



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA  
CURSO DE LICENCIATURA PLENA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Júlia Arruda Simões

**PLASTICIDADE FENOTÍPICA DE *Talinumtriangulare* (Jacq.) Will FRENTE AO  
EFEITO SIMULADO DAS CHUVAS DA CAATINGA**

RECIFE (PE), 2018

Júlia Arruda Simões

**PLASTICIDADE FENOTÍPICA DE *Talinumtriangulare* (Jacq.) Will FRENTE AO  
EFEITO SIMULADO DAS CHUVAS DA CAATINGA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no  
como requisito parcial para obtenção do título de  
licenciado em Ciências Biológicas, pelo curso de  
Licenciatura Plena em Ciências Biológicas  
(UFRPE).

**Orientadora:**

Dra. Elcida de Lima Araújo

**Coorientadores:**

Msc. Bruno Ayron de Souza Aguiar

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S593pp Simões, Júlia Arruda  
PLASTICIDADE FENOTÍPICA DE *Talinumtriangulare* (Jacq.) Will FRENTE AO EFEITO SIMULADO  
DAS CHUVAS DA CAATINGA / Júlia Arruda Simões. - 2018.  
26 f. : il.

Orientadora: Elcida de Lima Araujo.  
Inclui referências.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco,  
Licenciatura em Ciências Biológicas, Recife, 2018.

1. florestas secas. 2. disponibilidade hídrica. 3. semiárido. 4. produtividade. 5. crescimento. I. Araujo,  
Elcida de Lima, orient. II. Título

CDD 574

---

RECIFE (PE), 2018

Júlia Arruda Simões

**PLASTICIDADE FENOTÍPICA DE *Talinumtriangulare* (Jacq.) Will FRENTE AO  
EFEITO SIMULADO DAS CHUVAS DA CAATINGA**

Dissertação defendida em: 27/08/2018

**Comissão Avaliadora:**

Presidente da Banca/Orientadora:

Titulares:

---

Dra. Elcida de Lima Araújo (UFRPE)

---

Dra. Danielle Melo dos Santos (UFPE)

---

Msc. Vanessa Kelly Rodrigues de Araujo (UFRPE)

Suplente:

---

Dra. Juliana Ramos de Andrade (UFRPE)

RECIFE (PE), 2018

## SUMÁRIO

Lista de tabelas.....	5
Lista de figuras .....	6
Resumo.....	7
Fundamentação teórica .....	8
Fundamentação teórica .....	8
<b>Artigo .....</b>	<b>11</b>
Resumo .....	12
Abstract .....	12
Introdução .....	13
Materiais e métodos .....	14
Resultados .....	16
Discussão .....	17
Conclusão .....	19
Referências bibliográficas .....	20

## **Lista de tabelas**

Tabela 1. Análise de GLM (Modelo Linear Generalizado) mostrando a influência das simulações das chuvas nos traços vegetativas de *Talinumtriangulare* (Jacq.) Will. (df: grau de liberdade; SS: soma dos quadrados; Error: valor do erro; MS: Média dos quadrados; F: Teste Fisher;  $p$ : <0,05-diferenças significativas; R2: Percentual explicativo).....26

## Lista de figuras

Figura 1. Quantitativos anuais das chuvas em 60 anos (1956-2016) em um fragmento de caatinga, obtidos da estação meteorológica do IPA (Instituto Agrônomo de Pernambuco - Estação Experimental José Nilson de Melo) sediado em Caruaru (PE). Valor de corte evidenciado pela linha azul para seleção de anos chuvosos e linha vermelha para anos secos.....24

Figura 2. Efeito das simulações das chuvas nos traços vegetativos de *Talinum triangulare* (Jacq.) Will. Letras distintas entre os tratamentos denotam diferenças significativas pelo teste de *Tukeya posteriori*. (T1 - simulação da média diária de precipitações dos anos chuvosos; T2 - simulação da média diária de precipitações dos anos medianos; T3 - simulação da média diária de precipitações dos anos secos).....24

Figura 3. Efeito das simulações das chuvas na biomassa de *Talinum triangulare* (Jacq.) Will. Letras distintas entre os tratamentos denotam diferenças significativas pelo teste de *Tukeya posteriori*. (T1 - simulação da média diária de precipitações dos anos chuvosos; T2 - simulação da média diária de precipitações dos anos medianos; T3 - simulação da média diária de precipitações dos anos secos).....25

