageira, um do gênero *Opuntia* (Orelha de Elefante Mexicana, OEM) e dois do gênero *Nopalea* (Miúda, MIU e IPA-Sertânia, IPA), no segundo ciclo de produção (após o 1º corte), totalizando 532 dias, entre março de 2012 e agosto de 2013. O espaçamento utilizado foi 1,6 x 0,2 m, com as fileiras de cultivo plantadas em sistema de curvas de nível. O delineamento adotado foi em blocos ao caso, em arranjo fatorial de 3x3x3, com três repetições, mais uma testemunha para cada clone. Por meio de um sistema de irrigação por gotejamento (emissores espaçados a 0,40 m) foram aplicadas três lâminas fixas de reposição de água no solo (L1: 2,5 mm; L2: 5,0 mm e L3: 7,5 mm, parcelas) com três frequências de reposição, a cada 7 dias (F1), 14 dias (F2) e 28 dias (F3) (subparcelas). Os três clones (IPA, OEM e MIU) constituíram as sub-subparcelas. No total, o experimento apresentou 90 sub-subparcelas, cada uma composta por 4 fileiras de 20 plantas, totalizando 80 plantas, com área de 25,6 m<sup>2</sup> e útil de 11,52 m<sup>2</sup>. A área útil, por sua vez, foi constituída de 32 plantas situadas nas duas fileiras centrais.

Durante o período experimental, os três clones de palma forrageira receberam o equivalente a 756 (L7,5 F7), 672 (L5,0 F7), 622 (L7,5 F14), 586 (L2,5 F7), 579 (L5,0 F14), 555 (L7,5 F28), 536 (L2,5 F14), 535 (L5,0 F28), 514 (L2,5 F28) e 493 mm ano<sup>-1</sup> (Testemunha). Para a realização dos eventos de irrigação, a água foi retirada do Açude Saco, a qual apresentou condutividade elétrica de 1,1 a 1,6 dS m<sup>-1</sup> ao longo do período experimental.

A adubação foi feita mensalmente, com aplicação de 50 Kg ha<sup>-1</sup> da formulação NPK 14-00-18, conforme recomendação do Instituto Agrônomo de Pernambuco. Ao longo do período experimental, foram realizados tratamentos culturais para eliminação



de plantas daninhas, como capinas e aplicação de herbicidas, e controle de doenças, sempre que necessário.

Por meio de uma estação meteorológica automática, do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, localizada a 1,7 km da área experimental, foram obtidos dados horários de radiação solar global ( $R_g$ ), temperaturas média ( $T_m$ ), máxima ( $T_x$ ) e mínima ( $T_n$ ), umidade relativa média ( $UR_m$ ), máxima ( $UR_x$ ) e mínima do ar ( $UR_n$ ), velocidade do vento ( $u$ ) e precipitação pluviométrica ( $P$ ). Posteriormente, os dados foram processados para escala diária, durante os 532 dias de ciclo.

Ao longo do período experimental também foi feito o monitoramento do conteúdo de água no solo, a partir de um sensor capacitivo (Diviner 2000®, Sentek Pty Ltda., Austrália). Este sensor foi inserido em tubos de acesso instalados a 0,90 m de profundidade e a 0,10 m das fileiras dos clones, sendo utilizado um tubo em cada sub-subparcela. O sensor foi calibrado localmente de acordo com Araújo Primo et al. (2015) e o monitoramento foi realizado em intervalos de tempo de três dias. Com os dados do conteúdo de água e de propriedades físico-hídricas do solo, foram quantificados os componentes do balanço de água no solo, conforme Silva et al. (2014b).

Imagens da área experimental e dos momentos de realização de tratos culturais e coleta de dados são demonstradas na Figura 1.

As características estruturais de crescimento dos clones de palma forrageira foram acompanhadas em 13 campanhas de monitoramento (24/07/2012 – DAC 146, 22/08/2012 – DAC 175, 19/09/2012 – DAC 203, 27/10/2012 – DAC 241, 24/11/2012 – DAC 269, 22/12/2012 – DAC 297, 26/01/2013 – DAC 332, 23/02/2013 – DAC 360, 23/03/2013 – DAC 388, 27/04/2013 – DAC 423, 25/05/2013 – DAC 451, 06/07/2013 – DAC 493, 27/07/2013 – DAC 514). Nestas campanhas, foram obtidos

os dados de crescimento das plantas e dos cladódios, sendo que as medições foram sempre realizadas nas mesmas plantas. Procedimentos de medida das características estruturais são destacados na Figura 2.

Os dados experimentais foram dispostos em quatro grupos de variáveis respostas e, ou, explicativas, de acordo com o interesse de estudo, como se segue.

O grupo 1, denominado “Ambiente”, foi constituído pelos dados meteorológicos e de suprimento de água no solo (SAS), o qual foi obtido pela integração dos valores de precipitação e de irrigação, dependentes dos tratamentos de lâminas e frequências antes descritos. Os dados dos elementos meteorológicos, assim como os do SAS, foram considerados para os intervalos compreendidos entre as datas de amostragem dos dados biométricos. Assim, foram determinados os valores médios diários dos dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Por outro lado, foi realizada a integração diária dos dados de radiação solar global e a soma dos dados de precipitação, todos obtidos em escala horária. Posteriormente, foram determinadas as respectivas médias e somas, compreendendo o intervalo de tempo entre as campanhas biométricas.

O grupo 2, denominado “ET”, foi composto pelos valores acumulados da evapotranspiração real e da evapotranspiração relativa (razão  $E_{Tr}/E_{To}$ , em que  $E_{To}$  = evapotranspiração de referência), sendo totalizados entre as datas de coleta de dados biométrico dos três clones. Os valores diários da  $E_{To}$  foram calculados pelo método de Penman-Monteith modificado pela FAO utilizando o programa REF-ET (Allen et al., 1998).

O grupo 3, denominado “Planta”, foi constituído pelas características estruturais, ou seja, morfológicas das plantas, obtidas nas campanhas de monitoramento biométrico. Nesse grupo, foram registradas a altura da planta (AP, entre a superfície

do solo até o cladódio mais alto) e a largura da planta (LP, nas extremidades de maior largura). Esses dados foram obtidos com o auxílio de uma fita métrica, sendo também contabilizados o número de cladódios total em cada planta (NCT). Finalmente, foi feita uma classificação por ordem de surgimento dos cladódios, variando de primeira ordem (NC1, as primeiras unidades a surgirem do cladódio basal) até a quarta ordem (NC2, NC3, NC4), a depender do clone. O índice de área do cladódio (IAC) foi determinado pela razão entre a soma das áreas dos cladódios e o espaçamento de plantio (1,6 x 0,2 m).

O grupo 4, denominado “Cladódio”, foi representado pelas características estruturais, ou seja, morfológicas dos cladódios, que consistiram nas medições das características dos cladódios basais até a quarta ordem de surgimento, a partir de uma ramificação típica da planta. Essas medições incluíram o comprimento dos cladódios (CCB, CC1, CC2, CC3 e CC4), a largura (LCB, LC1, LC2, LC3 e LC4), o perímetro (PCB, PC1, PC2, PC3 e PC4) e a espessura dos cladódios basais até a quarta ordem (ECB, EC1, EC2, EC3 e EC4), as quais foram medidas com o auxílio de uma fita métrica e um paquímetro de plástico. Além disso, foram calculados os valores da área dos cladódios para todas as ordens (ACB, AC1, AC2, AC3 e AC4) utilizando-se modelos estatísticos ajustados por Silva et al. (2014a) para os clones, em função de dados de comprimento e largura dos cladódios.

Para a realização das análises, foram considerados os cladódios até a terceira ordem de surgimento para os clones IPA e OEM e até a quarta ordem para o clone MIU. Esse procedimento foi adotado em decorrência do reduzido número de cladódios de quarta ordem para os clones IPA e OEM e de quinta ordem para o clone MIU. Assim, para evitar interpretações errôneas dos resultados, optou-se por não contabilizar esses cladódios em pequeno número.

Os grupos foram submetidos a duas análises. Na primeira análise, denominada AMB-PL-CL, o grupo 1 (Ambiente) foi considerado como variável explicativa e os grupos 3 (“Planta”) e 4 (“Cladódios”) como variáveis respostas, visando identificar a contribuição das variáveis ambientais sobre a evolução do crescimento dos clones de palma forrageira.

Na segunda análise denominada AMB-PL-CL-ET, os grupos 1 (Ambiente), 3 (“Planta”), 4 (“Cladódio”), foram adotados como variáveis explicativas e o grupo 2 (ET) como Resposta, visando determinar a influência individual das variáveis do ambiente e de crescimento dos clones sobre a evapotranspiração real da palma forrageira.

Os dados de cada grupo foram submetidos a testes de normalidade e à análise de variância e de inter-relações entre as características explicativas e respostas dos clones e do ambiente da cultura, como antes descrito. Inicialmente, foi elaborada a matriz de correlação de Pearson, na qual foi avaliada a existência, direção e intensidade da relação linear entre os grupos de variáveis. O coeficiente de correlação de Pearson está compreendido entre -1 a +1. Os valores mais próximos de 1 indicam que há uma relação linear forte, enquanto os mais próximos de 0 significam que há uma correlação linear fraca entre as variáveis. A relação entre as variáveis explicativas e respostas foi obtida pela equação (Souza, 2013):

$$r_{(XY)} = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sqrt{V(X) \cdot V(Y)}} = \frac{\sigma(X, Y)}{\sigma(X) \cdot \sigma(Y)} \quad (1)$$

em que:  $r_{(XY)}$  é o coeficiente de correlação de Pearson para as variáveis X (resposta) e Y (explicativa);  $\sigma(X, Y)$ , a covariância entre as variáveis X e Y;  $\sigma(X)$  e  $\sigma(Y)$  é o desvio padrão das variáveis X e Y, respectivamente.

A interpretação da magnitude dos coeficientes de correlação de Pearson foi feita conforme descrito por Thomaz et al. (2012), compreendendo as seguintes faixas: 0 a

0,19, “muito fraca”; 0,20 a 0,39, “fraca”; 0,40 a 0,69, “moderada”; 0,70 a 0,89, “forte” e 0,90 a 1,00, “muito forte”. Finalmente, foi determinada a significância dos coeficientes ( $p < 0,01$  e  $p < 0,05$ ) pelo teste t de Student.

As variáveis respostas e explicativas, que apresentaram correlações significativas entre si, foram submetidas ao teste de multicolinearidade. Este, foi realizado para os dados de cada grupo, visando identificar a existência e a intensidade de correlação entre as suas variáveis. Deve-se observar que a presença de multicolinearidade forte, dentro de um mesmo grupo, pode levar à interpretações equívocas das análises, ocasionando estimativas inconsistentes dos coeficientes de correlação canônica, bem como superestimativa dos efeitos das variáveis explicativas sobre as variáveis respostas.

Assim, na análise de multicolinearidade, foi retirada uma ou mais variáveis independentes que estavam altamente correlacionadas (Cruz; Carneiro, 2003; Souza, 2013). A interpretação do grau de multicolinearidade entre duas variáveis foi feita com base no número de condições (NC), ou seja, a razão entre o maior e o menor autovalor da matriz de correlação  $X'X$ . Quando o valor de NC obtido foi menor que 100, considerou-se uma fraca multicolinearidade entre as variáveis do mesmo grupo. Porém, quando o valor esteve entre 100 e 1000, a multicolinearidade foi de moderada a severa e, para valores de  $NC \geq 1000$ , a multicolinearidade foi considerada severa (Toebe; Cargnelutti Filho, 2013).

Apenas as variáveis que apresentaram multicolinearidade fraca ( $NC < 100$ ) foram utilizadas na análise de correlação canônica, uma vez que, nessa análise, as variáveis canônicas devem ser ortogonais, ou seja, linearmente independentes entre si. Assim, foram avaliadas as associações entre os grupos de variáveis, de tal forma que a

correlação linear fosse máxima. A seguinte equação foi aplicada para a determinação dos coeficientes canônicos entre os grupos de variáveis (Ferreira, 2011):

$$\rho_{(U,V)} = \text{Cov}(U, V) = \frac{X^T \sum_{12} Y}{\sqrt{X^T \sum_{11} X} \sqrt{Y^T \sum_{22} Y}} \quad (2)$$

em que:  $X^T \sum_{12} Y$  é a covariância entre as variáveis canônicas U e V;  $\sqrt{X^T \sum_{11} X}$  é o desvio padrão da variável canônica U e  $\sqrt{Y^T \sum_{22} Y}$  é o desvio padrão da variável canônica V.

Nessa análise, eixos canônicos foram estabelecidos, a depender do número de variáveis do menor grupo. As correlações canônicas foram testadas por meio do teste qui-quadrado, ao nível de 1% de probabilidade.

A análise de trilha, foi aplicada no desdobramento do coeficiente de correlação, permitindo determinar o grau do efeito de uma variável explicativa sobre a variável resposta, por meio do coeficiente de trilha (Souza, 2013). Nessa análise, foi calculado o coeficiente de correlação parcial entre duas variáveis, desconsiderando o efeito das demais, por meio da relação:

$$r_{(XiY,Z)} = \frac{r_{Xi} - r_{Xiz} \cdot r_{YZ}}{\sqrt{(1 - r_{Xiz}^2) \cdot (1 - r_{YZ}^2)}} \quad (3)$$

em que, i refere-se a uma variável resposta,  $r_{Xiz}$  é o coeficiente de correlação entre uma variável resposta e enésimas variáveis explicativas;  $r_{Yiz}$  é o coeficiente de correlação entre a variável resposta e enésimas variáveis explicativas. A significância da correlação parcial foi adotada igual à utilizada na correlação de Pearson (Cruz et al., 2004).

O fluxograma com as etapas estatísticas realizadas está demonstrado na Figura 3, sendo que todas as análises foram implementadas no programa estatístico “GENES” (Cruz, 2006).

## **Resultados e discussão**

Na aplicação da análise de variância, observou-se que não houve efeito dos fatores lâminas e frequências de irrigação sobre a maioria das características morfológicas dos três clones ( $p > 0,05$ ). Todavia, a maior parte das variáveis estudadas apresentou efeito do fator clone ( $p < 0,05$ ). Assim, as análises de inter-relação do grupo das variáveis ambientais com o grupo das características morfológicas, e de ambas com o grupo evapotranspiração, foram realizadas individualmente por clone, independente das distinções de regime hídrico (irrigação x frequência).

### **Análise PL-CL-AMB: Variáveis ambientais condicionando a expressão de características morfológicas**

A expressão das características de crescimento da planta e dos cladódios dos clones IPA Sertânia (IPA), Miúda (MIU) e Orelha de Elefante Mexicana (OEM) foi condicionada pelas variáveis ambientais (Tabela 1).

A umidade relativa mínima ( $UR_n$ ) foi a variável meteorológica que obteve maior correlação com as características morfológicas do clone IPA (Tabela 1). Referindo-se às características estruturais da planta, a  $UR_n$  correlacionou-se de forma moderada e positiva com a largura da planta (LP) (0,575), e forte com o número de cladódios de terceira ordem (NC3) (0,709). Por sua vez, com as características estruturais dos cladódios, a correlação foi forte e positiva com o comprimento dos cladódios de 3ª ordem (CC3) (0,708), largura dos cladódios basais (LCB) (0,801), e espessura dos cladódios de 1ª ordem (EC1) (0,767). Além disso, apresentou correlação moderada e positiva com o perímetro dos cladódios basais (PCB) (0,682). Todavia, as variáveis  $T_n$ ,  $UR_x$ ,  $u$  e  $R_g$  também apresentaram correlação com pelo menos uma característica morfológica.

Para o clone Miúda, o elemento meteorológico que se correlacionou com o maior número de variáveis morfológicas foi a velocidade do vento (u) (Tabela 1), que demonstrou correlações negativas e moderadas com a LP (-0,567), número de cladódios de 1ª ordem (NC1) (-0,568), número de cladódios de 4ª ordem (NC4) (-0,617), e índice de área do cladódio (IAC) (-0,633). Além de correlação forte com o NC3 (-0,739). Por sua vez, referindo-se às características estruturais dos cladódios, a u demonstrou correlação moderada e positiva com o comprimento dos cladódios basais (CCB) (0,689) e largura dos cladódios de 1ª ordem (LC1) (0,664) e negativa com o perímetro dos cladódios de 2ª ordem (PC2) (-0,644). Correlações das características morfológicas da planta e dos cladódios também foram observadas com as demais variáveis ambientais (URn, URx, Tn e Rg).

No clone OEM, assim como no IPA, a URn foi o elemento que apresentou correlação com o maior número de características morfológicas (Tabela 1). Das características estruturais da planta e dos cladódios, a URn mostrou correlação forte e positiva com a altura da planta (AP) (0,729) e moderada e positiva com o IAC (0,648), com o comprimento dos cladódios de 1ª ordem (CC1) (0,661), EC1 (0,550), espessura dos cladódios de 3ª ordem (EC3) (0,588), PCB (0,530) e perímetro dos cladódios de 1ª ordem (PC1) (0,581). Além da URn, apenas a URx e u demonstraram correlação com as características morfológicas da planta e dos cladódios.

As correlações canônicas, estimadas entre o grupo das características estruturais da planta do clone IPA e o grupo ambiente (Tabela 2), revelaram que esses grupos não são independentes. Os resultados foram significativos a 1% pelo teste de qui-quadrado para o primeiro eixo canônico (0,968\*\*), demonstrando que ambientes com maiores URx e URn, menores velocidades do vento e menor incidência de radiação



solar proporcionaram o aumento da largura do dossel da planta e do número de cladódios de primeira e terceira ordens.

Na associação entre o grupo das características dos cladódios e o grupo ambiente para o clone IPA (Tabela 3), os resultados foram significativos a 1% pelo teste de qui-quadrado, para os dois primeiros eixos canônicos. Dessa forma, no primeiro eixo canônico (0,999\*\*), maiores valores de URx e URn e temperaturas mínimas menores promoveram o incremento da espessura e do comprimento dos cladódios de 1ª e 3ª ordens, assim como da largura dos cladódios basais. No segundo eixo canônico (0,998\*\*), os maiores valores de URx e URn, combinados ao incremento de radiação solar, induziram ao aumento do crescimento dos cladódios basais e de 3ª ordem, em detrimento ao crescimento dos cladódios de 1ª ordem.

Para o clone Miúda, na correlação canônica entre os grupos “Planta” e ambiente (Tabela 4), apenas o primeiro eixo canônico foi significativo (0,978\*). Este eixo associou ambientes com maiores temperaturas mínimas, menores velocidades do vento e menor intensidade de radiação solar global à plantas mais largas e com maior número de cladódios, independentemente da ordem, o que resultou em um maior IAC.

Na correlação canônica entre as características estruturais dos cladódios associadas ao grupo ambiente, para o clone Miúda (Tabela 5), três eixos canônicos foram significativos. No primeiro eixo canônico (0,999\*\*), evidenciou-se que menores temperaturas mínimas e maiores valores de URx e URn favoreceram o incremento da ECB, da EC4 e do PC1. No segundo eixo canônico (0,997\*\*), menores Tn, maiores níveis de radiação solar e maiores velocidades do vento, promoveram a maior largura dos cladódios basais e menores cladódios de 2ª ordem (PC2). Por fim, no terceiro eixo canônico (0,987\*\*), ambientes com menores valores

de URn, maiores Tn e maior incidência de radiação solar não favoreceram o crescimento dos cladódios basais e de 1ª ordem, bem como o incremento da espessura dos cladódios de 4ª ordem.

Pelo desdobramento da correlação de Pearson entre as características de crescimento das plantas do clone IPA com os elementos meteorológicos (Tabela 6), observou-se efeitos diretos e indiretos dos maiores valores de URx e URn sobre o incremento do NC3 e, desta última, também favorecendo crescimento da largura da planta (LP). Menores velocidades do vento favoreceram o surgimento de cladódios de 3ª ordem (-0,437) e o crescimento da planta em termos de largura (-0,823). Por outro lado, maiores temperaturas mínimas contribuíram para o surgimento de cladódios de 1ª ordem (0,830). Por sua vez, menores temperaturas mínimas, via velocidade do vento (-0,535), não favoreceram o surgimento de cladódios de 1ª ordem.

No desdobramento do coeficiente de correlação entre as características dos cladódios do clone IPA e os elementos meteorológicos (Tabela 7), verificou-se que os maiores valores de URn promoveram o crescimento dos cladódios basais, em termos de largura (0,904) e de perímetro (1,499), o incremento da espessura dos cladódios de 1ª ordem (0,567) e o comprimento dos cladódios de 3ª ordem (0,468), de forma direta, e também indireta, via URx. Maiores velocidades do vento contribuíram de forma negativa para o crescimento dos cladódios de 2ª ordem (-0,655). Similarmente, maiores intensidades de radiação solar (Rg) não foram benéficas ao crescimento de cladódios de primeira ordem do clone IPA.

Na análise de trilha entre os elementos meteorológicos e as características das plantas do clone Miúda (Tabela 8), verificou-se que os resultados foram semelhantes aos constatados para o clone IPA. A velocidade do vento também apresentou efeito

direto e negativo sobre a maioria das características de crescimento da planta, de forma que maiores velocidades do vento não favoreceram o surgimento de novos cladódios, independentemente da ordem, assim como não contribuíram para o incremento do IAC da planta (-0,887). A URn apresentou efeito direto e positivo no surgimento de cladódios de ordens superiores (NC4) (0,581). Maiores valores de URx, via Tn, contribuíram para o incremento do número de cladódios de 1ª ordem (NC1) (0,475). No entanto, a Tn exerceu efeito indireto e negativo, via u, sobre a largura da planta (LP) (-0,598).

Na análise de trilha entre as características dos cladódios do clone Miúda e o grupo ambiente (Tabela 9), constatou-se que a URn contribuiu de forma direta para o aumento da espessura de cladódios de 4ª ordem (0,370) e o incremento da espessura de cladódios basais (0,667). A Tn apresentou efeito direto e negativo sobre as características de crescimento dos cladódios basais (CCB, LCB) e indireto, via URx, sobre a EC4 (0,411). Similarmente, a Tn teve efeito positivo sobre o CCB, via velocidade do vento (0,515). Este último elemento meteorológico, por sua vez, promoveu o incremento da largura dos cladódios de primeira ordem (LC1) (0,806). Em contrapartida, altas velocidades do vento não contribuíram para o crescimento dos cladódios de segunda ordem (PC2) (-0,912). Além disso, a radiação solar global, como observado para o clone IPA, demonstrou efeito direto e negativo sobre o crescimento dos cladódios de primeira e segunda ordem.

No clone Orelha de Elefante Mexicana, os resultados do desdobramento das correlações das características das plantas com as variáveis meteorológicas (Tabela 10) foram semelhantes aos destacados para os dois primeiros clones. Maiores valores de URn favoreceram o crescimento das plantas (AP) (0,464), bem como o aumento do IAC (0,660). Em contrapartida, menores URx não contribuíram para o surgimento

de cladódios de 1ª ordem (NC1) (-0,656), assim como, menores velocidades do vento não favoreceram o incremento do IAC da planta (-0,555).

Por meio da análise de trilha entre o grupo ambiente e as características dos cladódios do clone OEM (Tabela 11), observou-se que maiores valores de URn contribuíram para o crescimento dos cladódios de primeira ordem (CC1, EC1, PC1), enquanto maiores valores de URx estimularam o crescimento de cladódios basais e de terceira ordem (PCB, EC3). Por sua vez, maiores velocidades do vento não favoreceram o crescimento dos cladódios mais velhos (CC1) (-0,537).

Por meio do desdobramento do coeficiente de correlação pela análise de trilha, constatou-se, de maneira geral, que a temperatura mínima, as maiores umidades relativas máximas e mínimas, as menores velocidades do vento e a menor intensidade da radiação solar favoreceram o crescimento da planta e dos cladódios, por meio do incremento nas suas dimensões, para os três clones estudados. Portanto, ao realizar o plantio desses clones, deve-se contemplar o período do ano quando essas condições são predominantes, de modo a favorecer o crescimento inicial das plantas, em termos de estatura e de surgimento de cladódios, para garantir, assim, o seu estabelecimento.

Na região semiárida, as maiores umidades relativas ocorrem entre o final do outono e meados do inverno, enquanto os menores valores são observados a partir do início da primavera. As menores velocidades do vento são observadas entre o final do verão e o início do inverno e as maiores entre o final do inverno e meados da primavera. As menores intensidades da radiação solar também ocorrem no período do inverno, enquanto os maiores valores são constatados a partir da primavera. As temperaturas mais baixas e intermediárias ocorrem entre o outono e o final do inverno, sendo, no entanto, menores durante o inverno. Assim, para a região semiárida, com base nessas variáveis meteorológicas, recomenda-se realizar o plantio

dos clones, preferencialmente, antes do final do outono ou no início do inverno, de modo a contemplar as condições ambientais que mais favorecem o estabelecimento inicial da cultura, e, posteriormente, a emissão de novos cladódios.

A umidade relativa exerce ação indireta sobre as plantas, atuando no poder evaporante do ar, o qual controla as taxas de transpiração por meio do déficit de pressão de vapor d'água no ar (Mortensen & Gislerød, 2005; Mortensen, 2000). Maiores valores de URn e URx resultam em menor déficit de pressão de vapor d'água no ar, o que diminui a perda de água da planta para a atmosfera e favorece a captação de CO<sub>2</sub>. Todavia, os seus efeitos dependem também da temperatura do ar, que afeta diversas fases do metabolismo das plantas, influenciando na ação de enzimas dos mais variados processos metabólicos, na respiração e na duração de fases fenológicas (Bahuguna & Jagadish, 2015; Jia et al., 2015).

