



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E  
CONSERVAÇÃO**

**ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS DA CATINGUEIRA E DO PINHÃO-  
BRAVO EM UMA ÁREA DE CAATINGA DE SERGIPE**

**Nara de Farias Costa  
Mestrado Acadêmico**

**São Cristóvão  
Sergipe - Brasil  
2014**

**NARA DE FARIAS COSTA**

**ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS DA CATINGUEIRA E DO PINHÃO-  
BRAVO EM UMA ÁREA DE CAATINGA DE SERGIPE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal de Sergipe, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia.

**Orientador:** Prof. Dr. Carlos Dias da Silva Junior

**Co-orientador:** Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Elizamar Ciríaco da Silva

**São Cristóvão  
Sergipe - Brasil  
2014**

C744a Costa, Nara de Farias  
Aspectos ecofisiológicos da catingueira e do pinhão-bravo em uma área de caatinga de Sergipe / Nara de Farias Costa ; orientador Carlos Dias da Silva Junior. – São Cristóvão, 2014.  
70 f. : il.

Dissertação (mestrado em Ecologia e Conservação) – Universidade Federal de Sergipe, 2014.

1. Catingueira - Ecofisiologia. 2. Pinhão-bravo - Ecofisiologia. 3. Estresse hídrico. 4. Fluorescência. 5. Ajustamento osmótico. 6. Sergipe (SE). 7. Semiárido. I. Silva Junior, Carlos Dias da, orient. II. Título

CDU: 582.736.2(813.7)

## TERMO DE APROVAÇÃO

### ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS DA CATINGUEIRA E DO PINHÃO-BRAVO EM UMA ÁREA DE CAATINGA DE SERGIPE

por

**NARA DE FARIAS COSTA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal de Sergipe, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

**APROVADA** pela banca examinadora composta por



---

**DR. CARLOS DIAS DA SILVA JUNIOR**

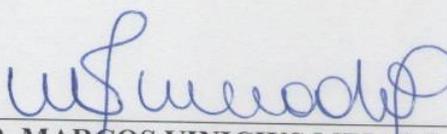
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da  
Universidade Federal de Sergipe



---

**DR. LUIZ FERNANDO GANASSALI DE OLIVEIRA JUNIOR**

Universidade Federal de Sergipe



---

**DR. MARCOS VINICIUS MEIADO**

Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da  
Universidade Federal de Sergipe

São Cristóvão/SE, 31 de julho de 2014

## RESUMO

A diferença de precipitação ao longo do ano é um problema recorrente que as plantas em campo precisam enfrentar, em decorrência dos momentos de déficit hídrico aos quais elas podem ser submetidas. Na Caatinga, esse problema é ainda maior, já que as chuvas são muito esparsas e irregulares, ocasionando meses a fio de estiagem. As plantas da Caatinga possuem diversas adaptações para suportar tais condições. Esse trabalho teve por objetivo avaliar parâmetros fisiológicos de duas espécies endêmicas da Caatinga, a catingueira (*Poincianella pyramidalis*) e o pinhão-bravo (*Jatropha mollissima*), em busca de descobrir que estratégias essas espécies adotam para sobreviver ao período de estiagem. Foram feitas duas coletas, uma na estação seca e outra na chuvosa, para avaliar parâmetros de relações hídricas, concentrações de solutos orgânicos e de pigmentos fotossintéticos, fluorescência de clorofila *a* e trocas gasosas. A catingueira demonstrou ter sido bastante afetada pela seca, com redução significativa nos seus parâmetros de relações hídricas, sobretudo no teor relativo de água, que atingiu valores abaixo de 60%, e nos índices de desempenho da fluorescência da clorofila *a*. O pinhão-bravo conseguiu manter a turgescência de seus tecidos alta, mas os índices da fluorescência e da fotossíntese líquida demonstraram que ele também foi afetado pelo déficit hídrico, uma vez que seus parâmetros fotossintéticos sofreram reduções bastante significativas.

**Palavras-chave:** Semiárido. Estresse hídrico. Fluorescência. Trocas gasosas. Ajustamento osmótico.

## ABSTRACT

The difference in rainfall throughout the year is a recurring problem that the plants in the field must contend as a result of the moments of drought to which they can be submitted. In the Caatinga, this problem is even greater, since the rains are very sparse and irregular, causing drought for months. The plants of the Caatinga have several adaptations to resist such conditions. This work aimed to evaluate physiological parameters of two endemic species of the Caatinga, the “catingueira” (*Poincianella pyramidalis*) and “pinhão-bravo” (*Jatropha mollissima*), in search to discover what strategies these species adopt to survive the drought. Two collections, one in the dry season and one in the wet, were made to evaluate parameters of water relations, concentrations of organic solutes and photosynthetic pigments, chlorophyll *a* fluorescence and gas exchange. The “catingueira” shown to have been damaged by drought, with a significant reduction in their rates of water relations, particularly in the relative water content, which reached values below 60%, and the performance indices of chlorophyll *a* fluorescence. The “pinhão-bravo” was able to maintain their high tissue turgor, but the rates of fluorescence and net photosynthesis demonstrated that he was affected by drought since their photosynthetic parameters suffered very significant reductions.

**Keywords:** Semiarid. Drought stress. Fluorescence. Gas exchange. Osmotic adjustment.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Localização do bioma Caatinga. Fonte: Site do Ministério do Meio Ambiente. .... 1
- Figura 2:** Fisionomia da Caatinga na estação chuvosa (A) e na estação seca (B). Fotos tiradas no Monumento Natural Grota do Angico, localizado em Poço Redondo, Sergipe. Fonte: Acervo pessoal..... 2
- Figura 3:** Fisionomia da catingueira (A) e forma de suas folhas (B). Fotos tiradas no Monumento Natural Grota do Angico, localizado em Poço Redondo, Sergipe. Fonte: Acervo pessoal. .... 3
- Figura 4:** Inflorescência (A) e frutos (B) de catingueira. Fotos tiradas no Monumento Natural Grota do Angico, localizado em Poço Redondo, Sergipe. Fonte: Acervo pessoal..... 4
- Figura 5:** Fisionomia do pinhão-bravo (A) e forma de sua folha (B). Fotos tiradas no Monumento Natural Grota do Angico, localizado em Poço Redondo, Sergipe. Fonte: Acervo pessoal. .... 6
- Figura 6:** Inflorescência (A) e frutos (B) de pinhão-bravo. Fotos tiradas no Monumento Natural Grota do Angico, localizado em Poço Redondo, Sergipe. Fonte: Acervo pessoal..... 7
- Figura 7:** Localização do Monumento Natural Grota do Angico. Fonte: Plano de manejo do Monumento Natural Grota do Angico. .... 16
- Figura 8:** Câmara de Scholander para medição de potencial hídrico (A). Detalhe da saída da seiva do xilema. Fonte: A: acervo pessoal; B: foto cedida por Raiza Torres..... 18
- Figura 9:** Discos de limbo foliar para análise de TRA (A). Pesagem dos discos para determinação de matéria fresca (B). Placas com os discos imersos em água destilada (C). Fonte: Fotos cedidas por Raiza Torres. .... 19
- Figura 10:** Fotos do preparo e armazenamento do extrato foliar para as análises bioquímicas. Fonte: Fotos cedidas por Raiza Torres. .... 20
- Figura 11:** Fotos da análise de pigmentos fotossintéticos. O material macerado é colocado em tubos envoltos em papel alumínio e centrifugados. Fonte: Acervo pessoal. .... 23

<b>Figura 12:</b> Fotos da análise de fluorescência. Pinça foliar para aclimação dos fotossistemas (A) e sensor do fluorômetro (B). Fonte: Acervo pessoal. ....	24
<b>Figura 13:</b> Fotos da análise de trocas gasosas. Analisador portátil de gás a infravermelho - IRGA (A) e detalhe da pinça de análise do aparelho (B). Fonte: Acervo pessoal. ....	25
<b>Figura 14:</b> Distribuição da precipitação mensal dividida por decênios no município de Poço Redondo/SE durante os anos de 2013 e início de 2014. Fonte: SEMARH/SE. ....	27
<b>Figura 15:</b> Curso diário da temperatura do ar (Tar) e umidade relativa do ar (UR) na estação chuvosa e na estação seca. Os valores foram coletados a cada meia hora durante o período de coleta.....	27
<b>Figura 16:</b> Curso diário do déficit de pressão de vapor (DPV) na estação chuvosa e na estação seca. Os valores foram coletados a cada meia hora durante o período de coleta. ....	28
<b>Figura 17:</b> Curso diário do potencial hídrico foliar e teor relativo de água na folha (TRA) de <i>Poincianella pyramidalis</i> (Tul.) L. P. Queiroz. Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). (n=5). .	29
<b>Figura 18:</b> Curso diário da concentração de carboidratos solúveis totais, proteínas solúveis e prolina livre de <i>Poincianella pyramidalis</i> (Tul.) L. P. Queiroz. Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). (n=5).....	31
<b>Figura 19:</b> Curso diário da concentração de clorofilas a e b e carotenoides de <i>Poincianella pyramidalis</i> (Tul.) L. P. Queiroz. Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). (n=5). ....	33
<b>Figura 20:</b> Curso diário da fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), eficiência máxima do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), energia de dispersão por energia absorvida ( $DI_0/ABS$ ), índice de desempenho ( $IP_{ABS}$ ) e área da curva OJIP (Área) de <i>Poincianella pyramidalis</i> (Tul.) L. P. Queiroz. Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). (n=5).....	34
<b>Figura 21:</b> Curso diário da densidade máxima de centros de reação por seção transversal ( $RC/CS_m$ ) de <i>Poincianella pyramidalis</i> (Tul.) L. P. Queiroz. Letras iguais, minúsculas entre as	

épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). (n=5). ..... 36

**Figura 22:** Curso diário da fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), transpiração (E) e concentração de CO<sub>2</sub> interno no mesófilo foliar (Ci) de *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz. Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). (n=5)..... 37

**Figura 23:** Curso diário do potencial hídrico foliar e teor relativo de água na folha (TRA) de *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). (n=5). ..... 39

**Figura 24:** Curso diário das concentrações de carboidratos solúveis totais, proteínas solúveis e prolina livre de *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). (n=5). ..... 41

**Figura 25:** Curso diário da concentração de clorofilas a e b e carotenoides de *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). (n=5)..... 42

**Figura 26:** Curso diário da fluorescência inicial (F<sub>0</sub>), fluorescência máxima (F<sub>m</sub>), eficiência máxima do fotossistema II (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>), energia de dispersão por energia absorvida (DI<sub>0</sub>/ABS), índice de desempenho (IP<sub>ABS</sub>) e área da curva OJIP (Área) de *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). (n=5). ..... 44

**Figura 27:** Curso diário da densidade máxima de centros de reação por seção transversal (RC/CS<sub>m</sub>) de *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). (n=5). . 45

**Figura 28:** Curso diário da fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), transpiração (E) e concentração de CO<sub>2</sub> interno no mesófilo foliar (Ci) de *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). (n=5). ..... 46

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1:** Umidade do solo próximo nas estações chuvosa e seca para a *Poincianella pyramidalis* (catingueira) e para a *Jatropha mollissima* (pinhão-bravo). (n=5).....28

**Tabela 2:** Curso diário da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e temperatura foliar (Tf) de *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz. Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). (n=5). .38

**Tabela 3:** Curso diário da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e temperatura foliar (Tf) de *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). (n=5).....47

## SUMÁRIO

1	Introdução .....	1
1.1	Caatinga .....	1
1.2	Catingueira ( <i>Poincianella pyramidalis</i> (Tul.) L. P. Queiroz).....	3
1.3	Pinhão-bravo ( <i>Jatropha mollissima</i> (Pohl) Baill.).....	5
1.4	A sazonalidade na fisiologia das plantas .....	8
1.4.1	Relações hídricas das plantas.....	9
1.4.2	Concentrações de solutos e ajustamento osmótico .....	10
1.4.3	Pigmentos fotossintéticos e fluorescência da clorofila <i>a</i> .....	11
1.4.4	Trocas gasosas .....	12
2	Objetivos.....	15
2.1	Objetivo geral .....	15
2.2	Objetivos específicos .....	15
3	Material e métodos.....	16
3.1	Área de estudo .....	16
3.2	Coleta de dados.....	17
3.2.1	Relações hídricas .....	17
3.2.2	Concentração de solutos orgânicos.....	19
3.2.3	Concentração dos pigmentos fotossintéticos .....	22
3.2.4	Fluorescência da clorofila <i>a</i> .....	23
3.2.5	Trocas gasosas .....	24
3.2.6	Delineamento experimental e análise estatística .....	25
4	Resultados.....	26
4.1	Dados climáticos.....	26
4.2	Catingueira ( <i>Poincianella pyramidalis</i> (Tul.) L. P. Queiroz).....	29
4.2.1	Relações hídricas .....	29

4.2.2	Concentração de solutos orgânicos.....	29
4.2.3	Concentração dos pigmentos fotossintéticos .....	32
4.2.4	Fluorescência da clorofila <i>a</i> .....	32
4.2.5	Trocas gasosas .....	36
4.3	Pinhão-bravo ( <i>Jatropha mollissima</i> (Pohl) Baill.).....	39
4.3.1	Relações hídricas .....	39
4.3.2	Concentração de solutos orgânicos.....	39
4.3.3	Concentração dos pigmentos fotossintéticos .....	40
4.3.4	Fluorescência da clorofila <i>a</i> .....	43
4.3.5	Trocas gasosas .....	45
5	Discussão .....	48
6	Considerações finais .....	54
7	Referências bibliográficas.....	56

# 1 Introdução

## 1.1 Caatinga

A Caatinga é o único bioma exclusivamente brasileiro. Situada no nordeste do país (Figura 1), abrange cerca de 800.000 km<sup>2</sup> (PRADO, 2003; SILVA *et al.*, 2003; QUEIROZ, 2009), correspondendo a 11% de todo o território brasileiro (RIZZINI, 1997; SILVA *et al.*, 2003). Seu nome tem origem Tupi-Guarani e significa “floresta-branca”, ao que se refere à aparência da vegetação durante a estação seca, em que as folhas da maior parte das plantas caem, ficando visível apenas seus caules, de cor esbranquiçada (FERRI, 1953; WICKENS, 1998; PRADO, 2003; QUEIROZ, 2009).

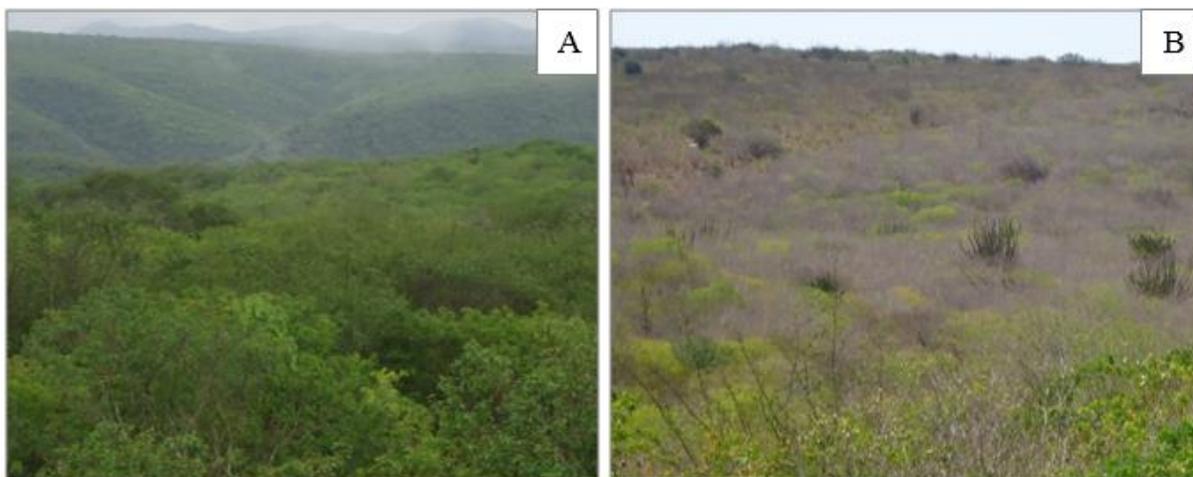


**Figura 1:** Localização do bioma Caatinga. Fonte: Site do Ministério do Meio Ambiente.

Esse bioma é caracterizado por apresentar clima semiárido, com altas temperaturas, forte insolação e grande amplitude térmica diária. Além disso, outra característica marcante é a presença de estações secas prolongadas, podendo chegar a dez meses continuamente sem chuvas, e estações chuvosas esparsas e curtas. A temperatura média gira em torno dos 25°C e a precipitação média anual varia entre 250 a 1000 mm/ano (WICKENS, 1998; BARBOSA *et*

*al.*, 2003; PRADO, 2003; SILVA *et al.*, 2003; ARAÚJO *et al.*, 2008; QUEIROZ, 2009; SILVA *et al.*, 2010a).

A vegetação da Caatinga é composta principalmente de árvores de pequeno porte e de arbustos, que, em sua maioria, perdem suas folhas durante a estação seca. (Figura 2). As folhas de boa parte das espécies são compostas e/ou pequenas, e seus ramos, bastante ramificados, geralmente apresentam espinhos ou acúleos (RIZZINI, 1997; PRADO, 2003; SILVA *et al.*, 2004; ARAÚJO *et al.*, 2008; QUEIROZ, 2009; SILVA *et al.*, 2010a), ou ainda tricomas urticantes (QUEIROZ, 2009). Além disso, é bastante característica a presença de diversas espécies da família das cactáceas, plantas extremamente adaptadas às condições de clima quente e seco do bioma (RIZZINI, 1997; PRADO, 2003; ARAÚJO *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2010a). Fabaceae e Euphobiaceae, famílias das espécies objetos do presente estudo, estão também entre as famílias predominantes da região (WICKENS, 1998; SILVA *et al.*, 2010a).

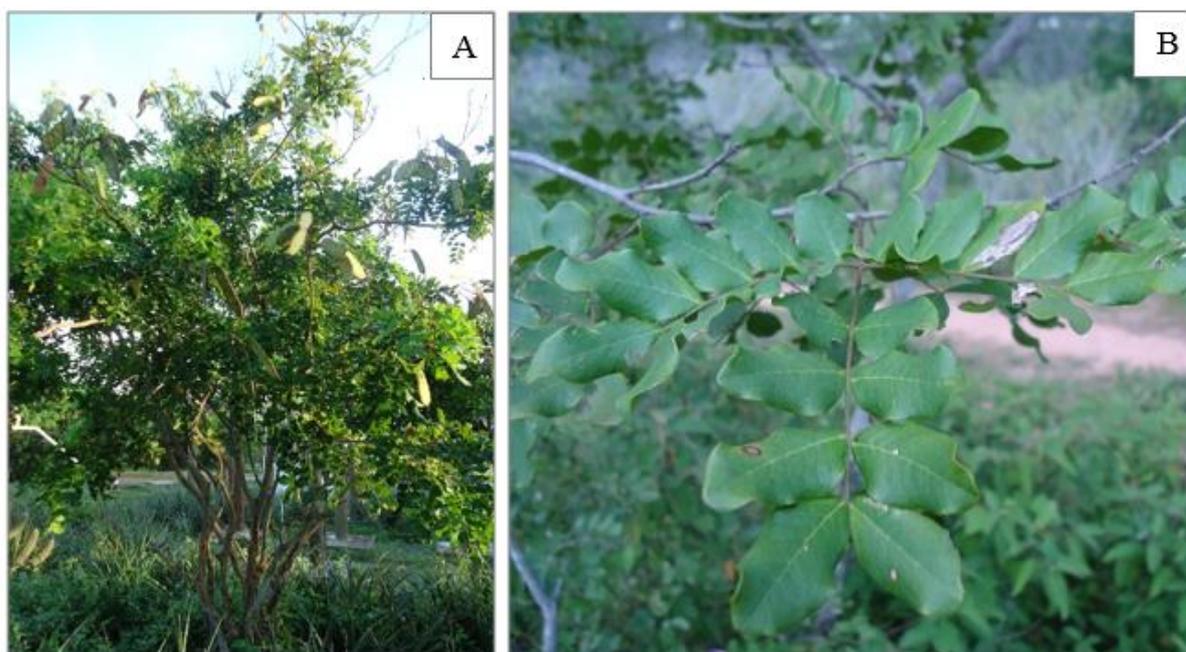


**Figura 2:** Fisionomia da Caatinga na estação chuvosa (A) e na estação seca (B). Fotos tiradas no Monumento Natural Grota do Angico, localizado em Poço Redondo, Sergipe. Fonte: Acervo pessoal.

Apesar de a diversidade biológica da Caatinga ter sido historicamente subestimada, e de boa parte de sua área não ter sido suficientemente amostrada, são conhecidas milhares de espécies, dentre as quais uma boa porcentagem é endêmica da região (SILVA *et al.*, 2003; ARAÚJO *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2010a; OLIVEIRA *et al.*, 2012). Porém, infelizmente, muitas informações biológicas já se perderam, devido à imensa degradação sofrida por esse bioma, e à falta de políticas adequadas de preservação das áreas remanescentes (SANTOS e TABARELLI, 2003; SILVA *et al.*, 2003; TABARELLI e SILVA, 2003; SILVA *et al.*, 2010a; OLIVEIRA *et al.*, 2012).

## 1.2 Catingueira (*Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz)

A catingueira (*Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz; sinônimo botânico: *Caesalpinia pyramidalis* Tul.) é uma planta típica e endêmica da Caatinga pertencente à família Fabaceae, subfamília Caesalpinioideae (QUEIROZ, 2009; MAIA, 2012). É popularmente conhecida também como catinga-de-porco, pau-de-porco ou pau-de-rato (BRAGA, 1976; QUEIROZ, 2009; MAIA, 2012). É uma árvore de porte médio, de copa irregular e aberta (Figura 3A). Apresenta geralmente de quatro a seis metros de altura, podendo chegar a doze, quando a planta se desenvolve próximo a regiões de várzea (LORENZI, 2009; QUEIROZ, 2009; MAIA, 2012).



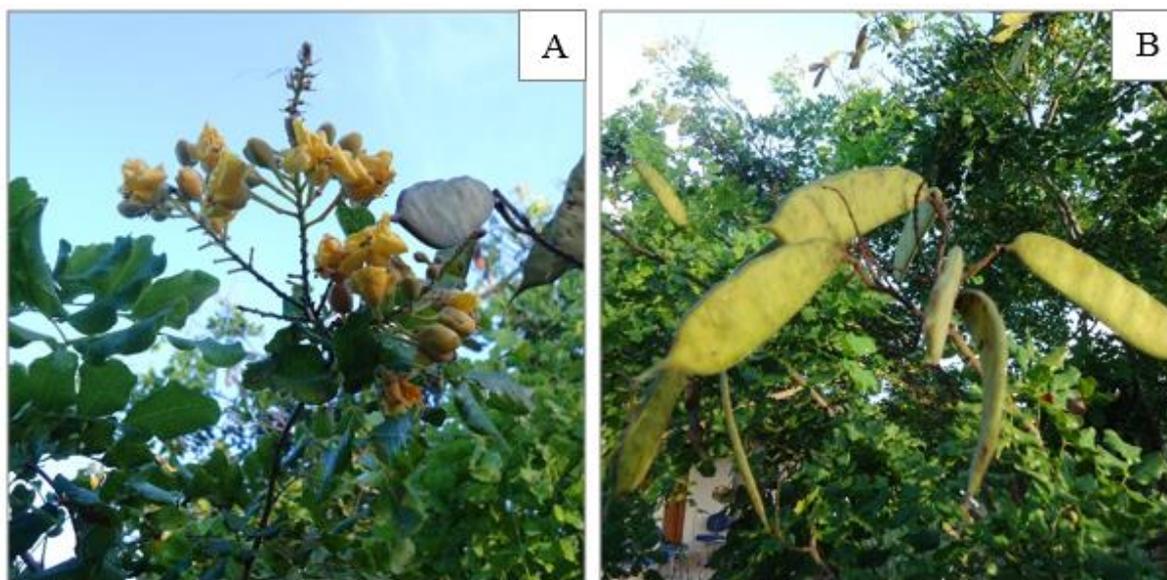
**Figura 3:** Fisionomia da catingueira (A) e forma de suas folhas (B). Fotos tiradas no Monumento Natural Grotta do Angico, localizado em Poço Redondo, Sergipe. Fonte: Acervo pessoal.