Figura 4. Índice de plasticidade fenotípica (RDPI) nos traços vegetativos de *Talinum triangulare* (Jacq.) Will. ao efeito histórico simulado das chuvas de caatinga.....25

## RESUMO

A disponibilidade hídrica no solo das florestas tropicais secas é afetada pela irregularidade das chuvas, o que têm provocado alterações nas repostas dos traços funcionais das plantas. O entendimento da plasticidade destas repostas permite uma melhor compreensão das relações de custo e benefício das plantas, bem como a compreensão das possíveis mudanças que possam ocorrer no funcionamento destas florestas, quando as condições ambientais são alteradas. Nesta perspectiva, hipotetizamos que as reduções históricas simuladas das chuvas em florestas de caatinga podem afetar quantitativamente a plasticidade fenotípica dos traços vegetativos da herbácea *Talinum triangulare* (Jacq.) Will. As sementes da espécie foram coletadas ao final da estação chuvosa (ago-set/2017) em um fragmento de floresta de caatinga, localizada no IPA em Caruaru, Pernambuco. Após 10 dias de germinação das sementes em câmara de BOD, as plântulas foram transferidas para sacos plásticos com dimensões 250 cm<sup>2</sup> decircunferência, contendo 3 kg solo de solo autoclavado do mesmo local. Depois de 20 dias de aclimatação em 100% da CP (capacidade pote) foi construído o experimento de simulação das chuvas, com 30 repetições por tratamento, monitorado por seis meses (estação chuvosa), sendo estes: **T1** - simulação da média diária dos anos chuvosos; **T2** - simulação da média diária dos anos medianos; **T3** - simulação da média diária dos anos secos. Foram mensuradas semanalmente a altura, diâmetro, longevidade, comprimento e largura foliar, produção das folhas e ao final do tratamento, o comprimento das raízes, biomassa das raízes, caules e folhas. A partir destes valores foi mensurada a plasticidade fenotípica. As diferenças foram testadas através de GLMS. As variações históricas simuladas das chuvas modificam as respostas dos traços vegetativos funcionais da herbácea *T. triangulare*, com uma tendência de redução no crescimento e menor produtividade de forma mais crítica na simulação dos anos considerados secos. Entretanto, comparando os traços da espécie, alguns podem apresentar menores (diâmetro) e maiores (acúmulo de biomassa) plasticidades, sugerindo diferentes ajustes para sua sobrevivência. Acreditamos que reduções em todos os tecidos em expansão pode ser uma estratégia de economia de água e posteriormente alocação de recursos para reprodução ou acúmulo de reservas energéticas (Perene), garantindo sua sobrevivência. Entretanto, as projeções futuras de redução na precipitação destas florestas secas, poderão influenciar negativamente a dinâmica anual da população desta espécie, pelo crescimento e desenvolvimento limitado.

**Palavras-chaves:** florestas secas, semiárido, disponibilidade hídrica, produtividade, crescimento.

# 1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

## 1.1. Respostas vegetativas de herbáceas frente à deficiência hídrica

A disponibilidade de água no solo das florestas secas é um fator mediado pelos regimes de chuvas (Albuquerque et al., 2012; Miranda et al., 2014) e que afeta diretamente o desenvolvimento e crescimento das plantas (Correia, et al, 2016). Desta forma, muitas herbáceas apresentam mecanismos de ajustes para “torelar” ou “fugir”, como forma positiva de economia de água e para sua sobrevivência nas condições de estresse hídrico (Moreno et al., 2008; Oliveira et al., 2015; Kooyers et al., 2015). Como exemplo, em ecossistemas de caatinga, diante do déficit hídrico as lenhosas possuem estratégias eficientes para economia deste recurso, sincronizando a produção de folhas, floração, frutificação, crescimento e acumulação de água no caule dentro do período chuvoso. No caso das herbáceas terófitas, as mesmas mantêm o ciclo de vida dentro do período de maior disponibilidade de água (estação chuvosa), já as herbáceas geófitas, mantem o acúmulo de nutrientes e reservas energéticas e alongamento nas raízes. Esta estratégia de alongar a raiz é provavelmente um ajuste para acessar o recurso hídrico em regiões mais profundas do solo, que se encontra naturalmente em menor disponibilidade em anos mais secos (Chaves *et al.* 2002; Lu *et al.* 2011; Lelièvre *et al.* 2011, Aguiar, 2017).