Santos et al. (2006) relatam que baixos valores de umidade relativa do ar e altas temperaturas noturnas promovem a redução na produtividade da palma forrageira e podem levar a planta à morte.

Por sua vez, a velocidade do vento também exerce influência indireta sobre o crescimento das plantas, sendo positiva ou negativa, a depender da sua magnitude. Esta variável é responsável pela renovação do ar nas proximidades do dossel vegetativo, auxiliando na disponibilização do CO<sub>2</sub>. Em contraste, valores elevados contribuem para o aumento excessivo dos processos de transpiração, com influência na atividade estomática das folhas e posterior redução da fotossíntese (Kim et al., 2014). De modo geral, menores valores de velocidade do ar favorecem o crescimento dos clones de palma forrageira.

Assim como para as plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>, clones de palma forrageira (CAM) também possuem temperaturas ideais que favorecem o seu crescimento. As temperaturas que

promovem a maior captação de CO<sub>2</sub> e, conseqüentemente, o maior acúmulo de biomassa, para os clones de palma forrageira, são de 25°C durante o período diurno e 15°C no período noturno (Nobel, 2001).

A radiação solar fornece a força motriz para a realização da fotossíntese, processo pelo qual a planta utiliza a radiação fotossinteticamente ativa para desencadear reações que culminam na formação de compostos necessários ao seu metabolismo e crescimento. Porém, quando em excesso, causa danos no aparelho fotossintético (Sentelhas & Monteiro, 2009). Tratando-se de clones de palma forrageira, estudos evidenciam que o excesso de radiação solar promove inibição do crescimento de espécies *Opuntia* sp. (Nobel & Hartsock, 1983).

Silva et al. (2015), em estudo conduzido com os clones IPA Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana em condições de sequeiro, constataram que maiores incidências de radiação solar sobre os clones não favoreceram a evolução do crescimento das características dos cladódios basais. Os autores não encontraram correlação da radiação solar com a maior parte das características de crescimento da planta. No entanto, os autores observaram que a velocidade do vento exerceu efeito direto e negativo sobre as características de crescimento dos três clones, o que corrobora com os resultados encontrados no presente estudo.

#### **Análise AMB-PL-CL-ET: Variáveis ambientais e características morfológicas influenciando a transferência de água na interface palma-atmosfera**

A sazonalidade da ET e da razão ET/ET<sub>o</sub> apresentou correlação com variáveis meteorológicas e com características morfológicas da planta e dos cladódios, porém foi dependente do clone (Tabela1).

Entre as variáveis meteorológicas, observou-se correlação da radiação solar ( $R_g$ ) com a evapotranspiração (ET) nos três clones (Tabela 1), sendo a magnitude moderada e o sinal negativo. Em contraste, a velocidade do vento ( $u$ ) correlacionou-se de forma moderada e positiva com a razão ET/ET<sub>o</sub>, no clone IPA Sertânia (IPA) (0,620) assim como, no clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM) (0,622).

As características morfológicas da planta não mostraram influência sobre a ET nos clones IPA e Orelha de Elefante Mexicana (OEM) (Tabela 1). Apenas o número de cladódios de 1ª ordem (NC1) do clone Miúda (MIU) demonstrou correlação moderada e negativa com a ET (-0,654). Fato não observado com a razão ET/ET<sub>o</sub>, a qual correlacionou-se forte e negativamente com o IAC nos clones IPA (-0,739) e OEM (-0,709). Além disso, foi constatado correlação moderada e negativa, da razão ET/ET<sub>o</sub> com o número de cladódios de 1ª (NC1) (-0,662), 2ª (NC2) (-0,582) e de 4ª ordens (NC4) (-0,653), assim como, com o IAC (-0,646) do clone MIU. Finalmente, também observou-se correlação com a altura da planta (AP) (-0,662) no clone IPA e com o NCT (-0,606) e NC2 (-0,657) no clone OEM.

Não houve correlação das características dos cladódios com a ET nos clones MIU e OEM (Tabela 1). Apenas as características dos cladódios de primeira ordem (PC1) apresentaram correlação forte e negativa com a ET no clone IPA (-0,729). A razão ET/ET<sub>o</sub>, por sua vez, correlacionou-se de forma moderada e negativa com a maior parte das características dos cladódios nos três clones. A correlação foi forte e negativa para os cladódios de 1ª e 2ª ordens no clone IPA, assim como, para os de 3ª ordem no clone MIU e para os cladódios basais e os de 1ª ordem no clone OEM.

A associação entre as variáveis do grupo evapotranspiração com as variáveis dos grupos ambiente, “Planta” e “Cladódios”, por meio da análise de correlação canônica, mostrou pelo menos um eixo canônico significativo pelo teste de qui-

quadrado a 1 e 5%, de modo que os grupos não são independentes entre si. Todavia, foi dependente do clone, se IPA (Tabela 12), MIU (Tabela 13) ou OEM (Tabela 14) e grupo resposta.

Para os clones IPA (Tabela 12) e OEM (Tabela 14), menores valores de ET estão associados às maiores intensidades da radiação solar (primeiro eixo canônico), enquanto a razão ET/ET<sub>o</sub>, no segundo eixo canônico, evidenciou que maiores velocidades do vento induziram a maiores respostas da ET em relação à demanda atmosférica nesses dois clones.

A associação entre o grupo ET e o grupo planta no clone IPA (Tabela 12) demonstrou que plantas mais altas e com maior índice de área do cladódio (IAC) tiveram redução da evapotranspiração com o aumento da demanda atmosférica. Em contraste, a maior evapotranspiração ocorreu quando as plantas possuíam menor AP e IAC. Tendência semelhante foi observada para a correlação canônica entre o grupo planta e ET do clone OEM (Tabela 14), verificando-se, no primeiro eixo canônico (0,881\*), que as maiores magnitudes da ET e a sua resposta ao incremento da demanda atmosférica, ocorreram quando as plantas possuíam menores IAC e menor quantidade de cladódios.

As correlações canônicas estimadas entre o grupo ET e o grupo cladódio do clone IPA (Tabela 12) permitiram identificar que as maiores respostas da ET em relação à ET<sub>o</sub> ocorreram quando as dimensões dos cladódios de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> ordens ainda eram reduzidas. Por sua vez, os maiores valores de ET ocorreram quando as dimensões dos cladódios de 3<sup>a</sup> ordem eram ascendentes. No clone Miúda (Tabela 13), quando as dimensões dos cladódios de 3<sup>a</sup> ordem ainda eram crescentes, a resposta da ET ao aumento da demanda atmosférica apresentava as suas maiores magnitudes. Para o clone OEM (Tabela 14), o grupo ET é independente do grupo das características



estruturais dos cladódios, demonstrando que os efeitos dessas variáveis ocorrem de maneira isolada.

Cunha et al. (2011) ressaltam que as correlações canônicas, além de confirmarem a correlação de Pearson, permitem o agrupamento das variáveis, de forma que se compreende melhor o grau da relação entre elas.

No desdobramento do coeficiente de correlação em efeitos diretos e indiretos, pela análise de trilha, foi constatado que o efeito exercido pela radiação solar global (Rg) sobre a evapotranspiração real do clone IPA (-0,582) (Tabela 15) foi direto e negativo, assim como no clone OEM (-0,573) (Tabela 17), indicando que maiores níveis da radiação solar reduziram a ET nesses clones.

Embora a radiação solar forneça a energia necessária à evapotranspiração, para que o processo ocorra é necessário haver água no solo disponível às plantas. No entanto, a quantidade de água recebida pelos clones durante o experimento, na melhor condição (lâmina 7,5 mm a cada 7 dias, 756 mm ano<sup>-1</sup>), foi muito inferior (apenas 32% da ETo) ao necessário para atender a demanda atmosférica (1900 mm equivalente ano<sup>-1</sup>) ou a demanda da cultura. Segundo Queiroz (2014), este valor está em torno de 52% da ETo e, assim, as plantas estavam em estado de deficiência hídrica.

Nobel e Hartsock (1983) conduziram um estudo com o clone *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller sob condições de ambiente controlado na Califórnia, submetendo a cultura a diferentes regimes de radiação fotossinteticamente ativa e temperaturas durante dia e noite. Os autores observaram que quando os cladódios eram expostos à radiação excessiva por um período superior a 6 horas, havia a diminuição no acúmulo de ácidos e na captação do CO<sub>2</sub> noturno, indicando a redução na abertura estomática, mesmo no período noturno, e no processo de transpiração do clone.

A resposta da ET ao aumento da ETo, ou seja, a razão ET/ETo, foi influenciada de forma positiva e direta pela velocidade do vento nos clones IPA (0,617) (Tabela 15) e OEM (0,620) (Tabela 17). A velocidade do vento é responsável pela renovação do ar nas proximidades do dossel vegetativo, contribuindo para o aumento do déficit de pressão de vapor d'água no ar. Assim, pode-se inferir que a evapotranspiração dos clones responde mais ao déficit de pressão de vapor d'água do que à energia fornecida pela radiação solar, indicando que os clones estão acoplados com a atmosfera, exercendo maior controle ao processo de evapotranspiração. Fato também relatado na literatura para outras culturas (Silva et al., 2012; Souza Filho et al., 2005).

Considerando o grupo das características estruturais das plantas, observou-se que o IAC exerceu maiores efeitos, sejam diretos ou indiretos, sobre a razão ET/ETo dos clones IPA (Tabela 15) e OEM (Tabela 17). O seu efeito foi negativo, indicando que a maior resposta da evapotranspiração dos clones à variabilidade da demanda atmosférica ocorreu quando a magnitude do IAC das plantas era menor.

Para o clone Miúda (Tabela 16), o maior NC2 contribuiu de forma positiva, por meio de efeitos diretos ou indiretos, no aumento da resposta da ET à demanda atmosférica. Porém, quando o número de cladódios de primeira ordem ainda era pequeno, o processo de evapotranspiração apresentou maior magnitude. Possivelmente, este resultado ocorreu devido à maior evaporação de água do solo, sugerindo que o aumento do número de cladódios, sob condição de déficit hídrico, causou diminuição do consumo de água pela cultura.

Diferente de plantas C<sub>3</sub>, nas quais a evapotranspiração aumenta com o incremento do IAF (Pivetta et al., 2011), a expansão do IAC não necessariamente resulta em incremento na ET dos clones de palma forrageira, pois sua perda de água via transpiração é menor, uma vez que a abertura dos seus estômatos ocorre

predominantemente à noite. Maiores valores de IAC, neste caso, representam maior sombreamento à superfície do solo. Assim, plantas com menores IAC deixam o solo mais exposto, onde a componente evaporação é maior, somando as perdas de água à evapotranspiração.

Nobel (2001) relata que maiores IAC, combinados com plantas muito adensadas ou que possuem muitos cladódios, refletem em uma menor incidência do fluxo de fótons fotossintéticos e redução na captação de CO<sub>2</sub>. Portanto, nessas condições, a abertura dos estômatos será menor, reduzindo, por consequência, a transpiração e o processo de evapotranspiração.

Na análise de trilha entre as características de crescimento dos cladódios e o grupo ET, constatou-se, para o clone IPA (0,749) (Tabela 15), que a presença e o crescimento de cladódios mais jovens (3<sup>a</sup> ordem), em termos de espessura (EC3), favoreceram a resposta da ET à demanda atmosférica. Em contraste, quando o PC1 era menor, as taxas de ET eram reduzidas, uma vez que a cultura estava no início do ciclo.

Para o clone Miúda (Tabela 16), ao contrário do IPA, a resposta da ET à demanda atmosférica foi mais reduzida com o surgimento dos cladódios de 3<sup>a</sup> ordem (CC3). No clone OEM (Tabela 17), por sua vez, semelhante ao IPA, o incremento da ET em relação à demanda atmosférica foi atenuado com o crescimento dos cladódios de primeira ordem (PC1).

Liguori et al. (2013) relatam que os cladódios jovens possuem uma maior captação de CO<sub>2</sub> quando comparado aos outros, contribuindo mais ao processo de evapotranspiração em relação aos cladódios mais velhos. Deste modo, para captarem mais CO<sub>2</sub> atmosférico, os cladódios jovens têm que passar mais tempo com os seus estômatos abertos, resultando em maior transferência de água, por transpiração, para a atmosfera em relação aos cladódios de ordens inferiores.

Cladódios mais velhos, como os de primeira ordem, além de serem sombreados pelos cladódios de ordens superiores, possuem maior quantidade de tecidos de armazenamento de água (parênquima) em relação aos mais jovens (Liguori et al., 2013). Dessa forma, com o crescimento da planta e destes cladódios, maior quantidade de água é retida na planta por meio do armazenamento, em detrimento da liberação para a atmosfera na forma de vapor d'água (Han & Felker, 1997).

### **Conclusões**

1. Procedimentos estatísticos de análise canônica e de trilha permitiram identificar variáveis que explicam a variabilidade da evapotranspiração de clones de palma forrageira.
2. As variáveis meteorológicas contribuíram para o crescimento das plantas e cladódios dos clones IPA, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana, assim como para a magnitude da evapotranspiração.
3. Sob déficit hídrico, as maiores magnitudes da umidade relativa do ar, associadas às menores velocidades do vento e à incidência de radiação solar global, favoreceram as características morfológicas da planta e dos cladódios, independentemente do clone.
4. As variáveis meteorológicas e as características morfológicas da planta e dos cladódios afetaram a magnitude da evapotranspiração (ET) e, ou a razão ET/ET<sub>o</sub>.
5. O incremento da radiação solar global destacou-se como a variável que mais influenciou na redução da evapotranspiração dos três clones. Em contraste, a velocidade do vento foi àquela que afetou positivamente a razão ET/ET<sub>o</sub> dos clones Orelha de Elefante Mexicana e IPA Sertânia.

6. O aumento do índice de área do cladódio implicou na redução da ET dos clones IPA e OEM, ao passo que, para o clone Miúda, os efeitos direto e indireto do número de cladódios de 1ª (negativo) e 2ª ordens (positivo) foram os mais importantes.

7. As características dos cladódios de ordem superior (3ª ordem) dos clones Nopalea (espessura para o IPA Sertânia e comprimento para o Miúda) refletiram, nessa ordem, o controle positivo e negativo da cultura ao processo de ET em relação à demanda atmosférica. Por outro lado, a evolução das características (largura) dos cladódios de ordens inferiores (1ª ordem), de maneira direta ou indiretamente, reduziu a razão ET/ET<sub>o</sub>, devido aumentar o acúmulo de água na planta e reduzir a transpiração.

### Referências bibliográficas

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMUTH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**, Rome: FAO, 1998, 301p. Irrigation and Drainage Paper 56.

ARAÚJO PRIMO, J.T.A.; SILVA, T.G.F.; SILVA, S.M.S.; MOURA, M.S.B.; SOUZA, L.S.B. Calibração de sondas capacitivas, funções físico-hídricas e variação do armazenamento de água em um argissolo cultivado com palma forrageira. **Revista Ceres**, v. 62, p. 20-29, 2015.

AZEVEDO, C.F; SILVA, K.R.G.; BRUNO, R.L.A.; QUIRINO, Z.G.M. Morfoanatomia vegetativa de *Opuntia brasiliensis* (Willd) Haw. **Ambiência**, v. 9, n. 1, p. 73-82, 2013.

BAHUGUNA, R.N.; JAGADISH, K.S.V. Temperature regulation of plant phenological development. **Environmental and Experimental Botany**, v. 111, p. 83-90, 2015.

CAVALCANTI, E. P.; SILVA, E. D. V. Estimativa da temperatura do ar em função das coordenadas locais. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 7, e Congresso Latino-Americano e Ibérico de Meteorologia. **Anais...**, Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Meteorologia, p.154-157, 1994.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento de plantas**. Viçosa: UFV, 2003. 585p.

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.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA/SPI, 1999. 412p.

CUNHA, M.V; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F.; FREITAS, E.V.; DUBEUX JUNIOR, J.C.B.; MELLO, A.C.L.; MARTINS, K.G.R. Association between the morphological and productive characteristics in the selection of elephant grass clones. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 3, p. 482-488, 2011.

FERNANDES, F.L.; MANTOVANI, E.C; BONFIM NETO, H; NUNES, V.V. Efeitos de variáveis ambientais, irrigação e vespas predadoras sobre *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville)(Lepidoptera: Lyonetiidae) no cafeeiro. **Neotropical Entomology**, v. 38, n. 3, p. 410-417, 2009.

FERREIRA, D.F. **Estatística Multivariada**. Lavras: Editora UFLA, 2011. 675p.

GOMES, C.N.; CARVALHO, S.P.; JESUS, A.M.S.; CUSTÓDIO, T.N. Caracterização morfoagronômica e coeficientes de trilha de caracteres componentes da produção em mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1121-1130, 2007.

HAN, H.; FELKER, P. Field validation of water-use efficiency of the CAM plant *Opuntia ellisiana* in south Texas. **Journal of Arid Environments**, v.36, p.133-148, 1997.

JIA, Y.; ZOU, D.; WANG, J.; LIU, H.; INAYAT, M.A.; SHA, H.; ZHENG, H.; SUN, J.; ZHAO, H. Effect of low water temperature at reproductive stage on yield and glutamate metabolism of rice (*Oryza sativa* L.) in China. **Field Crops Research**, v. 175, p. 16-25, 2015.

KIM, D.; OREN, R.; OISHI, A.C.; HSIEH, C.; PHILLIPS, N.; NOVICKE, K.A.; STOY, P. C. Sensitivity of stand transpiration to wind velocity in a mixed broadleaved deciduous forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 187, p. 62-71, 2014.

LIGUORI, G.; INGLESE, G.; PERNICE, F.; SORTINO, G.; INGLESE, P. CO<sub>2</sub> uptake of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. whole trees and single cladodes, in relation to plant water status and cladode age. **Italian Journal of Agronomy**, v. 8, n. 3, p. 14-20, 2013.

LOUW, E.L.; HOFFMAN, E.W.; THERON, K.I.; MIDGLEY, S.J.E. Physiological and phenological responses of *Protea* 'Pink Ice' to elevated temperatures. **South African Journal of Botany**, v. 99, p. 93-102, 2015.

LLORENS, L.; BADENES-PÉREZ, F.R.; JULKUNEN-TIITTO, R.; ZIDORN, C.; FERERES, A.; JANSEN, M.A.K. The role of UV-B radiation in plant sexual

reproduction. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 17, n. 3, p. 243-254, 2015.

LÜTTGE, U. Ability of crassulacean acid metabolism plants to overcome interacting stresses in tropical environments. **AoB plants**, v. 2010, plq005, p. 1-15, 2010.

MILOCA, S.A.; CHAVES NETO, A.; VOLPI, N.M.P.; CONEJO, P.D. Relação entre variáveis meteorológicas e a qualidade industrial do trigo. **Ciência Rural**, v. 37, n. 1, 2007.

MORTENSEN, L.M. Effects of air humidity on growth, flowering, keeping quality and water relations of four short-day greenhouse species. **Scientia horticulturae**, v. 86, n. 4, p. 299-310, 2000.

MORTENSEN, L.M.; GISLERØD, H.R. Effect of air humidity variation on powdery mildew and keeping quality of cut roses. **Scientia horticulturae**, v. 104, n. 1, p. 49-55, 2005.

MOTSA, M.M.; SLABBERT, M.M.; AVERBEKE, W.V.; MOREY, L. Effect of light and temperature on seed germination of selected African leafy vegetables. **South African Journal of Botany**, v. 99, p. 29-35, 2015.

MÜLLER, L.; MANFRON, P.A.; MEDEIROS, S.L.P.; RIGÃO, M.H.; BANDEIRA, A.H.; TONETTO, C.J.; DOURADO-NETO, D. Correlações de Pearson e canônica entre componentes da matéria seca da forragem e sementes de azevém. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 1, p. 086-093, 2012.

NEDER, D.G.; COSTA, F.R. da; EDVAN, R.L.; SOUTO FILHO, L.T. Correlations and path analysis of morphological and yield traits of cactus pear accessions. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.13, p.203-207, 2013.

NOBEL, P.S.; HARTSOCK, T.L. Relationships between photosynthetically active radiation, nocturnal acid accumulation, and CO<sub>2</sub> uptake for a crassulacean acid metabolism plant, *Opuntia ficus-indica*. **Plant physiology**, v. 71, n. 1, p. 71-75, 1983.

NOBEL, P.S. Ecophysiology of *Opuntia ficus-indica*. In: MONDRAGÓN-JACOBO, C.; PÉREZ-GONZÁLEZ, S. (Eds.) **Cactus (*Opuntia spp.*) as forage**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, p.13-20, 2001. (FAO Plant production and protection paper, 169).

PEÑA-VALDIVIA, C.B.; LUNA-CAVAZOS, M.; CARRANZA-SABAS, J. A.; REYES-AGÜERO, J.A.; FLORES, A. Morphological characterization of *Opuntia spp.*: a multivariate analysis. **J Prof Assoc Cactus Dev**, v. 10, p. 1-21, 2008.

PINHEIRO, K.M.; SILVA, T.G.F.; CARVALHO, H.F.S.; SANTOS, J.E.O.; MORAIS, J.E.F.; ZOLNIER, S.; SANTOS, D.C. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. **Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília**, v. 49, n. 12, p. 939-947, 2014.

PIVETTA, C.R.; HELDWEIN, A.B.; TAZZO, I.F.; MALDANER, I.C.; DALBIANCO, L.; STRECK, N. A.; MACHADO, R.M.A. Evapotranspiração

máxima do tomateiro sob estufa plástica em função de variáveis fenométricas e meteorológicas. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p. 707-714, 2011.

QUEIROZ, M.G. **Desempenho produtivo e parâmetros agrometeorológicos da palma forrageira, clone orelha de elefante mexicana, no Semiárido brasileiro**. 2014. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.

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 de Palma Forrageira (Opuntia e Napolea) em Pernambuco**. Recife: IPA, 2006. 48p. (Boletim Técnico, 30).

SENTELHAS, P. C.; MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos Cultivos: Informações para uma Agricultura Sustentável**. In: Agrometeorologia dos cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola. Instituto nacional de meteorologia (INMET), 2009.

SILVA, T.G.F.; ARAÚJO PRIMO, J.T.; MORAIS, J.E.F.; DINIZ, W.J.S.; SOUZA, C.A.A.; SILVA, M.C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 10-18, 2015.

SILVA, T.G.F.; MIRANDA, K.R.; SANTOS, D.C.; QUEIROZ, M.G.; SILVA, M.C.; CRUZ NETO, J.F.; ARAÚJO, J.E.M. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 4, p. 633-641, 2014a.

SILVA, T.G.F.; ARAÚJO PRIMO, J.T.; SILVA, S.M.S.; MOURA, M.S.B.; SANTOS, D.C.; SILVA, M.C.; ARAÚJO, J.E.M. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. **Bragantia**, v. 73, n. 2, p. 184-191, 2014b.

SILVA, T.G.F.; ZOLNIER, S.; MOURA, M.S.B.; CARMO, J.F.A.; RIBEIRO, A. Fator de desacoplamento em um canavial irrigado no Submédio do Vale do São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 8, p. 849-858, 2012.

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.

SILVA, T. G. F. da; ZONIER, S.; MOURA M. S. B. de; SEDIYAMA, G. C.; SOUZA, L. S. B. de. Umidade relativa do ar: estimativa e espacialização para o estado de Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia e EMBRAPA/Tabuleiros Costeiros, 2007.

SILVA, H.; ACEVEDO, E.; SILVA, P. Anatomía del tejido fotosintético de diez taxa de Opuntia establecidos en el secano árido mediterráneo de Chile. **Revista chilena de história natural**, v. 74, n. 2, p. 341-351, 2001.



SOUZA, T.V. **Aspectos estatísticos da análise de trilha (PATH ANALYSIS) aplicada em experimentos agrícolas**. 2013. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

SOUZA FILHO, J.D.C.; RIBEIRO, A.; COSTA, M.H.; COHEN, J.C.P. Mecanismos de controle da variação sazonal da transpiração de uma floresta tropical no Nordeste da Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 2, p. 223-229, 2005.

STINTZING, F.C.; CARLE, R. Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. **Molecular nutrition & food research**, v. 49, n. 2, p. 175-194, 2005.

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Dados pluviométricos mensais do Nordeste**. Recife: SUDENE, 1990. Série Pluviometria 1 a 10.

THOMAZ, G.L.; ZAGONEL, J.; COLASANTE, L.O.; NOGUEIRA, R.R. Produção do girassol e teor de óleo nos aquênios em função da temperatura do ar, precipitação pluvial e radiação solar. **Ciência Rural**, v. 42, n. 8, 2012.

TOEBE, M.; CARGNELUTTI FILHO, A. Não normalidade multivariada e multicolinearidade na análise de trilha em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2013, v. 48, n. 5, p. 466-477, 2013.