O caule dessas plantas é curto e estreito, com cerca de 30 a 40 cm de diâmetro, com casca quase lisa de coloração geralmente acinzentada, e bastante lenticelado. Os ramos jovens apresentam coloração esverdeada, com lenticelas esbranquiçadas. A folhagem é decídua, e as folhas são compostas bipinadas (Figura 3B), com folíolos pequenos, de bordo inteiro, aspecto coriáceo e no máximo três centímetros de comprimento (LORENZI, 2009; QUEIROZ, 2009;

MAIA, 2012). Suas folhas apresentam estômatos apenas na superfície inferior e estes se apresentam distribuídos de forma homogênea (ARAÚJO *et al.*, 2008).

A catingueira é conhecida por apresentar um odor desagradável característico em suas folhas (LORENZI, 2009; QUEIROZ, 2009; MAIA, 2012). Esse cheiro só se estabelece após o total amadurecimento da folha. Quando novas, as folhas são bastante palatáveis ao gado, sendo uma das principais fontes de alimento para o mesmo no início da estação chuvosa (BRAGA, 1976; QUEIROZ, 2009; MAIA, 2012). As folhas maduras também podem ser utilizadas na alimentação animal, desde que devidamente fenadas (BRAGA, 1976; MAIA, 2012).

As flores da catingueira são amarelas (Figura 4A), andróginas e estão dispostas em racemos terminais ou subterminais (BRAGA, 1976; LORENZI, 2009; QUEIROZ, 2009). O fruto, uma vagem achatada de cor castanho-clara (Figura 4B), mede cerca de 10 cm de comprimento e possui entre cinco e sete sementes, que são liberadas por meio de deiscência explosiva, que acaba por lançar as sementes a distâncias consideráveis (LORENZI, 2009; MAIA, 2012). Essas sementes são achatadas, ovaladas, de cor castanho-clara e com diâmetro em torno de 1 cm (MAIA, 2012).



**Figura 4:** Inflorescência (A) e frutos (B) de catingueira. Fotos tiradas no Monumento Natural Grotta do Angico, localizado em Poço Redondo, Sergipe. Fonte: Acervo pessoal.

É comum ocorrer o apodrecimento do cerne da catingueira em plantas velhas. Esse oco pode servir de abrigo a alguns animais de pequeno porte e/ou para insetos (MAIA, 2012), porém faz com que sua madeira só possa ser utilizada para fazer estacas, na construção de

casas de taipa ou como lenha (BRAGA, 1976; LORENZI, 2009). Além disso, suas folhas, flores e cascas têm uso na medicina popular para tratar de infecções de garganta e diarreias (MAIA, 2012).

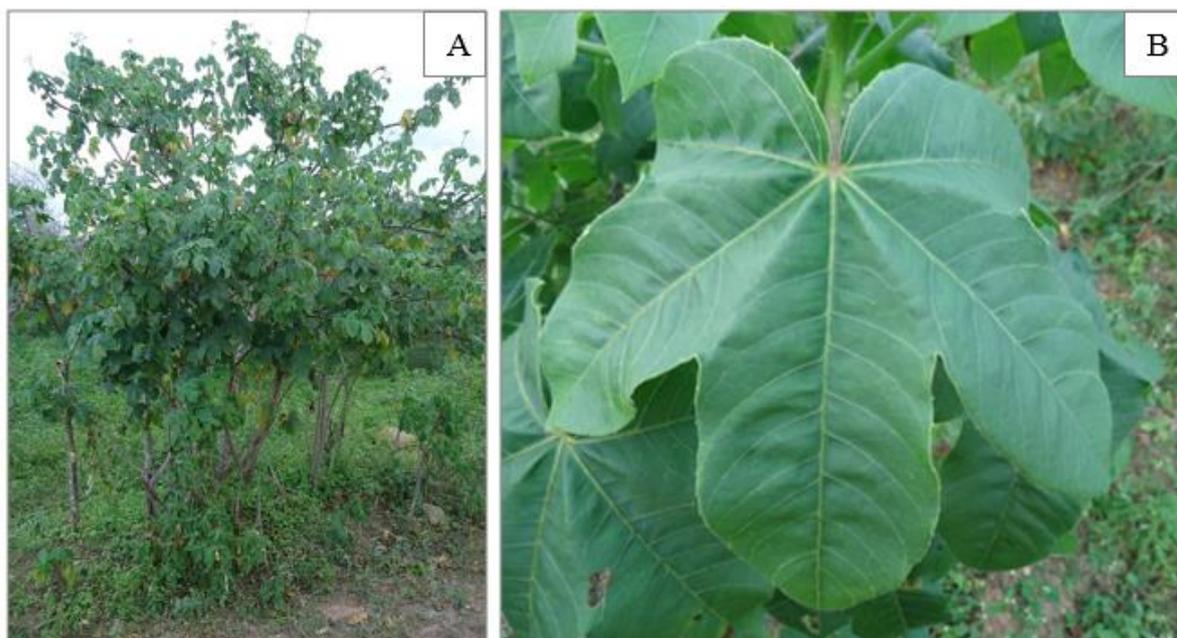
Diversos trabalhos com diferentes enfoques já foram feitos com a catingueira, como por exemplo: quebra de dormência de sementes (ALVES *et al.*, 2007), biologia reprodutiva (LEITE e MACHADO, 2009), influência da precipitação na densidade e na dominância populacional (ANDRADE *et al.*, 2009), entre outros.

Alguns estudos sobre os mecanismos fisiológicos da catingueira também já foram feitos por Araújo *et al.* (2008) e Dombroski *et al.* (2011), que avaliaram as relações hídricas de seis espécies, entre elas a catingueira, também na estação seca. De acordo com esses autores, a catingueira apresenta baixo potencial hídrico na estação seca (em torno de -3,26 MPa segundo Araújo *et al.* (2008) ao meio dia), porém ainda mantém altos valores de condutância estomática (g), possibilitando a transpiração mesmo em horários mais quentes (DOMBROSKI *et al.*, 2011). Segundo os autores, é possível que a espécie realize ajustamento osmótico, já que não apresenta sistema radicular profundo, o que faria com que a planta pudesse alcançar lençóis freáticos mais profundos. Porém, para que se possa afirmar se isso ocorre ou não, seriam necessários estudos acerca das concentrações de solutos orgânicos osmoticamente ativos juntamente com a avaliação das relações hídricas.

Silva *et al.* (2004) detectaram aumento da resistência estomática ( $R_s$ ), variável inversamente proporcional à condutância, em *P. pyramidalis* às 13 horas, com relação ao valor encontrado no início da manhã. Além disso, os autores constataram grande acúmulo de prolina livre, composto que pode ser utilizado como mecanismo de proteção contra estresse por déficit hídrico. Por outro lado, Araújo *et al.* (2008) afirmam que é possível que esse aumento possa não estar diretamente relacionado à baixa precipitação, ou esta não é o único fator atuante, já que outros autores puderam observar um comportamento oposto (redução da prolina com a diminuição da precipitação) em outras espécies de caatinga, ou mesmo dentro de uma mesma espécie em diferentes anos.

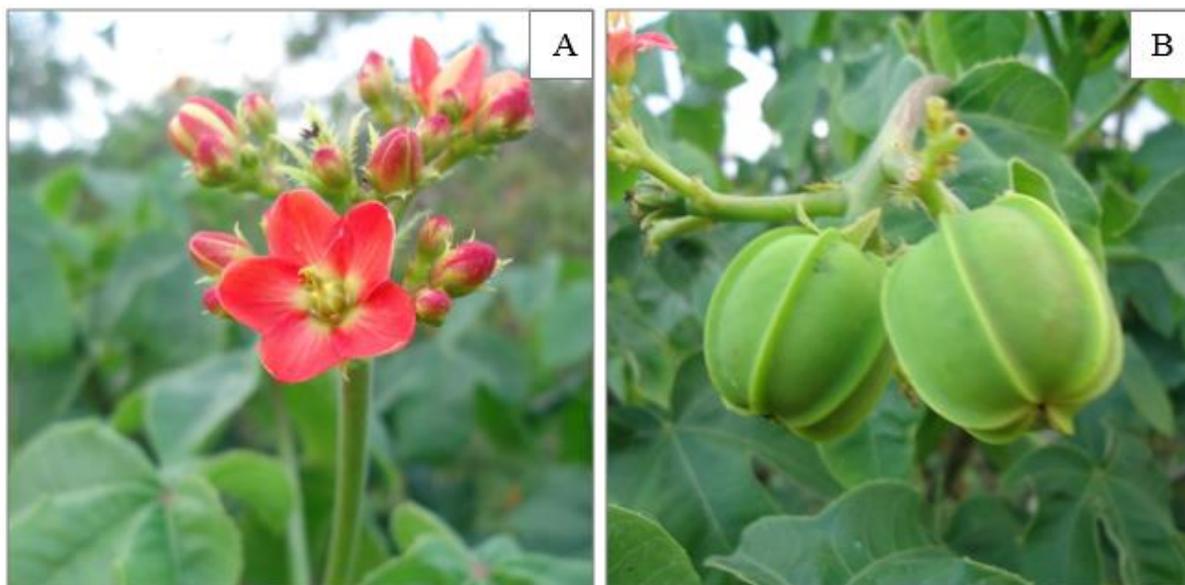
### **1.3 Pinhão-bravo (*Jatropha mollissima* (Pohl) Baill.)**

O pinhão-bravo (*Jatropha mollissima* (Pohl) Baill.) é uma planta também endêmica da Caatinga e pode ser encontrado na forma de pequenos arbustos ou em árvores de até seis metros de altura (Figura 5A). Seu tronco é liso, pouco ramificado e de coloração verde-cúprea. As folhas são simples, alternas, lobadas e membranáceas (Figura 5B). São grandes, com até 15 cm de comprimento por 17 cm de largura, e apresentam dorso levemente piloso (LIMA, 2011; MAIA, 2012). Seus ramos são dilatados, o que propicia um local para armazenamento de reserva de água (SILVA *et al.*, 2010a).



**Figura 5:** Fisionomia do pinhão-bravo (A) e forma de sua folha (B). Fotos tiradas no Monumento Natural Grota do Angico, localizado em Poço Redondo, Sergipe. Fonte: Acervo pessoal.

As flores podem ser de cor vermelha (Figura 6A), laranja, salmão ou branco-avermelhado (LIMA, 2011; MAIA, 2012). Estão dispostas em inflorescências terminais ou axilares, com flores masculinas e femininas na mesma inflorescência (LIMA, 2011). O fruto é uma cápsula, de coloração verde (Figura 6B), formato globoso, com cerca de 3 cm de diâmetro. Sua deiscência é explosiva, liberando três sementes espessas de cor castanho-escura levemente avermelhada (LIMA, 2011; MAIA, 2012).



**Figura 6:** Inflorescência (A) e frutos (B) de pinhão-bravo. Fotos tiradas no Monumento Natural Grota do Angico, localizado em Poço Redondo, Sergipe. Fonte: Acervo pessoal.

É uma planta de madeira muito leve e, portanto, pouco aproveitada. Por outro lado seu látex é bastante utilizado na medicina popular, principalmente como cicatrizante e hemostático (MAIA, 2012). Além disso, o pinhão-bravo tem sido bastante visado na questão de produção de biodiesel, pois suas sementes possuem alto teor de óleo, que pode ser facilmente extraído por pressão (MAYWORM *et al.*, 1998; POMPELLI *et al.*, 2011; MAIA, 2012). Porém, para que seja possível utilizá-la largamente, é necessário conhecer suas características ecofisiológicas, ainda pouco estudadas (POMPELLI *et al.*, 2011). Trabalhos sobre essa espécie são escassos, sendo mais facilmente encontrados os relacionados com fenologia, levantamentos florísticos e análises estruturais (MACHADO *et al.*, 1997; FERRAZ *et al.*, 1998; RODAL *et al.*, 1999; RODAL e NASCIMENTO, 2002; ALCOFORADO-FILHO *et al.*, 2003; BARBOSA *et al.*, 2003; AMORIM *et al.*, 2005; FABRICANTE e ANDRADE, 2007).

Do mesmo gênero, a espécie *Jatropha curcas*, conhecida popularmente como pinhão manso, já foi largamente estudada, especialmente com o foco para a produção de biodiesel (OPENSHAW, 2000; SATO *et al.*, 2009). Dentro da ecofisiologia, já foram realizados estudos sobre alterações no comportamento fisiológico em decorrência da sazonalidade (ZHANG *et al.*, 2008; RODRIGUES *et al.*, 2011; QUEIROZ *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2013), exigências hídricas e/ou nutricionais (MAES *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2010c; SILVA *et al.*, 2010d; MAES *et al.*, 2011; DÍAZ-LÓPEZ *et al.*, 2012; FREITAS *et al.*, 2012; RAO *et*

*al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2012b; CARVALHO *et al.*, 2013; SAPETA *et al.*, 2013), fisiologia de sementes e plântulas (ANDRADE *et al.*, 2008; MAES *et al.*, 2009; ACHTEN *et al.*, 2010; DRANSKI *et al.*, 2010; MAES *et al.*, 2011; MATOS *et al.*, 2011; PEREIRA e LOPES, 2011; DÍAZ-LÓPEZ *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2012a; SMIDERLE *et al.*, 2013), biologia de pragas potenciais (GABRIEL e FRANCO, 2012), entre outros temas.

#### **1.4 A sazonalidade na fisiologia das plantas**

A água é uma substância essencial para a vida. Foi na água que as primeiras moléculas orgânicas surgiram e deram origem aos primeiros seres vivos, e esses seres evoluíram até o aparecimento de plantas vascularizadas que conquistaram o continente (PIMENTA, 2008; MARENCO e LOPES, 2009). Além da água, a água é necessária para que as reações químicas ocorram, seja por fazer parte delas ou por servir de meio. Se o nível de umidade cai, ultrapassando um limite mínimo necessário para a manutenção dos processos químicos, os tecidos vegetais deixam de ser metabolicamente ativos, podendo morrer ou entrar em estado de latência (LARCHER, 2006; PIMENTA, 2008; MARENCO e LOPES, 2009).

Em condições naturais, a água não está sempre disponível para as plantas de maneira uniforme, em decorrência das variações climáticas ao longo do ano. Além disso, outros fatores variam e influenciam na sobrevivência da planta, como o volume de incidência de radiação luminosa e a temperatura (LARCHER, 2006; MARENCO e LOPES, 2009). No verão, o aumento do calor e da radiação faz com que a necessidade por água das plantas aumente. Porém, geralmente, nessa estação há redução das chuvas. Essas condições fazem com que a planta sofra de estresse por déficit hídrico (LARCHER, 2006).

As plantas reagem de maneiras diferentes a situações de estresse, a depender de suas características genéticas. Os primeiros sintomas, geralmente, não são perceptíveis ao observar a planta, pois ocorrem a nível molecular. Exemplo disso é a desestabilização das membranas das células ou de suas organelas, a síntese de substâncias de defesa, entre outros. Sintomas visíveis que podem aparecer são a clorose (cor amarelada) dos tecidos, principalmente nas folhas, queda prematura das folhas, perda de turgescência (aparência flácida), entre outros (LARCHER, 2006).

Na Caatinga, a seca prolongada, fato tão comum nesse bioma, é a principal responsável pelo estresse que a vegetação sofre. As plantas que lá podem ser encontradas adaptaram-se a essas condições ao longo do tempo, mas nem todas utilizam a mesma estratégia de sobrevivência (FERRI, 1953; LARCHER, 2006; ARAÚJO *et al.*, 2008). Algumas estratégias que podem ser adotadas são: queda das folhas nos períodos de maior deficiência hídrica, pois diminui a superfície transpirante, evitando perda de água; fechamento estomático, para reduzir a perda de água por transpiração; ajustamento osmótico, que será explicado no tópico 1.4.2; ciclo de vida curto, em que as plantas se desenvolvem completamente, se reproduzem e lançam suas sementes no solo apenas nos períodos de chuva, compondo um banco de sementes que se mantêm viáveis para germinarem na estação chuvosa seguinte; aprofundamento do sistema radicular, para alcançar lençóis freáticos mais profundos; tecidos e órgãos de reserva, que possibilitam que a planta acumule água durante o período chuvoso para utilizar na estação seca; presença de tricomas nas folhas, que auxiliam a manter uma umidade maior no ar mais próximo da folha, reduzindo a saída difusiva de água pelos estômatos (TURNER e KRAMER, 1980; NEPOMUCENO *et al.*, 2001; NOGUEIRA e SILVA, 2002; SILVA *et al.*, 2004; LARCHER, 2006; ARAÚJO *et al.*, 2008; MARENCO e LOPES, 2009; SILVA *et al.*, 2010a).

#### 1.4.1 Relações hídricas das plantas

Se uma planta não possui água suficiente para manter o turgor de suas células, uma das primeiras consequências é a diminuição do crescimento, já que a pressão de turgescência é responsável pelo alongamento celular. O teor relativo de água das folhas, isto é, a quantidade de água presente em seus tecidos, geralmente situa-se em torno de 80 a 90% (LARCHER, 2006; PIMENTA, 2008; MARENCO e LOPES, 2009; TAIZ e ZEIGER, 2009).

As plantas sofrem constantes variações quanto ao seu conteúdo hídrico, seja por aumento da transpiração, seja por diminuição da absorção de água pelas raízes (FERRI, 1953; ARAÚJO *et al.*, 2008; MARENCO e LOPES, 2009). O potencial hídrico foliar e o teor relativo de água na folha são as variáveis que melhor possibilitam saber de que forma se encontra o estado hídrico da planta.

O potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) representa o potencial químico da água, ou seja, sua energia livre, o quão disponível a água se encontra dentro da planta para usos diversos (abertura estomática, translocação de solutos, reações químicas, entre outros). A água se move passivamente de locais com maior potencial para locais de menor potencial hídrico, através do processo de osmose (KRAMER, 1983; RAVEN *et al.*, 2007; TAIZ e ZEIGER, 2009). Assim, para absorver água do solo, as plantas precisam manter seu potencial hídrico mais baixo que o do solo, para que a água possa entrar em suas células.

O potencial hídrico é uma característica da planta que influencia enormemente os processos fisiológicos da mesma, como o crescimento e a fotossíntese, sendo por isso considerada um bom indicador geral da saúde da planta (KRAMER, 1983; TAIZ e ZEIGER, 2009). Quando em situação de estresse, sobretudo em períodos de seca, o potencial hídrico da planta cai, pois ela passa a perder mais água por transpiração do que nos períodos chuvosos. Porém, ela não consegue repor essa perda através das raízes, já que o solo se encontra mais seco em decorrência da estiagem (KRAMER, 1983; LARCHER, 2006; TAIZ e ZEIGER, 2009).

#### 1.4.2 Concentrações de solutos e ajustamento osmótico

Algumas plantas possuem a capacidade de manter seu potencial hídrico baixo (mais negativo) em condições de deficiência hídrica no solo. Essa redução do potencial hídrico ocorre através do acúmulo ativo de substâncias orgânicas, como carboidratos solúveis, aminoácidos (principalmente a prolina livre) ou proteínas solúveis, que reduzem o potencial osmótico da célula e, conseqüentemente, o potencial hídrico, fazendo com que a água permaneça na célula. Esse mecanismo, chamado de ajustamento osmótico, possibilita a manutenção da turgescência das células, assim como da condutância estomática, da taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> e expansão dos tecidos, entre outros processos decorrentes da conservação de valores ótimos de potencial hídrico (TURNER e KRAMER, 1980; NEPOMUCENO *et al.*, 2001; SILVA *et al.*, 2004; LARCHER, 2006; ARAÚJO *et al.*; 2008).

Em situações de estresse, é possível que seja percebido um acúmulo de solutos nas células que não seja decorrente de ajustamento osmótico. Isso ocorre porque, durante a desidratação, a concentração dos solutos aumenta simplesmente por haver um menor volume

de solvente na solução (NEPOMUCENO *et al.*, 2001; TAIZ e ZEIGER, 2009). Esse aumento de concentração por dessecação não confere maior tolerância à seca como o ajustamento osmótico, pois a célula encontra-se desidratada e, portanto, seus processos metabólicos serão alterados pela ausência de água (NEPOMUCENO *et al.*, 2001). A análise do teor relativo de água (TRA) serve como auxílio nesse tipo de análise, por permitir distinguir uma situação da outra, ou seja, para que ocorra ajustamento osmótico, a planta deve apresentar, na situação de estresse, conteúdo hídrico foliar semelhante ao que pode ser encontrado sem condições adversas. Caso contrário, é possível afirmar que o aumento na concentração dos solutos acontece em decorrência da desidratação das células.

A prolina livre é o soluto orgânico mais frequentemente acumulado quando da ocorrência do ajustamento osmótico (MARTINEZ e MORENO, 1992; SILVA *et al.*, 2004; ARAÚJO *et al.*, 2008). Além disso, ela funciona também na manutenção da estabilidade das membranas e das macromoléculas (LARCHER, 2006; ARAÚJO *et al.*, 2008). Diversos trabalhos já foram feitos referentes à quantificação dos solutos orgânicos osmoticamente ativos correlacionados com situações de deficiência hídrica (CHAVES FILHO e STACCIARINI-SERAPHIN, 2001; CARVALHO *et al.*, 2003; ALVES e SETTER, 2004; SILVA *et al.*, 2004; SILVA *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2010b; ZHENG *et al.*, 2010; MEDEIROS *et al.*, 2012).

#### 1.4.3 Pigmentos fotossintéticos e fluorescência da clorofila *a*

A fotossíntese é o processo de síntese de carboidratos, principalmente a glicose, a partir do gás carbônico e água. Esse processo é o principal responsável pela geração da energia a ser utilizada por todos os organismos do planeta (MAJEROWICZ, 2008; TAIZ e ZEIGER, 2009). Essa reação se dá nos cloroplastos, organelas celulares que possuem em suas membranas pigmentos capazes de captar a energia solar e transformá-la em energia química. Os principais pigmentos fotossintetizantes são as clorofilas, que absorvem a luz principalmente na faixa do vermelho e do azul, e os pigmentos acessórios (carotenos e xatonfilas), que absorvem principalmente no azul e no violeta (LARCHER, 2006; MAJEROWICZ, 2008; TAIZ e ZEIGER, 2009).

A absorção da radiação depende, em grande parte, da concentração de pigmentos fotossinteticamente ativos, a qual, em condições de forte radiação, pode se tornar um fator limitante para o processo fotoquímico (LARCHER, 2006). Isso acontece em decorrência da saturação dos sistemas fotossintéticos que, por mais que haja energia excedente, não possuem pigmentos livres para absorvê-la (ARAÚJO e DEMINICIS, 2009). Além disso, sob alta intensidade luminosa, as estruturas fotossintéticas podem ser inibidas, em decorrência do excesso de energia não absorvido, processo chamado de fotoinibição (ARAÚJO *et al.*, 2008; MAJEROWICZ, 2008; ARAÚJO e DEMINICIS, 2009; GONÇALVES *et al.*, 2010).

Um dos principais mecanismos de defesa do fotossistema II contra essa fotoinibição é a dissipação do excesso de energia luminosa absorvida, com conseqüente diminuição da eficiência quântica do processo fotossintético. Essa dissipação pode se dar na forma de calor ou então na reflexão de incidência luminosa, processo conhecido como fluorescência (ARAÚJO e DEMINICIS, 2009; GONÇALVES *et al.*, 2010).