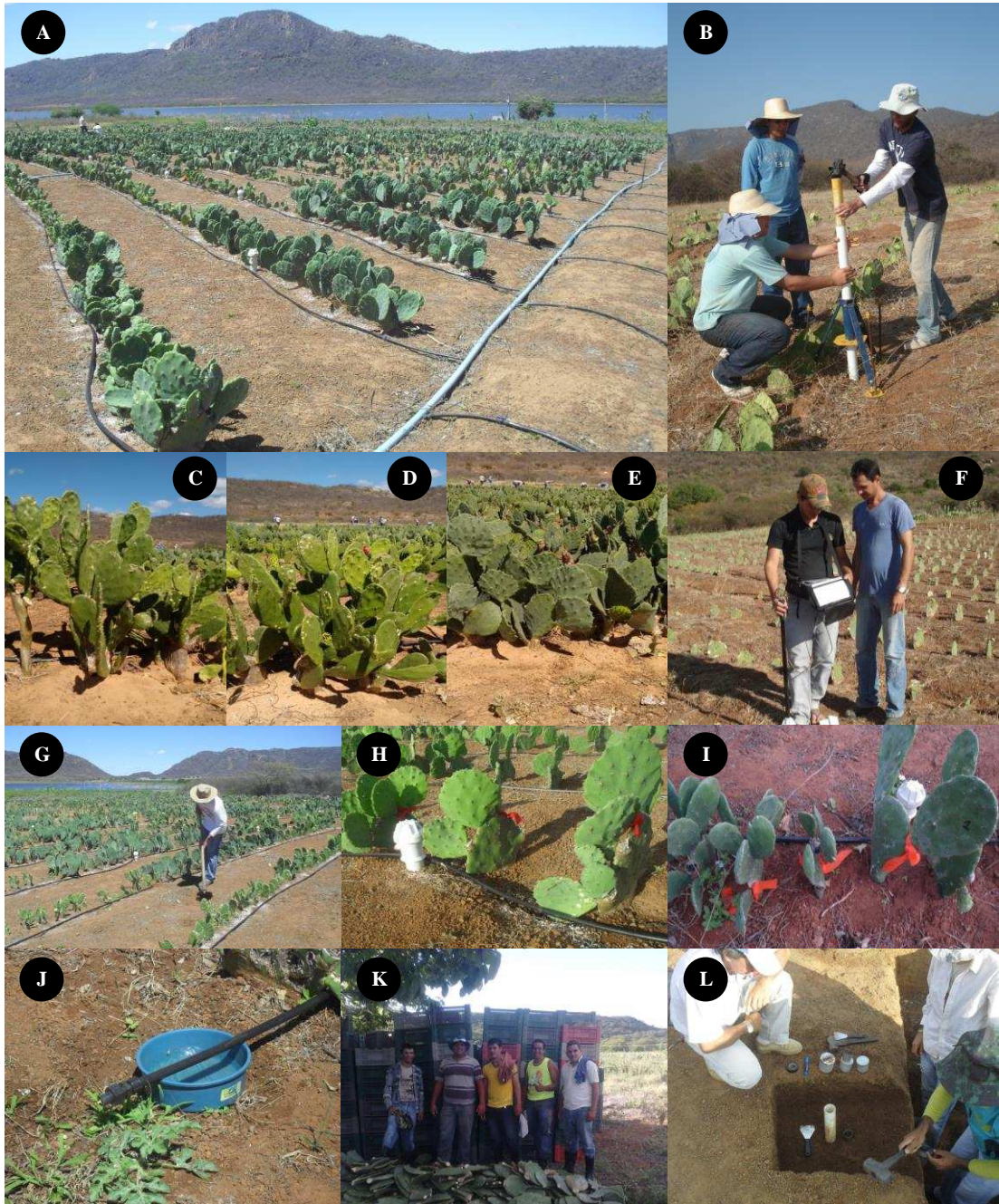


Figura 1. Vista da área experimental situada no Instituto Agrônomo de Pernambuco, em Serra Talhada, PE (A), instalação de tubo de acesso (B), clone IPA Sertânia (C), clone Miúda (D), clone Orelha de Elefante Mexicana (E), Leitura com a sonda capacitiva Diviner@2000 (F), tratos culturais (G), tubo de acesso (H), marcação das plantas para monitoramento biométrico (I), sistema de irrigação por gotejamento (J), colheita da área experimental (K) e calibração da sonda capacitiva (L).



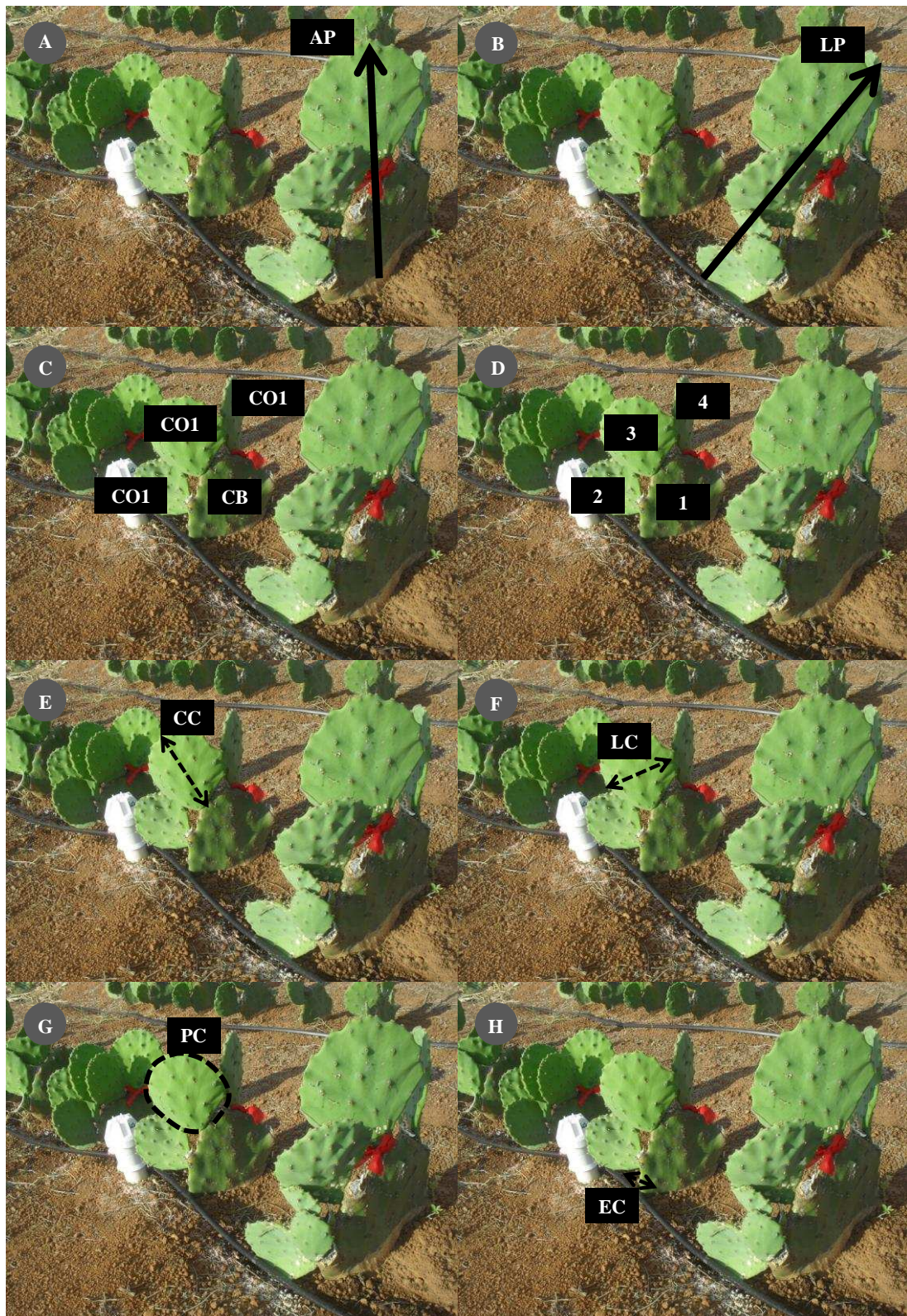


Figura 2. Medidas biométricas na cultura da palma forrageira. (A) altura da planta – AP; (B) largura da planta - LP; (C) ordenamento de ocorrência dos cladódios - CB: cladódio basal, CO1 - cladódio de 1ª ordem, sucessivamente; (D) contagem do número de cladódios por planta - 1, 2, 3, 4, n; (E) comprimento do cladódio - CC; (F) largura do cladódio - LC; (G) perímetro do cladódio - PC; e (H) espessura do cladódio - EC.

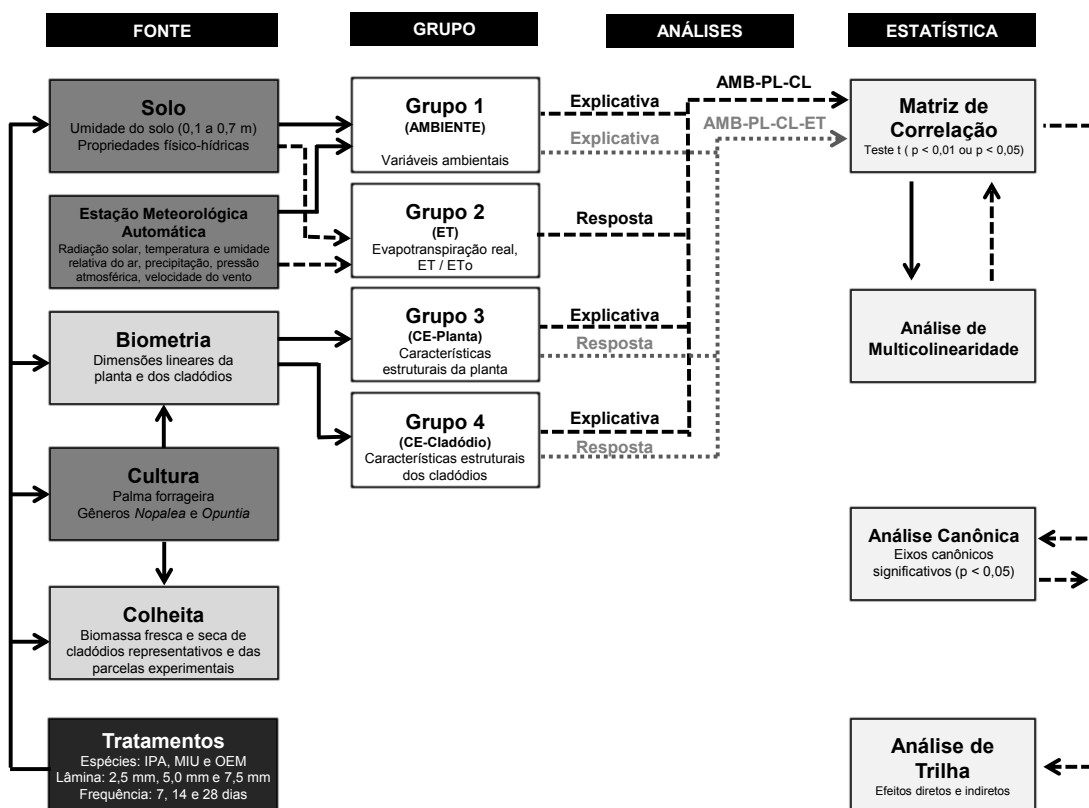


Figura 3. Fluxograma das inter-relações entre as variáveis explicativas e respostas para análise da influência do ambiente na expressão de características morfológicas estruturais e de suas associações sobre a transferência de água na interface palma-atmosfera, de clones dos gêneros *Nopalea* sp. (Miúda - MIU e IPA Sertânia - IPA) e *Opuntia* sp. (Orelha de Elefante Mexicana - OEM) cultivados no município de Serra Talhada, estado de Pernambuco, Semiárido brasileiro. Obs.: AMB - Ambiente, PL - Planta, CL - Cladódio e ET – Evapotranspiração real da cultura

Tabela 1. Matrizes de correlação de Pearson entre as variáveis dos grupos “Evapotranspiração” (ET), “Ambiente”, “Planta” e “Cladódio” das Análises I e II, de clones de palma forrageira (IPA Sertânia - IPA, Miúda - MIU e Orelha de Elefante Mexicana - OEM), sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

| Análise I   |     |         |          |          |         |          |         |         |         |         |         |         |          |         |
|---|-----|---------|----------|----------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
| Grupos respostas “Planta” (características de crescimento da planta) e “Cladódio” (características de crescimento do cladódio) versus grupo explicativo “Ambiente” (variáveis ambientais) |     |         |          |          |         |          |         |         |         |         |         |         |          |         |
|   |     | LP      | NC1      | NC3      | CC1     | CC2      | CC3     | LCB     | LC1     | EC1     | PCB     | PC1     |          |         |
| IPA   | Tn  | 0,159   | 0,581*   | -0,007   | -0,002  | 0,387    | -0,098  | -0,463  | 0,143   | -0,263  | -0,346  | 0,351   |          |         |
|   | URx | 0,495   | 0,102    | 0,683**  | 0,428   | 0,284    | 0,678*  | 0,678*  | -0,034  | 0,733*  | 0,434   | 0,116   |          |         |
|   | URn | 0,575*  | 0,237    | 0,709*   | 0,304   | 0,398    | 0,708*  | 0,801*  | -0,210  | 0,767** | 0,682*  | 0,256   |          |         |
|   | u   | -0,662* | -0,732** | -0,582*  | -0,210  | -0,724** | -0,542  | 0,091   | -0,232  | -0,391  | -0,041  | -0,517  |          |         |
|   | Rg  | -0,423  | -0,303   | -0,266   | -0,661* | -0,445   | -0,258  | -0,162  | -0,695* | -0,316  | 0,058   | -0,583* |          |         |
| MIU   | Tn  | 0,237   | 0,682*   | 0,355    | 0,144   | 0,176    | -0,677* | -0,107  | -0,72** | -0,356  | -0,386  | -0,115  | -0,424   | 0,544   |
|   | URx | 0,428   | -0,300   | 0,366    | 0,523   | 0,432    | 0,195   | 0,011   | 0,497   | -0,074  | 0,807** | 0,66*   | 0,314    | -0,067  |
|   | URn | 0,46    | -0,120   | 0,462    | 0,62*   | 0,508    | 0,137   | 0,042   | 0,572*  | -0,091  | 0,853** | 0,667*  | 0,338    | 0,058   |
|   | u   | -0,567* | -0,568*  | -0,739** | -0,617* | -0,633*  | 0,689** | 0,254   | 0,246   | 0,664*  | -0,267  | -0,521  | 0,405    | -0,644* |
|   | Rg  | -0,284  | -0,519   | -0,387   | -0,294  | -0,501   | -0,47   | -0,652* | 0,34    | -0,582* | -0,324  | -0,29   | -0,791** | -0,627* |
| OEM   |     | AP      | NC1      | IAC      | CC1     | EC1      | EC3     | PCB     | PC1     |         |         |         |          |         |
|   | URx | 0,695** | -0,551*  | 0,545    | 0,587*  | 0,488    | 0,638*  | 0,596*  | 0,438   |         |         |         |          |         |
|   | URn | 0,729** | -0,462   | 0,648*   | 0,661*  | 0,55*    | 0,588*  | 0,53*   | 0,581*  |         |         |         |          |         |
|   | u   | -0,44   | 0,164    | -0,629*  | -0,612* | -0,539   | -0,365  | -0,126  | -0,541  |         |         |         |          |         |

| Análise II  |        |         |         |         |          |          |          |          |          |         |
|---|--------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| Grupo resposta “Evapotranspiração” (ET) versus grupos explicativos “Ambiente” (variáveis ambientais), “Planta” (características de crescimento da planta) e “Cladódio” (características de crescimento do cladódio) |        |         |         |         |          |          |          |          |          |         |
|   |        | u       | Rg      | AP      | IAC      | CC2      | CC3      | EC3      | PC1      |         |
| IPA   | ET     | 0,497   | -0,587* | -0,404  | -0,535   | -0,516   | -0,362   | -0,342   | -0,729** |         |
|   | ET/ETo | 0,62*   | -0,293  | -0,662* | -0,739** | -0,701*  | -0,621*  | -0,579*  | -0,796** |         |
| MIU   |        | Rg      | NC1     | NC2     | NC4      | IAC      | CC3      | PC3      |          |         |
|   | ET     | -0,597* | -0,654* | -0,468  | -0,403   | -0,409   | -0,529   | -0,498   |          |         |
|   | ET/ETo | -0,303  | -0,662* | -0,582* | -0,653*  | -0,646*  | -0,736** | -0,69*   |          |         |
| OEM   |        | u       | Rg      | NTC     | NC2      | IAC      | LC1      | ECB      | PC1      | AC2     |
|   | ET     | 0,476   | -0,578* | -0,551  | -0,443   | -0,447   | -0,53    | -0,515   | -0,421   | -0,297  |
|   | ET/ETo | 0,622*  | -0,274  | -0,606* | -0,657*  | -0,709** | -0,752** | -0,714** | -0,688*  | -0,574* |

Grupo Evapotranspiração: ET - evapotranspiração real da cultura, ET/ETo - razão entre a evapotranspiração real da cultura e a evapotranspiração de referência;

Grupo Ambiente: Rg - radiação solar global, Tn - temperatura mínima do ar, URx - umidade relativa máxima do ar, URn - umidade relativa mínima do ar, u - velocidade do vento;

Grupo Planta: AP - altura da planta, LP - largura da planta, IAC - índice de área do cladódio, NTC - número total de cladódios da planta, NC1 - número de cladódios de 1ª ordem, NC2 - número de cladódios de 2ª ordem, NC3 - número de cladódios de 3ª ordem, NC4 - número de cladódios de 4ª ordem;

Grupo Cladódio: CCB - comprimento do cladódio basal, CC1 - comprimento do cladódio de 1ª ordem, CC2 - comprimento do cladódio de 2ª ordem, CC3 - comprimento do cladódio de 3ª ordem, LCB - largura do cladódio basal, LC1 - largura do cladódio de 1ª ordem, ECB - espessura do cladódio basal, E1 - espessura do cladódio de 1ª ordem, E3 - espessura do cladódio de 3ª ordem, E4 - espessura do cladódio de 4ª ordem, PCB - perímetro do cladódio basal, PC1 - perímetro do cladódio de 1ª ordem, PC2 - perímetro do cladódio de 2ª ordem, PC3 - perímetro do cladódio de 3ª ordem, AC2 - área do cladódio de 2ª ordem.

\*\*, \* Significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste t.

Tabela 2. Correlações canônicas e pares canônicos entre o grupo

“Planta” (características estruturais das plantas) e o grupo “Ambiente” (variáveis ambientais), do clone IPA Sertânia – IPA, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

| Grupos              | Variáveis | Fatores canônicos |        |        |
|---------------------|-----------|-------------------|--------|--------|
|                     |           | 1°                | 2°     | 3°     |
| I - Planta          | LP        | 0,967             | 0,248  | 0,048  |
|                     | NC1       | 0,641             | 0,759  | -0,110 |
|                     | NC3       | 0,931             | 0,078  | -0,355 |
| II - Ambiente       | Tn        | -0,051            | 0,963  | 0,107  |
|                     | URx       | 0,667             | -0,542 | -0,510 |
|                     | URn       | 0,709             | -0,361 | -0,408 |
|                     | u         | -0,582            | -0,566 | 0,084  |
|                     | Rg        | -0,406            | -0,131 | -0,474 |
| Correlação canônica |           | 0,968**           | 0,848  | 0,648  |
| $\chi^2$            |           | 34                | 14     | 4      |
| Grau de liberdade   |           | 15                | 8      | 3      |

Em que: Grupo Planta: LP - largura da planta, NC1 - número de cladódios de 1ª ordem, NC3 - número de cladódios de 3ª ordem; Grupo Ambiente: Rg - radiação solar global, Tn - temperatura mínima do ar, URx - umidade relativa máxima do ar, URn - umidade relativa mínima do ar, u - velocidade do vento.

\*\* Significativo a 1% pelo teste de Qui-quadrado.

Tabela 3. Correlações canônicas e pares canônicos entre o grupo “Cladódio” (características



estruturais dos cladódios) e o grupo “Ambiente” (variáveis ambientais), do clone IPA Sertânia – IPA, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

| Grupos              | Variáveis | Fatores canônicos |         |        |        |        |
|---------------------|-----------|-------------------|---------|--------|--------|--------|
|                     |           | 1°                | 2°      | 3°     | 4°     | 5°     |
| III - Cladódio      | CC1       | 0,365             | -0,260  | -0,783 | -0,033 | -0,263 |
|                     | CC2       | 0,033             | 0,209   | -0,760 | -0,576 | -0,129 |
|                     | CC3       | 0,485             | 0,364   | -0,523 | -0,495 | -0,080 |
|                     | LCB       | 0,469             | 0,511   | -0,308 | 0,196  | -0,512 |
|                     | LC1       | 0,172             | -0,613  | -0,330 | -0,551 | -0,319 |
|                     | EC1       | 0,583             | 0,364   | -0,442 | -0,450 | -0,293 |
|                     | PCB       | 0,256             | 0,705   | 0,070  | -0,211 | -0,515 |
|                     | PC1       | -0,056            | 0,081   | -0,653 | -0,525 | -0,456 |
| II Ambiente         | Tn        | -0,804            | -0,099  | -0,404 | -0,297 | 0,304  |
|                     | URx       | 0,874             | 0,378   | -0,290 | 0,061  | 0,072  |
|                     | URn       | 0,610             | 0,710   | -0,312 | 0,029  | -0,159 |
|                     | u         | 0,145             | -0,220  | 0,507  | 0,645  | -0,507 |
|                     | Rg        | -0,081            | 0,451   | 0,508  | 0,185  | 0,706  |
| Correlação canônica |           | 0,999**           | 0,998** | 0,976  | 0,940  | 0,651  |
| $\chi^2$            |           | 130               | 57      | 29     | 14     | 3      |
| Grau de liberdade   |           | 40                | 28      | 18     | 10     | 4      |

Em que: Grupo Cladódio: CC1 - comprimento do cladódio de 1ª ordem, CC2 - comprimento do cladódio de 2ª ordem, CC3 - comprimento do cladódio de 3ª ordem, LCB - largura do cladódio basal, LC1 - largura do cladódio de 1ª ordem, EC1 - espessura do cladódio de 1ª ordem, PCB - perímetro do cladódio basal, PC1 - perímetro do cladódio de 1ª ordem; Grupo Ambiente: Rg - radiação solar global, Tn - temperatura mínima do ar, URx - umidade relativa máxima do ar, URn - umidade relativa mínima do ar, u - velocidade do vento.

\*\* Significativo a 1% pelo teste de Qui-quadrado.

Tabela 4. Correlações canônicas e pares canônicos entre o grupo “Planta” (características

estruturais das plantas) e o grupo “Ambiente” (variáveis ambientais), do clone Miúda – MIU, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

| Grupos              | Variáveis | Fatores canônicos |        |        |        |        |
|---------------------|-----------|-------------------|--------|--------|--------|--------|
|                     |           | 1°                | 2°     | 3°     | 4°     | 5°     |
| I - Planta          | LP        | 0,689             | -0,364 | 0,453  | 0,098  | -0,421 |
|                     | NC1       | 0,846             | 0,408  | -0,051 | -0,222 | -0,255 |
|                     | NC3       | 0,915             | -0,297 | 0,211  | -0,164 | 0,057  |
|                     | NC4       | 0,768             | -0,485 | 0,189  | -0,366 | -0,081 |
|                     | IAC       | 0,897             | -0,386 | -0,150 | -0,118 | -0,098 |
| II - Ambiente       | Tn        | 0,538             | 0,692  | 0,417  | -0,015 | 0,240  |
|                     | URx       | 0,096             | -0,991 | 0,068  | 0,040  | -0,054 |
|                     | URn       | 0,207             | -0,872 | 0,082  | -0,403 | -0,165 |
|                     | u         | -0,754            | 0,040  | -0,307 | 0,016  | -0,579 |
|                     | Rg        | -0,557            | -0,087 | 0,418  | -0,291 | 0,650  |
| Correlação canônica |           | 0,978*            | 0,931  | 0,693  | 0,391  | 0,210  |
| $\chi^2$            |           | 39,1              | 18,7   | 5,6    | 1,4    | 0,3    |
| Grau de liberdade   |           | 25                | 16     | 9      | 4      | 1      |

Em que: Grupo ambiente: Rg - radiação solar global, Tn – temperatura mínima do ar, URx – umidade relativa máxima do ar, URn – umidade relativa mínima do ar, u – velocidade do vento; Grupo Planta: LP - largura da planta, NC1 - número de cladódios de 1ª ordem, NC3 - número de cladódios de 3ª ordem, NC4 - número de cladódios de 4ª ordem, IAC - índice de área do cladódio.

\* Significativo a 5% pelo teste de Qui-quadrado.

Tabela 5. Correlações canônicas e pares canônicos entre o grupo “Cladódio” (características



estruturais dos cladódios) e o grupo “Ambiente” (variáveis ambientais), do clone Miúda – MIU, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

| Grupos              | Variáveis | Fatores canônicos |         |        |        |        |
|---------------------|-----------|-------------------|---------|--------|--------|--------|
|                     |           | 1°                | 2°      | 3°     | 4°     | 5°     |
| III - Cladódio      | CB        | 0,322             | 0,179   | -0,472 | 0,652  | 0,398  |
|                     | C1        | 0,265             | -0,341  | -0,197 | 0,533  | -0,039 |
|                     | LCB       | 0,150             | 0,632   | -0,670 | -0,270 | -0,077 |
|                     | LC1       | 0,212             | -0,039  | -0,176 | 0,849  | 0,120  |
|                     | ECB       | 0,723             | -0,169  | -0,514 | -0,342 | -0,232 |
|                     | EC4       | 0,569             | -0,352  | -0,381 | -0,515 | -0,020 |
|                     | PC1       | 0,578             | -0,254  | -0,389 | 0,619  | -0,080 |
|                     | PC2       | 0,047             | -0,923  | -0,235 | -0,210 | -0,135 |
| II Ambiente         | Tn        | -0,518            | -0,663  | 0,441  | -0,227 | -0,215 |
|                     | URx       | 0,885             | 0,241   | -0,185 | -0,354 | -0,002 |
|                     | URn       | 0,733             | 0,176   | -0,371 | -0,346 | -0,418 |
|                     | u         | 0,028             | 0,559   | -0,149 | 0,814  | 0,047  |
|                     | Rg        | -0,327            | 0,712   | 0,302  | -0,531 | -0,114 |
| Correlação canônica |           | 0,999**           | 0,997** | 0,987* | 0,944  | 0,546  |
| $\chi^2$            |           | 141               | 56      | 31     | 13     | 2      |
| Grau de liberdade   |           | 40                | 28      | 18     | 10     | 4      |

Em que: Grupo ambiente: Rg - radiação solar global, Tn – temperatura mínima do ar, URx – umidade relativa máxima do ar, URn – umidade relativa mínima do ar, u – velocidade do vento; Grupo Cladódio: CCB - comprimento do cladódio basal, CC1 - comprimento do cladódio de 1ª ordem, LCB - largura do cladódio basal, LC1 - largura do cladódio de 1ª ordem, ECB - espessura do cladódio basal, EC4 - espessura do cladódio de 4ª ordem, PC1 - perímetro do cladódio de 1ª ordem, PC2 - perímetro do cladódio de 2ª ordem.

\*\* , \* Significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste de Qui-quadrado.

Tabela 6. Desdobramento do coeficiente de correlação de Pearson em

efeitos diretos e indiretos entre as variáveis do grupo resposta “Planta” (características estruturais das plantas), com as variáveis do grupo explicativo “Ambiente” (variáveis ambientais), do clone IPA Sertânia – IPA, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

| Variável                    | Efeito                  | LP     | NC1    | NC3    |
|-----------------------------|-------------------------|--------|--------|--------|
| Tn                          | Efeito direto Tn        | -      | 0,830  | -      |
|                             | Efeito indireto via URx | -      | -0,143 | -      |
|                             | Efeito indireto via URn | -      | -0,209 | -      |
|                             | Efeito indireto via u   | -      | 0,095  | -      |
|                             | Efeito indireto via Rg  | -      | 0,007  | -      |
|                             | Total                   | -      | 0,581  | -      |
| URx                         | Efeito direto URx       | -      | -      | 0,408  |
|                             | Efeito indireto via Tn  | -      | -      | -0,083 |
|                             | Efeito indireto via URn | -      | -      | 0,319  |
|                             | Efeito indireto via u   | -      | -      | 0,044  |
|                             | Efeito indireto via Rg  | -      | -      | -0,005 |
|                             | Total                   | -      | -      | 0,683  |
| URn                         | Efeito direto URn       | 0,529  | -      | 0,361  |
|                             | Efeito indireto via Tn  | 0,123  | -      | -0,066 |
|                             | Efeito indireto via URx | -0,178 | -      | 0,360  |
|                             | Efeito indireto via u   | 0,104  | -      | 0,055  |
|                             | Efeito indireto via Rg  | -0,002 | -      | -0,002 |
|                             | Total                   | 0,575  | -      | 0,709  |
| u                           | Efeito direto u         | -0,823 | -0,148 | -0,437 |
|                             | Efeito indireto via Tn  | 0,161  | -0,535 | -0,087 |
|                             | Efeito indireto via URx | 0,020  | -0,023 | -0,041 |
|                             | Efeito indireto via URn | -0,067 | -0,054 | -0,046 |
|                             | Efeito indireto via Rg  | 0,047  | 0,028  | 0,029  |
|                             | Total                   | -0,662 | -0,732 | -0,582 |
| Coeficiente de determinação |                         | 0,923  | 0,805  | 0,871  |

Em que: Grupo ambiente: Rg - radiação solar global, Tn – temperatura mínima do ar, URx – umidade relativa máxima do ar, URn – umidade relativa mínima do ar, u – velocidade do vento; Grupo planta: LP – largura da planta, NC1 – número de cladódios de 1ª ordem, NC3 – número de cladódios de 3ª ordem.

“-“ indica que a variável ambiental não apresentou correlação com alguma (as) das variáveis do grupo planta.

Tabela 7. Desdobramento do coeficiente de correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre as

variáveis do grupo resposta “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), com as variáveis do grupo explicativo “Ambiente” (variáveis ambientais), do clone IPA Sertânia – IPA, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

| Variável                    | Efeito                  | CC1    | CC2    | CC3    | LCB    | LC1    | EC1    | PCB    | PC1    |
|-----------------------------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| URx                         | Efeito direto URx       | -      | -      | -0,145 | 0,127  | -      | -0,325 | -      | -      |
|                             | Efeito indireto via Tn  | -      | -      | 0,326  | -0,204 | -      | 0,474  | -      | -      |
|                             | Efeito indireto via URn | -      | -      | 0,413  | 0,798  | -      | 0,500  | -      | -      |
|                             | Efeito indireto via u   | -      | -      | 0,088  | -0,043 | -      | 0,090  | -      | -      |
|                             | Efeito indireto via Rg  | -      | -      | -0,005 | -0,002 | -      | -0,006 | -      | -      |
|                             | Total                   | -      | -      | 0,678  | 0,678  | -      | 0,733  | -      | -      |
| URn                         | Efeito direto URn       | -      | -      | 0,468  | 0,904  | -      | 0,567  | 1,499  | -      |
|                             | Efeito indireto via Tn  | -      | -      | 0,259  | -0,162 | -      | 0,377  | 0,529  | -      |
|                             | Efeito indireto via URx | -      | -      | -0,128 | 0,113  | -      | -0,287 | -1,436 | -      |
|                             | Efeito indireto via u   | -      | -      | 0,110  | -0,053 | -      | 0,112  | 0,090  | -      |
|                             | Efeito indireto via Rg  | -      | -      | -0,002 | -0,001 | -      | -0,002 | 0,000  | -      |
|                             | Total                   | -      | -      | 0,708  | 0,801  | -      | 0,767  | 0,682  | -      |
| u                           | Efeito direto u         | -      | -0,655 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
|                             | Efeito indireto via Tn  | -      | -0,067 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
|                             | Efeito indireto via URx | -      | 0,016  | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
|                             | Efeito indireto via URn | -      | -0,065 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
|                             | Efeito indireto via Rg  | -      | 0,047  | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
|                             | Total                   | -      | -0,724 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| Rg                          | Efeito direto Rg        | -0,615 | -      | -      | -      | -0,798 | -      | -      | -0,635 |
|                             | Efeito indireto via Tn  | -0,024 | -      | -      | -      | 0,020  | -      | -      | 0,002  |
|                             | Efeito indireto via URx | 0,023  | -      | -      | -      | 0,001  | -      | -      | -0,007 |
|                             | Efeito indireto via URn | -0,003 | -      | -      | -      | -0,004 | -      | -      | 0,003  |
|                             | Efeito indireto via u   | -0,043 | -      | -      | -      | 0,085  | -      | -      | 0,055  |
|                             | Total                   | -0,661 | -      | -      | -      | -0,695 | -      | -      | -0,583 |
| Coeficiente de determinação |                         | 0,815  | 0,896  | 0,847  | 0,716  | 0,819  | 0,874  | 0,717  | 0,748  |

Em que: Grupo ambiente: Rg - radiação solar global, URx – umidade relativa máxima do ar, URn – umidade relativa mínima do ar, u – velocidade do vento; Grupo Cladódio: CC1 - comprimento do cladódio de 1ª ordem, CC2 - comprimento do cladódio de 2ª ordem, CC3 - comprimento do cladódio de 3ª ordem, LCB - largura do cladódio basal, LC1 - largura do cladódio de 1ª ordem, EC1 - espessura do cladódio de 1ª ordem, PCB - perímetro do cladódio basal, PC1 - perímetro do cladódio de 1ª ordem.

“-“ indica que a variável ambiental não apresentou correlação com alguma (as) das variáveis do grupo cladódio.

Tabela 8. Desdobramento do coeficiente de correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre as variáveis do grupo resposta “Planta” (características estruturais das plantas), com as variáveis do grupo explicativo “Ambiente” (variáveis ambientais), do clone Miúda - MIU, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

| Variável                    | Efeito                  | LP     | NC1    | NC3    | NC4    | IAC    |
|-----------------------------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Tn                          | Efeito direto Tn        | -      | 0,070  | -      | -      | -      |
|                             | Efeito indireto via URx | -      | 0,475  | -      | -      | -      |
|                             | Efeito indireto via URn | -      | -0,256 | -      | -      | -      |
|                             | Efeito indireto via u   | -      | 0,379  | -      | -      | -      |
|                             | Efeito indireto via Rg  | -      | 0,014  | -      | -      | -      |
|                             | Total                   | -      | 0,682  | -      | -      | -      |
| URn                         | Efeito direto URn       | -      | -      | -      | 0,581  | -      |
|                             | Efeito indireto via Tn  | -      | -      | -      | -0,096 | -      |
|                             | Efeito indireto via URx | -      | -      | -      | 0,082  | -      |
|                             | Efeito indireto via u   | -      | -      | -      | 0,056  | -      |
|                             | Efeito indireto via Rg  | -      | -      | -      | -0,002 | -      |
|                             | Total                   | -      | -      | -      | 0,620  | -      |
| u                           | Efeito direto u         | 0,116  | -0,587 | -0,522 | -0,438 | -0,887 |
|                             | Efeito indireto via Tn  | -0,598 | -0,045 | -0,189 | -0,126 | 0,230  |
|                             | Efeito indireto via URx | -0,089 | 0,078  | -0,011 | -0,009 | 0,031  |
|                             | Efeito indireto via URn | -0,019 | -0,066 | -0,057 | -0,074 | -0,062 |
|                             | Efeito indireto via Rg  | 0,024  | 0,052  | 0,040  | 0,031  | 0,055  |
|                             | Total                   | -0,567 | -0,568 | -0,739 | -0,617 | -0,633 |
| Coeficiente de determinação |                         | 0,677  | 0,841  | 0,903  | 0,805  | 0,913  |

Em que: Grupo ambiente: Tn - temperatura mínima do ar, URn – umidade relativa mínima do ar, u – velocidade do vento; Grupo Planta: LP - largura da planta, NC1 - número de cladódios de 1ª ordem, NC3 - número de cladódios de 3ª ordem, NC4 - número de cladódios de 4ª ordem, IAC - índice de área do cladódio.

“-“ indica que a variável ambiental não apresentou correlação com alguma (as) das variáveis do grupo planta.

Tabela 9. Desdobramento do coeficiente de correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre o grupo resposta “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), o grupo explicativo “Ambiente” (variáveis ambientais), do clone Miúda - MIU, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

| Variável                    | Efeito                  | CCB    | CC1    | LCB    | LC1    | ECB    | EC4    | PC1    | PC2    |
|-----------------------------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Tn                          | Efeito direto Tn        | -0,799 | -      | -1,881 | -      | -      | -      | -      | -      |
|                             | Efeito indireto via URx | 0,193  | -      | 0,973  | -      | -      | -      | -      | -      |
|                             | Efeito indireto via URn | -0,016 | -      | -0,446 | -      | -      | -      | -      | -      |
|                             | Efeito indireto via u   | -0,066 | -      | 0,639  | -      | -      | -      | -      | -      |
|                             | Efeito indireto via Rg  | 0,012  | -      | -0,005 | -      | -      | -      | -      | -      |
|                             | Total                   | -0,677 | -      | -0,720 | -      | -      | -      | -      | -      |
| URx                         | Efeito direto URx       | -      | -      | -      | -      | -0,235 | -0,169 | -      | -      |
|                             | Efeito indireto via Tn  | -      | -      | -      | -      | 0,393  | 0,411  | -      | -      |
|                             | Efeito indireto via URn | -      | -      | -      | -      | 0,589  | 0,326  | -      | -      |
|                             | Efeito indireto via u   | -      | -      | -      | -      | 0,066  | 0,097  | -      | -      |
|                             | Efeito indireto via Rg  | -      | -      | -      | -      | -0,006 | -0,006 | -      | -      |
|                             | Total                   | -      | -      | -      | -      | 0,807  | 0,660  | -      | -      |
| URn                         | Efeito direto URn       | -      | -      | 0,907  | -      | 0,667  | 0,370  | -      | -      |
|                             | Efeito indireto via Tn  | -      | -      | 0,925  | -      | 0,313  | 0,327  | -      | -      |
|                             | Efeito indireto via URx | -      | -      | -1,387 | -      | -0,208 | -0,149 | -      | -      |
|                             | Efeito indireto via u   | -      | -      | 0,126  | -      | 0,083  | 0,121  | -      | -      |
|                             | Efeito indireto via Rg  | -      | -      | 0,001  | -      | -0,002 | -0,002 | -      | -      |
|                             | Total                   | -      | -      | 0,572  | -      | 0,853  | 0,667  | -      | -      |
| u                           | Efeito direto u         | 0,102  | -      | -      | 0,806  | -      | -      | -      | -0,912 |
|                             | Efeito indireto via Tn  | 0,515  | -      | -      | -0,173 | -      | -      | -      | 0,185  |
|                             | Efeito indireto via URx | 0,031  | -      | -      | -0,024 | -      | -      | -      | 0,070  |
|                             | Efeito indireto via URn | -0,004 | -      | -      | 0,009  | -      | -      | -      | -0,053 |
|                             | Efeito indireto via Rg  | 0,044  | -      | -      | 0,047  | -      | -      | -      | 0,066  |
|                             | Total                   | 0,689  | -      | -      | 0,664  | -      | -      | -      | -0,644 |
| Rg                          | Efeito direto Rg        | -      | -0,611 | -      | -0,504 | -      | -      | -0,748 | -0,710 |
|                             | Efeito indireto via Tn  | -      | -0,006 | -      | -0,007 | -      | -      | -0,003 | 0,007  |
|                             | Efeito indireto via URx | -      | 0,002  | -      | 0,004  | -      | -      | 0,003  | -0,010 |
|                             | Efeito indireto via URn | -      | 0,001  | -      | 0,000  | -      | -      | 0,001  | 0,002  |
|                             | Efeito indireto via u   | -      | -0,037 | -      | -0,075 | -      | -      | -0,044 | 0,085  |
|                             | Total                   | -      | -0,652 | -      | -0,582 | -      | -      | -0,791 | -0,627 |
| Coeficiente de determinação |                         | 0,778  | 0,477  | 0,923  | 0,722  | 0,929  | 0,825  | 0,889  | 0,947  |

Em que: Grupo ambiente: Rg - radiação solar global, Tn – temperatura mínima do ar, URx – umidade relativa máxima do ar, URn – umidade relativa mínima do ar, u – velocidade do vento; Grupo Cladódio: CCB - comprimento do cladódio basal, CC1 - comprimento do cladódio de 1ª ordem, LCB - largura do cladódio basal, LC1 - largura do cladódio de 1ª ordem, ECB - espessura do cladódio basal, EC4 - espessura do cladódio de 4ª ordem, PC1 - perímetro do cladódio de 1ª ordem, PC2 - perímetro do cladódio de 2ª ordem.

“-“ indica que a variável ambiental não apresentou correlação com alguma (as) das variáveis do grupo cladódio.

Tabela 10. Desdobramento do coeficiente de correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre as variáveis do grupo resposta “Planta” (características estruturais das plantas), com as variáveis do grupo explicativo “Ambiente” (variáveis ambientais), do clone Orelha de Elefante Mexicana – OEM, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

| Variável                    | Efeito                  | AP    | NC1    | IAC    |
|-----------------------------|-------------------------|-------|--------|--------|
| URx                         | Efeito direto URx       | 0,249 | -0,656 | -      |
|                             | Efeito indireto via URn | 0,409 | 0,116  | -      |
|                             | Efeito indireto via u   | 0,036 | -0,012 | -      |
|                             | Total                   | 0,695 | -0,551 | -      |
| URn                         | Efeito direto URn       | 0,464 | -      | 0,660  |
|                             | Efeito indireto via URx | 0,220 | -      | -0,082 |
|                             | Efeito indireto via u   | 0,045 | -      | 0,070  |
|                             | Total                   | 0,729 | -      | 0,648  |
| u                           | Efeito direto u         | -     | -      | -0,555 |
|                             | Efeito indireto via URx | -     | -      | 0,009  |
|                             | Efeito indireto via URn | -     | -      | -0,084 |
|                             | Total                   | -     | -      | -0,629 |
| Coeficiente de determinação |                         | 0,668 | 0,319  | 0,726  |

Em que: Grupo ambiente: URx – umidade relativa máxima do ar, URn – umidade relativa mínima do ar, u – velocidade do vento; Grupo Planta: AP - altura da planta, NC1 - número de cladódios de 1ª ordem, IAC - índice de área do cladódio.

“-“ indica que a variável ambiental não apresentou correlação com alguma (as) das variáveis do grupo planta.

Tabela 11. Desdobramento do coeficiente de correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre as variáveis do grupo resposta “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), com as variáveis do grupo explicativo “Ambiente” (variáveis ambientais), do clone Orelha de Elefante Mexicana – OEM, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

| Variável                    | Efeito                  | CC1    | EC1   | EC3   | PCB   | PC1    |
|-----------------------------|-------------------------|--------|-------|-------|-------|--------|
| URx                         | Efeito direto URx       | 0,042  | -     | 0,553 | 0,584 | -      |
|                             | Efeito indireto via URn | 0,491  | -     | 0,054 | 0,006 | -      |
|                             | Efeito indireto via u   | 0,054  | -     | 0,031 | 0,007 | -      |
|                             | Total                   | 0,587  | -     | 0,638 | 0,596 | -      |
| URn                         | Efeito direto URn       | 0,556  | 0,458 | 0,061 | 0,006 | 0,800  |
|                             | Efeito indireto via URx | 0,037  | 0,031 | 0,489 | 0,515 | -0,279 |
|                             | Efeito indireto via u   | 0,068  | 0,061 | 0,038 | 0,008 | 0,060  |
|                             | Total                   | 0,661  | 0,550 | 0,588 | 0,530 | 0,581  |
| u                           | Efeito direto u         | -0,537 | -     | -     | -     | -      |
|                             | Efeito indireto via URx | -0,004 | -     | -     | -     | -      |
|                             | Efeito indireto via URn | -0,071 | -     | -     | -     | -      |
|                             | Total                   | -0,612 | -     | -     | -     | -      |
| Coeficiente de determinação |                         | 0,721  | 0,526 | 0,499 | 0,360 | 0,582  |

Em que: Grupo ambiente: URx – umidade relativa máxima do ar, URn – umidade relativa mínima do ar, u – velocidade do vento; Grupo Cladódio: CC1 - comprimento do cladódio de 1ª ordem, EC1 - espessura do cladódio de 1ª ordem, EC3 - espessura do cladódio de 3ª ordem, PCB - perímetro do cladódio basal, PC1 - perímetro do cladódio de 1ª ordem.

“-“ indica que a variável ambiental não apresentou correlação com alguma (as) das variáveis do grupo cladódio.

Tabela 12. Correlações canônicas e pares canônicos entre o grupo “Evapotranspiração” (ET) e os grupos “Ambiente” (variáveis ambientais), “Planta” (características estruturais das plantas) e “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone IPA Sertânia – IPA, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

| Grupos                | Variáveis          | Fatores canônicos |         |
|-----------------------|--------------------|-------------------|---------|
|                       |                    | 1°                | 2°      |
| I – Evapotranspiração | ET                 | 0,685             | 0,729   |
|                       | ET/ET <sub>o</sub> | 0,354             | 0,935   |
| II – Ambiente         | u                  | 0,039             | 0,999   |
|                       | Rg                 | -1,000            | 0,029   |
| Correlação canônica   |                    | 0,878**           | 0,650*  |
| $\chi^2$              |                    | 17                | 5       |
| Grau de liberdade     |                    | 4                 | 1       |
| I – Evapotranspiração | ET                 | -0,201            | 0,980   |
|                       | ET/ET <sub>o</sub> | -0,561            | 0,828   |
| III Planta            | AP                 | 0,944             | -0,330  |
|                       | IAC                | 0,845             | -0,536  |
| Correlação canônica   |                    | 0,869**           | 0,737** |
| $\chi^2$              |                    | 19                | 7       |
| Grau de liberdade     |                    | 4                 | 1       |
| I – Evapotranspiração | ET                 | 0,764             | 0,645   |
|                       | ET/ET <sub>o</sub> | 0,953             | 0,304   |
| IV Cladódio           | CC2                | -0,877            | 0,139   |
|                       | CC3                | -0,862            | 0,404   |
|                       | EC3                | -0,798            | 0,362   |
|                       | PC1                | -0,864            | -0,271  |
| Correlação canônica   |                    | 0,882**           | 0,842*  |
| $\chi^2$              |                    | 21                | 9       |
| Grau de liberdade     |                    | 8                 | 3       |

Em que: Grupo Evapotranspiração: ET - evapotranspiração real da cultura, ET/ET<sub>o</sub> - razão entre a evapotranspiração real da cultura e a evapotranspiração de referência; Grupo Ambiente: Rg - radiação solar global, u - velocidade do vento; Grupo Planta: AP - altura da planta, IAC - índice de área do cladódio; Grupo Cladódio: CC2 - comprimento do cladódio de 2ª ordem, CC3 - comprimento do cladódio de 3ª ordem, E3 - espessura do cladódio de 3ª ordem, PC1 - perímetro do cladódio de 1ª ordem.

\*\*, \* Significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste de Qui-quadrado.

Tabela 13. Correlações canônicas e pares canônicos entre o grupo



“Evapotranspiração” (ET) e o grupo “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone Miúda – MIU, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

| Grupos                | Variáveis          | Fatores canônicos |        |
|-----------------------|--------------------|-------------------|--------|
|                       |                    | 1°                | 2°     |
| I – Evapotranspiração | ET                 | 0,635             | 0,773  |
|                       | ET/ET <sub>o</sub> | 0,887             | 0,461  |
| III Cladódio          | CC3                | -0,983            | -0,184 |
|                       | PC3                | -0,919            | -0,395 |
| Correlação canônica   |                    | 0,842*            | 0,024  |
| $\chi^2$              |                    | 10                | 0      |
| Grau de liberdade     |                    | 4                 | 1      |

Em que: Grupo Evapotranspiração: ET - evapotranspiração real da cultura, ET/ET<sub>o</sub> - razão entre a evapotranspiração real da cultura e a evapotranspiração de referência; Grupo Cladódio: CC3 - comprimento do cladódio de 3ª ordem, PC3 - perímetro do cladódio de 3ª ordem.

\* Significativo a 5% pelo teste de Qui-quadrado.

Tabela 14. Correlações canônicas e pares canônicos entre o grupo “Evapotranspiração” (ET) e os grupos “Ambiente” (variáveis ambientais) e “Planta” (características estruturais das plantas), do clone Orelha de Elefante Mexicana – OEM, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

| Grupos                | Variáveis          | Fatores canônicos |        |
|-----------------------|--------------------|-------------------|--------|
|                       |                    | 1°                | 2°     |
| I – Evapotranspiração | ET                 | 0,623             | 0,782  |
|                       | ET/ET <sub>o</sub> | 0,256             | 0,967  |
| II – Ambiente         | u                  | -0,076            | 0,997  |
|                       | R <sub>g</sub>     | -0,996            | -0,086 |
| Correlação canônica   |                    | 0,859**           | 0,663* |
| $\chi^2$              |                    | 16                | 5      |
| Grau de liberdade     |                    | 4                 | 1      |
| I – Evapotranspiração | ET                 | 0,558             | 0,830  |
|                       | ET/ET <sub>o</sub> | 0,845             | 0,535  |
| III Planta            | NCT                | -0,586            | -0,660 |
|                       | NC2                | -0,872            | -0,035 |
|                       | IAC                | -0,984            | 0,093  |
| Correlação canônica   |                    | 0,881*            | 0,479  |
| $\chi^2$              |                    | 14                | 2      |
| Grau de liberdade     |                    | 6                 | 2      |

Em que: Grupo Evapotranspiração: ET - evapotranspiração real da cultura, ET/ET<sub>o</sub> - razão entre a evapotranspiração real da cultura e a evapotranspiração de referência; Grupo Ambiente: R<sub>g</sub> - radiação solar global, u - velocidade do vento; Grupo Planta: NCT - número total de cladódios da planta, NC2 - número de cladódios de 2ª ordem, IAC - índice de área do cladódio.

\*\*, \* Significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste de Qui-quadrado.

Tabela 15. Desdobramento da correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre o grupo resposta “Evapotranspiração”, com os grupos explicativos “Ambiente”, “Planta”

(características estruturais das plantas) e “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone IPA Sertânia – IPA, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

|                             | Variável | Efeito                  | ET     | ET/ETo |
|-----------------------------|----------|-------------------------|--------|--------|
| Grupo Ambiente              | u        | Efeito direto u         | -      | 0,617  |
|                             |          | Efeito indireto via Rg  | -      | 0,003  |
|                             |          | Total                   | -      | 0,620  |
|                             | Rg       | Efeito direto Rg        | -0,582 | -      |
|                             |          | Efeito indireto via u   | -0,005 | -      |
|                             |          | Total                   | -0,587 | -      |
| Coeficiente de determinação |          |                         | 0,586  | 0,466  |
| Grupo Planta                | AP       | Efeito direto AP        | -      | 1,124  |
|                             |          | Efeito indireto via IAC | -      | -1,786 |
|                             |          | Total                   | -      | -0,662 |
|                             | IAC      | Efeito direto IAC       | -      | -1,834 |
|                             |          | Efeito indireto via AP  | -      | 1,095  |
|                             |          | Total                   | -      | -0,739 |
| Coeficiente de determinação |          |                         | -      | 0,610  |
| Grupo Cladódio              | CC2      | Efeito direto CC2       | -      | -0,193 |
|                             |          | Efeito indireto via CC3 | -      | -0,764 |
|                             |          | Efeito indireto via EC3 | -      | 1,054  |
|                             |          | Efeito indireto via PC1 | -      | -0,798 |
|                             |          | Total                   | -      | -0,701 |
|                             | CC3      | Efeito direto CC3       | -      | -1,001 |
|                             |          | Efeito indireto via CC2 | -      | -0,147 |
|                             |          | Efeito indireto via EC3 | -      | 1,131  |
|                             |          | Efeito indireto via PC1 | -      | -0,604 |
|                             |          | Total                   | -      | -0,621 |
|                             | EC3      | Efeito direto EC3       | -      | 1,220  |
|                             |          | Efeito indireto via CC2 | -      | -0,167 |
|                             |          | Efeito indireto via CC3 | -      | -0,928 |
|                             |          | Efeito indireto via PC1 | -      | -0,703 |
|                             |          | Total                   | -      | -0,579 |
|                             | PC1      | Efeito direto PC1       | -1,347 | -0,905 |
|                             |          | Efeito indireto via CC2 | 0,114  | -0,170 |
|                             |          | Efeito indireto via CC3 | -0,532 | -0,668 |
| Efeito indireto via EC3     |          | 1,036                   | 0,948  |        |
| Total                       |          | -0,729                  | -0,796 |        |
| Coeficiente de determinação |          |                         | 0,749  | 0,772  |

Em que: Grupo Evapotranspiração: ET - evapotranspiração real da cultura, ET/ETo - razão entre a evapotranspiração real da cultura e a evapotranspiração de referência; Grupo Ambiente: Rg - radiação solar global, u - velocidade do vento; Grupo Planta: AP - altura da planta, IAC - índice de área do cladódio; Grupo Cladódio: CC2 - comprimento do cladódio de 2ª ordem, CC3 - comprimento do cladódio de 3ª ordem, EC3 - espessura do cladódio de 3ª ordem, PC1 - perímetro do cladódio de 1ª ordem.