A fluorescência pode ser estudada através da análise da mudança da cinética da fluorescência da clorofila *a*, como a curva OJIP, a eficiência quântica máxima do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), entre outras variáveis (STRASSER *et al.*, 1995; TATAGIBA e PEZZOPANE, 2007; GONÇALVES *et al.*, 2010). Sob estresse hídrico, é possível que as plantas apresentem fotoinibição, sobretudo em condições de campo, onde a baixa disponibilidade hídrica geralmente está associada a altas temperaturas e altos níveis de irradiância, fatores que podem interferir de forma direta nos processos fotossintéticos (ARAÚJO e DEMINICIS, 2009).

#### 1.4.4 Trocas gasosas

As plantas estão constantemente trocando gases com o meio através dos estômatos, estruturas geralmente localizadas na superfície abaxial da folha. Os estômatos são estruturas porosas constituídas por um grupo de células que, através de alterações em sua turgescência, abrem ou fecham o poro através do qual as trocas gasosas podem ocorrer (LARCHER, 2006; MARENCO e LOPES, 2009; TAIZ e ZEIGER, 2009). Porém, durante essas trocas gasosas, as plantas podem perder água através da transpiração.

A transpiração consiste na saída de vapor de água das folhas através dos estômatos. Essa saída é um processo vital para a planta, pois é através dessa perda de água que a tensão

necessária para fazer a água subir pelo xilema irá ser gerada. Além disso, é um processo que permite o resfriamento das folhas, através da perda de calor agregado ao vapor de água (NOGUEIRA e SILVA, 2002; PIMENTA, 2008; MARENCO e LOPES, 2009). Porém, em situações de seca, pode ocorrer de as raízes não conseguirem repor de forma eficiente toda a água perdida pela transpiração. Isso pode fazer com que a planta comece a desidratar (LARCHER, 2006; MARENCO e LOPES, 2009; TAIZ e ZEIGER, 2009).

Uma estratégia que algumas plantas conseguem adotar é o fechamento ativo dos estômatos, que faz com que as células-guarda permaneçam flácidas, fechando, assim, o poro estomático e, por consequência, reduzindo a condutância do mesmo. Esse processo pode ocorrer também de forma passiva, através da murcha das células-guarda por desidratação do tecido (TURNER e KRAMER, 1980; PIMENTA, 2008; MARENCO e LOPES, 2009).

A condutância estomática tem alta correlação com a transpiração, já que de 90 a 95% desta ocorre através dos estômatos – os 5 a 10% restantes podem ocorrer através da cutícula das folhas e/ou das lenticelas do caule (MARENCO e LOPES, 2009; TAIZ E ZEIGER, 2009). Outro fator com o qual a condutância estomática pode apresentar correlação é com a taxa de fotossíntese, já que é através dos estômatos que o dióxido de carbono, necessário para o processo fotossintético, entra (ARAÚJO e DEMINICIS, 2009; TAIZ e ZEIGER, 2009).

As trocas gasosas estão intimamente ligadas às condições ambientais, já que a umidade e a temperatura do ar podem aumentar ou diminuir a transpiração, em decorrência da formação de maior ou menor gradiente de potencial hídrico entre a folha e o ar (PIMENTA, 2008). Durante o dia, as plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> abrem seus estômatos, podendo reduzir a abertura ou mesmo fechar em horários mais quentes a depender das condições do ambiente (FERRI, 1953; PIMENTA, 2008) e da espécie (NOGUEIRA *et al.*, 2002; SILVA *et al.*, 2004; PASSOS *et al.*, 2005; COSTA e MARENCO, 2007; REIS e CAMPOSTRINI, 2008; PASSOS *et al.*, 2009). À noite, quando a fotossíntese não ocorre, os estômatos permanecem fechados, evitando a perda de água pela transpiração (FERRI, 1953; PIMENTA, 2008; TAIZ E ZEIGER, 2009).

Trabalhos sobre o estudo da transpiração vêm sendo feitos desde 1953, com Ferri, que observou que a catingueira apresenta uma lenta reação estomática. Esse dado foi obtido através da análise das alterações da transpiração no decorrer do tempo, após a retirada da folha da planta (FERRI, 1953). Porém, na época desse estudo, essa análise era realizada por acompanhamento do peso da folha, considerando-se os estômatos fechados quando o peso passasse a se manter relativamente constante, e, a partir desses valores (peso e tempo), a

transpiração era calculada. Atualmente a análise da transpiração é feita com o uso de aparelhos modernos e específicos, que possuem a capacidade de quantificar os gases liberados pelas folhas enquanto ainda presas à planta, o que permite que elas continuem recebendo água das raízes.

## **2 Objetivos**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar o comportamento ecofisiológico de duas espécies da Caatinga, a catingueira e o pinhão-bravo, durante as estações seca e chuvosa e ao longo do dia, correlacionando com os fatores ambientais.

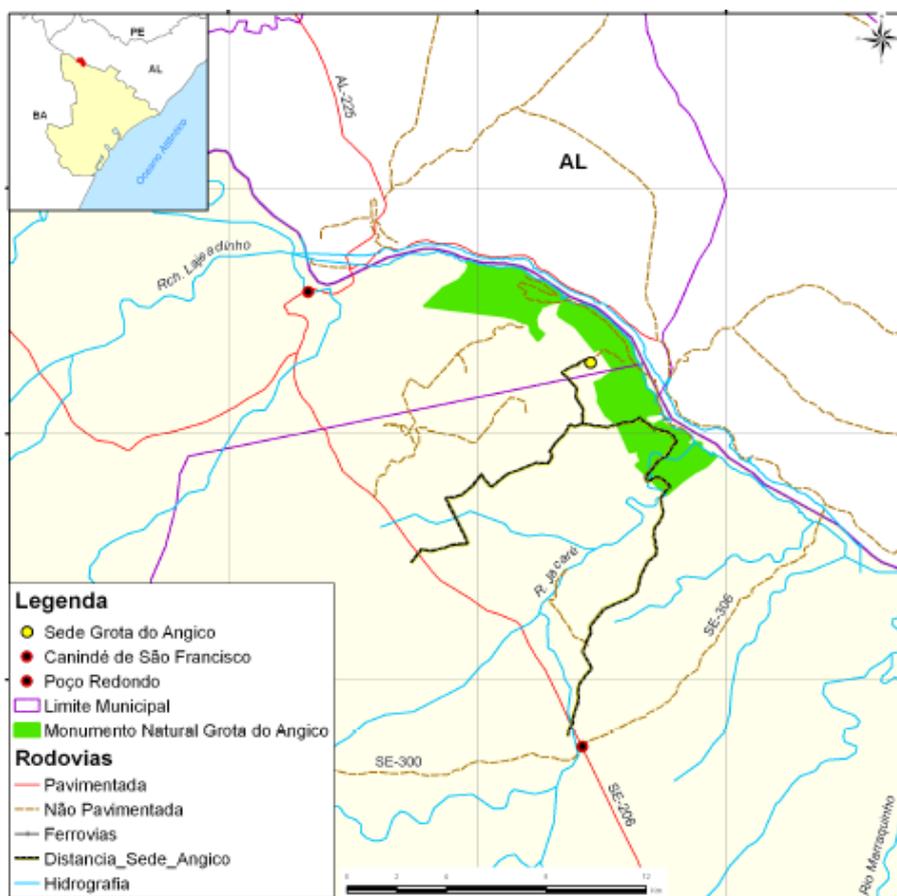
### **2.2 Objetivos específicos**

- Verificar se a diferença climática sazonal pode ocasionar ajustamento osmótico na catingueira e no pinhão-bravo, através da análise das relações hídricas e das concentrações de solutos orgânicos;
- Analisar se há fotoinibição nas espécies objetos de estudo do presente trabalho, sobretudo nos horários mais quentes na estação seca, através do estudo da fluorescência da clorofila *a* e das concentrações dos pigmentos fotossintéticos;
- Avaliar se o aumento da temperatura e a redução da umidade relativa do ar na estação seca ocasionam alterações nas trocas gasosas da catingueira e do pinhão-bravo;

### 3 Material e métodos

#### 3.1 Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na unidade de conservação estadual Monumento Natural Grota do Angico (MNGA), localizada no Alto Sertão Sergipano, a cerca de 200 km de Aracaju (Figura 7). O MNGA foi criado em 21 de dezembro de 2007, através do Decreto Estadual nº 24.922, e engloba uma área de 2.138 hectares (ha). Está localizado à margem direita do rio São Francisco, entre os municípios de Canindé de São Francisco e de Poço Redondo, de coordenadas 09°39'36" S e 37°37'22" W. A unidade foi criada com o intuito de preservar tanto a vegetação e a fauna local, quanto os aspectos históricos e culturais da região (SERGIPE, 2007).



**Figura 7:** Localização do Monumento Natural Grota do Angico. Fonte: Plano de manejo do Monumento Natural Grota do Angico.

## 3.2 Coleta de dados

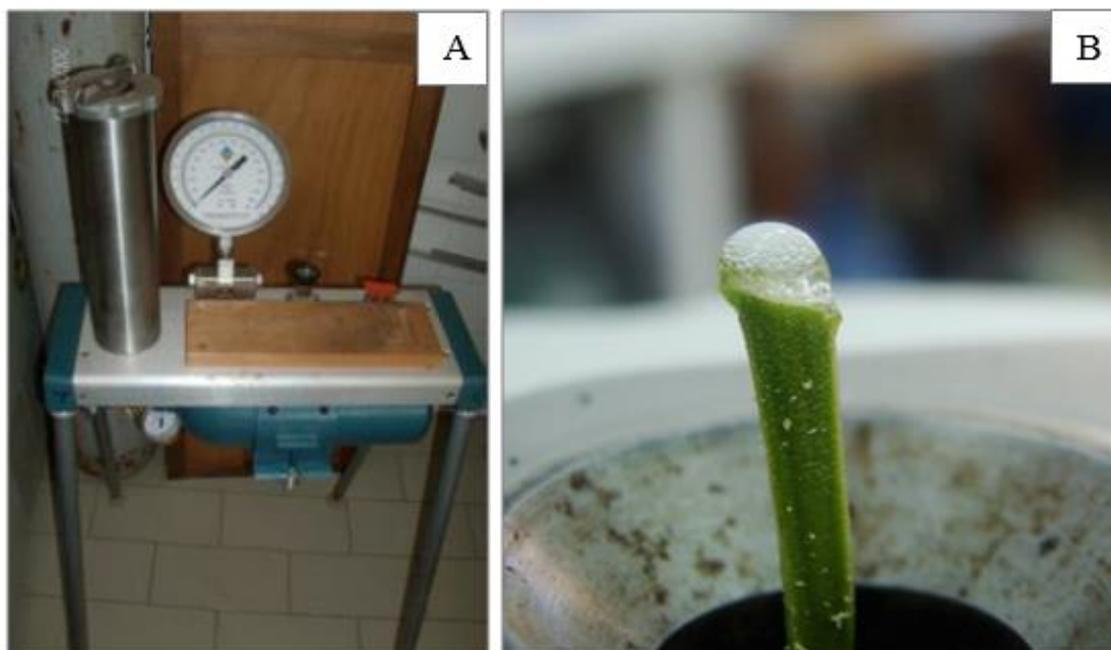
A presente pesquisa foi realizada com duas espécies endêmicas da Caatinga, sendo uma da família Fabaceae (*Poincianella pyramidalis*, conhecida como catingueira) e outra da família Euphorbiaceae (*Jathropha mollissima*, chamada popularmente de pinhão-bravo). A coleta de dados foi realizada em duas épocas (estação seca e chuvosa). Foram avaliados cinco indivíduos de cada espécie, totalizando dez plantas. Na primeira coleta, as plantas foram marcadas com fitas coloridas para que, na coleta seguinte, pudessem ser avaliados os mesmos indivíduos, minimizando erros que pudessem ocorrer por eventuais variações específicas de outros indivíduos, tanto genéticas quanto fenotípicas. Foram escolhidos indivíduos prioritariamente de mesmo porte, com copa de tamanho semelhante e em situação microclimática semelhante, de modo a minimizar as diferenças advindas desses fatores.

Foram avaliadas variáveis de relações hídricas, concentração de solutos orgânicos, concentração de pigmentos fotossintéticos, fluorescência da clorofila *a* e trocas gasosas, conforme descrito nos próximos subtópicos. Todas as avaliações foram realizadas em cursos diários, em intervalos de duas horas, no período entre 8h e 16h. As folhas ou ramos extraídos foram acondicionados no momento da coleta em sacos plásticos pretos e mantidos em isopor com gelo, para posteriores análises, realizadas no Laboratório de Botânica Aplicada, vinculado ao Departamento de Biologia da Universidade Federal de Sergipe. Além disso, foram tomados dados de umidade do solo, a uma distância de 20 cm de cada planta avaliada, a uma profundidade de 15 cm e coletadas informações de temperatura e umidade do ar a cada meia hora, para posteriores comparações das avaliações fisiológicas com as condições climáticas. A partir dessas informações de temperatura e umidade do ar, foi possível calcular o déficit de pressão de vapor (DPV) entre a folha e o ar, segundo Vianello e Alves (1991).

### 3.2.1 Relações hídricas

As relações hídricas foram avaliadas por meio do potencial hídrico foliar e do teor relativo de água (TRA). O potencial hídrico foliar foi avaliado em uma folha, no caso do pinhão, ou ramo, no caso da catingueira, por planta, localizado na região mediana, exposto ao

sol, utilizando uma câmara de pressão modelo 3005 (Santa Bárbara Soil Moisture, USA) (Figura 8) (SCHOLANDER *et al.*, 1965). Por motivos logísticos, as avaliações do potencial hídrico não puderam ser realizadas no momento imediato da coleta. Por isso, as folhas ou ramos coletados foram armazenados em sacos pretos e em caixa térmica com isopor, de modo a manter seu status hídrico e nutricional até o momento da análise, ao retornar ao laboratório da universidade.



**Figura 8:** Câmara de Scholander para medição de potencial hídrico (A). Detalhe da saída da seiva do xilema. Fonte: A: acervo pessoal; B: foto cedida por Raiza Torres.

O teor relativo de água na folha foi medido utilizando-se cinco discos de 1 cm de diâmetro do limbo foliar. Os discos foram pesados para a obtenção do peso da matéria fresca (PMF) e imersos em água destilada por 24 horas em placas de Petri (Figura 9). As placas foram mantidas em geladeira, com o objetivo de retardar o metabolismo celular das folhas, de modo a evitar a degradação. Após o período de imersão, os discos foram pesados novamente para a determinação do peso de matéria túrgida (PMT). Em seguida, os mesmos foram levados à estufa de secagem a 70°C, sendo acondicionados em sacos de papel, por pelo menos 48 horas. Após esse período, eles foram pesados para a obtenção do valor de peso de matéria seca (PMS). Obtidos esses valores, o teor relativo de água na folha foi calculado através da equação descrita em Weatherley (1950), com valor expresso em porcentagem:

$$\text{TRA} = (\text{PMF} - \text{PMS}) / (\text{PMT} - \text{PMS}) \times 100$$



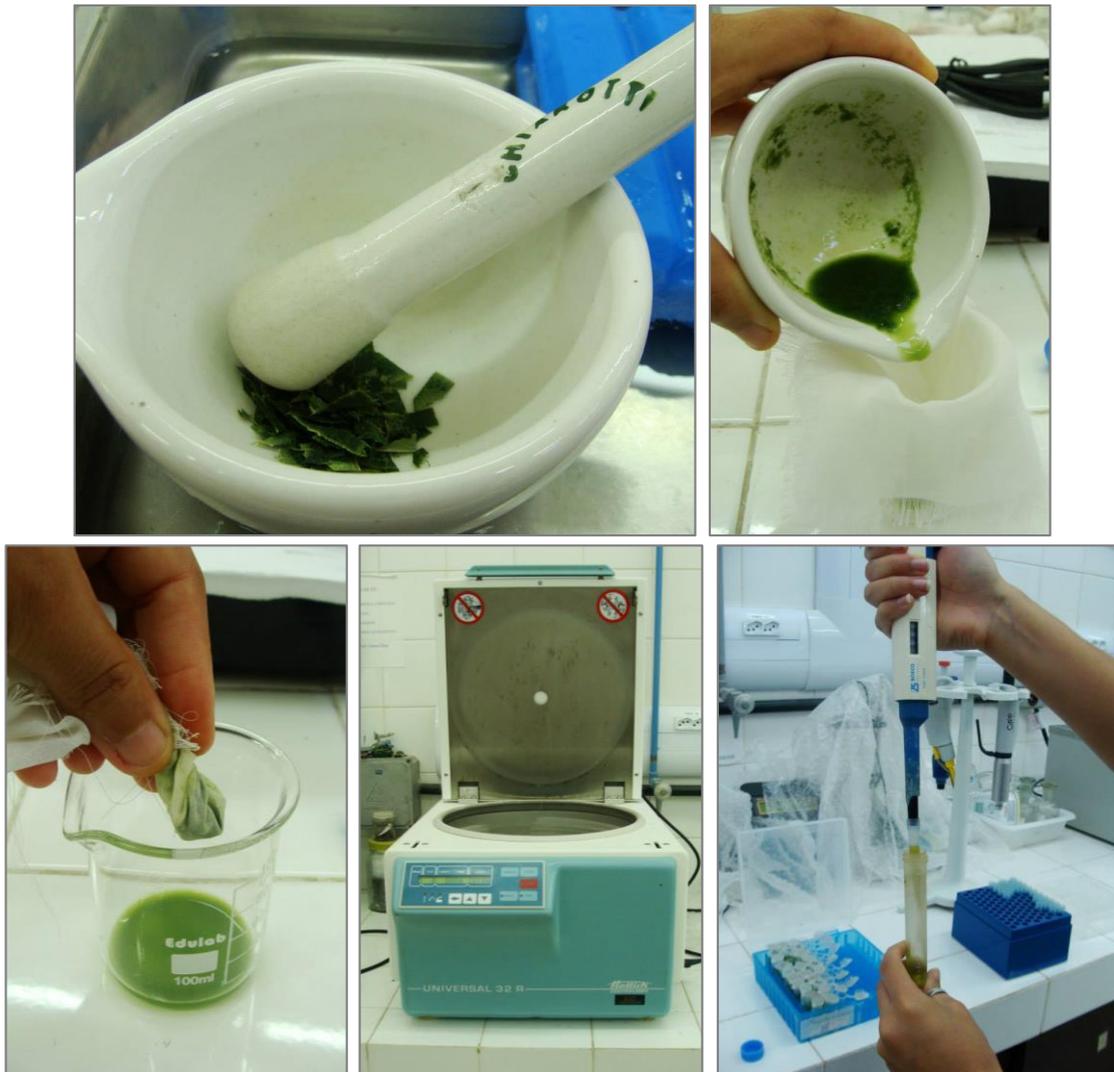
**Figura 9:** Discos de limbo foliar para análise de TRA (A). Pesagem dos discos para determinação de matéria fresca (B). Placas com os discos imersos em água destilada (C). Fonte: Fotos cedidas por Raiza Torres.

### 3.2.2 Concentração de solutos orgânicos

#### a) Preparo do extrato foliar

O extrato utilizado para as análises bioquímicas foi preparado a partir de aproximadamente 1 g do limbo foliar, sem a nervura central, retirado de folhas completamente desenvolvidas.

O extrato foi preparado utilizando-se 5 mL de tampão fosfato monobásico 0,1M, de pH igual a 7 e contendo EDTA a 0,01M. As folhas foram maceradas com esse tampão, e o material resultante foi filtrado em malha de nylon e, posteriormente, centrifugado a 8000 RPM, por 10 minutos, em centrífuga refrigerada a 0°C (Figura 10). O sobrenadante foi transferido para tubos de eppendorff de 2 mL e armazenados em freezer, sendo descongelados apenas no momento das análises (AZEVEDO NETO *et al.*, 2006).



**Figura 10:** Fotos do preparo e armazenamento do extrato foliar para as análises bioquímicas. Fonte: Fotos cedidas por Raiza Torres.

#### b) Carboidratos solúveis totais

Os carboidratos solúveis totais foram determinados a partir do método descrito por Dubois *et al.* (1956). Uma alíquota de 0,5 mL do extrato foi acrescida de 0,5 mL de fenol 5% e de 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado. Como a reação que ocorre é do tipo exotérmica, essa solução foi feita em tubos de vidro, de modo a não haver danos em decorrência da liberação de calor. Após o acréscimo do ácido, a solução foi homogeneizada através da agitação em agitador de tubos, e posta em repouso por 15 minutos em uma bandeja com água e gelo, para baixar a temperatura dos tubos. Após esse tempo, foi feita a leitura da solução em espectrofotômetro a 490 nm. O branco da leitura foi feito utilizando 0,5 mL de água destilada, submetida ao mesmo procedimento que o extrato.

As concentrações foram determinadas a partir de equação gerada através de curva padrão. Esta, por sua vez, foi feita utilizando-se soluções com concentrações de glicose anidra entre 0 e 100  $\mu\text{mol/mL}$ .

#### c) Proteínas solúveis

As proteínas solúveis foram determinadas a partir do método descrito por Bradford (1976). Foi utilizada uma alíquota de 0,2 mL do extrato vegetal foliar à qual foram acrescentados 2 mL do reagente específico de Bradford. A solução foi deixada em repouso por 15 minutos e, em seguida, foi feita a leitura em espectrofotômetro a 595 nm, tendo como branco uma cubeta contendo 0,2 mL do tampão fosfato e 2 mL do reagente de Bradford.

As concentrações foram determinadas a partir de equação gerada através de curva padrão. Esta, por sua vez, foi feita utilizando-se soluções com concentrações de proteína vinda de albumina bovina (BSA) de 0 a 100  $\mu\text{g/mL}$ .

#### d) Prolina livre

A prolina livre foi determinada a partir do método descrito por Bates (1973). A solução foi feita em tubos de ensaio com tampa rosqueável, utilizando-se 1 mL do extrato foliar, 1 mL de ninhidrina ácida e 1 mL de ácido acético glacial. Os tubos foram agitados com o auxílio de um agitador tipo vortex e depois colocados em banho-maria a 100°C, por uma hora. Em seguida, os tubos foram resfriados em banho de gelo, acrescidos de 2 mL de tolueno e novamente agitados. O cromóforo foi aspirado com pipeta de Pasteur e a leitura foi feita em espectrofotômetro a 520 nm, tendo como branco um tubo de ensaio contendo tolueno.

As concentrações foram determinadas a partir de equação gerada através de curva padrão. Esta, por sua vez, foi feita utilizando-se soluções com concentrações de prolina pura de 0 a 0,2  $\mu\text{mol/mL}$ .