“-“ indica que a variável não apresentou correlação com uma das variáveis do grupo evapotranspiração.

Tabela 16. Desdobramento da correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre as variáveis do grupo resposta “Evapotranspiração” (ET), com as variáveis dos grupos explicativos “Ambiente” (variáveis ambientais), “Planta” (características

estruturais das plantas) e “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone Miúda - MIU, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

|                             | Variável                    | Efeito                  | ET     | ET/ETo |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------|--------|
| Grupo<br>Planta             | NC1                         | Efeito direto NC1       | -1,011 | -0,913 |
|                             |                             | Efeito indireto via NC2 | 0,627  | 0,738  |
|                             |                             | Efeito indireto via NC4 | -0,045 | -0,145 |
|                             |                             | Efeito indireto via IAC | -0,225 | -0,342 |
|                             |                             | Total                   | -0,654 | -0,662 |
|                             | NC2                         | Efeito direto NC2       | -      | 0,905  |
|                             |                             | Efeito indireto via NC1 | -      | -0,744 |
|                             |                             | Efeito indireto via NC4 | -      | -0,217 |
|                             |                             | Efeito indireto via IAC | -      | -0,526 |
|                             |                             | Total                   | -      | -0,582 |
|                             | NC4                         | Efeito direto NC4       | -      | -0,291 |
|                             |                             | Efeito indireto via NC1 | -      | -0,457 |
|                             |                             | Efeito indireto via NC2 | -      | 0,675  |
|                             |                             | Efeito indireto via IAC | -      | -0,581 |
|                             |                             | Total                   | -      | -0,653 |
|                             | IAC                         | Efeito direto IAC       | -      | -0,638 |
|                             |                             | Efeito indireto via NC1 | -      | -0,489 |
|                             |                             | Efeito indireto via NC2 | -      | 0,746  |
|                             |                             | Efeito indireto via NC4 | -      | -0,265 |
|                             |                             | Total                   | -      | -0,646 |
| Coeficiente de determinação |                             |                         | 0,509  | 0,680  |
| Grupo<br>Cladódio           | CC3                         | Efeito direto CC3       | -      | -1,297 |
|                             |                             | Efeito indireto via PC3 | -      | 0,561  |
|                             |                             | Total                   | -      | -0,736 |
|                             | PC3                         | Efeito direto PC3       | -      | 0,575  |
|                             |                             | Efeito indireto via CC3 | -      | -1,265 |
|                             |                             | Total                   | -      | -0,690 |
|                             | Coeficiente de determinação |                         |        | -      |

Em que: Grupo Evapotranspiração: ET - evapotranspiração real da cultura, ET/ETo - razão entre a evapotranspiração real da cultura e a evapotranspiração de referência; Grupo Ambiente: Rg - radiação solar global, u - velocidade do vento; Grupo Planta: AP - altura da planta, NC1 - número de cladódios de 1ª ordem, NC2 - número de cladódios de 2ª ordem, NC4 - número de cladódios de 4ª ordem, IAC - índice de área do cladódio; Grupo Cladódio: CC3 - comprimento do cladódio de 3ª ordem, PC3 - perímetro do cladódio de 3ª ordem.

“-“ indica que a variável não apresentou correlação com uma das variáveis do grupo evapotranspiração.

Tabela 17. Desdobramento da correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre as variáveis do grupo resposta “Evapotranspiração” (ET), com as variáveis dos grupos explicativos “Ambiente” (variáveis ambientais), “Planta” (características estruturais das plantas) e “Cladódio”

(características estruturais dos cladódios), do clone Orelha de Elefante Mexicana – OEM, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

|                             | Variável                    | Efeito                  | ET                      | ET/ET <sub>o</sub> |        |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------|--------|
| Grupo Ambiente              | u                           | Efeito direto u         | -                       | 0,620              |        |
|                             |                             | Efeito indireto via Rg  | -                       | 0,003              |        |
|                             |                             | Total                   | -                       | 0,622              |        |
|                             | Rg                          | Efeito direto Rg        | -0,573                  | -                  |        |
|                             |                             | Efeito indireto via u   | -0,005                  | -                  |        |
|                             |                             | Total                   | -0,578                  | -                  |        |
| Coeficiente de determinação |                             |                         | 0,555                   | 0,459              |        |
| Grupo Planta                | NCT                         | Efeito direto NCT       | -                       | -0,618             |        |
|                             |                             | Efeito indireto via NC2 | -                       | 0,749              |        |
|                             |                             | Efeito indireto via IAC | -                       | -0,737             |        |
|                             |                             | Total                   | -                       | -0,606             |        |
|                             | NC2                         | Efeito direto NC2       | -                       | 0,980              |        |
|                             |                             | Efeito indireto via NCT | -                       | -0,472             |        |
|                             |                             | Efeito indireto via IAC | -                       | -1,166             |        |
|                             |                             | Total                   | -                       | -0,657             |        |
|                             | IAC                         | Efeito direto IAC       | -                       | -1,256             |        |
|                             |                             | Efeito indireto via NCT | -                       | -0,362             |        |
|                             |                             | Efeito indireto via NC2 | -                       | 0,910              |        |
|                             |                             | Total                   | -                       | -0,709             |        |
|                             | Coeficiente de determinação |                         |                         | -                  | 0,620  |
|                             | Grupo Cladódio              | LC1                     | Efeito direto LC1       | -                  | -0,806 |
|                             |                             |                         | Efeito indireto via ECB | -                  | -0,024 |
| Efeito indireto via PC1     |                             |                         | -                       | -0,298             |        |
| Efeito indireto via AC2     |                             |                         | -                       | 0,376              |        |
| Total                       |                             |                         | -                       | -0,752             |        |
| ECB                         |                             | Efeito direto ECB       | -                       | -0,027             |        |
|                             |                             | Efeito indireto via LC1 | -                       | -0,738             |        |
|                             |                             | Efeito indireto via PC1 | -                       | -0,261             |        |
|                             |                             | Efeito indireto via AC2 | -                       | 0,311              |        |
|                             |                             | Total                   | -                       | -0,714             |        |
| PC1                         |                             | Efeito direto PC1       | -                       | -0,353             |        |
|                             |                             | Efeito indireto via LC1 | -                       | -0,682             |        |
|                             |                             | Efeito indireto via ECB | -                       | -0,020             |        |
|                             |                             | Efeito indireto via AC2 | -                       | 0,366              |        |
|                             |                             | Total                   | -                       | -0,688             |        |
| AC2                         | Efeito direto AC2           | -                       | 0,436                   |                    |        |
|                             | Efeito indireto via LC1     | -                       | -0,695                  |                    |        |
|                             | Efeito indireto via ECB     | -                       | -0,019                  |                    |        |
|                             | Efeito indireto via PC1     | -                       | -0,296                  |                    |        |
|                             | Total                       | -                       | -0,574                  |                    |        |
| Coeficiente de determinação |                             |                         | -                       | 0,618              |        |

Em que: Grupo Evapotranspiração: ET - evapotranspiração real da cultura, ET/ET<sub>o</sub> - razão entre a evapotranspiração real da cultura e a evapotranspiração de referência; Grupo Ambiente: Rg - radiação solar global, u - velocidade do vento; Grupo Planta: NCT - número total de cladódios da planta, NC2 - número de cladódios de 2ª ordem, IAC - índice de área do cladódio; Grupo Cladódio: LC1 - largura do cladódio de 1ª ordem, ECB - espessura do cladódio basal, PC1 - perímetro do cladódio de 1ª ordem, AC2 - área do cladódio de 2ª ordem.

“-“ indica que a variável não apresentou correlação com uma das variáveis do grupo evapotranspiração.

### **Associação de fatores de crescimento e hídricos de clones de palma forrageira irrigada com a capacidade de produção de biomassa**

**Resumo:** O objetivo foi avaliar a influência das características estruturais dos cladódios na formação das plantas, e de suas combinações com a evapotranspiração, na capacidade de acúmulo de biomassa de clones de palma forrageira em diferentes regimes hídricos. O estudo foi conduzido em Serra Talhada, em Pernambuco, com os clones IPA Sertânia - IPA, Miúda - MIU e Orelha de Elefante Mexicana – OEM, os quais foram submetidos a três lâminas (2,5; 5,0; e 7,5 mm) e intervalos fixos de irrigação (7, 14 e 28 dias), no período compreendido entre março 2012 e agosto de 2013. Dados de dimensões dos cladódios e das plantas, de biomassa, de evapotranspiração e de variáveis meteorológicas foram obtidos durante o período experimental. O primeiro conjunto representou as características estruturais dos cladódios e das plantas. O segundo, a capacidade de acúmulo de biomassa por meio da produtividade da cultura, em termos de rendimento em matéria verde (REND-MV, t ha<sup>-1</sup>) e seca (REND-MS, t ha<sup>-1</sup>), de massa individual dos cladódios em base fresca (BFC, g) e seca (BSC, g), e de conteúdo de matéria seca (CMS, %). Os dados disponíveis foram utilizados para elaborar a matriz de correlação de Pearson entre as variáveis e realizar análises canônicas e de trilha. As características dos cladódios de segunda e de terceira ordens foram as que mais contribuíram para a arquitetura das plantas dos clones IPA e MIU. Em contraste, os cladódios de primeira e de terceira ordens foram os mais importantes no clone OEM. O número de cladódios de terceira ordem e as dimensões dos cladódios de segunda e de terceira ordens determinaram o acúmulo de biomassa (BFC) e o REND-MS do clone IPA. Por outro lado, o REND-MS foi mais influenciado pelo crescimento do cladódio basal no clone MIU. Os números de cladódios de primeira e de segunda ordens, assim como suas dimensões, promoveram maior acúmulo de biomassa para o clone OEM.

**Termos de indexação:** análise estatística, biometria, *Nopalea* sp., *Opuntia* sp., produtividade

## **Association of growth and water factors in irrigated forage cactus clones with biomass production capacity**

**Abstract:** The objective was to evaluate the influence of cladode structural characteristics on the plant formation, and their combination with evapotranspiration, on the crop biomass accumulation capacity under different water regimes. The study was carried out in Serra Talhada, in Pernambuco, with the clones IPA Sertânia-IPA, Miúda-MIU and Orelha de Elefante Mexicana-OEM, which were subjected to three irrigation depths (2.5; 5.0; and 7.5 mm) and fixed irrigation intervals (7, 14 and 28 days) from March 2012 to August 2013. Biometric, biomass, evapotranspiration and meteorological variables were obtained during the experimental period. The first set represented the plant and the cladode structural characteristics. The second, the crop biomass accumulation by means of crop yield in fresh (REND-MV, t ha<sup>-1</sup>) and dry basis (REND-MS, t ha<sup>-1</sup>); individual cladode biomass in fresh (BFC, g) and dry basis (BSC, g); and dry matter content (CMS,%). The available data were utilized to elaborate the Pearson correlation matrix among variables and perform the path and canonical analysis. It was verified that the cladode characteristics of second and third orders were the ones which mostly contributed to the plant architecture of the IPA and MIU clones. In contrast, the first and the third order cladodes were the most important ones for the OEM clone. The number of third order cladodes and the cladode dimensions of second and third orders determined the crop biomass accumulation (BFC) and REND-MS of the IPA clone. On the other hand, crop yield was more influenced by the growth of the MIU clone basal cladode. The number of the first and the second order cladodes and their dimensions promoted greater crop biomass accumulation for the OEM clone.

**Index terms:** statistical analysis, biometrics, *Nopalea* sp., *Opuntia* sp., yield

## Introdução

Como estrutura fotossintetizante, a folha desempenha papel primordial para o crescimento das plantas, estando em harmonia com os demais órgãos e com as condições do clima e do solo. As folhas são responsáveis pela interceptação da radiação solar que irá impulsionar os processos metabólicos que, por sua vez, resultarão na formação de açúcares e no acúmulo de fitomassa (Gibson et al., 2011). A quantidade de radiação fotossinteticamente ativa absorvida e os suprimentos adequados de água e de nutrientes são indicadores de produção nas plantas (Weerakkody & Suriyagoda, 2015).

Espécies cactáceas, a exemplo da palma forrageira, que apresentam metabolismo fotossintético CAM, além de possuírem adaptações fisiológicas como captação noturna de CO<sub>2</sub> para maior eficiência do uso da água, possuem adaptações morfológicas em suas estruturas fotossintéticas. Suas folhas são atrofiadas, com o surgimento de espinhos em seu lugar, de modo que a fotossíntese é realizada em estruturas denominadas cladódios (Peña-Valdivia et al., 2008; Silva et al., 2010; Silva et al., 2014a).

Há enorme variabilidade quanto aos formatos e estruturas dos cladódios nos diferentes clones de palma forrageira. Essas diferenças correspondem ao número de cladódios que a planta possui, aos seus tamanhos, biomassa, forma de crescimento, disposição horizontal ou vertical, coloração e rendimento (Silva & Santos, 2006), resultando em plantas com diferentes arquiteturas. Essas distinções na morfologia induzem à variação na interceptação da radiação solar, com reflexo na produtividade da cultura.

Na região Nordeste do Brasil, há a predominância no cultivo de plantas de palma forrageira pertencentes aos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*. Em decorrência disso, destacam-se os clones Orelha de Elefante Mexicana, pertencente ao gênero *Opuntia*, e os clones Miúda e IPA Sertânia, do gênero *Nopalea*. Esses clones possuem o seu uso difundido por serem resistentes à cochonilha do Carmim, uma praga que costuma devastar plantios de palma. São utilizados como fonte de alimentação animal, uma vez que, quando há a redução na forragem pela menor disponibilidade de plantas herbáceas no período seco, eles mantêm-se como recurso alimentar principal (Silva et al., 2015).

A produtividade está relacionada com a capacidade das espécies em captar e carboxilar o  $\text{CO}_2$  necessário para a fotossíntese. Em clones de palma forrageira, a sua produtividade estará relacionada, assim, com a distribuição, tamanho, formato e quantidade de cladódios, que são as suas estruturas fotossintetizantes (Silva et al., 2010; Nobel, 2001). Outros também fatores influenciam no rendimento da cultura, como o espaçamento e densidade de plantio, adubação, tipo de clone, manejo, tratos culturais, além das condições climáticas e da sua dinâmica de crescimento. O suprimento hídrico adequado, com base nas perdas por evapotranspiração, também tem efeito sobre a produtividade (Silva et al., 2014a; Silva et al., 2006). Assim, o conhecimento da associação entre o crescimento das plantas e dos cladódios, e de ambos em conjunto com a evapotranspiração, que influencia na produtividade, permite identificar quais são as características que mais contribuem para o rendimento dos clones de palma forrageira.

A análise de correlação canônica possibilita essa associação, uma vez que por meio dela é determinada a relação linear entre grupos ou conjuntos de variáveis, identificando a existência e a máxima correlação entre distintos grupos (Brum et al.,



2011). A análise de trilha complementa essa informação, revelando se a relação entre as variáveis é de causa ou efeito ou por influência de outras, identificando quais são as variáveis que apresentam maior peso e contribuição.

Cunha et al. (2011) utilizaram as análises de trilha e canônica para identificar a associação existente entre as características produtivas e morfológicas de clones de *Pennisetum* sp., assim como classificar as características morfológicas que mais influenciam na sua produtividade. Silva et al. (2010), em um estudo com 50 clones de palma forrageira, aplicaram a análise de trilha com o objetivo de identificar quais as características morfológicas que mais contribuem para a produção, sendo este estudo também desenvolvido por Neder et al. (2013) com 19 clones de palma forrageira. Pinheiro et al. (2014), por meio da análise de trilha, associaram as características de crescimento com o índice de área do cladódio e com o rendimento de clones de palma forrageira. Peña-Valdivia et al. (2008) ressaltam que o estudo das características dos cladódios e da planta auxilia na compreensão do hábito de crescimento da planta. Silva et al. (2015) utilizaram a análise de trilha para identificar a contribuição das variáveis meteorológicas sobre as características morfogênicas de 3 clones de palma forrageira

O uso dessas ferramentas de análise, além de fornecer subsídios para o programa de melhoramento genético da palma forrageira, auxilia os produtores na escolha dos clones com características de crescimento que mais contribuem para a produtividade.

Assim, objetivou-se identificar as características de crescimento dos cladódios que mais influenciam na formação e arquitetura das plantas de clones dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, bem como estas, em conjunto com a evapotranspiração, explicam o acúmulo de biomassa e produtividade dos clones IPA Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana.

## **Materiais e Métodos**

A área experimental foi instalada no Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), no município de Serra Talhada, Pernambuco (coordenadas 7°59'S, 38°15'O e altitude de 431 m), o qual está localizado no Semiárido brasileiro. As características climáticas do município são determinadas por temperatura média anual de 24,8°C, umidade relativa do ar média anual de 62% e precipitação pluviométrica média de 642 mm ano<sup>-1</sup> (Cavalcanti & Silva, 1994; Silva et al., 2007; SUDENE, 1990). O solo da área experimental foi classificado como um Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico com textura franco arenosa (EMBRAPA, 1999).

Os clones Orelha de Elefante Mexicana - OEM (gênero *Opuntia*), Miúda - MIU (gênero *Nopalea*) e IPA-Sertânia - IPA (gênero *Nopalea*) foram plantados em fevereiro de 2010, em espaçamento de 1,6 x 0,2 m, com as fileiras de cultivo em sistema de curvas de nível. Os mesmos, foram dispostos em delineamento de blocos ao caso, em arranjo fatorial de 3x3x3, com três repetições, mais uma testemunha para cada clone.

Durante o primeiro ciclo, os clones foram conduzidos em condições de sequeiro até março de 2012, quando ocorreu a colheita, mantendo-se apenas o cladódio basal. A partir dessa data, iniciou-se o período experimental do presente estudo, caracterizando o segundo ciclo de produção, o qual foi finalizado em agosto de 2013, totalizando 532 dias.

Foram realizados eventos de irrigação com o auxílio de um sistema de gotejamento (gotejos espaçados a 0,40 m), adotando-se três lâminas fixas de reposição de água no solo (L1: 2,5 mm; L2: 5,0 mm e L3: 7,5 mm, parcelas) com três frequências (F1: 7 dias; F2: 14 dias; e, F3: 28 dias, subparcelas). Os três clones (IPA,

OEM e MIU) constituíram as sub-subparcelas. No total, o experimento apresentou 90 sub-subparcelas, cada uma composta por 4 fileiras de 20 plantas, totalizando 80 plantas, com área de 25,6 m<sup>2</sup> e útil de 11,52 m<sup>2</sup>. A área útil, por sua vez, foi constituída de 32 plantas situadas nas duas fileiras centrais.

Foram realizados, durante o período experimental, tratos culturais para eliminação de plantas daninhas, como capinas e aplicação de herbicidas, além do controle de doenças, sempre que necessário. A adubação mensal foi feita com aplicação de 50 Kg ha<sup>-1</sup> da formulação NPK 14-00-18, conforme recomendação do Instituto Agronômico de Pernambuco.

Os três clones de palma forrageira receberam, durante o período experimental, o equivalente a 756 (L7,5 F7), 672 (L5,0 F7), 622 (L7,5 F14), 586 (L2,5 F7), 579 (L5,0 F14), 555 (L7,5 F28), 536 (L2,5 F14), 535 (L5,0 F28), 514 (L2,5 F28) e 493 mm ano<sup>-1</sup> (Testemunha).

As características estruturais dos cladódios dos clones de palma forrageira (espessura, comprimento, largura e perímetro, por ordem de surgimento) e da planta (número total de cladódios da planta e por ordem de surgimento, altura e largura do dossel) foram obtidas mediante a realização de campanha biométrica ao final do ciclo. Posteriormente, as plantas restantes da área útil foram colhidas e pesadas para determinação do rendimento por sub-subparcela experimental.

Após a colheita, cinco cladódios representativos, por sub-subparcela, foram amostrados para obtenção da biomassa fresca individual dos cladódios (BFC), e, em seguida, para a biomassa seca (BSC), por meio da inserção em sacos de papel e secagem em estufa à 65°C, até obtenção de peso constante (Pinheiro et al., 2014; Silva et al., 2015).

A relação entre os valores de biomassa seca e fresca dos cladódios foi utilizada no cálculo do conteúdo de matéria seca (CMS, %). Por meio dos dados de rendimento por sub-subparcela experimental e da densidade final de plantas, foi calculada a produtividade fresca da cultura em toneladas por hectare (REND-MF, t ha<sup>-1</sup>), correspondente a cada tratamento. O produto entre a BFC e CMS resultou na produtividade seca da cultura (REND-MS, t ha<sup>-1</sup>).

A evapotranspiração real dos clones, nos diferentes regimes hídricos, foi calculada ao longo do tempo por meio dos dados do conteúdo de água e de propriedades físico-hídricas do solo, conforme Silva et al. (2014a). Além disso, foi utilizado o método do balanço de água no solo (BAS), para um volume de controle com profundidade de 0,70 m, em intervalos de 14 dias ( $ET = P + I \pm Q \pm \Delta A$ , em que P - precipitação pluviométrica, I - irrigação, Q - fluxo vertical de água no solo, representado pela ascensão capilar e drenagem profunda, e  $\Delta A$  - variação do armazenamento de água no solo, todos em mm). No BAS, os ganhos e perdas por escoamento superficial e subsuperficial foram considerados desprezíveis ou que se anulam, devido à baixa declividade da área experimental e o plantio ter sido feito em curva de nível.

Os dados de conteúdo de água no solo foram monitorados a partir de um sensor capacitivo (Diviner 2000®, Sentek Pty Ltda., Austrália). Este sensor foi inserido em tubos de acesso instalados a 0,90 m de profundidade e a 0,10 m da fileira dos clones, sendo utilizado um tubo em cada sub-subparcela. O sensor foi calibrado localmente de acordo com Araújo Primo et al. (2015) e os dados foram coletados em intervalos de tempo de três dias.

Os valores de ET foram relacionados com os dados da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), obtendo-se a razão ET/ET<sub>o</sub>. Os valores diários da ET<sub>o</sub> foram

calculados pelo método de Penman-Monteith modificado pela FAO, utilizando o programa REF-ET (Allen et al., 1998; Allen et al., 2013). Ao final do ciclo, os valores de evapotranspiração real foram integrados para representar o consumo total de água pela cultura ( $\sum ET$ ) e, além disso, foram feitas médias com os dados da relação ET/ET<sub>o</sub>.

Os dados experimentais foram subdivididos em quatro grupos: A) - características estruturais da planta: “Planta”; B) - características estruturais dos cladódios: “Cladódios”; C) – evapotranspiração: ET; e D) – rendimento: REND. Estes componentes foram considerados como variáveis explicativas ou variáveis respostas, a depender do interesse da análise realizada.

O grupo “Planta” foi representado pela altura e largura da planta (AP, LP); número total de cladódios (NTC); número de cladódios por ordem, variando de 1 a 4 a depender do clone (NCO<sub>x</sub>) e pelo índice de área de cladódio (IAC), que foi determinado pela razão entre a soma das áreas dos cladódios e o espaçamento de plantio (1,6 x 0,2 m). A área dos cladódios (AC) foi obtida utilizando-se modelos propostos por Silva et al. (2014b), os quais foram ajustados para os clones IPA Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana, em função dos dados de comprimento e largura dos cladódios.

Por sua vez, o grupo “Cladódios” foi composto pelas seguintes variáveis: comprimento dos cladódios (CC1, CC2, CC3 e CC4), largura dos cladódios (LC1, LC2, LC3 e LC4), espessura dos cladódios (EC1, EC2, EC3 e EC4), perímetro dos cladódios (PC1, PC2, PC3 e PC4) e área dos cladódios de primeira à quarta ordem (AC1, AC2, AC3 e AC4).

Para a realização das análises, foram inclusos os cladódios até a terceira ordem de surgimento para os clones IPA e OEM e até a quarta ordem para o clone MIU.

Esse procedimento foi necessário, uma vez que o número de cladódios de quarta ordem para os clones IPA e OEM e de quinta ordem para MIU era reduzido. Assim, para evitar interpretações errôneas dos resultados, optou-se por não contabilizar esses cladódios em pequeno número.