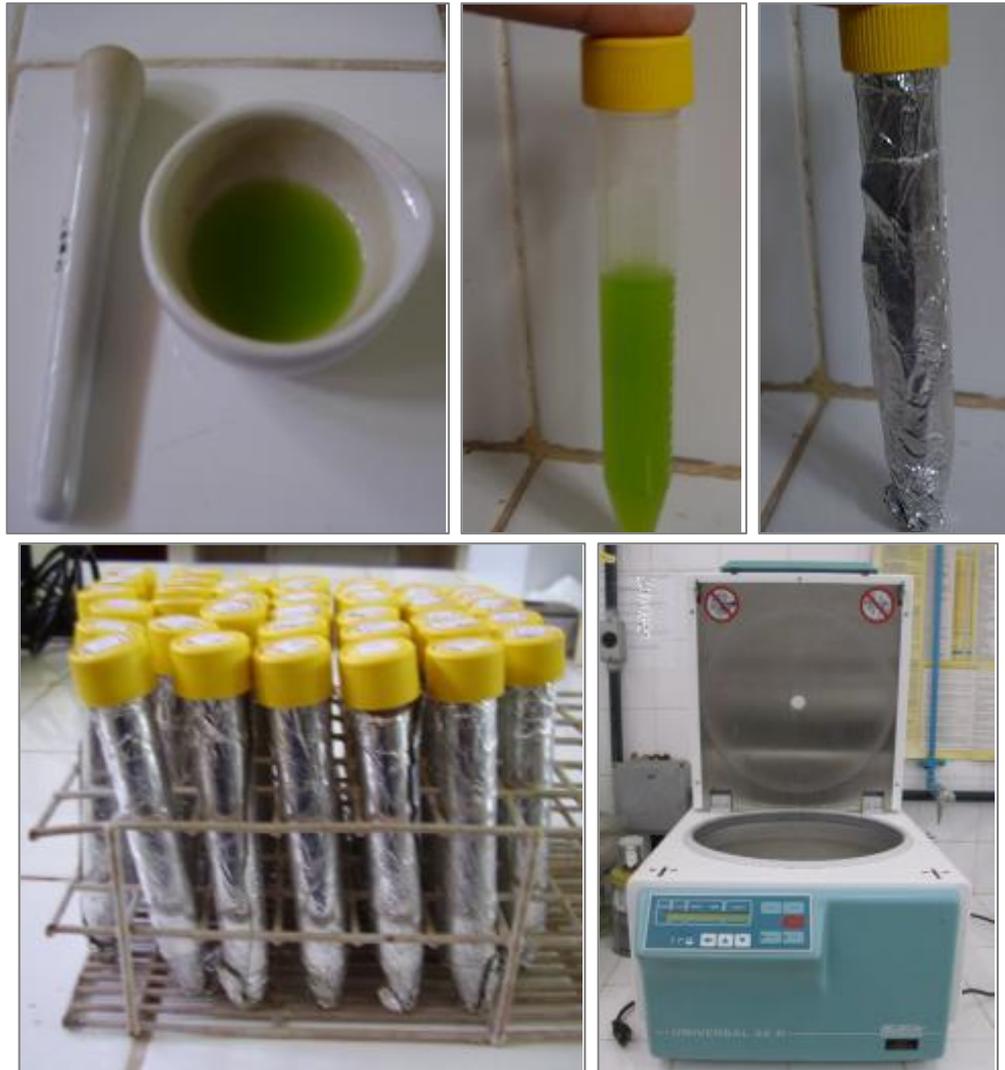
### 3.2.3 Concentração dos pigmentos fotossintéticos

Os teores de pigmentos fotossintéticos foram determinados a partir de um extrato feito com cinco discos de limbo foliar de 1 cm de diâmetro cada, que foram pesados e macerados com 10 mL de acetona 80%, seguindo o método de Arnon (1949). O material resultante foi centrifugado a 8000 RPM, durante 10 minutos, em centrífuga refrigerada a 0°C (Figura 11). Após isso, uma alíquota de 3 mL do sobrenadante foi utilizada para leitura em espectrofotômetro nos comprimentos de onda 663, 647 e 470 nm, para determinação da clorofila *a*, *b* e carotenoides, respectivamente. Para estimar as concentrações das amostras foram utilizadas as equações a seguir, segundo Lichtenthaler e Buschmann (2001):

$$Cl_a (\mu\text{g/mL}) = 12,25 \times A_{663} - 2,79 \times A_{647}$$

$$Cl_b (\mu\text{g/mL}) = 21,50 \times A_{647} - 5,10 \times A_{663}$$

$$\text{Carotenoides } (\mu\text{g/mL}) = (1000 \times A_{470} - 1,82 \times Cl_a - 85,02 \times Cl_b) / 198$$

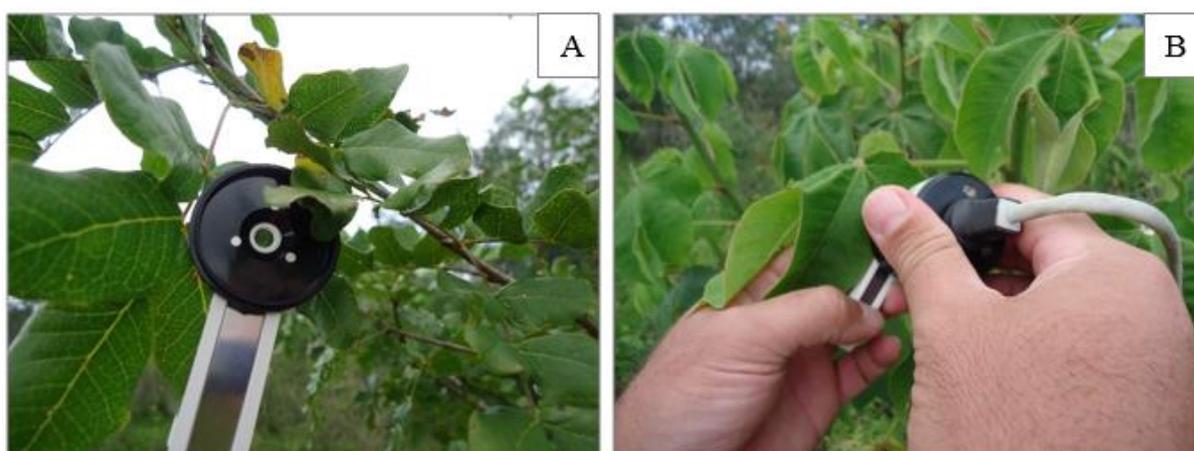


**Figura 11:** Fotos da análise de pigmentos fotossintéticos. O material macerado é colocado em tubos envoltos em papel alumínio e centrifugados. Fonte: Acervo pessoal.

#### 3.2.4 Fluorescência da clorofila *a*

As medições foram feitas em folhas maduras e completamente expandidas de ramos expostos ao sol, localizados no terço superior da copa, utilizando-se um fluorômetro portátil (Handy PEA v 1.30 Hansatech Instruments, Norfolk, UK). As folhas foram aclimatadas ao escuro com o auxílio de pinças (Figura 12). O tempo de aclimação foi definido através de testes anteriores ao dia da coleta, tendo resultado em 30 minutos. Esse tipo de pré-teste é necessário para que seja possível saber qual o tempo mínimo necessário para que o fotossistema II esteja com todos os centros de reação completamente oxidados no momento

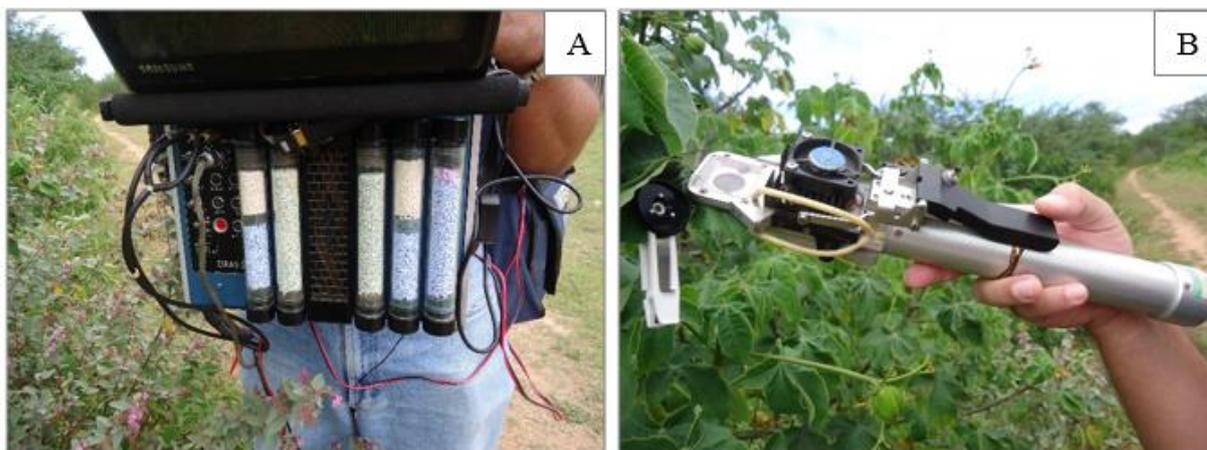
da leitura. Após esse tempo, as folhas foram expostas a um pulso saturante de luz ( $3000 \mu\text{mol}$  de fótons por  $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , comprimento de onda de 650 nm, por 1 segundo), suficiente para que todos os centros de reação funcionais fossem ativados ao mesmo tempo e possibilitando que fossem obtidas as respostas relacionadas aos transientes da clorofila *a*. Através das equações do teste OJIP, foram calculados os seguintes parâmetros, utilizando para isso o software específico fornecido juntamente ao aparelho (STRASSER *et al.*, 1995): fluorescência inicial ( $F_0$ ); fluorescência máxima ( $F_m$ ); eficiência máxima do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ); energia de dispersão por energia absorvida ( $DI_0/ABS$ ); índice de desempenho ( $IP_{ABS}$ ); área da curva OJIP (Área), que indica o pool de elétrons transportados para o ciclo de Calvin; e densidade máxima de centros de reação por seção transversal ( $RC/CS_m$ ).



**Figura 12:** Fotos da análise de fluorescência. Pinça foliar para aclimação dos fotossistemas (A) e sensor do fluorômetro (B). Fonte: Acervo pessoal.

### 3.2.5 Trocas gasosas

As avaliações foram feitas em folhas maduras e completamente expandidas, dando preferência a folhas de ramos completamente expostos ao sol e localizados no terço superior das plantas. As medições foram feitas com um analisador portátil de gás a infravermelho (IRGA) (Figura 13), modelo CIRAS-2 (PPSystems, Hitchin, UK). Foram obtidos valores das seguintes variáveis: transpiração ( $E$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), fotossíntese líquida ( $A$ ), concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ), temperatura da folha ( $T_f$ ) e radiação fotossinteticamente ativa (PAR).



**Figura 13:** Fotos da análise de trocas gasosas. Analisador portátil de gás a infravermelho -IRGA (A) e detalhe da pinça de análise do aparelho (B). Fonte: Acervo pessoal.

### 3.2.6 Delineamento experimental e análise estatística

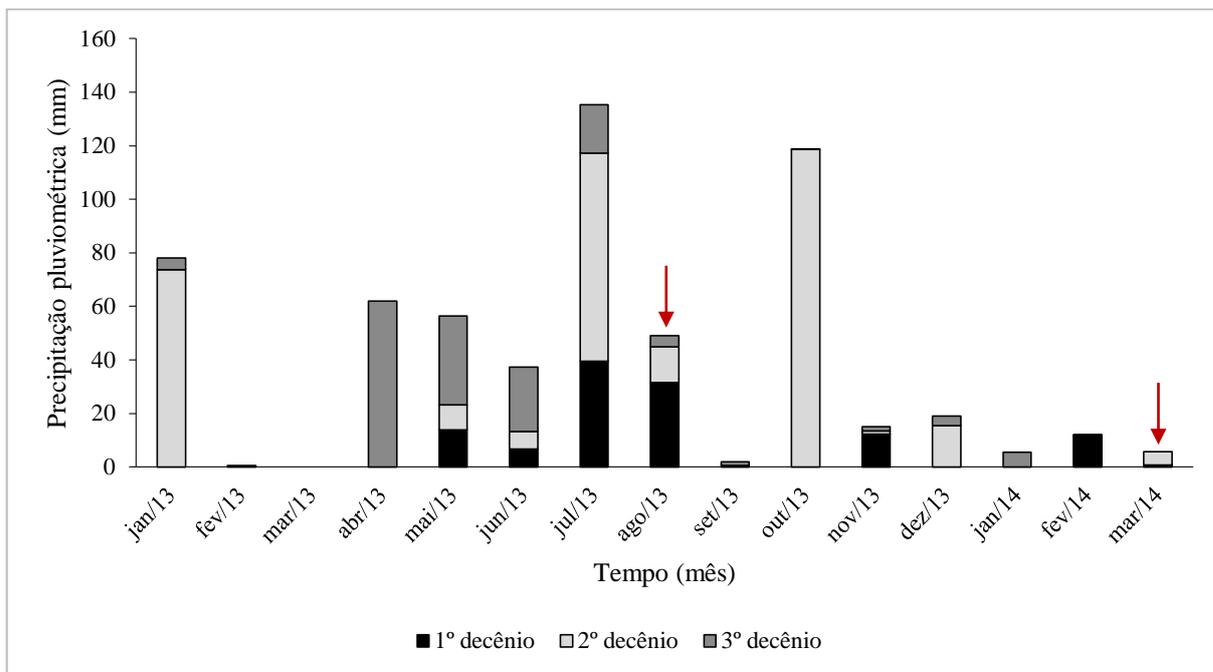
O delineamento experimental foi feito de forma inteiramente casualizada, utilizando-se cinco repetições para cada espécie estudada (*Poincianella pyramidalis* – catingueira – e *Jatropha mollissima* – pinhão-bravo) em duas estações (chuvosa e seca), formando um experimento fatorial duplo (sendo os fatores a estação e os horários). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e comparados pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). O programa utilizado foi o Assistat 7.7 beta.

## **4 Resultados**

### **4.1 Dados climáticos**

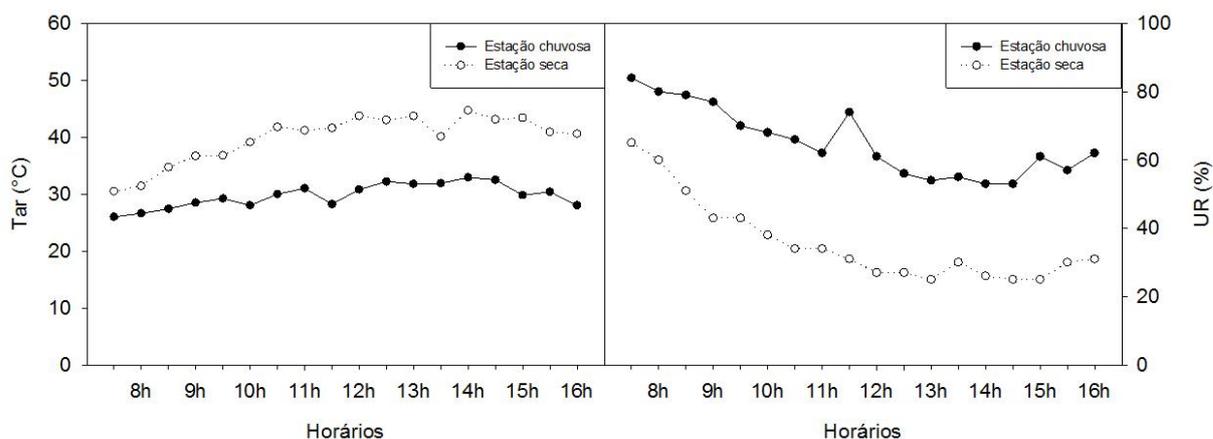
Durante o período experimental, a região apresentou bastante irregularidade na distribuição das chuvas (Figura 14). O período chuvoso se concentrou entre os meses de abril e agosto, que juntos somaram 340,3 mm de precipitação, o que representou 60% de toda a chuva do ano de 2013. Após um mês praticamente sem chuva (em setembro de 2013 a precipitação mensal foi de 1,9 mm), houve outro pico de chuva, tendo sido observada uma precipitação de 118,9 mm no mês de outubro. Dessa forma, cerca de 80% da precipitação total do ano de 2013 (573,6 mm) ocorreu em apenas seis meses, tendo os outros meses do ano apresentado chuvas mais pontuais, a exemplo do mês de janeiro de 2013, que apresentou mais de 70 mm de precipitação porém concentrados apenas no segundo decênio do mês.

A coleta da estação chuvosa foi realizada no dia 20 de agosto de 2013 (fim do segundo decênio do mês), ou seja, próximo ao fim do período chuvoso, de forma que as plantas pudessem apresentar condições ótimas de hidratação. Já a coleta da estação seca foi realizada no dia 07 de março de 2014 (primeiro decênio do mês), período em que as plantas já se encontravam em situação de escassez hídrica há alguns meses, de forma a apresentar resultados fisiológicos que pudessem caracterizar de forma segura uma situação de estresse hídrico.



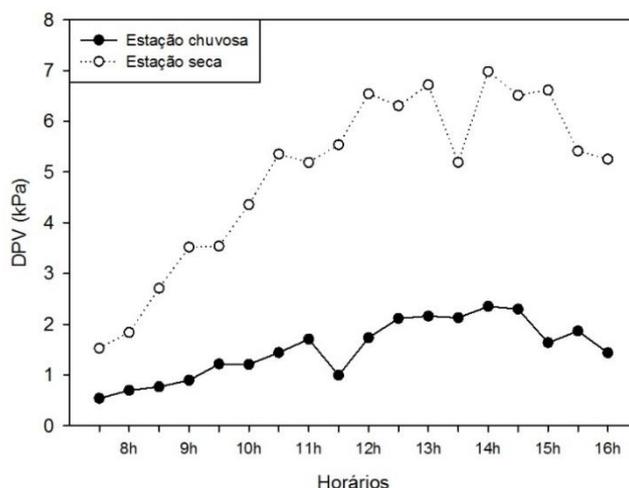
**Figura 14:** Distribuição da precipitação mensal dividida por decênios no município de Poço Redondo/SE durante os anos de 2013 e início de 2014. Fonte: SEMARH/SE.

Durante o período experimental, foi constatado um aumento de dez graus em média na temperatura do ar entre as estações chuvosa e seca (média diária de 29,7 °C na estação chuvosa e de 39,8 °C na estação seca) e uma diminuição de 30% em média na umidade relativa do ar (média diária de 65,1% na estação chuvosa e de 35,8% na estação seca) entre as estações, com maior temperatura observada às 14 horas (44,7 °C) e a menor umidade relativa do ar às 14 horas e 30 minutos (25%) na estação seca (Figura 15).



**Figura 15:** Curso diário da temperatura do ar (Tar) e umidade relativa do ar (UR) na estação chuvosa e na estação seca. Os valores foram coletados a cada meia hora durante o período de coleta.

O déficit de pressão de vapor (DPV) apresentou valores bem mais altos na estação seca, quando comparado com a estação chuvosa (Figura 16). Na estação chuvosa, o DPV apresentou menor valor no começo do dia (0,54 kPa às 7h30), e os maiores valores entre meio-dia e 14h30 (média de 2,21 kPa). Às 11h30, houve redução do DPV (0,99 kPa), em decorrência da presença de nuvens, o que ocasionou a redução da temperatura (28,2 °C) e aumento da umidade do ar (74%) nesse horário (Figura 15). Posteriormente, com a passagem das nuvens, a temperatura e a umidade do ar, e por consequência o DPV, voltaram a apresentar valores coerentes com a medição anterior ao chuvisco.



**Figura 16:** Curso diário do déficit de pressão de vapor (DPV) na estação chuvosa e na estação seca. Os valores foram coletados a cada meia hora durante o período de coleta.

A umidade do solo na proximidade das árvores analisadas reduziu cerca de 65%, com valores médios de 11,8% na estação chuvosa, e de 4,1% na estação seca. Além disso, houve diferença de umidade do solo entre as espécies, visto que a região das plantas da catingueira apresentava uma maior quantidade de serrapilheira no solo do que o local onde estavam as plantas do pinhão-bravo. Os valores de cada espécie por estação estão representados na tabela 1.

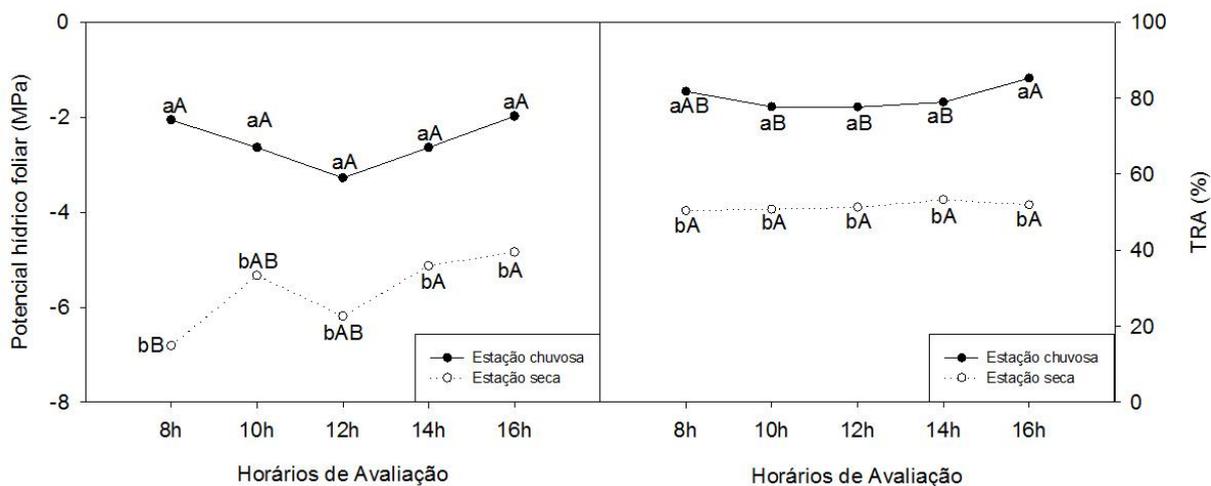
**Tabela 1:** Umidade do solo próximo nas estações chuvosa e seca para a *Poincianella pyramidalis* (catingueira) e para a *Jatropha mollissima* (pinhão-bravo). (n=5).

Espécie	Estação chuvosa	Estação seca
<b>Catingueira</b>	14,3%	4,9%
<b>Pinhão-bravo</b>	9,4%	3,4%

## 4.2 Catingueira (*Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz)

### 4.2.1 Relações hídricas

As relações hídricas da catingueira foram bastante afetadas durante a estação seca (Figura 17). O potencial hídrico foliar decaiu 3 MPa em média, passando de -2,5 MPa (valor médio) na estação chuvosa para -5,5 MPa (valor médio) na estação seca. Não houve diferença entre os horários na estação chuvosa. Já na estação seca, o potencial mais negativo (-6,8 MPa) foi encontrado às oito horas, e os mais elevados, às 14 e às 16 horas (-5,13 e -4,84 MPa respectivamente). O teor relativo de água (TRA) também sofreu redução bastante significativa da estação chuvosa para a seca. Na estação chuvosa, as plantas mantiveram valores de TRA em torno dos 80%, com pequena redução nos horários mais quentes (cerca de 77% às 10 e às 12 horas). Já na estação seca, os valores permaneceram em torno de 51,5%, sem ocorrer diferença entre os horários.

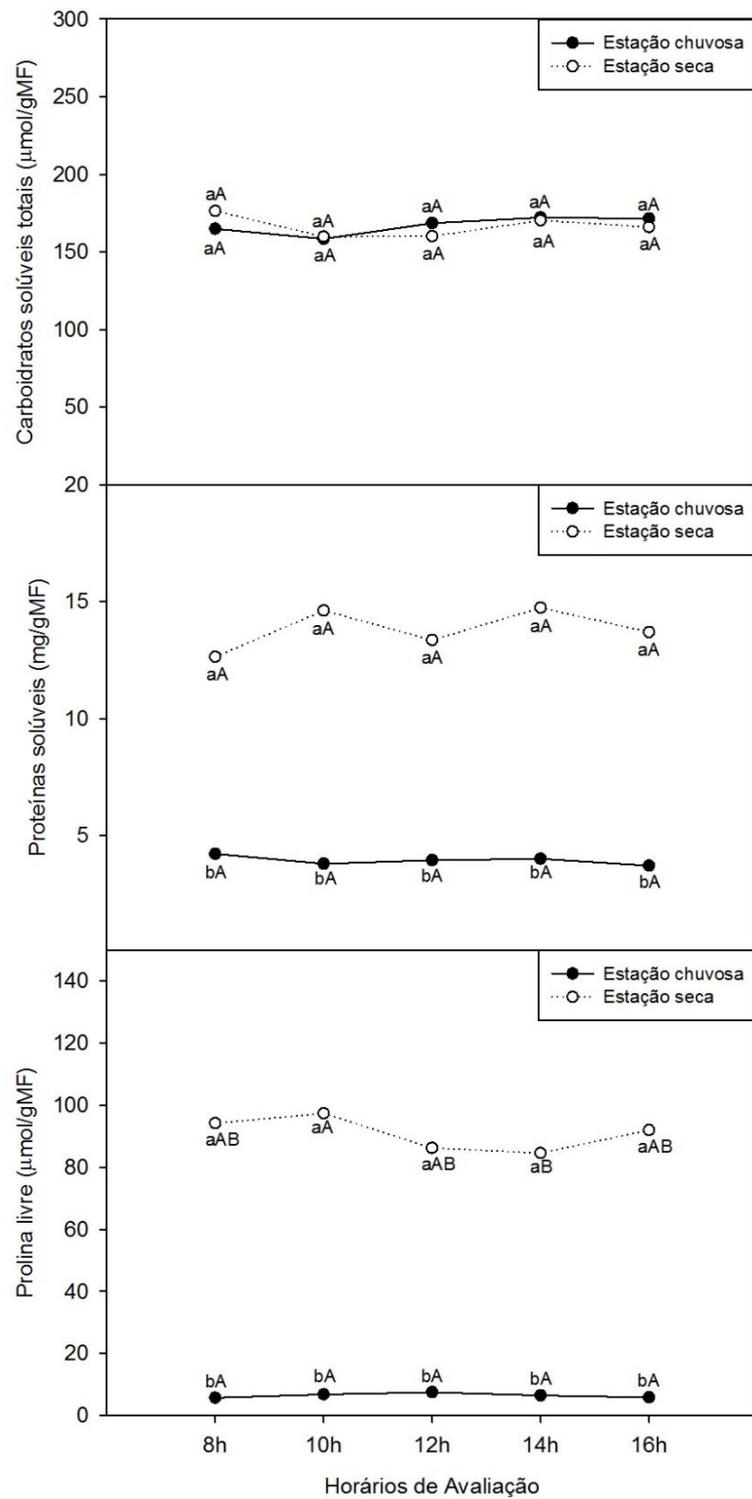


**Figura 17:** Curso diário do potencial hídrico foliar e teor relativo de água na folha (TRA) de *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz. Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). (n=5).