O grupo ET foi composto pelos valores acumulados da evapotranspiração real e médios da razão ET/ET<sub>o</sub>. No grupo REND, foram considerados os dados de biomassa fresca (BFC, g cladódio<sup>-1</sup>) e seca (BSC, g cladódio<sup>-1</sup>) individual dos cladódios, produtividade da cultura em massa fresca (REND-MF, t ha<sup>-1</sup>) e seca (REND-MS, t ha<sup>-1</sup>) e o conteúdo de matéria seca (BSC/BSF, %), este último obtido pela relação entre as biomassas seca e fresca.

Os grupos foram submetidos a duas análises. Na primeira análise, denominada CL-PL, utilizaram-se os dados dos grupos “Cladódios” (Explicativos) e “Planta” (Resposta) para avaliação da contribuição individual das características morfológicas dos cladódios sobre a formação do dossel vegetativo e o crescimento das plantas.

Na segunda análise, denominada ET-PL-CL-REND, por sua vez, os grupos ET, “Planta” e “Cladódios” foram adotados como variáveis explicativas e o grupo REND como resposta, na análise da contribuição do consumo de água e do crescimento sobre o acúmulo de biomassa de clones de palma forrageira.

Os dados experimentais foram inicialmente submetidos ao teste de Lilliefors, para a verificação de normalidade dos mesmos, e à ANOVA, ao nível de significância de 5%, visando detectar a existência de diferenças entre os clones nos distintos tratamentos de lâminas e frequências de irrigação.

Posteriormente, as variáveis respostas foram relacionadas às variáveis explicativas, por meio da Matriz de Correlação de Pearson. Nessa análise, foi avaliada a existência, direção e intensidade da relação linear entre os grupos de

variáveis, por meio do coeficiente da correlação linear de Pearson ( $r$ ), compreendido entre -1 a +1. Valores mais próximos de 1 indicam que há uma relação linear forte, enquanto mais próximos de 0 significam que há uma correlação linear fraca entre as variáveis. A relação entre as variáveis explicativas e respostas foi obtida pela equação (Souza, 2013):

$$r_{(XY)} = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sqrt{V(X) \cdot V(Y)}} = \frac{\sigma(X, Y)}{\sigma(X) \cdot \sigma(Y)} \quad (1)$$

em que:  $r_{(XY)}$  é o coeficiente de correlação de Pearson para as variáveis X (resposta) e Y (explicativa);  $\sigma(X, Y)$ , a covariância entre as variáveis X e Y;  $\sigma(X)$  e  $\sigma(Y)$  é o desvio padrão das variáveis X e Y, respectivamente.

A classificação dos coeficientes de correlação de Pearson intermediários foi interpretada de acordo com a utilizada por Thomaz et al. (2012), que compreendeu as seguintes faixas: 0 a 0,19, “muito fraca”; 0,20 a 0,39, “fraca”; 0,40 a 0,69, “moderada”; 0,70 a 0,89, “forte” e 0,90 a 1,00, “muito forte”. Além disso, foi analisado o sinal da correlação como positivo (+1) ou negativo (-1) e a significância dos coeficientes ( $p < 0,01$  e  $p < 0,05$ ) pelo teste t de Student.

Para a análise de multicolinearidade, foram utilizados apenas os dados das variáveis explicativas que se correlacionaram com pelo menos uma das variáveis respostas. Nessa análise, foi realizada uma nova triagem nos dados, descartando-se as variáveis que, dentro de um mesmo grupo, apresentassem correlação entre si, com multicolinearidade forte ( $NC > 100$ ) (Cruz; Carneiro, 2003; Souza, 2013). A presença de multicolinearidade forte pode levar à interpretações equívocas das análises, podendo ocasionar estimativas inconsistentes dos coeficientes de correlação canônica, bem como uma superestimativa dos efeitos das variáveis explicativas sobre as variáveis respostas.

Nas correlações canônicas, foram utilizadas apenas as variáveis com multicolinearidade fraca ( $NC < 100$ ) (Toebe; Cargnelutti Filho, 2013), nas quais foram avaliadas as associações entre os grupos de variáveis, de tal forma que a correlação linear entre essas combinações fosse máxima. Nessa análise, as variáveis canônicas devem ser ortogonais, ou seja, linearmente independentes entre si. Os eixos canônicos foram estabelecidos, a depender do número de variáveis do menor grupo, de tal modo que as correlações canônicas entre as mesmas foram avaliadas por meio do teste qui-quadrado, ao nível de 1% de probabilidade. A seguinte equação foi aplicada para a determinação dos coeficientes canônicos entre os grupos de variáveis (Ferreira, 2011):

$$\rho_{(U,V)} = \text{Cov}(U, V) = \frac{X^T \sum_{12} Y}{\sqrt{X^T \sum_{11} X} \sqrt{Y^T \sum_{22} Y}} \quad (2)$$

em que:  $X^T \sum_{12} Y$  é a covariância entre as variáveis canônicas U e V;  $\sqrt{X^T \sum_{11} X}$  é o desvio padrão da variável canônica U e  $\sqrt{Y^T \sum_{22} Y}$  é o desvio padrão da variável canônica V.

Na análise de trilha, foi realizado o desdobramento do coeficiente de correlação, permitindo determinar o grau do efeito de uma variável explicativa sobre a variável resposta, por meio do coeficiente de trilha (Souza, 2013). Nessa análise, foi calculado o coeficiente de correlação parcial entre duas variáveis, desconsiderando o efeito das demais, por meio da relação:

$$r_{(X_i Y, Z)} = \frac{r_{X_i} - r_{X_i Z} \cdot r_{YZ}}{\sqrt{(1 - r_{X_i Z}^2) \cdot (1 - r_{YZ}^2)}} \quad (3)$$

em que, i refere-se a uma variável resposta,  $r_{X_i Z}$  é o coeficiente de correlação entre uma variável resposta e enésimas variáveis explicativas;  $r_{YZ}$  é o coeficiente de



correlação entre a variável resposta e inúmeras variáveis explicativas. A significância da correlação parcial é idêntica à utilizada na correlação de Pearson (Cruz et al., 2004).

O fluxograma das etapas estatísticas realizadas está demonstrado na Figura 1, sendo que todas as análises foram implementadas no programa estatístico “GENES” (Cruz, 2006).

## **Resultados e discussão**

Na aplicação da análise de variância, observou-se que não houve efeito dos fatores lâminas e frequências de irrigação sobre a maioria das características morfológicas dos três clones ( $p > 0,05$ ). Todavia, a maior parte das variáveis estudadas apresentou efeito do fator clone ( $p < 0,05$ ). Assim, as análises de inter-relação do grupo das características morfológicas dos cladódios com o grupo das características das plantas, e de ambas em conjunto com o grupo evapotranspiração influenciando o rendimento, foram realizadas individualmente por clone, independente das distinções de regime hídrico (irrigação x frequência).

### **Análise CL-PL: Características morfológicas dos cladódios influenciando o crescimento das plantas**

Observando as correlações de Pearson entre as características de crescimento dos cladódios e das plantas, para os clones IPA Sertânia (IPA), Miúda (MIU) e Orelha de Elefante Mexicana (OEM) (Tabela 1), verificou-se que praticamente todas as características dos cladódios contribuíram na formação e arquitetura do dossel vegetativo.

No clone IPA (Tabela 1), as características que representaram a planta foram a largura (LP) e os números de cladódios de 1ª (NC1) e 3ª (NC3) ordens. Estas

características foram correlacionadas com os cladódios basais e os de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> ordens (CC1, CC2, CC3, EC1, PC1, ACB), proporcionando coeficientes classificados entre moderados a muito fortes.

No clone Miúda (Tabela 1) as características de crescimento representativas da planta foram a LP, o NC1, NC3, NC4 e o índice de área do cladódio (IAC), que tiveram correlação de moderada a muito forte com os cladódios basais e os de 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> ordens (ECB, EC3, PC2, PC3, AC4).

Para o clone OEM (Tabela 1), por sua vez, as características da planta representativas foram a altura (AP), o NC1, NC3 e o IAC, que tiveram correlação com características dos cladódios basais e os de 1<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> ordens (CC1, ECB, EC1, EC3, PC1, ACB), proporcionando coeficientes que se classificaram entre moderados a muito fortes.

A análise de correlação canônica permitiu identificar a dependência entre o grupo das características estruturais dos cladódios com o grupo das características estruturais das plantas. Para o clone IPA (Tabela 2), constatou-se pelo primeiro eixo canônico (0,997\*\*), que as plantas que possuíam maiores larguras (LP), maior número de cladódios de 1<sup>a</sup> (NC1) e de 3<sup>a</sup> ordens (NC3) foram as que apresentaram maiores cladódios de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> ordens, além de maiores cladódios basais.

As correlações canônicas foram significativas para o primeiro e segundo par de variáveis canônicas para o clone Miúda (Tabela 3). Assim, no primeiro eixo canônico (0,998\*\*), observou-se que plantas com maiores quantidades de cladódios de 1<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> ordens e maiores IAC foram as que possuíam maiores cladódios de 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> ordens, bem como maior espessura dos cladódios basais e de 3<sup>a</sup> ordem. No segundo eixo canônico (0,984\*), plantas com menor número de cladódios de 4<sup>a</sup> ordem e com

menores IAC foram as que apresentaram menores espessuras dos cladódios basais e de 3ª ordem, além de menor área dos cladódios de 4ª ordem.

Em relação ao clone OEM (Tabela 4), apenas o primeiro eixo canônico foi significativo (0,999\*\*). Neste eixo, plantas com maiores IAC, maiores alturas (AP) e menor NC1 foram as que possuíam maiores comprimentos e espessura de cladódios basais, bem como de 1ª e de 3ª ordens.

No desdobramento dos coeficientes de correlação entre as características dos cladódios e das plantas para o clone IPA (Tabela 5), verificou-se que as plantas mais largas (LP) e com maior número de cladódios de 1ª ordem (NC1) foram aquelas que possuíam maior comprimento dos cladódios de 2ª ordem. Estas características destacaram-se em relação às demais, com efeitos diretos e indiretos (via CC1, CC3, EC1, PC1, ACB). Constatou-se que o comprimento dos cladódios de terceira ordem foi a característica que mais contribuiu para o incremento do número de cladódios da mesma ordem, seja por efeito direto ou indireto (via CC1, CC2, EC1, PC1, ACB).

No clone Miúda (Tabela 6), semelhante ao IPA, as características dos cladódios de 2ª e 3ª ordens foram as que mais explicaram o crescimento e a estrutura da planta. O perímetro e a espessura dos cladódios de 3ª ordem foram os que mais contribuíram para as maiores LP e maior número de cladódios de 3ª e 4ª ordens, seja de forma direta ou indireta via outras variáveis (ECB, PC2, AC4). Similarmente, quanto maior foi o crescimento dos cladódios de 2ª ordem (PC2) maior foi o estímulo para o desenvolvimento de novos cladódios de 1ª ordem (NC1). Além disso, constatou-se que maiores espessuras dos cladódios de 3ª ordem proporcionaram maior incremento do IAC.

O crescimento dos cladódios afeta o crescimento das plantas. Logo, nos clones Miúda e IPA, do gênero *Nopalea*, especificamente, o crescimento dos cladódios de 2ª e 3ª ordens subsidia o crescimento das plantas em termos de largura, incremento do

IAC e estímulo para o surgimento de novos cladódios de ordens inferiores ou superiores a estes. Este fato pode ser explicado pela localização desses cladódios (2ª e 3ª ordens) na parte superior da planta. Assim, a radiação solar incidente nestes é superior à incidente nos cladódios de ordens inferiores, uma vez que estão parcialmente ou totalmente sombreados.

Segundo Nobel (2001), os cladódios jovens têm um estímulo maior para a fotossíntese em relação aos de ordens inferiores, contribuindo mais para o crescimento da planta, bem como para o surgimento de novos cladódios. Acevedo et al. (1983) relataram que tal fato ocorre porque há diferenças no padrão de interceptação da radiação solar pelos distintos cladódios ao longo de um dia, bem como pela sua face de exposição em relação ao movimento aparente do sol.

Silva et al. (2015), em estudo com os clones IPA e Miúda, com dados obtidos aos 754 dias após o corte, destacaram que os cladódios de 2ª e 3ª ordens foram os mais preponderantes para esses clones. Cunha et al. (2012), por sua vez, relataram que há uma correlação entre a taxa de aparecimento de novos cladódios com o número de cladódios presentes na planta, pois cada unidade que surge representa um potencial a mais para o aparecimento de novos cladódios. Estas novas unidades estruturais realizarão mais fotossíntese e produzirão, assim, mais fotoassimilados que estimularão o crescimento da planta.

A partir da utilização do clone Miúda com quatro anos e oito meses de idade, Pinheiro et al. (2014), estudaram a contribuição das características de crescimento dos cladódios e da planta sobre o índice de área do cladódio, observando a existência de correlação significativa com o produto altura x largura e as características dos cladódios de 1ª, 2ª, 3ª e 4ª ordens. Porém, os autores ressaltaram que as

características dos cladódios de quarta ordem foram as que mais contribuíram para o IAC do clone. As demais correlações tiveram baixa magnitude.

No clone OEM (Tabela 7), maiores comprimentos e espessuras dos cladódios de 1ª ordem (CC1 e EC1) contribuíram para a ocorrência de plantas maiores, com maior número de cladódios de 3ª ordem e maiores valores de IAC, os quais foram constatados por meio de efeitos diretos ou indiretos (via ECB, EC3, PC1, ACB). Por sua vez, o menor crescimento dos cladódios de 3ª ordem (EC3) estimulou o desenvolvimento de novos cladódios de 1ª ordem.

A maior contribuição dos cladódios de 1ª ordem para o clone OEM, deve-se ao fato de serem mais numerosos do que os de outras ordens. Clones do gênero *Opuntia* apresentam menor quantidade de cladódios quando comparados aos clones do gênero *Nopalea*, porém os seus cladódios são maiores (Cavalcante et al., 2014) e desempenham papel importante para o crescimento e armazenamento de água e fitomassa.

Silva et al. (2015) relatam que os cladódios de 1ª ordem são os mais preponderantes no clone OEM, assim como também são maiores os cladódios de segunda ordem. Os autores destacam que, semelhante ao clone IPA, o clone OEM possui maiores perímetros de cladódios basais e de primeira ordem, quando comparados ao clone Miúda.

Em avaliação da contribuição das características morfológicas das plantas e dos cladódios sobre o incremento do índice de área do cladódio do clone Orelha de Elefante Mexicana, Pinheiro et al. (2014), constataram que as características morfológicas explicaram 63,69% da variação do índice de área do cladódio. A variável que teve maior peso nesse percentual foi o número total de cladódios presentes nas plantas, as quais estavam com quatro anos de idade.

Silva et al. (2010) ressaltam que o estudo das características morfológicas dos clones é importante, uma vez que elas determinarão o hábito de crescimento destes, que podem ser eretos ou semiabertos. Este hábito está diretamente relacionado à interceptação da radiação solar pelas plantas, sendo determinada pela arquitetura do seu dossel.

### **Análise ET-PL-CL-REND: Características de crescimento e hídricas explicando o rendimento dos clones**

A evapotranspiração dos clones, constada como sendo de baixa magnitude, não foi o fator mais determinante para o rendimento dos dois gêneros avaliados (*Opuntia* e *Nopalea*) nos diferentes regimes hídricos.

A matriz de correlação de Pearson entre os dados dos grupos explicativos, “Planta” e “Cladódios” e o grupo resposta, denominado rendimento, para os clones IPA, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana é apresentada na Tabela 1. Os dados que representaram este grupo para o clone IPA foram o rendimento em matéria seca (REND-MS), o conteúdo de matéria seca (CMS) e a biomassa fresca dos cladódios (BFC). No clone Miúda, este grupo foi representado pelo REND-MS. Por sua vez, o grupo rendimento do clone OEM foi constituído pelo REND-MS, CMS, BFC e Biomassa seca dos cladódios (BSC).

As características dos cladódios de 2ª ordem (CC2, PC2) do clone IPA (Tabela 1) tiveram correlação moderada e positiva com o REND-MS. Em contraste, as características de crescimento dos cladódios basais (ECB) se correlacionaram de forma negativa e moderada com o CMS (-0,665). A BFC, no entanto, correlacionou-se de forma forte e positiva com a largura da planta (LP) (0,714), número de

cladódios de 2ª (0,705) e 3ª ordens (0,725) (NC2, NC3) e com as características estruturais dos cladódios de 2ª (0,829) e 3ª ordens (0,830) (CC2, EC3).

No clone Miúda (Tabela 1), o REND-MS teve correlações positivas, entre moderadas a muito fortes, com as características estruturais dos cladódios basais (CCB, PCB, ACB) e de 2ª ordem (CC2) (0,648), assim como com a altura das plantas (AP) (0,64).

Em relação ao clone OEM (Tabela 1), o REND-MS correlacionou-se de forma positiva e forte com o NC2 (0,769) e moderada com a LP (0,661), bem como com as características dos cladódios basais (ECB) (0,635) e de 2ª ordem (EC2) (0,630). O CMS e a BFC, por sua vez, tiveram correlação apenas com a LC1, de forma negativa (CMS) (-0,815) e positiva (BFC) (0,799), ambas fortes. A BSC, no entanto, correlacionou-se de forma positiva e moderada com o NC1 (0,684) e de forma forte, muito forte e negativa com o CCB (-0,805), CC1 (-0,926) e ACB (-0,746), respectivamente.

A análise de correlação canônica entre os grupos rendimento e “Cladódio” do clone IPA (Tabela 8), com um eixo canônico significativo (0,995\*\*), evidenciou a relação entre plantas que apresentaram um menor conteúdo de matéria seca (CMS) e maior BFC, com cladódios basais e de 3ª ordem que possuíam maior espessura, assim como com cladódios de 2ª ordem maiores.

Para o clone OEM (Tabela 9), dois eixos canônicos foram significativos. No primeiro eixo (0,999\*), foi realizada a associação de plantas que apresentaram maiores REND-MS e CMS e menor BFC com plantas que possuíam maiores dimensões dos cladódios basais (ACB, CCB, ECB) e cladódios de 1ª ordem menores (CC1, LC1). No segundo eixo (0,994\*), observou-se a relação entre plantas que

exibiram maior BFC e BSC com plantas que possuíam menores dimensões dos cladódios basais e de primeira ordem (CCB, CC1, ACB).

Na análise de trilha entre as características da planta e o grupo rendimento, para o clone IPA (Tabela 10), constatou-se que o NC3 foi quem mais explicou o acúmulo de BFC, com efeito direto e indireto (via NC2), seguido da LP. Em conjunto, essas duas características (NC3 e LP) explicaram 60,7% do acúmulo em biomassa fresca pelos cladódios desse clone. No grupo das características estruturais dos cladódios, observou-se que as características dos cladódios de 2ª ordem (PC2) foram as que mais contribuíram para o rendimento em matéria seca do clone IPA, alcançando 60,3%. Por sua vez, o maior acúmulo de biomassa fresca foi observado nas plantas que possuíam cladódios de 2ª ordem maiores e de 3ª ordem mais espessos, os quais explicaram a BFC em 89,1%. Em contrapartida, plantas com maiores CMS foram as que possuíam menores espessuras dos cladódios basais.

A contribuição do aumento no número de cladódios de terceira ordem para o incremento da biomassa fresca dos mesmos, além da influência exercida por estes na formação e estrutura da planta, está possivelmente relacionada à maior captação de CO<sub>2</sub> que estes realizam, em relação aos demais (Liguori et al., 2013; Acevedo et al., 1983). Adicionalmente, para que haja aumento na emissão de cladódios de ordens superiores (3ª ordem), deve haver maior quantidade de cladódios de ordens inferiores (1ª e 2ª ordens). Assim, o aumento do número de cladódios representa a expansão do crescimento da planta, em termos de largura e altura, o que contribui no somatório de biomassa fresca.

Em estudo desenvolvido com 3 clones de palma forrageira, entre eles o clone IPA Sertânia, que foi cultivado em condições de sequeiro durante cinco anos, Pinheiro et al. (2014) analisaram a influência das características de crescimento das plantas e dos



cladódios sobre o rendimento. Os autores constataram que o IAC, o produto altura x largura da planta e o número total de cladódios (NTC) foram os que mais contribuíram para o rendimento do clone, com contribuição maior do NTC.

No clone Miúda (Tabela 11), o maior REND-MS foi relacionado à presença de maior ACB, seja por efeito direto ou efeito indireto (via CCB, CC2, PCB). Esses cladódios explicaram 88,7% da variação no REND-MS do clone MIU. Assim, o maior incremento dos cladódios basais para o clone Miúda também deve ser utilizado como uma informação para o critério de seleção indireta de plantas mais produtivas.

Cladódios basais maiores são fundamentais para garantir maior sustentação das plantas do clone Miúda, uma vez que estas apresentam um número elevado de cladódios, em comparação aos clones IPA e OEM. No entanto, os cladódios do clone MIU são menores quando comparados aos dos outros dois clones. Assim, a maior contribuição desses cladódios para o rendimento em matéria seca é explicada pelo fato da planta possuir um grande número de cladódios, porém pequenos e que possuem um menor acúmulo de água.

Cavalcante et al. (2014) ressaltam que o clone Miúda apresenta uma menor biomassa fresca nos cladódios quando comparado a clones do gênero *Opuntia*. Esta informação é corroborada por Santos et al. (2006), que destacaram a menor produtividade em matéria verde pelo clone Miúda em relação às cultivares Gigante e Redonda (*Opuntia*). No entanto, a MIU destaca-se entre essas cultivares pela maior biomassa seca.

Pimienta-Barrios et al. (2005), em estudo conduzido com o clone *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, observaram uma diminuição no ganho diário de CO<sub>2</sub> dos cladódios basais em períodos secos. Nessas condições, as plantas que apresentavam um maior número de cladódios, em comparação às que possuíam menor número, apresentaram

uma redução no teor relativo de água, indicando um movimento de água dos cladódios basais para os cladódios-filhos. Assim, além da função de sustentação da planta, os cladódios basais passam a ser fonte para os cladódios-filhos em períodos de seca.

Cunha et al. (2012) avaliaram o crescimento do clone Miúda com três anos de idade. Os autores relataram que com o aumento do número de cladódios de ordens superiores, representando um ganho de massa para a planta, houve o incremento na espessura dos cladódios basais, de modo a garantir uma sustentação eficiente da planta. Também observaram a existência de correlação linear entre as características morfológicas dos cladódios como comprimento, largura, espessura, área e volume (determinado pela área do cladódio x sua espessura), com a massa fresca dos mesmos.

Para o clone OEM (Tabela 12), por sua vez, o maior REND-MS foi observado em plantas que possuíam maiores NC2 e EC2, bem como maior ECB. A presença de cladódios de 1ª ordem menores, porém em maior número, contribuiu para o aumento do CMS da planta e favoreceu o incremento de BFC. Assim, para este clone, os cladódios de 2ª e 3ª ordens foram os que mais contribuíram para o seu rendimento.

Silva et al. (2010), em estudo desenvolvido com 50 clones de palma forrageira, observaram que os cladódios de primeira ordem apresentaram as maiores medidas morfológicas (comprimento, largura e espessura), uma vez, além das unidades basais, estes desempenham importante papel na sustentação da planta. Porém, os autores observaram redução dessas medidas proporcionalmente ao surgimento de cladódios de ordens superiores.

Pinheiro et al. (2014) constataram que o número total de cladódios, seguido pelo produto altura x largura, foram as características que mais explicaram a variação no

rendimento do clone OEM, com quatro anos de idade e cultivado em condição de sequeiro. Silva et al. (2015), por sua vez, relataram que o clone OEM possui maior rendimento em biomassa verde quando comparado aos clones IPA e Miúda. Os autores relacionaram este fato ao maior índice de área do cladódio do clone do gênero *Opuntia* em comparação aos dois clones do gênero *Nopalea*.

Considerando a produtividade da palma forrageira, Santos et al. (2006) destacaram que a planta deve ser tratada como uma cultura, pois responde às boas condições do ambiente de cultivo e diversos fatores contribuem para o aumento da sua produtividade, tais como: tipo de espaçamento adotado, características físico-hídricas do solo, adubação, controle de plantas daninhas, condições climáticas do ambiente de cultivo. Esses fatores atuam, sobretudo, nas características morfológicas da palma forrageira.

### **Conclusões**

1. As características de crescimento dos cladódios de segunda e de terceira ordens são as que mais contribuem para a formação da arquitetura das plantas dos clones irrigados do gênero *Nopalea* (IPA e Miúda).
2. Para o clone Orelha de Elefante Mexicana, do gênero *Opuntia*, por sua vez, são os cladódios de primeira e terceira ordens que mais contribuem para a formação da estrutura das plantas;
3. A quantidade de cladódios de terceira ordem e a dimensão dos cladódios de segunda e terceira ordens condicionam a capacidade de acúmulo de biomassa fresca no próprio cladódio e de matéria seca pelo clone IPA, ao passo que a evolução do cladódio basal diminui o conteúdo de matéria seca.

4. No clone Miúda, a produtividade em matéria seca é mais influenciada pelo crescimento do cladódio basal;
5. O número de cladódios de primeira e segunda ordens, e as suas dimensões, promovem maior acúmulo de biomassa para o clone OEM;
6. A evapotranspiração dos clones, que apresentou baixa magnitude, não foi o fator mais determinante para a expressão do potencial produtivo dos clones dos dois gêneros (*Opuntia* e *Nopalea*) nos diferentes regimes hídricos, não apresentando, assim, influência no acúmulo de biomassa.

### Referências bibliográficas

- ACEVEDO, E.; BADILLA, I.; NOBEL, P.S. Water relations, diurnal acidity changes, and productivity of a cultivated cactus, *Opuntia ficus-indica*. **Plant Physiology**, v. 72, n. 3, p. 775-780, 1983.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMUTH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**, Rome: FAO, 1998, 301p. Irrigation and Drainage Paper 56.
- ALLEN, R.G. **Ref-Et: Reference evapotranspiration calculation software**. Kimberly: University of Idaho: A legacy of leading, version 3.1, 91p. 2013.
- ARAÚJO PRIMO, J.T.; SILVA, T.G.F.; SILVA, S.M.S.; MOURA, M.S.B.; SOUZA, L.S.B. Calibração de sondas capacitivas, funções físico-hídricas e variação do armazenamento de água em um argissolo cultivado com palma forrageira. **Revista Ceres**, v. 62, p. 20-29, 2015.
- BRUM, B.; LOPES, S.J.; STORCK, L.; LÚCIO, A.D.; OLIVEIRA, P.H.; MILANI, M. Correlações canônicas entre variáveis de semente, plântula, planta e produção de grãos em mamoneira. **Ciência Rural**, v. 41, n. 3, p. 404-411, 2011.
- CAVALCANTE, L.A.D.; SANTOS, G.R.A.; SILVA, L.M.; FAGUNDES, J.L.; SILVA, M.A. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 4, p. 424-433, 2014.
- CAVALCANTI, E. P.; SILVA, E. D. V. Estimativa da temperatura do ar em função das coordenadas locais. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 7, e Congresso Latino-Americano e Ibérico de Meteorologia. **Anais...**, Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Meteorologia, p.154-157, 1994.
- CRUZ, C.D. **Programa Genes: Biometria**. Editora UFV. Viçosa (MG). 2006. 382p.

- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento de plantas**. Viçosa: UFV, 2003. 585p.
- 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.
- CUNHA, D.N.F.V.; GOMES, E.S.; MARTUSCELLO, J.A.; AMORIM, P.L.; SILVA, R.C.; FERREIRA, P.S. Morfometria e acúmulo de biomassa em palma forrageira sob doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 4, p.1156-1165, 2012.
- CUNHA, M.V.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F.; FREITAS, E.V.; DUBEUX JUNIOR, J.C.B.; MELLO, A.C.L.; MARTINS, K.G.R. Association between the morphological and productive characteristics in the selection of elephant grass clones. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 3, p. 482-488, 2011.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA/SPI, 1999. 412p.
- FERREIRA, D.F. **Estatística Multivariada**. Lavras: Editora UFLA, 2011. 675p.
- GIBSON, K.; PARK, J.S.; NAGAI, Y.; HWANG, S.K.; CHO, Y.C.; ROH, K.H.; LEE, S.M.; KIM, D.H.; CHOI, S.B.; ITO, H.; EDWARDS, G.E.; OKITA, T.W. Exploiting leaf starch synthesis as a transient sink to elevate photosynthesis, plant productivity and yields. **Plant science**, v. 181, n. 3, p. 275-281, 2011.
- LIGUORI, G.; INGLESE, G.; PERNICE, F.; SORTINO, G.; INGLESE, P. CO<sub>2</sub> uptake of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. whole trees and single cladodes, in relation to plant water status and cladode age. **Italian Journal of Agronomy**, v. 8, n. 3, p. 14-20, 2013.
- NEDER, D.G.; COSTA, F.R.; EDVAN, R.L.; SOUTO FILHO, L.T. Correlations and path analysis of morphological and yield traits of cactus pear accessions. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 13, n. 3, p. 203-207, 2013.
- NOBEL, P.S. Ecophysiology of *Opuntia ficus-indica*. In: MONDRAGÓN-JACOBO, C.; PÉREZ-GONZÁLEZ, S. (Eds.) **Cactus (*Opuntia spp.*) as forage**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, p.13-20, 2001. (FAO Plant production and protection paper, 169).
- PEÑA-VALDIVIA, C.B.; LUNA-CAVAZOS, M.; CARRANZA-SABAS, J. A.; REYES-AGÜERO, J.A.; FLORES, A. Morphological characterization of *Opuntia spp.*: a multivariate analysis. **J Prof Assoc Cactus Dev**, v. 10, p. 1-21, 2008.
- PIMIENTA-BARRIOS, E.; ZAÑUDO-HERNANDEZ, J.; ROSAS-ESPINOZA, V.C.; VALENZUELA-TAPIA, A.; NOBEL, P.S. Young daughter cladodes affect CO<sub>2</sub> uptake by mother cladodes of *Opuntia ficus-indica*. **Annals of botany**, v. 95, n. 2, p. 363-369, 2005.

PINHEIRO, K.M.; SILVA, T.G.F.; CARVALHO, H.F.S.; SANTOS, J.E.O.; MORAIS, J.E.F.; ZOLNIER, S.; SANTOS, D.C. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. **Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília**, v. 49, n. 12, p. 939-947, 2014.

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 de Palma Forrageira (Opuntia e Napolea) em Pernambuco**. Recife: IPA, 2006. 48p. (Boletim Técnico, 30).

SILVA, T.G.F.; ARAÚJO PRIMO, J.T.; MORAIS, J.E.F.; DINIZ, W.J.S.; SOUZA, C.A.A.; SILVA, M.C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 10-18, 2015.

SILVA, T.G.F.; ARAÚJO PRIMO, J.T.; SILVA, S.M.S.; MOURA, M.S.B.; SANTOS, D.C.; SILVA, M.C.; ARAÚJO, J.E.M. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. **Bragantia**, v. 73, n. 2, p. 184-191, 2014a.

SILVA, T.G.F.; MIRANDA, K.R.; SANTOS, D.C.; QUEIROZ, M.G.; SILVA, M.C.; CRUZ NETO, J.F.; ARAÚJO, J.E.M. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 4, p. 633-641, 2014b.

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.

SILVA, T. G. F. da; ZONIER, S.; MOURA M. S. B. de; SEDIYAMA, G. C.; SOUZA, L. S. B. de. Umidade relativa do ar: estimativa e espacialização para o estado de Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia e EMBRAPA/Tabuleiros Costeiros, 2007.

SILVA, C.C.F.; SANTOS, L.C. Palma Forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 7, n. 10, p. 1-13, 2006.

SOUZA, T.V. **Aspectos estatísticos da análise de trilha (PATH ANALYSIS) aplicada em experimentos agrícolas**. 2013. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Dados pluviométricos mensais do Nordeste**. Recife: SUDENE, 1990. Série Pluviometria 1 a 10.

TOEBE, M.; CARGNELUTTI FILHO, A. Não normalidade multivariada e multicolinearidade na análise de trilha em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 5, p. 466-477, 2013.

THOMAZ, G.L.; ZAGONEL, J.; COLASANTE, L.O.; NOGUEIRA, R.R. Produção do girassol e teor de óleo nos aquênios em função da temperatura do ar, precipitação pluvial e radiação solar. **Ciência Rural**, v. 42, n. 8, p.1380-1385, 2012.

WEERAKKODY, W.A.P.; SURIYAGODA, L.D.B. Estimation of leaf and canopy photosynthesis of pot chrysanthemum and its implication on intensive canopy management. **Scientia Horticulturae**, v. 192, p. 237-243, 2015.

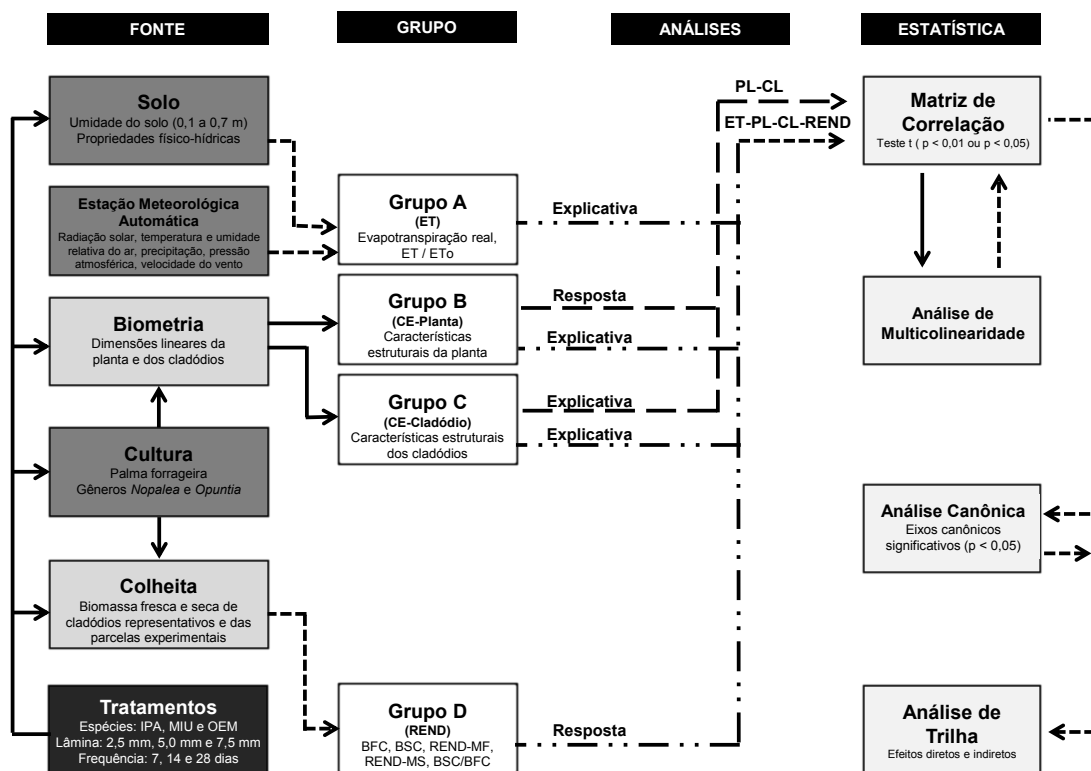


Figura 1. Fluxograma das inter-relações entre as variáveis explicativas e respostas para análise da associação de fatores de crescimento e hídricos de clones de palma forrageira irrigada com a capacidade de produção de biomassa, de clones dos gêneros *Nopalea* sp. (Miúda - MIU e IPA Sertânia - IPA) e *Opuntia* sp. (Orelha de Elefante Mexicana - OEM) cultivados no município de Serra Talhada, estado de Pernambuco, Semiárido brasileiro. Obs.: PL - Planta, CL - Cladódio, ET - Evapotranspiração real da cultura, REND - Rendimento.



Tabela 1. Matrizes de correlação de Pearson entre as variáveis do grupo resposta “Planta” (características estruturais das plantas) com o grupo explicativo “Cladódio” (características de estruturais dos cladódios) da Análise I, e entre o grupo resposta “Rendimento” com os grupos explicativos “Planta” e “Cladódio” da Análise II, de clones de palma forrageira (IPA Sertânia - IPA, Miúda - MIU e Orelha de Elefante Mexicana - OEM), sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, município de Serra Talhada, PE, Brasil

|     |         | Análise I  |         |         |          |          |         |        |        |         |
|-----|---------|------------|---------|---------|----------|----------|---------|--------|--------|---------|
|     |         | CC1        | CC2     | CC3     | EC1      | PC1      | ACB     |        |        |         |
| IPA | LP      | 0,613*     | 0,96**  | 0,894** | 0,867**  | 0,837**  | 0,613*  |        |        |         |
|     | NC1     | 0,454      | 0,898** | 0,611*  | 0,524    | 0,811**  | 0,304   |        |        |         |
|     | NC3     | 0,653*     | 0,803** | 0,939** | 0,864**  | 0,706**  | 0,647*  |        |        |         |
| MIU |         | ECB        | EC3     | PC2     | PC3      | AC4      |         |        |        |         |
|     | LP      | 0,507      | 0,765** | 0,617*  | 0,703**  | 0,592*   |         |        |        |         |
|     | NC1     | 0,201      | 0,566*  | 0,879** | 0,656*   | 0,273    |         |        |        |         |
|     | NC3     | 0,679*     | 0,942** | 0,817** | 0,975**  | 0,752**  |         |        |        |         |
|     | IAC     | 0,774**    | 0,964** | 0,829** | 0,913**  | 0,878**  |         |        |        |         |
| OEM |         | CC1        | ECB     | EC1     | EC3      | PC1      | ACB     |        |        |         |
|     | AP      | 0,889**    | 0,639*  | 0,744** | 0,7**    | 0,724**  | 0,519   |        |        |         |
|     | NC1     | -0,529     | -0,245  | -0,285  | -0,868** | -0,437   | -0,066  |        |        |         |
|     | IAC     | 0,953**    | 0,844** | 0,913** | 0,608*   | 0,847**  | 0,595*  |        |        |         |
|     |         | Análise II |         |         |          |          |         |        |        |         |
| IPA |         | LP         | NC2     | NC3     | CC2      | ECB      | EC3     | PC2    |        |         |
|     | REND-MS | 0,038      | 0,23    | 0,291   | 0,68*    | 0,213    | 0,285   | 0,65*  |        |         |
|     | BFC     | 0,714*     | 0,705*  | 0,725*  | 0,829**  | 0,626    | 0,83**  | 0,457  |        |         |
| MIU |         | AP         | CCB     | CC2     | PCB      | ACB      |         |        |        |         |
|     | REND-MS | 0,64*      | 0,73*   | 0,648*  | 0,678*   | 0,926**  |         |        |        |         |
| OEM |         | LP         | NC1     | NC2     | CCB      | CC1      | LC1     | ECB    | EC2    | ACB     |
|     | REND-MS | 0,661*     | 0,26    | 0,769** | 0,04     | -0,258   | 0,45    | 0,635* | 0,63*  | 0,035   |
|     | BFC     | 0,418      | -0,035  | 0,449   | -0,115   | -0,167   | 0,799** | 0,099  | 0,494  | -0,364  |
|     | BSC     | 0,142      | 0,684*  | 0,231   | -0,805** | -0,926** | -0,029  | -0,159 | -0,118 | -0,746* |

Grupo Planta: AP - altura da planta, LP - largura da planta, IAC - índice de área do cladódio, NC1 - número de cladódios de 1ª ordem, NC2 - número de cladódios de 2ª ordem, NC3 - número de cladódios de 3ª ordem, NC4 - número de cladódios de 4ª ordem.

Grupo Cladódio: CCB - comprimento do cladódio basal, CC1 - comprimento do cladódio de 1ª ordem, CC2 - comprimento do cladódio de 2ª ordem, CC3 - comprimento do cladódio de 3ª ordem, LC1 - largura do cladódio de 1ª ordem, ECB - espessura do cladódio basal, EC1 - espessura do cladódio de 1ª ordem, EC2 - espessura do cladódio de 2ª ordem, EC3 - espessura do cladódio de 3ª ordem, PCB - perímetro do cladódio basal, PC1 - perímetro do cladódio de 1ª ordem, PC2 - perímetro do cladódio de 2ª ordem, PC3 - perímetro do cladódio de 3ª ordem, ACB - área do cladódio basal, AC4 - área do cladódio de 4ª ordem.

Grupo Rendimento: REND-MS – rendimento em matéria seca, CMS – conteúdo de matéria seca, BFC – biomassa fresca do cladódio, BSC – Biomassa seca do cladódio

\*\* , \* Significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste t.

Tabela 2. Correlações canônicas e pares canônicos entre o grupo “Planta” (características estruturais das plantas) e o grupo “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone IPA Sertânia – IPA, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

| Grupos              | Variáveis | Fatores canônicos |        |        |
|---------------------|-----------|-------------------|--------|--------|
|                     |           | 1°                | 2°     | 3°     |
| I - Planta          | LP        | 0,998             | -0,041 | 0,039  |
|                     | NC1       | 0,836             | 0,428  | -0,343 |
|                     | NC3       | 0,901             | -0,346 | -0,262 |
| II - Cladódio       | CC1       | 0,612             | -0,237 | -0,280 |
|                     | CC2       | 0,973             | 0,223  | 0,004  |
|                     | CC3       | 0,887             | -0,390 | -0,190 |
|                     | EC1       | 0,853             | -0,391 | 0,251  |
|                     | PC1       | 0,851             | 0,220  | -0,114 |
|                     | ACB       | 0,597             | -0,420 | 0,216  |
| Correlação canônica |           | 0,997**           | 0,918  | 0,386  |
| $\chi^2$            |           | 49                | 14     | 1      |
| Grau de liberdade   |           | 18                | 10     | 4      |

Em que: Grupo Planta: LP - largura da planta, NC1 - número de cladódios de 1ª ordem, NC3 - número de cladódios de 3ª ordem; Grupo Cladódio: CC1 - comprimento do cladódio de 1ª ordem, CC2 - comprimento do cladódio de 2ª ordem, CC3 - comprimento do cladódio de 3ª ordem, EC1 - espessura do cladódio de 1ª ordem, PC1 - perímetro do cladódio de 1ª ordem e ACB - área do cladódio basal.

\*\* Significativo a 1% pelo teste de Qui-quadrado.

Tabela 3. Correlações canônicas e pares canônicos entre o grupo “Planta” (características estruturais das plantas) e o grupo “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone Miúda – MIU, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

| Grupos              | Variáveis | Fatores canônicos |        |        |        |        |
|---------------------|-----------|-------------------|--------|--------|--------|--------|
|                     |           | 1°                | 2°     | 3°     | 4°     | 5°     |
| I - Planta          | LP        | 0,672             | -0,326 | 0,034  | 0,642  | -0,169 |
|                     | NC1       | 0,836             | 0,217  | -0,365 | 0,115  | 0,328  |
|                     | NC3       | 0,921             | -0,338 | 0,158  | 0,103  | 0,041  |
|                     | NC4       | 0,756             | -0,538 | 0,197  | 0,214  | 0,231  |
|                     | IAC       | 0,824             | -0,535 | -0,170 | 0,016  | 0,073  |
| II - Cladódio       | ECB       | 0,444             | -0,787 | 0,079  | -0,126 | 0,401  |
|                     | EC3       | 0,817             | -0,557 | 0,006  | 0,151  | -0,016 |
|                     | PC2       | 0,933             | -0,023 | -0,358 | -0,026 | -0,023 |
|                     | PC3       | 0,929             | -0,323 | 0,139  | -0,111 | -0,034 |
|                     | AC4       | 0,537             | -0,820 | -0,052 | -0,135 | -0,134 |
| Correlação canônica |           | 0,998**           | 0,984* | 0,835  | 0,394  | 0,212  |
| $\chi^2$            |           | 66                | 32     | 9      | 1      | 0      |
| Grau de liberdade   |           | 25                | 16     | 9      | 4      | 1      |

Em que: Grupo Planta: LP - largura da planta, NC1 - número de cladódios de 1ª ordem, NC3 - número de cladódios de 3ª ordem, NC4 - número de cladódios de 4ª ordem, IAC - índice de área do cladódio; Grupo Cladódio: ECB - espessura do cladódio basal, EC3 - espessura do cladódio de 3ª ordem, PC2 - perímetro do cladódio de 2ª ordem, PC3 - perímetro do cladódio de 3ª ordem, AC4 - área do cladódio de 4ª ordem.

\*\* , \* Significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste de Qui-quadrado.

Tabela 4. Correlações canônicas e pares canônicos entre o grupo “Planta” (características estruturais das plantas) e o grupo “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone Orelha de Elefante Mexicana – OEM, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

| Grupos              | Variáveis | Fatores canônicos |        |        |        |
|---------------------|-----------|-------------------|--------|--------|--------|
|                     |           | 1°                | 2°     | 3°     | 4°     |
| I - Planta          | AP        | 0,885             | 0,186  | 0,329  | -0,273 |
|                     | NC1       | -0,730            | 0,621  | -0,123 | -0,257 |
|                     | NC3       | 0,465             | 0,696  | 0,038  | 0,546  |
|                     | IAC       | 0,869             | 0,475  | -0,021 | -0,137 |
| II - Cladódio       | CC1       | 0,952             | 0,286  | 0,001  | 0,020  |
|                     | ECB       | 0,737             | 0,439  | -0,411 | -0,014 |
|                     | EC1       | 0,792             | 0,533  | -0,088 | 0,236  |
|                     | EC3       | 0,883             | -0,309 | 0,059  | 0,320  |
|                     | PC1       | 0,841             | 0,236  | -0,327 | -0,091 |
|                     | ACB       | 0,472             | 0,309  | -0,180 | -0,698 |
| Correlação canônica |           | 0,999**           | 0,944  | 0,674  | 0,458  |
| $\chi^2$            |           | 62                | 20     | 5      | 2      |
| Grau de liberdade   |           | 24                | 15     | 8      | 3      |

Em que: Grupo Planta: AP - altura da planta, NC1 - número de cladódios de 1ª ordem, NC3 - número de cladódios de 3ª ordem, IAC - índice de área do cladódio; Grupo Cladódio: CC1 - comprimento do cladódio de 1ª ordem, EC1 - espessura do cladódio de 1ª ordem, EC3 - espessura do cladódio de 3ª ordem, PC1 - perímetro do cladódio de 1ª ordem, ACB - área do cladódio basal.

\*\* Significativo a 1% pelo teste de Qui-quadrado.

Tabela 5. Desdobramento do coeficiente de correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre as variáveis do grupo resposta “Planta” (características estruturais das plantas), com as variáveis do grupo explicativo “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone IPA Sertânia – IPA, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

| Variável                    | Efeito                  | LP     | NC1    | NC3   |
|-----------------------------|-------------------------|--------|--------|-------|
| CC1                         | Efeito direto CC1       | 0,037  | -      | 0.127 |
|                             | Efeito indireto via CC2 | 0.399  | -      | 0,056 |
|                             | Efeito indireto via CC3 | 0.125  | -      | 0,360 |
|                             | Efeito indireto via EC1 | 0.085  | -      | 0,098 |
|                             | Efeito indireto via PC1 | -0.043 | -      | 0,012 |
|                             | Efeito indireto via ACB | 0.010  | -      | 0,000 |
|                             | Total                   | 0,613  | -      | 0.653 |
| CC2                         | Efeito direto CC2       | 0,699  | 0,981  | 0.098 |
|                             | Efeito indireto via CC1 | 0.021  | -0,058 | 0,072 |
|                             | Efeito indireto via CC3 | 0.160  | 0,132  | 0,463 |
|                             | Efeito indireto via EC1 | 0.130  | -0,304 | 0,150 |
|                             | Efeito indireto via PC1 | -0.071 | 0,165  | 0,020 |
|                             | Efeito indireto via ACB | 0.021  | -0,018 | 0,000 |
|                             | Total                   | 0,960  | 0.898  | 0.803 |
| CC3                         | Efeito direto CC3       | 0,209  | 0,172  | 0.603 |
|                             | Efeito indireto via CC1 | 0.022  | -0,061 | 0,076 |
|                             | Efeito indireto via CC2 | 0.536  | 0,753  | 0,075 |
|                             | Efeito indireto via EC1 | 0.148  | -0,347 | 0,171 |
|                             | Efeito indireto via PC1 | -0.051 | 0,120  | 0,014 |
|                             | Efeito indireto via ACB | 0.031  | -0,027 | 0,000 |
|                             | Total                   | 0,894  | 0.611  | 0.939 |
| EC1                         | Efeito direto EC1       | 0,174  | -      | 0.201 |
|                             | Efeito indireto via CC1 | 0.018  | -      | 0,062 |
|                             | Efeito indireto via CC2 | 0.522  | -      | 0,073 |
|                             | Efeito indireto via CC3 | 0.177  | -      | 0,513 |
|                             | Efeito indireto via PC1 | -0.056 | -      | 0,016 |
|                             | Efeito indireto via ACB | 0.032  | -      | 0,000 |
|                             | Total                   | 0,867  | -      | 0.864 |
| PC1                         | Efeito direto PC1       | -0,080 | 0,186  | 0,022 |
|                             | Efeito indireto via CC1 | 0.020  | -0,054 | 0,068 |
|                             | Efeito indireto via CC2 | 0.621  | 0,871  | 0,087 |
|                             | Efeito indireto via CC3 | 0.134  | 0,111  | 0,388 |
|                             | Efeito indireto via EC1 | 0.122  | -0,285 | 0,141 |
|                             | Efeito indireto via ACB | 0.020  | -0,017 | 0,000 |
|                             | Total                   | 0,837  | 0.811  | 0.706 |
| ACB                         | Efeito direto ACB       | 0,044  | -      | 0.001 |
|                             | Efeito indireto via CC1 | 0.009  | -      | 0,030 |
|                             | Efeito indireto via CC2 | 0.327  | -      | 0,046 |
|                             | Efeito indireto via CC3 | 0.144  | -      | 0,416 |
|                             | Efeito indireto via EC1 | 0.126  | -      | 0,145 |
|                             | Efeito indireto via PC1 | -0.036 | -      | 0,010 |
|                             | Total                   | 0,613  | -      | 0.647 |
| Coeficiente de determinação |                         | 0,992  | 0,866  | 0,917 |

Grupo Planta: LP - largura da planta, NC1 - número de cladódios de 1ª ordem, NC3 - número de cladódios de 3ª ordem; Grupo Cladódio: CC1 - comprimento do cladódio de 1ª ordem, CC2 - comprimento do cladódio de 2ª ordem, CC3 - comprimento do cladódio de 3ª ordem, EC1 - espessura do cladódio de 1ª ordem, PC1 - perímetro do cladódio de 1ª ordem, ACB - área do cladódio basal.

“-” indica que a variável não apresentou correlação alguma das variáveis do grupo planta.