### 4.2.2 Concentração de solutos orgânicos

As variações das concentrações de solutos orgânicos da catingueira estão apresentadas na figura 18. Os valores dos carboidratos solúveis totais e das proteínas solúveis não apresentaram diferenças significativas dentro dos horários de cada época. Entre as épocas, não houve diferença significativa para os carboidratos solúveis totais, que apresentaram valor médio de 166,78  $\mu\text{mol/gMF}$ . As proteínas solúveis apresentaram aumento bastante significativo na estação seca, quando comparados com a estação chuvosa. O valor médio encontrado para a estação chuvosa foi de 3,93 mg/gMF e, para a estação seca, foi de 13,80 mg/gMF, representando um aumento de 250%.

A prolina livre apresentou diferença significativa tanto entre as épocas quanto entre os horários, porém neste último apenas para a estação seca. Nesta estação, o maior valor foi encontrado às 10 horas (97,34  $\mu\text{mol/gMF}$ ) e o menor, às 14 horas (84,57  $\mu\text{mol/gMF}$ ). Os demais horários não diferiram entre si nem dos anteriormente apresentados, tendo apresentado valor médio de 90,80  $\mu\text{mol/gMF}$ . Já na estação chuvosa, não houve diferença estatística entre os horários, tendo sido encontrado uma concentração de prolina livre em torno de 6,48  $\mu\text{mol/gMF}$ . Entre as estações, é possível afirmar que a concentração de prolina livre na estação seca foi cerca de quatorze vezes maior do que a que foi encontrada na estação chuvosa.



**Figura 18:** Curso diário da concentração de carboidratos solúveis totais, proteínas solúveis e prolina livre de *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz. Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). (n=5).

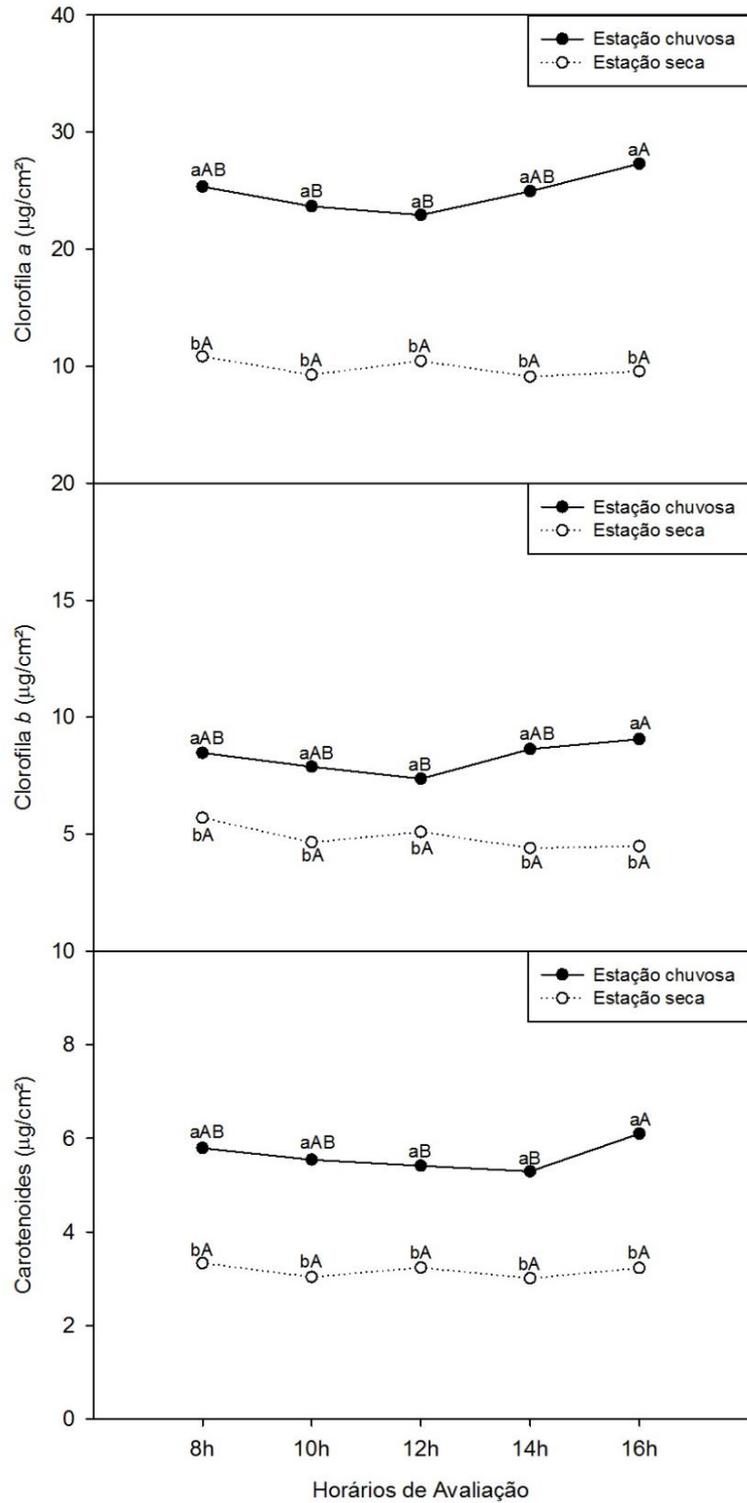
#### 4.2.3 Concentração dos pigmentos fotossintéticos

As concentrações de pigmentos fotossintéticos apresentaram variações entre as estações, com valores maiores na estação chuvosa do que na seca, e variações entre os horários apenas para a estação chuvosa (Figura 19). Os teores de clorofila *a* apresentaram, na estação chuvosa, maior valor às 16 horas (27,30  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) e menores valores às 10 e às 12 horas (média de 23,29  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ). Na estação seca, o valor médio encontrado foi de 9,83  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ . A concentração de clorofila *b* apresentou, na estação chuvosa, maior valor às 16 horas (9,06  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) e menor valor às 12 horas (7,37  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ). Na estação seca, o valor médio encontrado foi de 4,87  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ . Os carotenoides, assim como as clorofilas, apresentaram maior valor às 16 horas (6,10  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ), e seus menores valores foi encontrado às 12 e às 14 horas (média de 5,35  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ). Na estação seca, o valor médio encontrado foi de 3,17  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ .

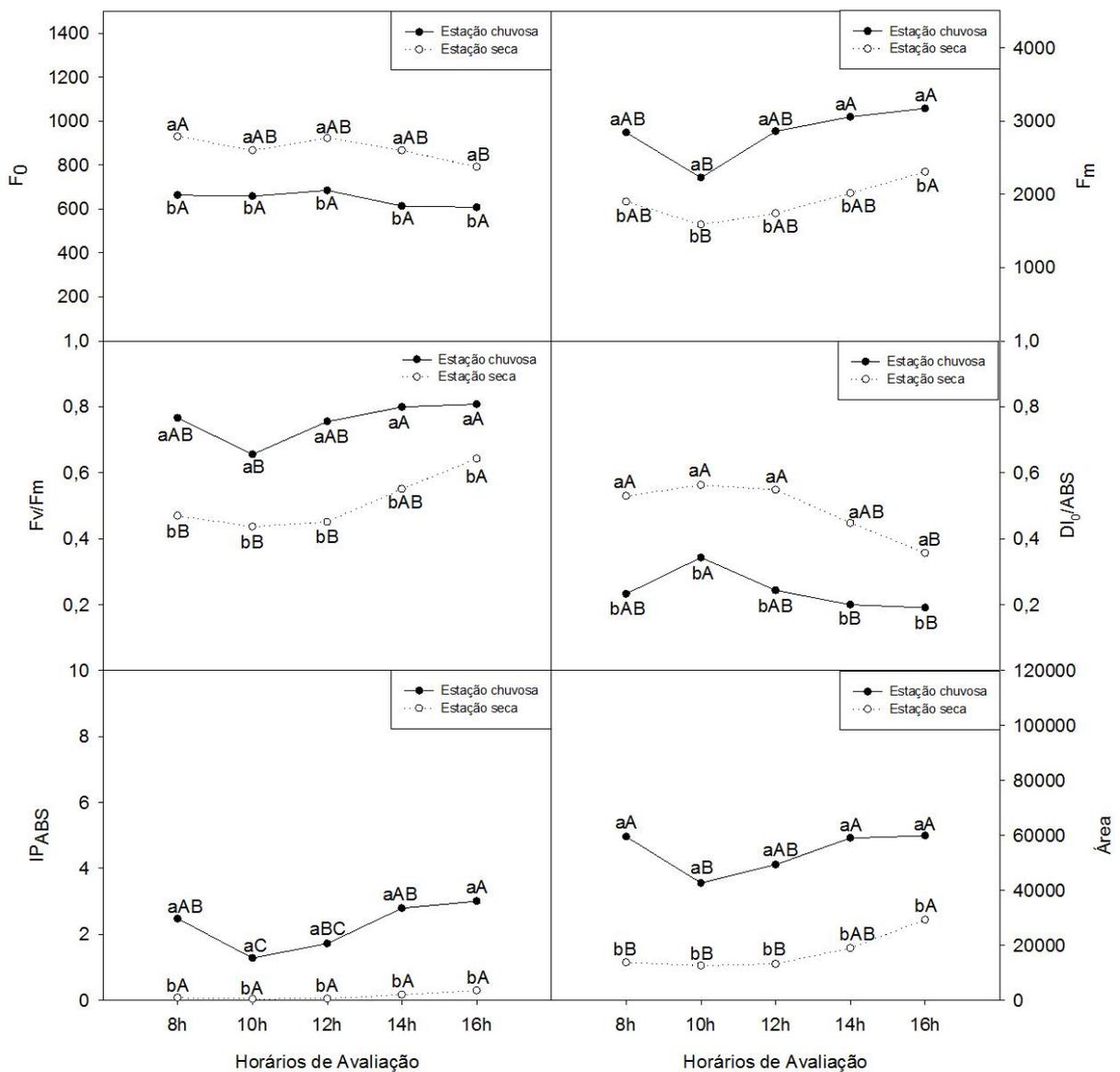
#### 4.2.4 Fluorescência da clorofila *a*

A fluorescência da clorofila *a* da catingueira foi bastante afetada pelo déficit hídrico ocasionado na estação seca (Figura 20). A fluorescência inicial não apresentou diferenças significativas entre os horários na estação chuvosa, mantendo valores em torno de 875. Já na estação seca, os valores encontrados foram significativamente maiores que os da estação chuvosa, com diferenças entre os horários, tendo o maior valor sido encontrado às 8 horas (930) e o menor, às 16 horas (791).

A fluorescência máxima apresentou diferenças significativas tanto entre os horários quanto entre as estações, com os maiores valores tendo sido encontrados na estação chuvosa. O maior valor de fluorescência máxima na estação chuvosa foi encontrado às 14 e às 16 horas (3.059 e 3.172 respectivamente) e o menor, às 10 horas (2.228). Na estação seca, o maior e o menor valor foram semelhantes aos que foram observados na estação chuvosa (maior valor às 16 horas – 2.306 – e menor, às 10 horas – 1.587).



**Figura 19:** Curso diário da concentração de clorofilas a e b e carotenoides de *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz. Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). (n=5).



**Figura 20:** Curso diário da fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), eficiência máxima do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), energia de dispersão por energia absorvida ( $DI_0/ABS$ ), índice de desempenho ( $IP_{ABS}$ ) e área da curva OJIP (Área) de *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz. Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). ( $n=5$ ).

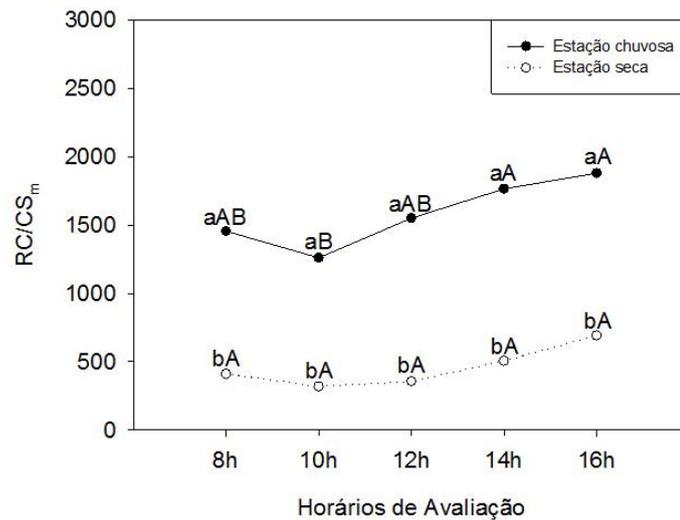
O índice de eficiência máxima do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), considerado um dos melhores parâmetros para indicar qual é a situação da planta sob estresse no que diz respeito à fluorescência da clorofila *a*, apresentou redução significativa na estação seca, comparando-se com a estação chuvosa. Na estação chuvosa, os maiores valores foram encontrados à tarde (0,80 às 14 horas e 0,81 às 16 horas) e o menor, às 10 horas (0,66). Já na estação seca, houve diferença entre os horários, com menor índice de eficiência máxima observado pela manhã e ao meio-dia (em média 0,45), e maior índice, no fim da tarde (0,64 às 16 horas).

A energia dissipada por energia absorvida ( $DI_0/ABS$ ) apresentou relação inversa à encontrada para a eficiência máxima do fotossistema II. Os valores da estação chuvosa foram menores que os da estação seca, tendo sido observadas as mesmas diferenças entre os horários que foram obtidas para a  $F_v/F_m$ . Isso se dá pelo fato de essas variáveis serem complementares. Assim, na estação chuvosa o maior valor de energia dissipada por energia absorvida foi observado às 10 horas (0,34) e os menores, às 14 e às 16 horas (0,20 e 0,19 respectivamente), enquanto que na estação seca os valores se mantiveram em torno de 0,54 do período da manhã até o meio-dia, atingindo o menor valor observado nesse período às 16 horas (0,36).

O índice de desempenho ( $IP_{ABS}$ ), considerado por alguns autores como sendo um parâmetro mais sensível do que a eficiência máxima do fotossistema II, também apresentou redução significativa na estação seca. Na estação chuvosa, houve diferença entre os horários, com redução do índice de desempenho às 10 horas (1,28), e aumento às 16 horas (3,00). Já na estação seca, não houve diferença entre os horários, com o índice de desempenho mantendo valores em torno de 0,12.

A área da curva OJIP, que representa o pool de elétrons transportados para o ciclo de Calvin, apresentou diferença significativa entre as épocas, com valores consideravelmente superiores na estação chuvosa. Entre os horários, foi observada uma redução significativa às 10 horas na estação chuvosa, horário em que a área da curva OJIP apresentou valor de 42.692, enquanto que nos demais horários os valores giraram em torno de 56.971. Já na estação seca, os menores valores foram encontrados na parte da manhã e ao meio-dia (média de 13.214) e o maior valor foi observado às 16 horas (29.289).

Foi possível perceber também redução significativa na quantidade máxima de centros de reação por seção transversal (Figura 21), variável intimamente ligada à quantidade de pigmentos fotossintéticos disponíveis na planta. Na estação chuvosa, os valores variaram de 1.260 (medição das oito horas) a 1.880 (16 horas). Já na estação seca, não houve variação entre os horários, com os valores girando em torno de 457, valor cerca de três vezes menor que o menor valor encontrado na estação chuvosa.



**Figura 21:** Curso diário da densidade máxima de centros de reação por seção transversal ( $RC/CS_m$ ) de *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz. Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). ( $n=5$ ).

#### 4.2.5 Trocas gasosas

As variáveis de trocas gasosas apresentaram diferenças significativas tanto entre as estações quanto entre os horários dentro de cada estação (Figura 22). Os valores de fotossíntese líquida apresentaram, na estação chuvosa, valores mais altos na parte da manhã e ao meio-dia ( $5,80 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  em média), e valores mais baixos durante à tarde, com  $-0,02 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  às 14 horas e  $-1,27 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  às 16 horas, sendo que, estatisticamente, eles não diferiram entre si.

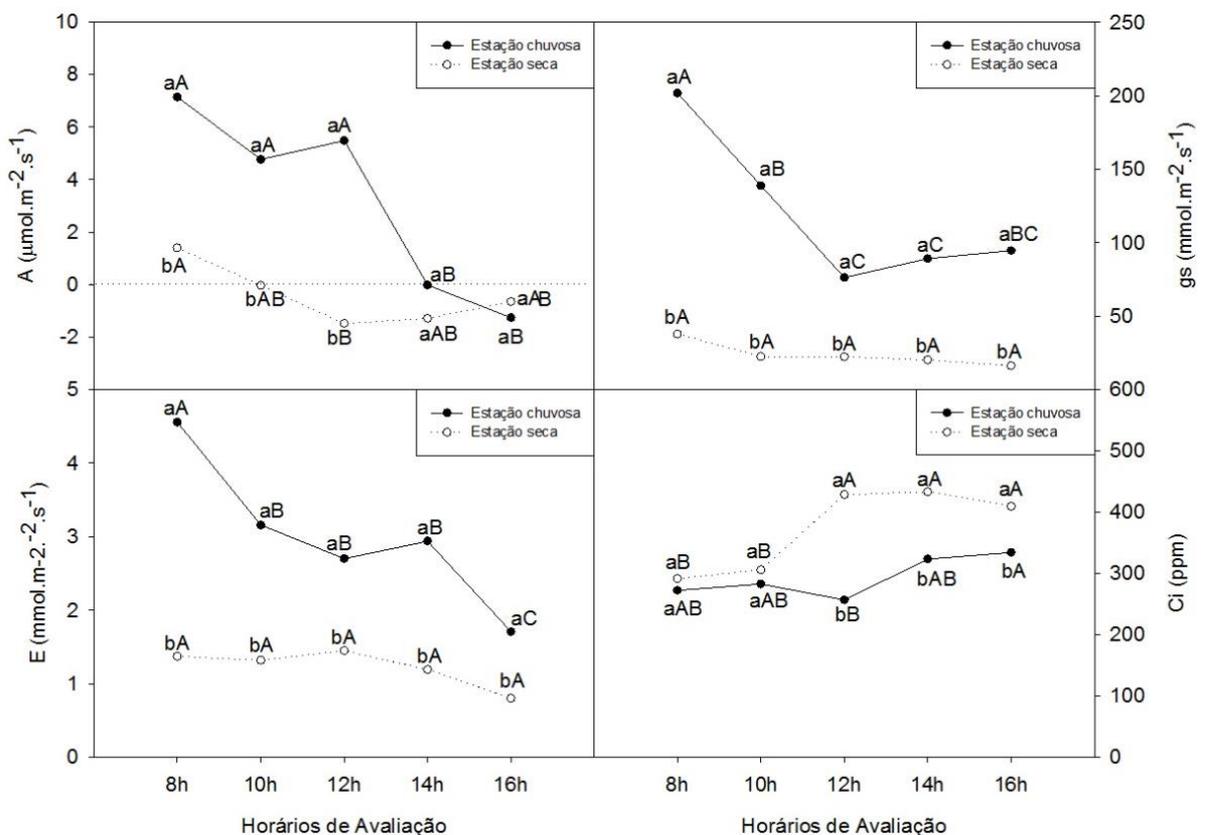
Na estação seca, o único valor positivo de fotossíntese líquida foi encontrado às 8 horas ( $1,40 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ). Nos demais horários, os valores encontrados foram negativos, o que significa dizer que a planta estava respirando mais do que estava fotossintetizando. O menor valor foi observado às 12 horas ( $-1,49 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ).

A condutância estomática ( $g_s$ ) também apresentou comportamento diferenciado entre as estações. Na estação chuvosa, foi possível perceber que os estômatos estavam mais abertos no começo do dia ( $201,69 \text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  às 8 horas), com gradativo fechamento durante a manhã, atingindo ao meio-dia valor quase três vezes menor do que o observado às 8 horas ( $76 \text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ). Durante a tarde, os valores foram de  $89,15 \text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  e  $94,65 \text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , às 14 horas e às 16 horas respectivamente, não diferindo do valor encontrado ao meio-dia. Já

na estação seca, não houve diferença estatística entre os horários, mas todos os valores foram significativamente menores que os observados na estação chuvosa. A condutância estomática na estação seca apresentou valor médio ao longo do dia de 23,85  $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .

Na estação chuvosa, a transpiração apresentou pico no início do dia, com valor médio de 4,55  $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  no horário de oito horas, e menor valor às 16 horas (1,71  $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ). Os demais horários não apresentaram diferença significativa entre si, permanecendo em torno de 2,93  $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . Já na estação seca, a transpiração apresentou, durante todo o curso diário, valores significativamente menores do que os que foram encontrados na estação chuvosa, sem ter sido encontrada diferença estatística entre os horários. O valor médio da transpiração, na estação seca, foi de 1,22  $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .

A concentração de  $\text{CO}_2$  interno no mesófilo foliar apresentou diferença significativa entre os horários na estação chuvosa, com menor valor às 12 horas (256,48 ppm) e maior às 16 horas (334,19 ppm). Já na estação seca, os horários da manhã apresentaram valores significativamente menores (291,40 ppm às 8 horas e 305,85 ppm às 10 horas) que nos demais horários do dia (423,76 ppm em média).



**Figura 22:** Curso diário da fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), transpiração (E) e concentração de  $\text{CO}_2$  interno no mesófilo foliar (Ci) de *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz.

Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). (n=5).

As variações observadas na temperatura foliar acompanharam as variações da radiação fotossinteticamente ativa (Tabela 2). Essa, por sua vez, apresentou uma queda inesperada às 10 horas, fato que ocorreu devido à passagem de nuvens no momento da medição. Na estação seca, as folhas apresentaram, em média, 6°C a mais do que na estação chuvosa. O único horário em que a temperatura foliar apresentou valores semelhantes entre as estações seca e chuvosa foi às 8 horas, em que as folhas estavam com temperatura em torno de 34°C.

Na estação chuvosa, o pico de temperatura foliar foi observado nos horários das 12 e das 14 horas, com cerca de 35 °C. Nos demais horários, as folhas apresentaram temperaturas menores (31,6 °C às 10 horas e 27,5 °C às 16 horas). Já na estação seca, as maiores temperaturas ocorreram às 10 e às 12 horas, com cerca de 41 °C em ambos os horários. Enquanto que na estação chuvosa foi possível observar um sensível resfriamento das folhas no fim do dia, na estação seca a temperatura diminuiu às 16 horas, apresentando 37,4 °C, valor maior do que os maiores valores encontrados na estação chuvosa.

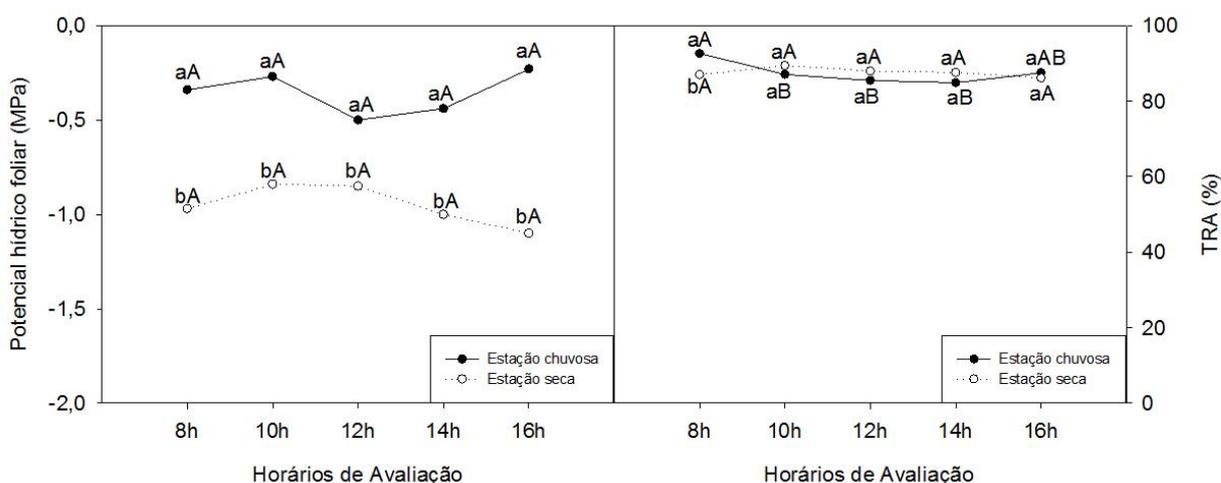
**Tabela 2:** Curso diário da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e temperatura foliar (Tf) de *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz. Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). (n=5).

Horários	PAR		Tf (°C)	
	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco
<b>8 horas</b>	1682 aA	773 bBC	33,9 aB	34,9 aD
<b>10 horas</b>	657 bC	1381 aA	31,6 bC	41,3 aA
<b>12 horas</b>	1180 aAB	1182 aAB	35,9 bA	41,3 aA
<b>14 horas</b>	774 aBC	919 aABC	36,0 bA	39,5 aB
<b>16 horas</b>	104 aD	585 aC	27,5 bD	37,4 aC

### 4.3 Pinhão-bravo (*Jatropha mollissima* (Pohl) Baill.)

#### 4.3.1 Relações hídricas

O pinhão-bravo apresentou redução significativa nos valores de potencial hídrico entre as estações (Figura 23). Na estação chuvosa, os valores apresentaram-se em torno de -0,4 MPa, enquanto que na estação seca o potencial hídrico foi, em média, -0,9 MPa, ou seja, mais do que o dobro do encontrado na estação chuvosa. Em ambas as estações não foram encontradas diferenças significativas entre os horários. No entanto, apesar da redução no potencial hídrico, o teor relativo de água (TRA) apresentou valores semelhantes entre as estações (média de 87,5%), com pequenas variações.



**Figura 23:** Curso diário do potencial hídrico foliar e teor relativo de água na folha (TRA) de *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). (n=5).

#### 4.3.2 Concentração de solutos orgânicos

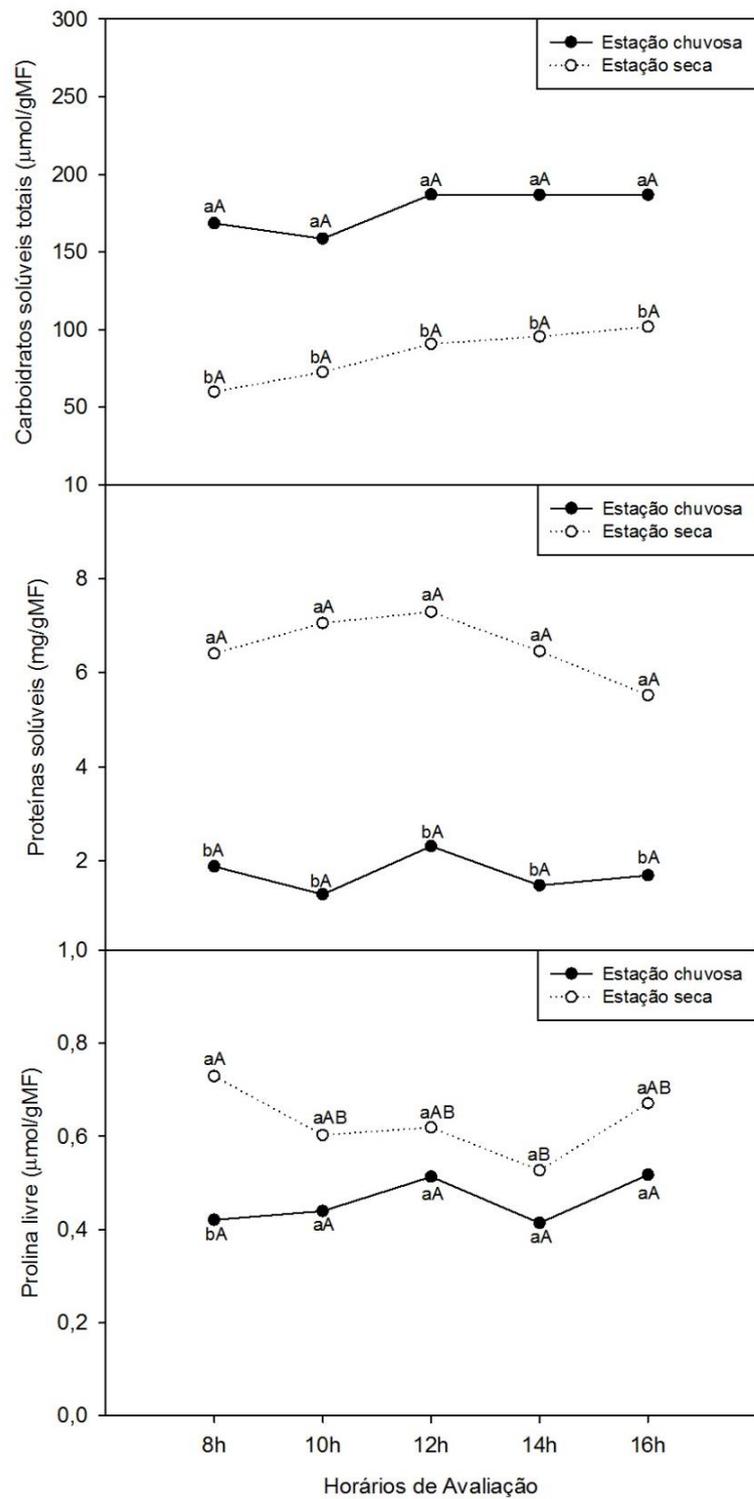
O pinhão-bravo não apresentou diferenças significativas nos valores das concentrações de carboidratos solúveis totais e de proteínas solúveis entre os horários dentro de cada época, tendo sido observada diferença entre as estações (Figura 24). Para os carboidratos solúveis

totais, os maiores valores foram encontrados na estação chuvosa, com valor médio de 177,46  $\mu\text{mol/gMF}$ , enquanto que na estação seca a concentração foi de, em média, 84,04  $\mu\text{mol/gMF}$ , ou seja, cerca de metade do valor encontrado na primeira. Para as proteínas foi observado aumento na estação seca. Os valores médios foram de 1,73  $\text{mg/gMF}$ , em média, na estação chuvosa, e de 6,55  $\text{mg/gMF}$ , em média, na estação seca, o que representa um aumento de quase 300%.

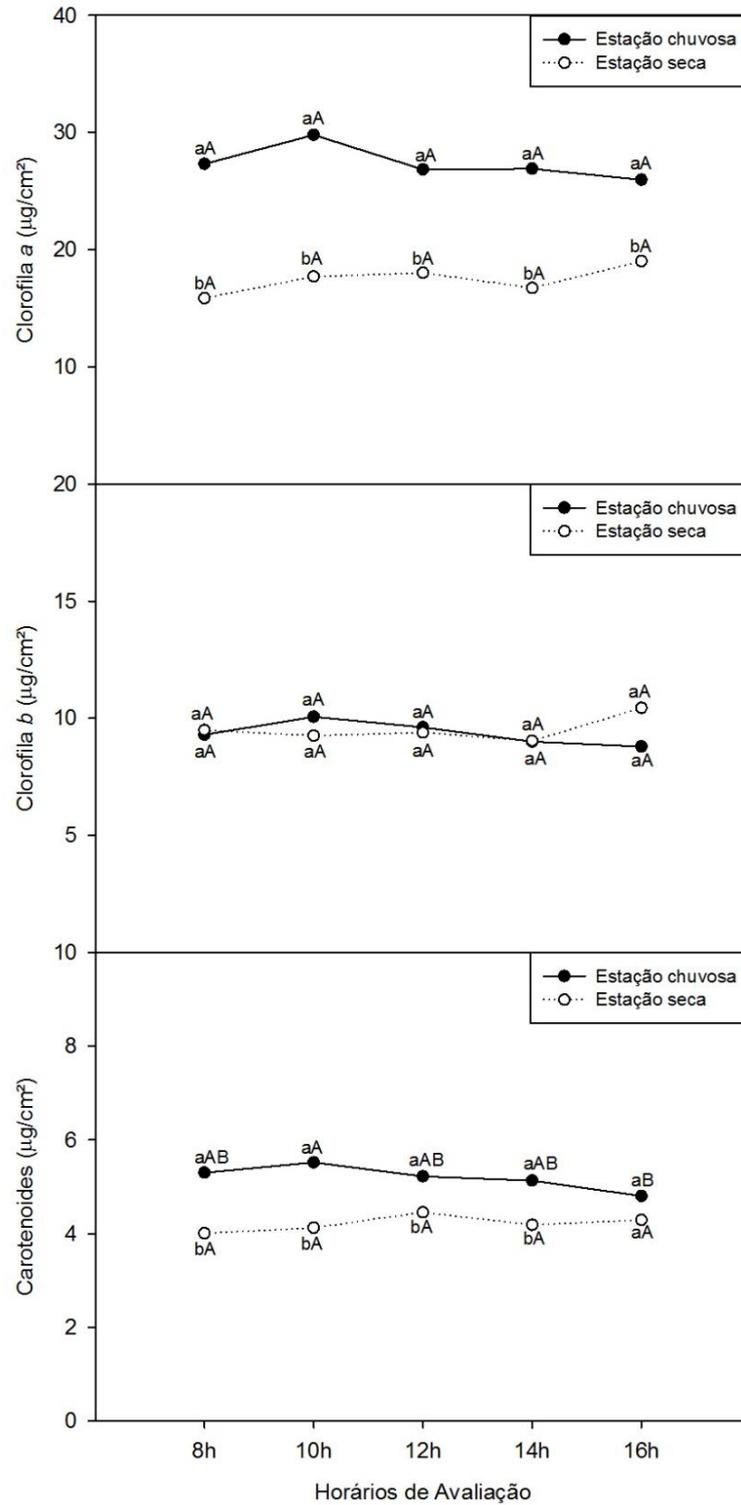
Os valores de prolina livre diferiram entre as épocas no horário das oito horas (0,42  $\mu\text{mol/gMF}$  na estação chuvosa e 0,73  $\mu\text{mol/gMF}$  na estação seca), mas se apresentaram estatisticamente semelhantes nos demais horários (0,54  $\mu\text{mol/gMF}$  em média), ainda que seja possível perceber uma tendência a valores mais altos na estação seca. Durante a estação seca, houve ainda diferença entre os horários, com maior valor observado às 8 horas e o menor, às 14 horas (0,53  $\mu\text{mol/gMF}$ ).

#### 4.3.3 Concentração dos pigmentos fotossintéticos

Dos teores de pigmentos fotossintéticos analisados, foi observada diferença significativa entre as estações apenas para as concentrações de clorofila *a* e de carotenoides (Figura 25). Os teores de clorofila *a* apresentaram valores em torno de 27,36  $\mu\text{g/cm}^2$  na estação chuvosa e de 17,46  $\mu\text{g/cm}^2$  na estação seca; A clorofila *b* não apresentou diferença significativa entre as estações, apresentando valor médio de 9,44  $\mu\text{g/cm}^2$ . Os carotenoides apresentaram concentrações de 5,19  $\mu\text{g/cm}^2$ , em média, na estação chuvosa e de 4,21  $\mu\text{g/cm}^2$ , em média, na estação seca.



**Figura 24:** Curso diário das concentrações de carboidratos solúveis totais, proteínas solúveis e prolina livre de *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). (n=5).



**Figura 25:** Curso diário da concentração de clorofilas a e b e carotenoides de *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). (n=5).

#### 4.3.4 Fluorescência da clorofila *a*

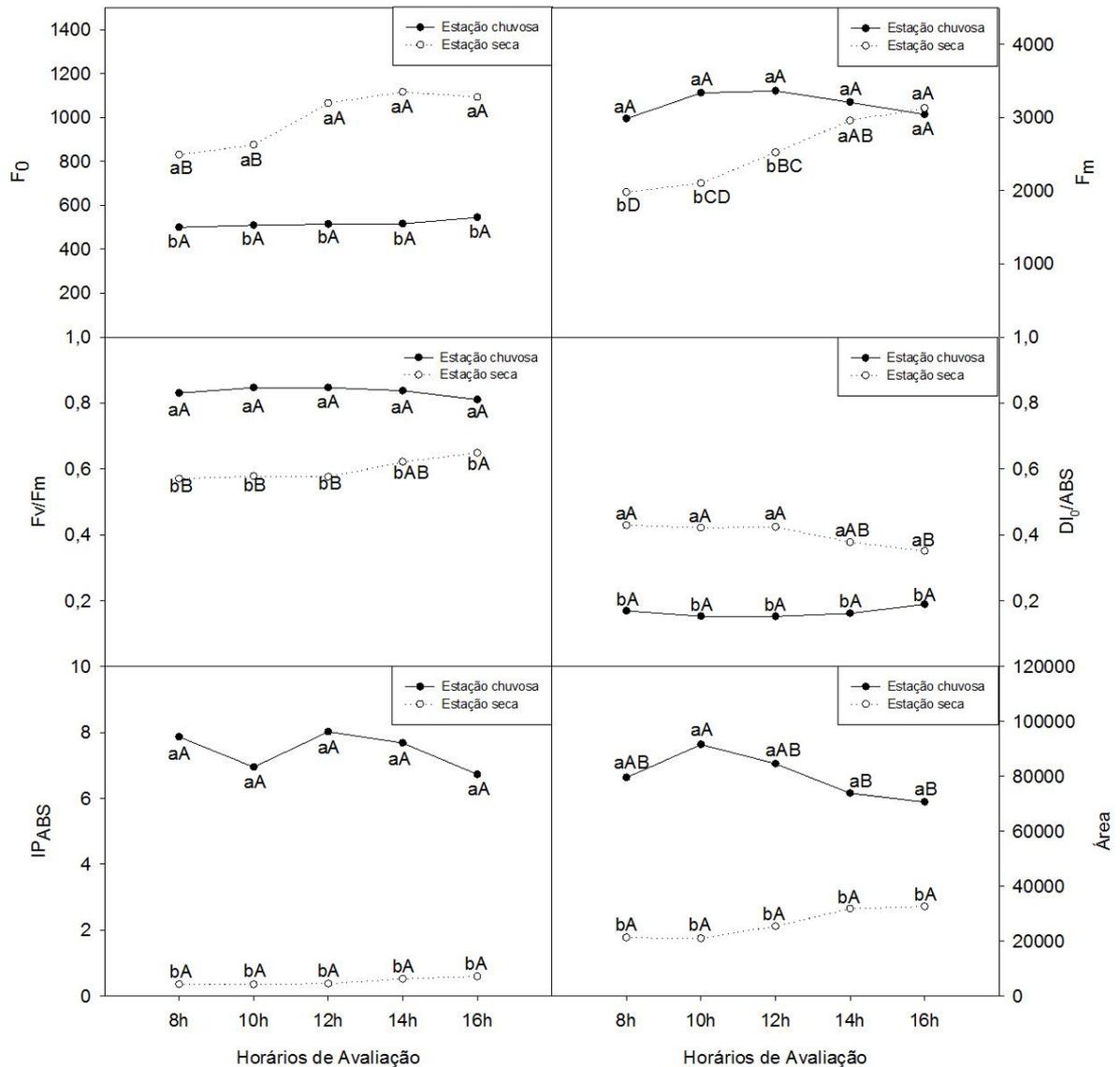
A fluorescência da clorofila *a* do pinhão-bravo sofreu diversas alterações significativas em decorrência do estresse hídrico da estação seca (Figura 26). A fluorescência inicial não apresentou diferença significativa entre os horários na estação chuvosa, mantendo valores em torno de 517. Já na estação seca os valores foram mais altos que na estação chuvosa, com variação também entre os horários. Os menores valores foram às 8 e às 10 horas (853 em média), e os demais horários do dia apresentaram valores significativamente mais altos (1.091 em média).

A fluorescência máxima apresentou valores em torno de 3.186 na estação chuvosa, sem apresentar diferença estatística entre os horários. Na estação seca, houve redução da fluorescência máxima na parte da manhã (1.979 às 8 horas e 2.101 às 10 horas), com valores significativamente menores que os da estação chuvosa. Ao meio-dia a fluorescência máxima começou a elevar (2.523), chegando ao período da tarde com valores próximos aos que foram observados na estação chuvosa (2.956 às 14 horas e 3.128 às 16 horas).

O índice de eficiência máxima do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) apresentou margens de valor de 0,81 e 0,85 na estação chuvosa, sem diferença significativa entre os horários. Já na estação seca, os menores valores foram observados na parte da manhã e ao meio-dia (média de 0,57) e o maior valor, às 16 horas (0,65).

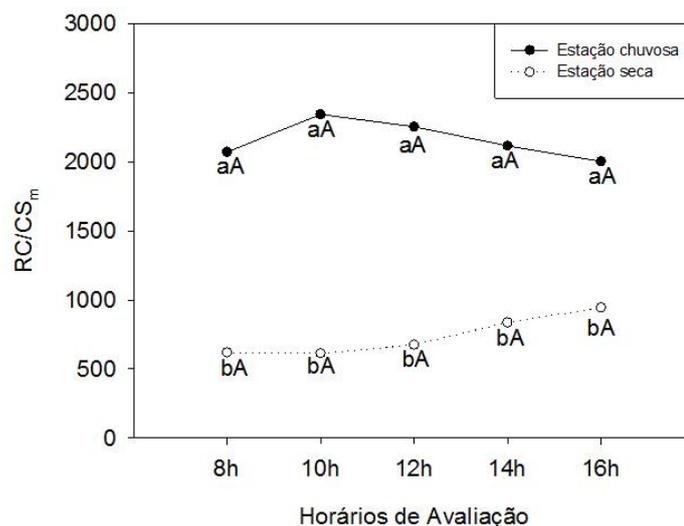
A energia dissipada por energia absorvida ( $DI_0/ABS$ ) não apresentou diferença significativa entre os horários na estação chuvosa, tendo sido observados valores em torno de 0,17. Já na estação seca, O menor valor foi observado às 16 horas (0,35), enquanto que no período da manhã e ao meio-dia a energia dissipada permaneceu em torno de 0,43.

O índice de desempenho ( $IP_{ABS}$ ) variou entre 6,70 e 8,02 na estação chuvosa, e entre 0,35 e 0,59 na estação seca. O índice de desempenho apresentou uma redução, não significativa, às 10 horas na estação chuvosa. A área da curva OJIP apresentou valores entre 73.856 e 91.638 na estação chuvosa, e entre 20.960 e 31.749 na estação seca.



**Figura 26:** Curso diário da fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), eficiência máxima do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), energia de dispersão por energia absorvida ( $DI_0/ABS$ ), índice de desempenho ( $IP_{ABS}$ ) e área da curva OJIP (Área) de *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). (n=5).

A densidade média de centros de reação por seção transversal não apresentou diferença estatística entre os horários dentro de cada época (Figura 27), mas foi observada uma diferença bastante significativa entre as épocas. Na estação chuvosa, os valores giraram em torno de 2.157, enquanto que na estação seca o valor médio encontrado foi de 738, ou seja, quase a terça parte do que foi observado na estação chuvosa.



**Figura 27:** Curso diário da densidade máxima de centros de reação por seção transversal ( $RC/CS_m$ ) de *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). ( $n=5$ ).

#### 4.3.5 Trocas gasosas

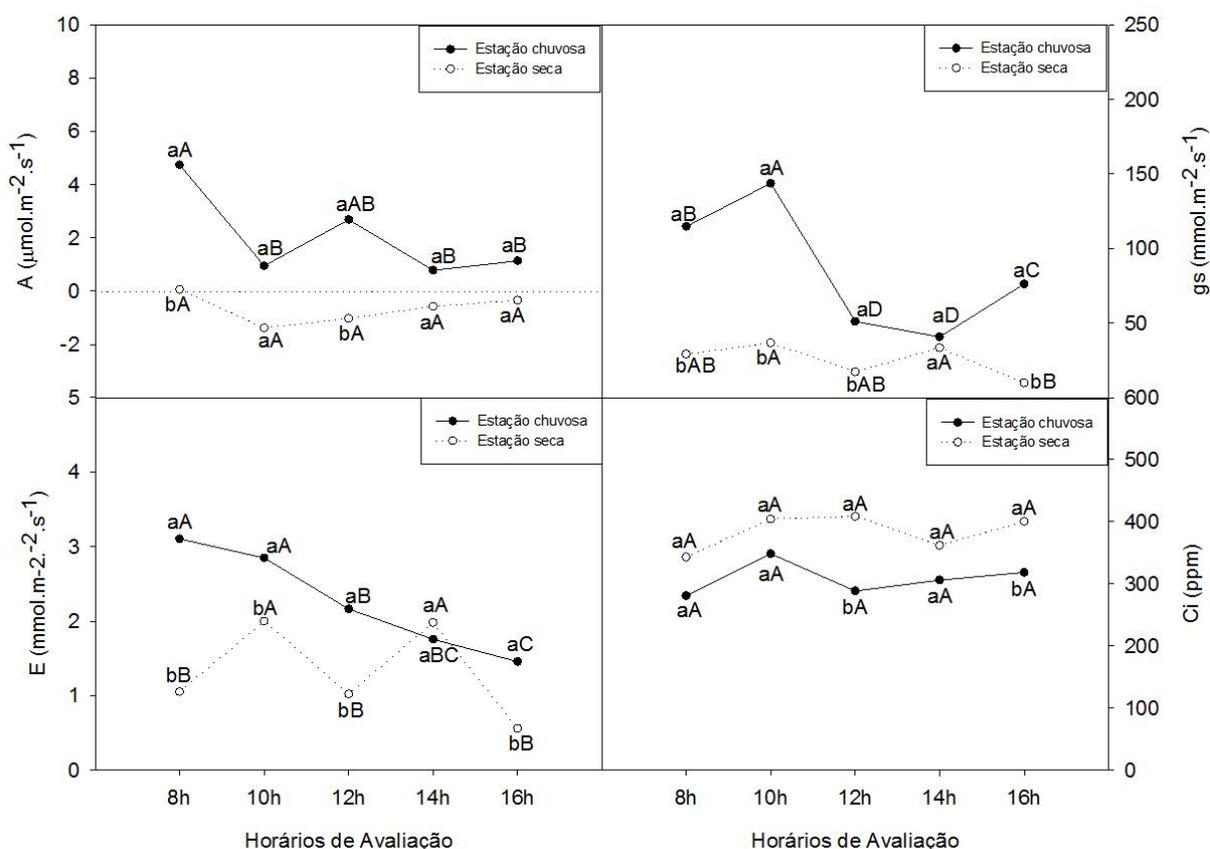
Os dados das trocas gasosas do pinhão-bravo estão apresentados na figura 28. A fotossíntese líquida apresentou diferença significativa entre as épocas apenas nos horários das 8 horas ( $4,75 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  na estação chuvosa e  $0,07 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  na estação seca) e das 12 horas ( $2,69 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  e  $-1,02 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  nas estações chuvosa e seca, respectivamente). Nos demais horários não houve diferença significativa, apesar de ser perceptível uma tendência a maiores valores na estação chuvosa. Na estação seca, durante todo o dia, a fotossíntese líquida se manteve próximo ou abaixo de zero, demonstrando que o pinhão-bravo, durante esse período, respirou mais do que conseguia fotossintetizar.