Tabela 6. Desdobramento do coeficiente de correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre as variáveis do grupo resposta “Planta” (características estruturais das plantas), com as variáveis do grupo explicativo “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone Miúda – MIU, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

| Variável                    | Efeito                  | LP     | NC1    | NC3    | NC4    | IAC    |
|-----------------------------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ECB                         | Efeito direto ECB       | -      | -      | 0,014  | 0,123  | 0,150  |
|                             | Efeito indireto via EC3 | -      | -      | 0,430  | 0,605  | 0,313  |
|                             | Efeito indireto via PC2 | -      | -      | -0,020 | -0,097 | 0,151  |
|                             | Efeito indireto via PC3 | -      | -      | 0,470  | 0,270  | -0,040 |
|                             | Efeito indireto via AC4 | -      | -      | -0,215 | -0,127 | 0,200  |
|                             | Total                   | -      | -      | 0,679  | 0,775  | 0,774  |
| EC3                         | Efeito direto EC3       | 1,242  | 0,142  | 0,554  | 0,779  | 0,403  |
|                             | Efeito indireto via ECB | -0,112 | 0,060  | 0,011  | 0,095  | 0,117  |
|                             | Efeito indireto via PC2 | -0,056 | 0,739  | -0,038 | -0,186 | 0,292  |
|                             | Efeito indireto via PC3 | -0,059 | 0,042  | 0,639  | 0,368  | -0,055 |
|                             | Efeito indireto via AC4 | -0,249 | -0,417 | -0,224 | -0,132 | 0,208  |
|                             | Total                   | 0,765  | 0,566  | 0,942  | 0,924  | 0,964  |
| PC2                         | Efeito direto PC2       | -0,072 | 0,961  | -0,050 | -0,242 | 0,380  |
|                             | Efeito indireto via ECB | -0,058 | 0,031  | 0,006  | 0,049  | 0,060  |
|                             | Efeito indireto via EC3 | 0,955  | 0,109  | 0,426  | 0,599  | 0,310  |
|                             | Efeito indireto via PC3 | -0,053 | 0,038  | 0,573  | 0,330  | -0,049 |
|                             | Efeito indireto via AC4 | -0,155 | -0,260 | -0,139 | -0,082 | 0,129  |
|                             | Total                   | 0,617  | 0,879  | 0,817  | 0,654  | 0,829  |
| PC3                         | Efeito direto PC3       | -0,064 | 0,045  | 0,693  | 0,399  | -0,060 |
|                             | Efeito indireto via ECB | -0,098 | 0,053  | 0,010  | 0,083  | 0,102  |
|                             | Efeito indireto via EC3 | 1,146  | 0,131  | 0,512  | 0,719  | 0,372  |
|                             | Efeito indireto via PC2 | -0,060 | 0,796  | -0,041 | -0,201 | 0,314  |
|                             | Efeito indireto via AC4 | -0,221 | -0,369 | -0,198 | -0,116 | 0,184  |
|                             | Total                   | 0,703  | 0,656  | 0,975  | 0,884  | 0,913  |
| AC4                         | Efeito direto AC4       | -0,285 | -      | -0,255 | -0,150 | 0,237  |
|                             | Efeito indireto via ECB | -0,122 | -      | 0,012  | 0,104  | 0,127  |
|                             | Efeito indireto via EC3 | 1,088  | -      | 0,486  | 0,683  | 0,353  |
|                             | Efeito indireto via PC2 | -0,039 | -      | -0,027 | -0,132 | 0,207  |
|                             | Efeito indireto via PC3 | -0,049 | -      | 0,537  | 0,309  | -0,046 |
|                             | Total                   | 0,592  | -      | 0,752  | 0,813  | 0,878  |
| Coeficiente de determinação |                         | 0,619  | 0,841  | 0,974  | 0,887  | 0,974  |

Em que: Grupo Planta: LP - largura da planta, NC1 - número de cladódios de 1ª ordem, NC3 - número de cladódios de 3ª ordem, NC4 - número de cladódios de 4ª ordem, IAC - índice de área do cladódio; Grupo Cladódio: ECB - espessura do cladódio basal, EC3 - espessura do cladódio de 3ª ordem, PC2 - perímetro do cladódio de 2ª ordem, PC3 - perímetro do cladódio de 3ª ordem, AC4 - área do cladódio de 4ª ordem.

“-“ indica que a variável não apresentou correlação alguma das variáveis do grupo planta.

Tabela 7. Desdobramento do coeficiente de correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre as variáveis do grupo resposta “Planta” (características estruturais das plantas), com as variáveis do grupo explicativo “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone Orelha de Elefante Mexicana – OEM, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

| Variável                    | Efeito                  | AP     | NC1    | NC3    | IAC    |
|-----------------------------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|
| CC1                         | Efeito direto CC1       | 1,462  | -      | 0,441  | 0,871  |
|                             | Efeito indireto via ECB | -0,390 | -      | -0,088 | -0,054 |
|                             | Efeito indireto via EC1 | -0,113 | -      | 0,899  | 0,243  |
|                             | Efeito indireto via EC3 | -0,012 | -      | -0,355 | -0,127 |
|                             | Efeito indireto via PC1 | -0,155 | -      | -0,169 | -0,045 |
|                             | Efeito indireto via ACB | 0,098  | -      | -0,093 | 0,066  |
|                             | Total                   | 0,889  | -      | 0,635  | 0,953  |
| ECB                         | Efeito direto ECB       | -0,456 | -      | -0,103 | -0,064 |
|                             | Efeito indireto via CC1 | 1,252  | -      | 0,378  | 0,745  |
|                             | Efeito indireto via EC1 | -0,102 | -      | 0,815  | 0,220  |
|                             | Efeito indireto via EC3 | -0,008 | -      | -0,228 | -0,081 |
|                             | Efeito indireto via PC1 | -0,142 | -      | -0,154 | -0,041 |
|                             | Efeito indireto via ACB | 0,095  | -      | -0,090 | 0,064  |
|                             | Total                   | 0,639  | -      | 0,617  | 0,844  |
| EC1                         | Efeito direto EC1       | -0,126 | -      | 1,006  | 0,272  |
|                             | Efeito indireto via CC1 | 1,306  | -      | 0,394  | 0,778  |
|                             | Efeito indireto via ECB | -0,369 | -      | -0,083 | -0,051 |
|                             | Efeito indireto via EC3 | -0,010 | -      | -0,292 | -0,104 |
|                             | Efeito indireto via PC1 | -0,149 | -      | -0,162 | -0,043 |
|                             | Efeito indireto via ACB | 0,092  | -      | -0,088 | 0,062  |
|                             | Total                   | 0,744  | -      | 0,775  | 0,913  |
| EC3                         | Efeito direto EC3       | -0,016 | -0,987 | -      | -0,169 |
|                             | Efeito indireto via CC1 | 1,098  | -0,225 | -      | 0,654  |
|                             | Efeito indireto via ECB | -0,220 | 0,057  | -      | -0,031 |
|                             | Efeito indireto via EC1 | -0,078 | 0,443  | -      | 0,168  |
|                             | Efeito indireto via PC1 | -0,109 | -0,153 | -      | -0,031 |
|                             | Efeito indireto via ACB | 0,025  | -0,002 | -      | 0,017  |
|                             | Total                   | 0,700  | -0,868 | -      | 0,608  |
| PC1                         | Efeito direto PC1       | -0,183 | -      | -      | -0,053 |
|                             | Efeito indireto via CC1 | 1,245  | -      | -      | 0,741  |
|                             | Efeito indireto via ECB | -0,354 | -      | -      | -0,049 |
|                             | Efeito indireto via EC1 | -0,103 | -      | -      | 0,221  |
|                             | Efeito indireto via EC3 | -0,010 | -      | -      | -0,100 |
|                             | Efeito indireto via ACB | 0,128  | -      | -      | 0,086  |
|                             | Total                   | 0,724  | -      | -      | 0,847  |
| ACB                         | Efeito direto ACB       | -      | -      | -      | 0,137  |
|                             | Efeito indireto via CC1 | -      | -      | -      | 0,417  |
|                             | Efeito indireto via ECB | -      | -      | -      | -0,030 |
|                             | Efeito indireto via EC1 | -      | -      | -      | 0,123  |
|                             | Efeito indireto via EC3 | -      | -      | -      | -0,021 |
|                             | Efeito indireto via PC1 | -      | -      | -      | -0,033 |
|                             | Total                   | -      | -      | -      | 0,595  |
| Coeficiente de determinação |                         | 0,877  | 0,897  | 0,711  | 0,959  |

Em que: Grupo Planta: AP - altura da planta, NC1 - número de cladódios de 1ª ordem, NC3 - número de cladódios de 3ª ordem, IAC - índice de área do cladódio; Grupo Cladódio: CC1 - comprimento do cladódio de 1ª ordem, ECB - espessura do cladódio basal, EC1 - espessura do cladódio de 1ª ordem, EC3 - espessura do cladódio de 3ª ordem, PC1 - perímetro do cladódio de 1ª ordem, ACB - área do cladódio basal. “-” indica que a variável não apresentou correlação com uma das variáveis do grupo planta.

Tabela 8. Correlações canônicas e pares canônicos entre o grupo “Rendimento” e o grupo “Cladódio” (características estruturais dos cladódios) do clone IPA Sertânia – IPA, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

| Grupos              | Variáveis | Fatores canônicos |       |        |
|---------------------|-----------|-------------------|-------|--------|
|                     |           | 1°                | 2°    | 3°     |
| I - Rendimento      | REND-MS   | 0,013             | 0,850 | -0,526 |
|                     | CMS       | -0,721            | 0,034 | 0,692  |
|                     | BFC       | 0,716             | 0,694 | -0,081 |
| II - Cladódio       | CC2       | 0,431             | 0,833 | -0,260 |
|                     | ECB       | 0,743             | 0,131 | -0,633 |
|                     | EC3       | 0,801             | 0,433 | 0,334  |
|                     | PC2       | 0,004             | 0,704 | -0,703 |
| Correlação canônica |           | 0,995**           | 0,893 | 0,311  |
| $\chi^2$            |           | 31                | 8     | 1      |
| Grau de liberdade   |           | 12                | 6     | 2      |

Em que: Grupo rendimento: REND-MS – rendimento em matéria seca, CMS – conteúdo de matéria seca, BFC – biomassa fresca do cladódio; Grupo Cladódio: CC2 - comprimento do cladódio de 2ª ordem, ECB - espessura do cladódio basal, EC3 - espessura do cladódio de 3ª ordem, PC2 - perímetro do cladódio de 2ª ordem.

\*\* Significativo a 1% pelo teste de Qui-quadrado.



Tabela 9. Correlações canônicas e pares canônicos entre o grupo “Rendimento” e o grupo “Planta” (características estruturais da planta) do clone Orelha de Elefante Mexicana – OEM, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

| Grupos              | Variáveis | Fatores canônicos |        |        |        |
|---------------------|-----------|-------------------|--------|--------|--------|
|                     |           | 1°                | 2°     | 3°     | 4°     |
| I - Rendimento      | REND-MS   | 0,569             | 0,266  | 0,236  | -0,741 |
|                     | CMS       | 0,539             | -0,167 | -0,589 | 0,578  |
|                     | BFC       | -0,402            | 0,651  | 0,496  | -0,411 |
|                     | BSC       | 0,091             | 0,846  | -0,477 | -0,220 |
| II - Planta         | CCB       | 0,202             | -0,522 | 0,775  | 0,178  |
|                     | CC1       | -0,239            | -0,769 | 0,543  | 0,065  |
|                     | LC1       | -0,177            | 0,302  | 0,781  | -0,471 |
|                     | ECB       | 0,223             | -0,311 | 0,178  | -0,875 |
|                     | EC2       | 0,154             | 0,059  | 0,649  | -0,607 |
|                     | ACB       | 0,389             | -0,583 | 0,541  | 0,244  |
| Correlação canônica |           | 0,999*            | 0,994* | 0,951  | 0,849  |
| $\chi^2$            |           | 76                | 28     | 13     | 4      |
| Grau de liberdade   |           | 24                | 15     | 8      | 3      |

Em que: Grupo rendimento: REND-MS – rendimento em matéria seca, CMS – conteúdo de matéria seca, BFC – biomassa fresca do cladódio, BSC- biomassa seca do cladódio; Grupo Cladódio: CCB - comprimento do cladódio basal, CC1 - comprimento do cladódio de 1ª ordem, LC1 - largura do cladódio de 1ª ordem, ECB - espessura do cladódio basal, EC2 - espessura do cladódio de 2ª ordem, ACB - área do cladódio basal.

\*\*, \* Significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste de Qui-quadrado.

Tabela 10. Desdobramento da correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre as variáveis do grupo resposta “Rendimento”, com as variáveis dos grupos explicativos “Planta” (características estruturais das plantas) e “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone IPA Sertânia – IPA, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

|                             | Variável                    | Efeito                  | REND-MS | CMS    | BFC    |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|---------|--------|--------|
| Grupo Planta<br>- IPA       | LP                          | Efeito direto LP        | -       | -      | 0,303  |
|                             |                             | Efeito indireto via NC2 | -       | -      | 0,127  |
|                             |                             | Efeito indireto via NC3 | -       | -      | 0,284  |
|                             |                             | Total                   | -       | -      | 0,714  |
|                             | NC2                         | Efeito direto NC2       | -       | -      | 0,149  |
|                             |                             | Efeito indireto via LP  | -       | -      | 0,258  |
|                             |                             | Efeito indireto via NC3 | -       | -      | 0,298  |
|                             |                             | Total                   | -       | -      | 0,705  |
|                             | NC3                         | Efeito direto NC3       | -       | -      | 0,393  |
|                             |                             | Efeito indireto via LP  | -       | -      | 0,220  |
|                             |                             | Efeito indireto via NC2 | -       | -      | 0,113  |
|                             |                             | Total                   | -       | -      | 0,725  |
|                             | Coeficiente de determinação |                         |         | -      | -      |
| Grupo<br>Cladódio -<br>IPA  | CC2                         | Efeito direto CC2       | 0,324   | -      | 0,455  |
|                             |                             | Efeito indireto via ECB | -0,278  | -      | 0,084  |
|                             |                             | Efeito indireto via EC3 | 0,138   | -      | 0,293  |
|                             |                             | Efeito indireto via PC2 | 0,496   | -      | -0,003 |
|                             |                             | Total                   | 0,680   | -      | 0,829  |
|                             | ECB                         | Efeito direto ECB       | -       | -0,746 | -      |
|                             |                             | Efeito indireto via CC2 | -       | 0,109  | -      |
|                             |                             | Efeito indireto via EC3 | -       | -0,118 | -      |
|                             |                             | Efeito indireto via PC2 | -       | 0,090  | -      |
|                             |                             | Total                   | -       | -0,665 | -      |
|                             | EC3                         | Efeito direto EC3       | -       | -      | 0,522  |
|                             |                             | Efeito indireto via CC2 | -       | -      | 0,256  |
|                             |                             | Efeito indireto via ECB | -       | -      | 0,053  |
| Efeito indireto via PC2     |                             | -                       | -       | 0,000  |        |
| Total                       |                             | -                       | -       | 0,830  |        |
| PC2                         | Efeito direto PC2           | 0,625                   | -       | -      |        |
|                             | Efeito indireto via CC2     | 0,257                   | -       | -      |        |
|                             | Efeito indireto via ECB     | -0,245                  | -       | -      |        |
|                             | Efeito indireto via EC3     | 0,012                   | -       | -      |        |
|                             | Total                       | 0,650                   | -       | -      |        |
| Coeficiente de determinação |                             |                         | 0,603   | 0,561  | 0,891  |

Em que: Grupo rendimento: REND-MS – rendimento em matéria seca, CMS – conteúdo de matéria seca, BFC – biomassa fresca do cladódio; Grupo planta: LP - largura da planta, NC2 - número de cladódios de 2ª ordem, NC3 - número de cladódios de 3ª ordem; Grupo cladódio: CC2 - comprimento do cladódio de 2ª ordem, ECB - espessura do cladódio basal, EC3 - espessura do cladódio de 3ª ordem, PC2 - perímetro do cladódio de 2ª ordem.

“-“ indica que a variável não apresentou correlação com uma das variáveis do grupo rendimento.

Tabela 11. Desdobramento da correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre as variáveis do grupo resposta “Rendimento” com as variáveis do grupo explicativo “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone Miúda – MIU, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

|                            | Variável                    | Efeito                  | REND-MS |
|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|---------|
| Grupo<br>Cladódio<br>- MIU |                             | Efeito direto CCB       | -0,082  |
|                            |                             | Efeito indireto via CC2 | 0,151   |
|                            | CCB                         | Efeito indireto via PCB | -0,265  |
|                            |                             | Efeito indireto via ACB | 0,926   |
|                            |                             | Total                   | 0,730   |
|                            |                             | Efeito direto CC2       | 0,193   |
|                            |                             | Efeito indireto via CCB | -0,064  |
|                            | CC2                         | Efeito indireto via PCB | -0,215  |
|                            |                             | Efeito indireto via ACB | 0,735   |
|                            |                             | Total                   | 0,648   |
|                            |                             | Efeito direto PCB       | -0,279  |
|                            |                             | Efeito indireto via CCB | -0,078  |
|                            | PCB                         | Efeito indireto via CC2 | 0,149   |
|                            |                             | Efeito indireto via ACB | 0,887   |
|                            |                             | Total                   | 0,678   |
|                            |                             | Efeito direto ACB       | 1,092   |
|                            | Efeito indireto via CCB     | -0,070                  |         |
| ACB                        | Efeito indireto via CC2     | 0,130                   |         |
|                            | Efeito indireto via PCB     | -0,227                  |         |
|                            | Total                       | 0,926                   |         |
|                            | Coeficiente de determinação |                         | 0,887   |

Em que: Grupo rendimento: REND-MS – rendimento em matéria seca; Grupo Cladódio: CCB - comprimento do cladódio basal, CC2 - comprimento do cladódio de 2ª ordem, PCB - perímetro do cladódio basal, ACB - área do cladódio basal.

Tabela 12. Desdobramento da correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos entre o grupo resposta “Rendimento”, com os grupos explicativos “Planta” (características estruturais das plantas) e “Cladódio” (características estruturais dos cladódios), do clone Orelha de Elefante Mexicana – OEM, sob condições irrigadas, em ambiente Semiárido, no município de Serra Talhada, PE, Brasil

| Variável                 |                             | Efeito                  | REND-MS           | CMS     | BFC    | BSC    |        |
|--------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------|---------|--------|--------|--------|
| Grupo<br>Planta –<br>OEM | LP                          | Efeito direto LP        | 0,211             | -       | -      | -      |        |
|                          |                             | Efeito indireto via NC1 | -0,002            | -       | -      | -      |        |
|                          |                             | Efeito indireto via NC2 | 0,452             | -       | -      | -      |        |
|                          |                             | Total                   | 0,661             | -       | -      | -      |        |
|                          | NC1                         | Efeito direto NC1       | -                 | -       | -      | 0,726  |        |
|                          |                             | Efeito indireto via LP  | -                 | -       | -      | -0,005 |        |
|                          |                             | Efeito indireto via NC2 | -                 | -       | -      | -0,037 |        |
|                          |                             | Total                   | -                 | -       | -      | 0,684  |        |
|                          | NC2                         | Efeito direto NC2       | 0,571             | -       | -      | -      |        |
|                          |                             | Efeito indireto via LP  | 0,167             | -       | -      | -      |        |
|                          |                             | Efeito indireto via NC1 | 0,031             | -       | -      | -      |        |
|                          |                             | Total                   | 0,769             | -       | -      | -      |        |
|                          | Coeficiente de determinação |                         |                   | 0,612   | -      | -      | 0,500  |
|                          | Variável                    |                         | Efeito            | REND-MS | CMS    | BFC    | BSC    |
|                          | Grupo<br>Cladódio<br>– OEM  | CCB                     | Efeito direto CCB | -       | -      | -      | -0,383 |
| Efeito indireto via CC1  |                             |                         | -                 | -       | -      | -0,554 |        |
| Efeito indireto via LC1  |                             |                         | -                 | -       | -      | 0,064  |        |
| Efeito indireto via ECB  |                             |                         | -                 | -       | -      | -0,023 |        |
| Efeito indireto via EC2  |                             |                         | -                 | -       | -      | 0,040  |        |
| Efeito indireto via ACB  |                             |                         | -                 | -       | -      | 0,051  |        |
| Total                    |                             |                         | -                 | -       | -      | -0,805 |        |
| CC1                      |                             | Efeito direto CC1       | -                 | -       | -      | -0,757 |        |
|                          |                             | Efeito indireto via CCB | -                 | -       | -      | -0,281 |        |
|                          |                             | Efeito indireto via LC1 | -                 | -       | -      | 0,044  |        |
|                          |                             | Efeito indireto via ECB | -                 | -       | -      | -0,016 |        |
|                          |                             | Efeito indireto via EC2 | -                 | -       | -      | 0,035  |        |
|                          |                             | Efeito indireto via ACB | -                 | -       | -      | 0,049  |        |
| Total                    |                             | -                       | -                 | -       | -0,926 |        |        |
| LC1                      |                             | Efeito direto LC1       | -                 | -0,765  | 0,884  | -      |        |
|                          | Efeito indireto via CCB     | -                       | 0,014             | 0,004   | -      |        |        |
|                          | Efeito indireto via CC1     | -                       | -0,133            | 0,003   | -      |        |        |
|                          | Efeito indireto via ECB     | -                       | 0,005             | -0,129  | -      |        |        |
|                          | Efeito indireto via EC2     | -                       | -0,018            | 0,101   | -      |        |        |
|                          | Efeito indireto via ACB     | -                       | 0,083             | -0,065  | -      |        |        |
| Total                    | -                           | -0,815                  | 0,799             | -       |        |        |        |
| ECB                      | Efeito direto ECB           | 0,452                   | -                 | -       | -      |        |        |
|                          | Efeito indireto via CCB     | -0,009                  | -                 | -       | -      |        |        |
|                          | Efeito indireto via CC1     | -0,148                  | -                 | -       | -      |        |        |
|                          | Efeito indireto via LC1     | 0,025                   | -                 | -       | -      |        |        |
|                          | Efeito indireto via EC2     | 0,267                   | -                 | -       | -      |        |        |
|                          | Efeito indireto via ACB     | 0,048                   | -                 | -       | -      |        |        |
|                          | Total                       | 0,635                   | -                 | -       | -      |        |        |
| EC2                      | Efeito direto EC2           | 0,456                   | -                 | -       | -      |        |        |
|                          | Efeito indireto via CCB     | -0,012                  | -                 | -       | -      |        |        |
|                          | Efeito indireto via CC1     | -0,247                  | -                 | -       | -      |        |        |
|                          | Efeito indireto via LC1     | 0,044                   | -                 | -       | -      |        |        |
|                          | Efeito indireto via ECB     | 0,265                   | -                 | -       | -      |        |        |
|                          | Efeito indireto via ACB     | 0,125                   | -                 | -       | -      |        |        |

|                             |                         |       |       |       |        |
|-----------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|--------|
|                             | Total                   | 0,630 | -     | -     | -      |
|                             | Efeito direto ACB       | -     | -     | -     | 0,066  |
|                             | Efeito indireto via CCB | -     | -     | -     | -0,298 |
|                             | Efeito indireto via CC1 | -     | -     | -     | -0,559 |
| ACB                         | Efeito indireto via LC1 | -     | -     | -     | 0,026  |
|                             | Efeito indireto via ECB | -     | -     | -     | -0,008 |
|                             | Efeito indireto via EC2 | -     | -     | -     | 0,028  |
|                             | Total                   | -     | -     | -     | -0,746 |
| Coeficiente de determinação |                         | 0,840 | 0,873 | 0,924 | 0,956  |

Em que: Grupo rendimento: REND-MS – rendimento em matéria seca, CMS – conteúdo de matéria seca, BFC – biomassa fresca do cladódio, BSC – biomassa seca do cladódio; Grupo planta: LP - largura da planta, NC1 - número de cladódios de 1ª ordem, NC2 - número de cladódios de 2ª ordem; Grupo cladódio: CCB - comprimento do cladódio basal, CC1 - comprimento do cladódio de 1ª ordem, LC1 - largura do cladódio de 1ª ordem, ECB - espessura do cladódio basal, EC2 - espessura do cladódio de 2ª ordem, ACB - área do cladódio basal.

“-“ indica que a variável não apresentou correlação com alguma (as) das variáveis do grupo rendimento.

## Considerações finais da dissertação

Apesar de tradicionalmente ser considerada uma espécie adaptada às condições climáticas do Semiárido, a palma sofre forte influência da sazonalidade das variáveis meteorológicas, que atuam no crescimento, desenvolvimento, na transferência de água para a atmosfera e no acúmulo de biomassa pela cultura. Com a presente pesquisa, foi possível detectar que, sob déficit de água no solo e pressão abiótica de água salina e mesmo com os altos indícios de mecanismos de tolerância da palma, as variáveis ambientais influenciam significativamente na transferência de água na interface palma-atmosfera, independente do clone ou gênero (*Nopalea* e *Opuntia*). Todavia, condicionando o crescimento da palma, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento se destacam, sobretudo para os clones IPA Sertânia e Orelha de Elefante Mexicana, os quais apresentam maior área da estrutura fotossintetizante, ou seja, maior área do cladódio. As características morfológicas que afetam a evapotranspiração real da palma forrageira dependem do gênero (*Nopalea* ou *Opuntia*), enquanto a dinâmica de formação do dossel é peculiar ao clone, devido ao seu hábito de crescimento. A mesma dependência do tipo de clone foi observada para a capacidade de acúmulo de biomassa. Com isso, a escolha do clone / gênero de palma forrageira e a definição das melhores épocas de plantio e de condução da cultura são essenciais na expressão produtiva dessa espécie. Essas informações induzem a caracterização de que a palma possui alta tolerância, sobretudo resistência às condições climáticas do Semiárido, logo que consegue superar adversidades climáticas ao longo do seu ciclo e, em um momento subsequente, continuar o desenvolvimento e garantir sua produtividade. Pesquisas que envolvam o aspecto fisiológico dos diferentes clones são fundamentais para mostrar como modificações morfológicas são definidas pelos mecanismos de tolerância ao estresse hídrico pela palma forrageira.