Durante a estação chuvosa, foi perceptível uma redução significativa da condutância estomática nos horários de 12 horas ( $51,05 \text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) e de 14 horas ( $40,71 \text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ). Às 16 horas, a condutância estomática volta a subir ( $gs = 76,18 \text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ), mas não na mesma proporção que no começo do dia, em que a condutância estomática estava em torno de  $129,20 \text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . Já na estação seca, a condutância estomática se manteve, durante todo o dia, em torno de  $25,28 \text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , com algumas variações durante o dia, apresentando aumento nos horários de 10 ( $36,65 \text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) e de 14 horas ( $33,43 \text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ). Com relação à estação chuvosa, a estação seca apresentou valores significativamente mais baixos,

com exceção das medições das 16 horas, horário em que, na estação chuvosa, a condutância estomática apresentou um dos menores valores.

A transpiração apresentou valores constantemente decrescentes na estação chuvosa, iniciando o dia com  $3,10 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (medição das 8 horas) e chegando a reduzir cerca mais de 50% disso no fim da tarde ( $1,46 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  às 16 horas). Já na estação seca, ela apresentou variações no decorrer do dia, com os maiores valores às 10 e às 14 horas ( $2,00 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  e  $1,98 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  respectivamente), e valores menores nos demais horários (em média  $0,88 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ).

A concentração de  $\text{CO}_2$  interno no mesófilo foliar não apresentou diferenças estatísticas entre os horários dentro de cada época. Além disso, entre as épocas, só houve diferenças significativas no horário de 12 horas, com o maior valor na estação seca (408 ppm) e o menor, na estação chuvosa (288 ppm) e no horário das 16 horas (401 ppm na estação seca e 319 ppm na estação chuvosa). Os demais horários não apresentaram diferença significativa entre as estações, apesar de ser possível perceber uma tendência a valores maiores na estação seca (Ci médio de 384 ppm) do que na estação chuvosa (média de 309 ppm).



**Figura 28:** Curso diário da fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), transpiração (E) e concentração de  $\text{CO}_2$  interno no mesófilo foliar (Ci) de *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. Letras

iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). (n=5).

A temperatura foliar apresentou variações na estação chuvosa que podem ser explicadas pela radiação fotossinteticamente ativa (Tabela 3). Essa, por sua vez, apresentou uma queda inesperada às 10 horas, fato que ocorreu possivelmente devido à passagem de nuvens no momento da medição. No geral, as folhas apresentaram na estação seca cerca de 5 °C de temperatura a mais que na estação chuvosa. Na estação chuvosa, houve um resfriamento das folhas às 10 horas (29,9 °C) com relação à medição anterior (33,1 °C), devido ao sombreamento por nuvens, como já dito anteriormente. No restante do dia, os maiores valores foram encontrados ao meio-dia e às 14 horas (cerca de 37 °C), e o menor valor foi o das 16 horas (27,5 °C), quando a radiação solar já havia diminuído sensivelmente. Já na estação seca, o único horário que apresentou diferença com relação aos demais foi o das 8 horas, cuja temperatura foi de 34,5 °C. No decorrer do resto do dia, a temperatura foliar ficou em torno de 38,6 °C, chegando a um pico de 40,1 °C às 14 horas.

**Tabela 3:** Curso diário da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e temperatura foliar (Tf) de *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. Letras iguais, minúsculas entre as épocas e maiúsculas entre os horários, não diferem entre si pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). (n=5).

Horários	PAR		Tf (°C)	
	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco
<b>8 horas</b>	1531 aA	950 bB	33,1 aB	34,5 aB
<b>10 horas</b>	730 bB	1542 aA	30,0 bC	39,8 aA
<b>12 horas</b>	1743 aA	825 bB	37,2 bA	39,7 aA
<b>14 horas</b>	1292 aA	723 bB	37,1 bA	40,2 aA
<b>16 horas</b>	126 bC	870 aB	27,6 bD	38,7 aA

## 5 Discussão

As relações hídricas nas plantas, no contínuo solo-planta-atmosfera, estão diretamente relacionadas com a disponibilidade de água no ambiente (RAVEN *et al.*, 2007; TAIZ e ZEIGER, 2009). A literatura reporta que uma menor disponibilidade de água no ambiente, geralmente, induz a reduções no potencial hídrico foliar das plantas. No presente trabalho, tanto a catingueira quanto o pinhão-bravo apresentaram redução do potencial hídrico na estação seca, quando comparada com a estação chuvosa (Figuras 17 e 23), quando vemos uma redução de cerca de 60% do conteúdo de água no solo, como mostra a tabela 1.

A redução do potencial hídrico foliar pode servir para auxiliar às plantas a conseguirem retirar água do solo mais seco, já que a mesma se movimenta de locais de potencial hídrico maior (menos negativo) para menor potencial hídrico (mais negativo) (KRAMER, 1983; RAVEN *et al.*, 2007; TAIZ e ZEIGER, 2009). No entanto, a redução do potencial hídrico nem sempre é uma indicação de manutenção da turgescência do tecido, podendo, em alguns casos, representar um acúmulo de substâncias orgânicas em virtude da dessecação. Através da análise do teor relativo de água na folha (TRA), foi possível perceber que o pinhão-bravo conseguiu manter a turgescência de seus tecidos na estação seca, quando comparada com a estação chuvosa, em torno dos 80%, enquanto que a catingueira sofreu considerável dessecação de seus tecidos, ficando em torno de 50% (Figuras 17 e 23).

Apesar da catingueira apresentar valores de TRA reduzidos, a mesma acumulou prolina livre (Figura 18), que é um soluto osmoprotetor, ou seja, atua na proteção e na manutenção da estabilidade das moléculas da célula (LARCHER, 2006; RAVEN *et al.*, 2007; ARAÚJO *et al.*, 2008). A prolina livre também foi o principal soluto acumulado pela *P. pyramidalis* em estudo realizado por Silva *et al.* (2004) com 10 espécies de plantas da caatinga, entre elas a catingueira. Esse acúmulo é bastante importante, pois possibilita que as membranas e macromoléculas celulares não sofram danos em decorrência do dessecação, favorecendo à sobrevivência das estruturas celulares até que seja possível uma reidratação. Sendo assim, os resultados sugerem que a redução do potencial hídrico na catingueira tenha ocorrido tanto por síntese de compostos orgânicos, como as proteínas, como por dessecação do tecido.

Com relação ao pinhão-bravo, é possível afirmar que a espécie realizou ajustamento osmótico, pois além de acumular solutos orgânicos osmoticamente protetores, como as

proteínas solúveis (Figura 24) e reduzir o potencial hídrico, ela foi capaz de manter seus tecidos túrgidos, como mostram os resultados do TRA.

Arcoverde *et al.* (2011), realizando estudos com o pinhão-manso (*Jatropha curcas*) em condições experimentais de casa de vegetação, detectaram que as plantas dessa espécie não sofreram redução do teor relativo de água na folha sob estresse moderado (50% da capacidade de campo). Esse trabalho corrobora os dados encontrados no presente estudo para o pinhão-bravo, pertencente ao mesmo gênero do pinhão-manso. O pinhão-manso sob estresse severo (25% da capacidade de campo), por sua vez, demonstrou significativa redução do TRA, bem como redução do crescimento. Por ser do mesmo gênero, é possível supor que, em estresses mais severos, a *Jatropha mollissima* também apresentaria tal resposta.

Um outro aspecto importante do curso diário do potencial hídrico foliar das espécies estudadas é que, enquanto a catingueira apresentou reduções significativas entre as estações e entre horários, demonstrando uma relação direta com a baixa disponibilidade de água no solo, as reduções do potencial hídrico foliar do pinhão-bravo foram menores e a variação diária mínima, demonstrando maior estabilidade em relação a este parâmetro.

Segundo Trovão *et al.* (2007), diversas espécies da Caatinga (*Myracrodruon urundeuva*, *Schinopsis brasiliensis*, *Amburana cearensis*, *Capparys cynophallophora*, *Anadenanthera colubrina* var. *cebil*, *Pseudobombax* sp, *Commiphora leptophloeos*, *Ziziphus joazeiro*, *Bumelia sartorum* e *Maytenus rígida*) apresentam comportamento semelhante ao pinhão-bravo, isto é, conseguem manter potencial hídrico relativamente alto mesmo em situação de estresse. Com relação ao juazeiro (*Ziziphus joazeiro*), essa informação foi recentemente corroborada por Santos *et al.* (2014), em trabalho realizado no mesmo local do presente estudo. Já Dombroski *et al.* (2011), analisando durante a estação seca outras espécies diferentes das estudadas por Trovão *et al.* (2007) (*Auxemma oncocalyx*, *Caesalpinia ferrea* var. *ferrea*, *Caesalpinia pyramidalis*, *Calliandra spinosa* e *Mimosa caesalpiniiifolia*) encontraram valores de potencial hídrico mais altos que os dos autores anteriormente citados.

Estudos diversos têm demonstrado que esse tipo de resposta diferenciada entre espécies é bastante comum na Caatinga, mesmo entre plantas com ocorrência em uma mesma área (NOGUEIRA *et al.*, 1998; TROVÃO *et al.*, 2007; DOMBROSKI *et al.*, 2011). Isso pode ocorrer tanto por acesso a água em lençóis freáticos quanto pela utilização de mecanismos de armazenamento de água (BARBOSA, 1991; BARBOSA *et al.*, 2003), a exemplo do que acontece com o umbuzeiro, que possui estruturas subterrâneas, os xilopódios, especializadas em armazenamento de água (SILVA *et al.*, 2009).

Possivelmente, a razão para o pinhão-bravo ser capaz de manter melhor status hídrico durante a seca e a catingueira não, seja justamente a presença ou não de reserva de água. Segundo Lima e Rodal (2010), a catingueira apresenta madeira de alta densidade, o que dificulta a manutenção de água em seus tecidos. Já o pinhão-bravo apresenta madeira de baixa densidade, o que possibilita o armazenamento de água em seus ramos, que são dilatados (LIMA e RODAL, 2010; SILVA *et al.*, 2010a; MAIA, 2012).

Outras espécies também apresentam redução de potencial hídrico foliar em situação de estresse hídrico, como a acariquara (LIBERATO *et al.*, 2006) e a andiroba (GONÇALVES *et al.*, 2009). A acariquara apresentou valores em torno de -3,2 MPa em situação de déficit hídrico e a andiroba, -3,4 MPa. No presente trabalho, a catingueira apresentou valores de potencial hídrico ainda mais negativos do que estes (-5,5 MPa na estação seca), enquanto que o pinhão-bravo apresentou valores menos negativos (-0,9 MPa na estação seca).

Além da redução do potencial hídrico, tanto a catingueira quanto o pinhão-bravo apresentaram fechamento parcial dos estômatos (Figuras 22 e 28), com consequente redução da transpiração. A catingueira apresentou valores semelhantes ao longo do dia, com pouca variação. No entanto, o pinhão-bravo ainda apresentou dois picos de transpiração na época seca, sendo um as 10h e outro as 14h. Neste último horário, os valores de  $E$  foram semelhantes ao das plantas na estação chuvosa, no mesmo horário.

Ainda assim, mesmo com picos de transpiração ao longo do dia, essa abertura estomática não foi suficiente para aumentar as taxas de fotossíntese líquida, que permaneceram negativas ao longo do dia.

Nas condições apresentadas, houve um aumento na concentração de  $\text{CO}_2$  interno no mesófilo foliar para ambas espécies estudadas. O  $\text{CO}_2$  interno é fundamental para que a fotossíntese ocorra, pois é ele que será utilizado nesse processo (LARCHER, 2006; TAIZ e ZEIGER, 2009), mas em situação de deficiência hídrica, é possível que, mesmo que haja  $\text{CO}_2$  largamente disponível, o mesmo não seja utilizado, visto que a água também é necessária para que a fotossíntese ocorra (LARCHER, 2006; RAVEN *et al.*, 2007). Por isso, as taxas de fotossíntese líquida sofreram redução na estação seca, demonstrando que as plantas estavam respirando mais do que fotossintetizando, o que ocasionou valores negativos de fotossíntese líquida (Figuras 22 e 28). Esse valor superior da respiração também faz com que o  $\text{CO}_2$  interno do mesófilo se apresentasse mais alto na estação seca do que na estação chuvosa. Reduções da taxa de fotossíntese líquida também foram observadas em andiroba (GONÇALVES *et al.*, 2009) e em pinhão-manso (SILVA *et al.*, 2012b).

A água é fundamental no processo fotossintético não só para a manutenção da turgescência dos estômatos, o que possibilita que a planta continue absorvendo CO<sub>2</sub>, mas também como participante do processo em si, visto que a água atua como doadora de elétrons que serão utilizados na fotossíntese para a produção de biomassa (LARCHER, 2006; RAVEN *et al.*, 2007; TAIZ e ZEIGER, 2009; SILVA *et al.*, 2013). Assim, ainda que haja bom suprimento de CO<sub>2</sub> mesmo com os estômatos parcialmente fechados, a fotossíntese fica reduzida, visto que não há água suficiente disponível para ser utilizada no processo.

Na estação chuvosa, a temperatura foliar apresentou redução significativa no horário das 10 horas, quando foi percebida redução também na radiação fotossinteticamente ativa (Tabelas 2 e 3). Comportamento semelhante foi observado em uma matriz de aceroleira (UFRPE 7) por Nogueira *et al.* (2000). Essa mesma matriz também apresentou temperatura foliar acima da temperatura do ar mesmo na estação chuvosa, condição que também foi observada no presente estudo. A temperatura da folha é um parâmetro importante que está diretamente relacionada a abertura dos estômatos e perda de vapor d'água por transpiração. É possível perceber que os maiores valores de temperatura da folha ocorreram nos horários de menor condutância estomática (gs). Essa relação é confirmada por Dombroski *et al.* (2011) para *Mimosa caesalpinifolia*, que apresentou correlação negativa entre a condutância estomática e a temperatura foliar, ou seja, à medida em que os estômatos se fecham, a temperatura foliar aumenta.

Também foi observada forte influência sobre os parâmetros de fluorescência da clorofila *a* em decorrência do estresse hídrico, tanto para a catingueira quanto para o pinhão-bravo (Figuras 20 e 26). As variações apresentadas no presente estudo para os parâmetros de fluorescência inicial e máxima são consideradas típicas em plantas estressadas (SILVA *et al.*, 2013).

Portanto, tanto o aumento da fluorescência inicial, quanto a redução da fluorescência máxima demonstram que as plantas se encontravam submetidas a uma situação estressante e que seus aparatos fotossintéticos não estavam conseguindo realizar a fotossíntese de forma adequada. Essa informação é corroborada tanto pela redução nas taxas de fotossíntese líquida (Figuras 22 e 28), que demonstra que a planta não estava sendo capaz de fixar carbono com a mesma eficácia que durante a estação chuvosa, quanto pela redução na área da curva OJIP (Figuras 20 e 26), que representa o pool de elétrons transportado para a fotossíntese (STRASSER *et al.*, 1995; GONÇALVES, 2009; GONÇALVES *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2013).

Ao contrário do que foi esperado, a radiação fotossinteticamente ativa apresentou valores relativamente menores na estação seca, com relação à estação chuvosa. Isso ocorreu devido a intenso sombreamento por nuvens no dia da coleta. Porém, ainda assim, essa redução de irradiação não foi suficiente para deixar de ser observado os danos crônicos nos fotossistemas de ambas as espécies. Os altos níveis de irradiação a que as plantas estão submetidas durante a estação seca, combinados com o déficit hídrico, diminuem consideravelmente a capacidade fotossintética das plantas (MORAIS *et al.*, 2007; ARAÚJO e DEMINICIS, 2009).

Em condições normais, a eficiência máxima do fotossistema II deve apresentar valores entre 0,75 e 0,85 (BOLHÀR-NORDENKAMPF *et al.*, 1989; BOLHÀR-NORDENKAMPF e ÖQUIST, 1993). Valores abaixo disso pode-se considerar que está ocorrendo fotoinibição. Na estação chuvosa, as espécies do presente estudo apresentaram valores dentro dessa faixa considerada ótima, sendo possível afirmar então que seus aparatos fotossintéticos estavam em boas condições. O único valor discrepante na estação chuvosa foi encontrado para a catingueira no horário das 10 horas, em que a eficiência máxima do fotossistema II apresentou valor igual a 0,66.

Esse fato pode ser considerado uma fotoinibição dinâmica (ARAÚJO e DEMINICIS, 2009), já que em seguida foi observada uma recuperação para valores considerados ótimos. No entanto, durante a estação seca, como dito anteriormente, foi observada uma situação de fotoinibição crônica tanto para a catingueira quanto para o pinhão-bravo, visto que, no decorrer de todo o dia, ambas as espécies apresentaram valores de eficiência máxima do fotossistema II variando de 0,45 a 0,64 para a catingueira, e de 0,57 a 0,65 para o pinhão-bravo.

A energia dissipada por energia absorvida ( $DI_0/ABS$ ) é uma variável complementar à eficiência máxima do fotossistema II ( $DI_0/ABS + F_v/F_m = 1$ ). Enquanto a eficiência máxima do fotossistema II demonstra a percentagem de energia que está sendo absorvida pelo aparato fotossintético, a energia dissipada quantifica o tanto de energia que é perdido no processo fotossintético (STRASSER *et al.*, 1995). Portanto, o aumento significativo durante a estação seca na energia dissipada (Figuras 20 e 26) corrobora a hipótese de que a planta está passando por fotoinibição, já que uma grande parcela da energia está sendo dissipada para o processo não-fotoquímico, ou seja, sob forma de fluorescência ou de calor.

O índice de desempenho ( $IP_{ABS}$ ) é uma variável da fluorescência da clorofila que fornece informações quantitativas sobre o estado da planta e sua vitalidade, de acordo com o

princípio da equação de Nernst (SRIVASTAVA *et al.*, 1999). Esse índice é considerado por muitos autores como o parâmetro mais sensível a variações e, por isso, mais indicado para a detecção e quantificação de situações de estresse (GONÇALVES e SANTOS JR, 2005; CHRISTEN *et al.*, 2007; OUKARROUM *et al.*, 2007). De fato, esse índice, no presente trabalho, não só apresentou diferença bastante significativa entre as épocas como também apresentou grande variação em números absolutos, sobretudo para o pinhão-bravo (Figura 26), que variou de valores entre 6,70 e 8,02 na estação chuvosa, para valores entre 0,35 e 0,59 na estação seca, ou seja, redução de quase 20 vezes.

Ao contrário do presente trabalho, Ranjan *et al.* (2012), ao trabalharem com pinhão-manso, encontraram eficiência máxima do fotossistema II em torno de 0,83 no verão, condição em que, no local do estudo, representa menor disponibilidade hídrica. Possivelmente, esse melhor sucesso para o pinhão-manso do que para a catingueira e o pinhão-bravo deve estar relacionado com o DPV, que neste estudo apresentou valores acima de 5,00 kPa em boa parte do dia, enquanto que Ranjan *et al.* (2012) observaram DPV de  $2,05 \pm 0,2$  kPa. Já trabalhando com andiroba, Gonçalves *et al.* (2009) observaram redução na maioria dos parâmetros de fluorescência quando em situação de estresse hídrico, incluindo redução de 23% na eficiência máxima do fotossistema II e de 56% no índice de desempenho ( $IP_{ABS}$ ).

Por fim, é possível afirmar também que a fotossíntese foi afetada pela menor concentração de pigmentos fotossintéticos (Figuras 19 e 25), pigmento essencial para a constituição dos fotossistemas (LARCHER, 2006; RAVEN *et al.*, 2007; MAJEROWICZ, 2008; TAIZ e ZEIGER, 2009). Ranjan *et al.* (2012), analisando parâmetros fotossintéticos em frutos imaturos e maduros de pinhão-manso, também detectaram redução significativa dos parâmetros da fotossíntese em decorrência de menor concentração de pigmentos fotossintéticos, tendo encontrado  $F_v/F_m$  de 0,63 nos frutos muito maduros, de cor amarelada, enquanto que nos imaturos, de cor verde, esse parâmetro apresentou valores em torno de 0,80.

A deficiência hídrica acentua os danos causados aos pigmentos em decorrência da alta radiação frequentemente observada na estação seca, fazendo com que haja degradação de clorofila, (MORAIS *et al.*, 2007). Além disso, a deficiência hídrica contribui também para a diminuição da síntese dos pigmentos (MARENCO e LOPES, 2007).

## 6 Considerações finais

A Caatinga é um bioma caracterizado pela seca em boa parte do ano. A seca é um fator de estresse considerado um dos mais limitantes do crescimento e desenvolvimento vegetal devido a importância da água nos processos físicos e metabólicos envolvidos. Além disso, geralmente essa condição está associada a altas temperaturas, ocasionadas pelo aumento da incidência de radiação solar nessa época do ano. Dessa forma, as plantas que habitam ou crescem em ambientes secos sofrem estresse. No entanto, a principal pergunta que se deve fazer é, qual a estratégia de sobrevivência utilizada por estas espécies para sobreviver em ambientes com baixa disponibilidade de água.

No presente trabalho, tanto a catingueira como o pinhão-bravo demonstraram ser bastante afetadas pela deficiência hídrica associada a altas temperaturas ocasionadas pela falta de chuvas e aumento de radiação solar na estação seca, mas elas apresentaram respostas e estratégias adaptativas diferentes.

A catingueira apresentou aumento na concentração de solutos osmoticamente protetores ocasionado pela desidratação dos tecidos foliares. Esse aumento foi suficiente para que as plantas mantivessem suas folhas por mais tempo que outras espécies circundantes, porém não impediu que a fotossíntese fosse significativamente afetada, fato corroborado pelas reduções significativas tanto da concentração dos pigmentos fotossintéticos quanto dos parâmetros de fluorescência da clorofila *a*, demonstrando a ocorrência de fotoinibição da fotossíntese em função do período de seca associado a altas temperaturas.

Sendo assim, podemos dizer que a catingueira tolera a seca com baixo potencial hídrico, do que remete ao conceito de que ela tem a capacidade de tolerar a seca enquanto desseca, utilizando como principal característica o aumento de solutos osmoprotetores, ajudando assim a manter a integridade das membranas e estruturas celulares e conseqüentemente a manutenção da permanência das folhas por um período prolongado.

O pinhão-bravo, ao contrário da catingueira, conseguiu manter um bom conteúdo hídrico foliar, graças tanto à redução de seu potencial hídrico, não tão negativo quanto o da catingueira, quanto ao acúmulo de solutos orgânicos osmoticamente ativos, fato que caracteriza ajustamento osmótico. Porém, assim como a catingueira, o pinhão-bravo apresentou-se bastante afetada em seus parâmetros de fotossíntese.

Essas características permitem que as espécies em estudo consigam manter suas folhas por mais tempo que outras durante a estação seca, embora algumas funções vitais, como a fotossíntese, sejam severamente afetadas, podendo-se verificar dois tipos distintos de mecanismos de sobrevivência aos períodos de seca entre as duas espécies estudadas.

## 7 Referências bibliográficas

ACHTEN, W. M. J.; MAES, W. H.; REUBENS, B.; MATHIJS, E.; SINGH, V. P.; VERCHOT, L.; MUYS, B. Biomass production and allocation in *Jatropha curcas* L. seedlings under different levels of drought stress. **Biomass and Bioenergy**, v. 24, p. 667-676, 2010.

ALCOFORADO-FILHO, F. G.; SAMPAIO, E. V. S. B.; RODAL, M. J. N. Florística e fitossociologia de um remanescente de vegetação caducifólia espinhosa arbórea em Caruaru, Pernambuco. **Acta Botanica Brasilica**, v. 17, n. 2, p. 287-303, 2003.

ALVES, A. A. C.; SETTER, T. L. Abscisic acid accumulation and osmotic adjustment in cassava under water deficit. **Environmental and Experimental Botany**, v. 51, p. 259-271, 2004.

ALVES, E. U.; CARDOSO, E. A.; BRUNO, R. L. A.; ALVES, A. U.; ALVES, A. U.; GALINDO, E. A.; BRAGA JUNIOR, J. M. Superação da dormência em sementes de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 405-415, 2007.

AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 3, p. 615-623, 2005.

ANDRADE, G. A. CARAMORI, P. H.; SOUZA, F. S.; MARUR, C. J.; RIBEIRO, A. M. A. Temperatura mínima letal para plantas jovens de pinhão-manso. **Bragantia**, v.67, n. 3, p.799-803, 2008.

ANDRADE, W. M.; LIMA, E. A.; RODAL, M. J. N.; ENCARNAÇÃO, C. R. F.; PIMENTEL, R. M. M. Influência da precipitação na abundância de populações de plantas da Caatinga. **Revista de Geografia**, Recife, v. 26, n. 2, p. 161-184, 2009.

ARAÚJO, E. L.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, S. I.; SILVA, K. A. SILVA, P. P. A.;

SANTOS, A. V. C.; SANTIAGO, G. A. S. Ecofisiologia de plantas da caatinga e implicações na dinâmica das populações e do ecossistema. In: MOURA, A. N.; ARAÚJO, E. L.; ALBUQUERQUE, U. P. (orgs.). **Biodiversidade, potencial econômico e processos ecofisiológicos em ecossistemas nordestinos**, Recife: COMUNIGRAF, 2008, p. 329-361.

ARAÚJO, S. A. C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 463-472, 2009.

ARCOVERDE, G. B.; RODRIGUES, B. M.; POMPELLI, M. F.; SANTOS, M. G. Water relations and some aspects of leaf metabolism of *Jatropha curcas* young plants under two water deficit levels and recovery. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 23, n. 2, p. 123-130, 2011.

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

AZEVEDO NETO, A. D.; PRISCO, J. T.; ENÉAS-FILHO, J.; ABREU, C. E. B.; GOMES-FILHO, E. Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes. **Environmental and Experimental Botany**, v. 56, p. 87-94, 2006.

BARBOSA, D. C. A. Crescimento de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan (Leguminosae – Mimosoideae). **Phyton**, v. 52, p. 51-62, 1991.

BARBOSA, D. C. A.; BARBOSA, M. C. A.; LIMA, L. C. M. Fenologia de espécies lenhosas da Caatinga. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (eds.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, p. 337-366, 2003.

BATES, L. S. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Short communication. **Plant and Soil**, v. 39, p. 205-207, 1973.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R.; LONG, S. P.; BAKER, N. R.; ÖQUIST, G.; SCHREIBER, U.; LECHNER, E. G. Chlorophyll fluorescence as a probe of the

photosynthetic competence of leaves in the field: A review of current instrumentation. **Functional Ecology**, v. 3, p. 497-514, 1989.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R.; ÖQUIST, G. Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. In: HALL, D. O.; SCURLOCK, J. M. O.; BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R.; LEEGOOD, R. C.; LONG, S. P. (eds). **Photosynthesis and production in a changing environment: a field and laboratory manual**. London: Chapman & Hall; 1993.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, p. 248-254, 1976.

BRAGA, R. **Plantas do Nordeste, especialmente no Ceará**. 3. ed. Fortaleza: Sociedade Botânica do Brasil, 1976. 540 p. (Coleção Mossoroense)

CARVALHO, C. M.; VIANA, T. V. A.; MARINHO, A. B.; LIMA JÚNIOR, L. A.; VALNIR JÚNIOR, M. Pinhão-manso: crescimento sob condições diferenciadas de irrigação e de adubação no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 5, p. 487-496, 2013.

CARVALHO, L. M.; CASALI, V. W. D.; SOUZA, M. A.; CECON, P. R. Disponibilidade de água no solo e crescimento de Artemísia. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 4, p. 726-730, 2003.

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.

CHRISTEN, D.; SCHÖNMANN, S.; JERMINI, M.; STRASSER, R. J.; DÉFAGO, G. Characterization and early detection of grapevine (*Vitis vinifera*) stress responses to esca disease by *in situ* chlorophyll fluorescence and comparison with drought stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 60, p. 504-514, 2007.

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, v. 37, n. 2, p. 229-234, 2007.

DÍAZ-LÓPEZ, L.; GIMENO, V.; SIMÓN, I.; MARTÍNEZ, V.; RODRÍGUEZ-ORTEGA, W. M.; GARCÍA-SÁNCHEZ, F. *Jatropha curcas* seedlings show a water conservation strategy under drought conditions based on decreasing leaf growth and stomatal conductance. **Agricultural Water Management**, v. 105, p. 48-56, 2012.

DOMBROSKI, J. L. D.; PRAXEDES, S. C.; FREITAS, R. M. O.; PONTES, F. M. Water relations of Caatinga trees in the dry season. **South African Journal of Botany**, v. 77, p. 430-434, 2011.

DRANSKI, J. A. L.; PINTO JÚNIOR, A. S.; STEINER, F.; ZOZ, T.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M.; GUIMARÃES, V. F. Physiological maturity of seeds and colorimetry of fruits of *Jatropha curcas* L. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 4, p. 158-165, 2010.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v. 28, p. 350-356, 1956.

FABRICANTE, J. R.; ANDRADE, L. A. Análise estrutural de um remanescente de caatinga no seridó paraibano. **Oecologia Brasiliensis**, v. 11, n. 3, p. 341-349, 2007.

FERRAZ, E. M. N.; RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PEREIRA, R. C. A. Composição florística em trechos de vegetação de caatinga e brejo de altitude na região do Vale do Pajeú, Pernambuco. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 21, n. 1, p. 7-15, 1998.

FERRI, M. G. Balanço de água de plantas da caatinga" **An. IV Congr. Nac. Soe. Bot. Brasil**, p. 314-332, 1953.

FREITAS, R. G.; ARAUJO, S. F.; MATOS, F. S.; MISSIO, R. F.; DIAS, L. A. S.

Desenvolvimento de mudas de pinhão manso sob diferentes doses de nitrogênio. **Revista Agrotecnologia**, v. 3, n. 2, p. 24-35, 2012.

GABRIEL, D., FRANCO, D. A. S. Aspectos biológicos e morfológicos de *Pachycoris torridus* Scopoli, 1772 (Hemiptera: Scutelleridae) criados com pinhão-manso *Jatropha curcas* L., 1753, em laboratório. **Científica**, v. 40, n. 2, p. 156-163, 2012.

GONÇALVES, J. F. C.; SANTOS JR., U. M. Utilization of the chlorophyll a fluorescence technique as a tool for selecting tolerant species to environments of high irradiance. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 17, p. 307-313, 2005.

GONÇALVES, J. F. C.; SILVA, C. E. M.; GUIMARÃES, D. G. Fotossíntese e potencial hídrico foliar de plantas jovens de andiroba submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.44, n.1, p.8-14, 2009.

GONÇALVES, J. F. C.; SILVA, C. E.; GUIMARÃES, D. G.; BERNARDES, R. S. Análise dos transientes da fluorescência da clorofila *a* de plantas jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata* submetidas a dois ambientes de luz. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 1, p. 89-98, 2010.

KRAMER, P. J. **Water Relations of Plants**. Academica Press, Inc: San Diego, 1983. 489 p.

LARCHER, W.; PRADO, C. H. B. de A. (Trad.). **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos, SP: Rima Artes e Textos, 2006. 531 p.

LEITE, A. V.; MACHADO, I. C. Biologia reprodutiva da “catingueira” (*Caesalpinia pyramidalis* Tul., Leguminosae-Caesalpinioideae), uma espécie endêmica da Caatinga. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 32, n. 1, p. 79-88, 2009.

LIBERATO, M. A. R.; GONÇALVES, J. F. C.; CHEVREUIL, L. R.; NINA JUNIOR, A. R.; FERNANDES, A. V.; SANTOS JUNIOR, U. M. Leaf water potential, gas exchange and chlorophyll *a* fluorescence in acariquara seedlings (*Minquartia guianensis* Aubl.) under water stress and recovery. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, p. 315-323, 2006.

LICHTENTHALER H. K.; BUSCHMANN, C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. In: WROLSTAD, R. E.; ACREE, T. E.; AN, H.; DECKER, E. A.; PENNER, M. H.; REID, D. S.; SCHWARTZ, S. J.; SHOEMAKER, C. F.; SMITH, D. M.; SPORNS, P. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**. John Wiley & Sons, Inc: New Jersey. Unit F4.3, p. F4.3.1-F4.3.8, 2001.

LIMA, A. L. A.; RODAL, M. J. N. Phenology and wood density of plants growing in the semi-arid region of northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 74, p. 1363-1373, 2010.

LIMA, B. G. **Caatinga**: espécies lenhosas e herbáceas. Mossoró-RN: EdUfersa, 2011. 316 p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil, vol. 3. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2009, 384 p.

MACHADO, I. C. S.; BARROS, L. M.; SAMPAIO, E. V. S. B. Phenology of Caatinga species at Serra Talhada, PE, Northeastern Brazil. **Biotropica**, v. 29, n. 1, p. 57-68, 1997.

MAES, W. H.; ACHTEN, W. M. J.; REUBENS, B.; MUYS, B. Monitoring stomatal conductance of *Jatropha curcas* seedlings under different levels of water shortage with infrared thermography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 151, p. 554-564, 2011.

MAES, W. H.; ACHTEN, W. M. J.; REUBENS, B.; RAES, D.; SAMSON, R.; MUYS, B. Plant-water relationships and growth strategies of *Jatropha curcas* L. seedlings under different levels of drought stress. **Journal of Arid Environments**, v. 73, p. 877-884, 2009.

MAIA, G. N. **Caatinga**: árvores e arbustos e suas utilidades. 2. ed. Fortaleza: Printcolor, 2012. 413 p.

MAJEROWICZ, N. Fotossíntese. In: Kerbauy, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 82-133, 2008.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal**: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. 3. Ed. Viçosa: UFV, 2009. 486 p.

MARTINEZ, C. A.; MORENO, U. Expresiones fisiologicas de resistencia a la sequia en dos variedades de papa sometidas a estress hidrico em condiciones de campo. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v. 4, n. 1, p. 33-38, 1992.

MATOS, F. S.; GAMBOA, I.; RIBEIRO, R. P.; MAYER, M. L.; NEVES, T. G.; LEONARDO, B. R. L.; SOUZA, A. C. Influência da intensidade luminosa no desenvolvimento de mudas de *Jatropha curcas* L. **Revista Agrarian**, v. 4, n. 14, p. 265-272, 2011.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N.; Chlorophyll fluorescence – a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.

MAYWORM, M. A. S.; NASCIMENTO, A. S.; SALATINO, A. Seeds of species from the caatinga: proteins, oils and fatty acid contents. **Brazilian Journal of Botany**, v. 21, n. 3, p. 299-303, 1998.

MEDEIROS, D. B.; SILVA, E. C.; SANTOS, H. R. B.; PACHECO, C. M.; MUSSER, R. S.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Physiological and biochemical responses to drought stress in Barbados cherry. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 24, n. 3, p. 181-192, 2012.

MORAIS, R. R.; GOLÇALVES, J. F. C.; SANTOS JÚNIOR, U. M.; DÜNISCH, O.; SANTOS, A. L. W. Chloroplastid pigment contents and chlorophyll *a* fluorescence in Amazonian tropical three species. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 959-966, 2007.

NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. Tolerância à seca em plantas: mecanismos fisiológicos e moleculares. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, n. 23, p. 12-18, 2001.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; FILHO, P. A. M.; SANTOS, R. C. Curso diário do potencial foliar em cinco espécies lenhosas da caatinga. **Revista Ecosystema**, v. 23, p. 73-77, 1998.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V.; BURITY, H. A. Curso diário e sazonal das trocas gasosas e do potencial hídrico foliar em aceroleiras. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1331-1342, 2000.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA JÚNIOR, J. F.; SILVA, E. C.; LEDERMAN, I. E. Curso diário das perdas de vapor d'água, da temperatura e do potencial da água da folha em germoplasma de carambola (*Averrhoa carambola* L.). **Acta Botanica Brasilica**, v. 16, n. 2, p. 217-223, 2002.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, E. C. Comportamento estomático em plantas jovens de *Schinopsis brasiliensis* Engl. cultivadas sob estresse hídrico. **Iheringia, Série Botânica**, Porto Alegre, v. 57, n. 1, p. 31-38, 2002.

OLIVEIRA, G.; ARAÚJO, M. B.; RANGEL, T. F.; ALAGADOR, D; DINIZ-FILHO, J. A. F. Conserving the Brazilian semiarid (Caatinga) biome under climate change. **Biodiversity and Conservation**, v. 21, p. 2913-2926, 2012.

OPENSHAW, K. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. **Biomass and Bioenergy**, v. 19, p. 1-15, 2000.

OUKARROUM, A.; EL MADIDI, S.; SCHANSKER, G.; STRASSER, R. J. Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll *a* fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering. **Environmental and Experimental Botany**, v. 60, p. 438-446, 2007.

PASSOS, C. D.; PASSOS, E. E. M.; PRADO, C. H. B. A. Comportamento sazonal do potencial hídrico e das trocas gasosas de quatro variedades de coqueiro-anão. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 2, p. 248-254, 2005.

PASSOS, E. E. M.; PRADO, C. H. B. A.; ARAGÃO, W. N. The influence of vapour pressure deficit on leaf water relations of *Cocos nucifera* in northeast Brazil. **Experimental Agriculture**, v. 45, p. 93-106, 2009.

PEREIRA, M. D.; LOPES, J. C. Germinação e desenvolvimento de plântulas de pinhão manso sob condições de estresse hídrico simulado, **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 1, p. 1837-1842, 2011.

PIMENTA, J. A. Relações Hídricas. In: Kerbaudy, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 1-32, 2008.

POMPELLI, M. F.; OROZCO, A. J. J.; OLIVEIRA, M. T.; RODRIGUES, B. R. M.; BARBOSA, M. O.; SANTOS, M. G.; OLIVEIRA, A. F. M.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S. Crise energética mundial e o papel do Brasil na problemática de biocombustíveis. **Agronomía Colombiana**, v. 29, n. 2, p. 231-240, 2011.

PRADO, D. E. As Caatingas da América do Sul. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (eds.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, p. 3-73, 2003.

QUEIROZ, L. P. **Leguminosas da Caatinga**. Feira de Santana: Universidade Estadual de Feira de Santana, 2009. 913 p.

QUEIROZ, M. F.; FERNANDES, P. D.; DANTAS NETO, J.; ARRIEL, N. H. C.; MARINHO, F. J. L.; LEITE, S. F. Crescimento e fenologia de espécies de *Jatropha* durante a estação chuvosa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 4, p. 405-411, 2013.

RANJAN, S.; SINGH, R.; SONI, D. K.; PATHRE, U. V.; SHIRKE, P. A. Photosynthetic performance of *Jatropha curcas* fruits. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 52, p. 66-76, 2012.

RAO, A. V. R. K.; WANI, S. P.; SINGH, P.; SRINIVAS, K.; RAO, C. S. Water requirement and use by *Jatropha curcas* in a semi-arid tropical location. **Biomass and bioenergy**, v. 39, p. 175-181, 2012.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007. 830 p.

REIS, F. O.; CAMPOSTRINI, E. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica potencial em mamoeiro do grupo 'formosa' cultivado em condição de campo. **Bragantia**, v. 67, n. 4, p. 815-822, 2008.

RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil**: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições Ltda. 1997. 747 p.

RODAL, M. J. N.; NASCIMENTO, L. M. Levantamento florístico da floresta serrana da reserva biológica de Serra Negra, microrregião de Itaparica, Pernambuco, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 16, n. 4, p. 481-500, 2002.

RODAL, M. J. N.; NASCIMENTO, L. M.; MELO, A. L. Composição florística de um trecho de vegetação arbustiva caducifólia, no município de Ibimirim, PE, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 13, n. 1, p. 15-28, 1999.

RODRIGUES, B. M., ARCOVERDE, G. B.; ANTONINO, A. C. D.; SANTOS, M. G. Water relations in physic nut according to climatic seasonality, in semiarid conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 9, p. 1112-1115, 2011.

SANTOS, A. M. M.; TABARELLI, M. Variáveis múltiplas e desenho de unidades de conservação: uma prática urgente para a Caatinga. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (eds.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, p. 735-776, 2003.

SANTOS, C. M.; VERISSIMO, V.; WANDERLEY FILHO, H. C. L.; FERREIRA, V. M.; CAVALCANTE, P. G. S.; ROLIM, E. V.; ENDRES, L. Seasonal variations of photosynthesis, gás Exchange, quantum efficiency of photoystem II and biochemical responses of *Jatropha curcas* L. grown in semi-humid and semi-arid areas subject to water stress. **Industrial Crops and Products**, v. 41, p. 203-213, 2013.

SANTOS, L. M.; SILVA, E. C.; SILVA JUNIOR, C. D. Análise preliminar das trocas gasosas, fluorescência da clorofila e potencial hídrico de plantas de juazeiro em uma região semi-árida de Sergipe, Brasil. **Scientia Plena**, v. 10, n. 2, p. 1-10, 2014.

SAPETA, H.; COSTA, J. M.; LOURENÇO, T.; MAROCO, J.; LINDE, P. V. D.; OLIVEIRA, M. M. Drought stress response in *Jatropha curcas*: growth and physiology. **Environmental and Experimental Botany**, v. 85, p. 76-84, 2013.

SATO, M.; BUENO, O. C.; ESPERANCINI, M. S. T.; FRIGO, E. P. A cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.): uso para fins combustíveis e descrição agrônômica. **Revista Varia Scientia**, v. 7, n. 13, p. 47-62, 2009.

SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, H. T.; BRADSTREET, E. D.; HEMMINGSEN, E. A. Sap pressure in vascular plants: negative hydrostatic pressure can be measured in plants. **Science**, v. 148, p. 339-346, 1965.

SERGIPE. Lei n. 24.922, 21 de dezembro de 2007.

SILVA, D. A.; MARCHIORI, F.; ANDRADE, C. Comportamento da semente de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) sob diferentes temperaturas visando à utilização energética. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 4, p. 414-421, 2012a.

SILVA, E. C.; ALBUQUERQUE, M. B.; AZEVEDO NETO, A. D.; SILVA JUNIOR, C. D. Drought and its consequences to plants - From individual to ecosystem. In: Şener Akıncı. (Org.). **Responses of organisms to water stress**. 1ed. Rijeka: InTech, p. 17-47, 2013.

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; AZEVEDO NETO, A. D.; BRITO, J. Z.; CABRAL, E. L. Aspectos ecofisiológicos de dez espécies em uma área de caatinga no município de Cabaceiras, Paraíba, Brasil. **Iheringia, Série Botânica**, Porto Alegre, v. 59, n. 2, p. 201-205, 2004.

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; VALE, F. H. A.; MELO, N. F.; ARAÚJO, F. P. Water relations and organic solutes production in four umbu tree (*Spondias tuberosa*)

genotypes under intermittent drought. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 21, n. 1, p. 43-53, 2009.

SILVA, E. N.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. The role of organic and inorganic solutes in the osmotic adjustment of drought-stressed *Jatropha curcas* plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 69, p. 279-285, 2010c.

SILVA, E. N.; RIBEIRO, R. V.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VIEIRA, S. A.; PONTE, L. F. A.; SILVEIRA, J. A. G. Coordinate changes in photosynthesis, sugar accumulation and antioxidative enzymes improve the performance of *Jatropha curcas* plants under drought stress. **Biomass and Bioenergy**, v. 45, p. 270-279, 2012b.

SILVA, E. V.; FERREIRA-SILVA, S. L.; FONTENELE, A. V.; RIBEIRO, R. F.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Photosynthetic changes and protective mechanisms against oxidative damage subjected to isolated and combined drought and heat stresses in *Jatropha curcas* plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 167, p. 1157-1164, 2010d.

SILVA, P. C. G.; MOURA, M. S. B.; KIILL, L. H. P.; BRITO, L. T. L.; PEREIRA, L. A.; SÁ, I. B.; CORREIA, R. C.; TEIXEIRA, A. H. C.; CUNHA, T. J. F.; GUIMARÃES FILHO, C. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. (eds.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina Embrapa Semiárido, p. 17-48, 2010a.

SILVA, R. A.; SANTOS, A. M. M.; TABARELLI, M. Riqueza e diversidade de plantas lenhosas em cinco unidades de paisagem da Caatinga. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (eds.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, p. 337-366, 2003.

SILVA, V. A.; ANTUNES, W. C.; GUIMARÃES, B. L. S.; PAIVA, R. M. C.; SILVA, V. F.; FERRÃO, M. A. G.; DAMATTA, F. M.; LOUREIRO, M. E. Resposta fisiológica de clone de café Conilon sensível à deficiência hídrica enxertado em porta-enxerto tolerante. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.45, n.5, p.457-464, 2010b.

SMIDERLE, O. J.; LIMA, J. M. E.; PAULINO, P. P. S. Curva de absorção de água em sementes de *Jatropha curcas* L. com dois tamanhos. **Revista Agroambiente**, v. 7, n. 2, p. 203-208, 2013.

SRIVASTAVA, A.; STRASSER, R.J.; GOVINDJEE. Greening of peas: parallel measurements of 77 K emission spectra, OJIP chlorophyll a fluorescence transient, period four oscillation of the initial fluorescence level, delayed light emission, and P700. *Photosynthetica*, v.37, p.365-392, 1999.

STRASSER, R. J.; SRIVASATAVA, A.; GOVINDJEE. Polyphasic chlorophyll *a* fluorescence transient in plants and cyanobacteria, **Photochemistry and Photobiology**, v. 61, p. 32-34, 1995.

TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. Áreas e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da Caatinga. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (eds.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, p. 777-796, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Tradução: SANTARÉM, E. R. (*et al.*). 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M. Cinética de emissão de fluorescência das clorofilas em dois clones de *Eucalyptus*. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 9, p. 1-14, 2007.

TROVÃO, D. M. B. M.; FERNANDES, P. D.; ANDRADE, L. A.; DANTAS NETO, J. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 307-311, 2007.

TURNER, N. C.; KRAMER, P. J. **Adaptation of plants to water and high temperature stress**. New York: John Wiley & Sons, 1980. 482 p.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e Aplicações**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1991. 449 p.

WEATHERLEY, P.E. Studies in the water relations of the cotton plant. I - The field measurements of water deficits in leaves. **New Phytologist**, v.49, pp.81-97, 1950.

WICKENS, G. E. **Ecophysiology of economic plants in arid and semi-arid lands**. Springer: Berlin, 1998. 343 p.

ZHANG, F. L.; NIU, B.; WANG, Y. C.; CHEN, F.; WANG, S. H.; XU, Y.; JIANG, L. D.; GAO, S.; WU, J.; TANG, L.; JIA, Y. J. A novel betaine aldehyde dehydrogenase gene from *Jatropha curcas*, encoding an enzyme implicated in adaptation to environmental stress. **Plant Science**, v. 174, p. 510-518, 2008.

ZHENG, Y. X.; WU, J. C.; CAO, F. L.; ZHANG, Y. P. Effects of water stress on photosynthetic activity, dry mass partitioning and some associated metabolic changes in four provenances of neem (*Azadirachta indica* A. Juss). **Photosynthetica**, v. 48, n. 3, p. 361-369, 2010.