Em estudos no cerrado, uma savana brasileira, a alternância das estações climáticas definem os padrões de crescimento de espécies lenhosas e herbáceas, sendo os períodos chuvosos associados aos padrões da floração e frutificação (Batalha e Martins, 2004; Gottsberger e Silberbauer-Gottsberger, 2006). Avaliando os eventos reprodutivos de 366 espécies de plantas do cerrado de microhabitats ciliares Silva et al. (2011) mostraram correlações positivas da disponibilidade de umidade do solo e variáveis climáticas, como a precipitação. Além disso, as herbáceas e lenhosas alteram suas atividade estomática de acordo com a estação chuvosa e seca (Palhares et al., 2010). Porém, independente do tipo de clima do bioma as plantas podem modificar seus ajustes às condições do gradiente ambiental e climático.

No geral, é possível observar diversas alterações fisiológicas, ecológicas, morfológicas de acordo com a disponibilidade hídrica do ambiente. Um estudo realizado por Nogueira et al. (1999) com a herbácea *Senna spectabilis* (L.) Link, mostrou que diante da baixa disponibilidade de água ocorre a restrição de trocas gasosas. Em outro estudo realizado com uma gramínea, foi possível observar que a medida que o estresse hídrico aumentava reduzia o potencial hídrico foliar, taxa de transpiração e a taxa fotossintética. O que altera de maneira

geral o funcionamento da planta (Moraes et al., 1999). Na herbácea *Bernardiasidoides* possuía menores valores para altura, diâmetro, quantidade de ramificações e número de folhas quando comparadas às do tratamento controle (Lemos et al., 2011). Em geral, o déficit hídrico pode gerar reduções no crescimento de todos os tecidos em expansão, como em altura, no diâmetro e na construção foliar (Peñuelaset al., 2004; Moreno et al., 2008; Miranda et al., 2009; Bernal et al., 2011; Muller et al., 2011; Tardieu et al., 2011; Tardieu, 2014; Correia, et al. 2016), aceleração da maturidade física da população (Yousfi et al., 2015; Wang et al., 2009), afetando o acúmulo de biomassa (Gibson-Forty et al. 2016), ou responder de forma contrária diante de seus ajustes.

### ***1.2. Plasticidade fenotípica e sua importância***

A plasticidade fenotípica é a capacidade de mudança estrutural, anatômica, fisiológica, morfológica e fenológica de plantas e animais de acordo com alterações no gradiente ambiental e climático (Montanari et al., 2004; Forsman, 2015), podendo ser caracterizadas em dois tipos: a *sensu stricto*, a qual mantém o foco em linhas genéticas; e a *sensu lato* que possibilita observar uma visão ecológica da situação (Valladares et al., 2005; Forsman, 2015). Para o presente estudo o que vai nos interessar é a plasticidade *sensu lato*, pois estuda as alterações fenotípicas dos vegetais de acordo com as mudanças do ambiente. Visto que a plasticidade é uma alteração genética de um organismo, e que nem sempre a plasticidade varia em função do ambiente, sendo considerada uma “plasticidade do desenvolvimento”, como uma expressão irreversível (Simon, 2010; Forsman, 2015).

Murren (2015) traz a ideia de compreender a diferença entre os organismos especialistas, não plásticos e plásticos, no qual organismos especialistas são considerados por realizar uma maior ou menor performance no desenvolvimento em um ambiente quando comprado ao outro. Os indivíduos considerados não plásticos possuem o mesmo funcionamento em diferentes ambientes, não se alteram. Por fim, os plásticos realizam performances diferentes durante o seu desenvolvimento em determinado espaço de tempo.

Para medir matematicamente a plasticidade fenotípica existem diversas fórmulas, possibilitando que essa flexibilidade possa ser quantificada em uma alta plasticidade ou baixa plasticidade. De acordo com Valladares (2006), o índice de plasticidade pode variar de 0 (zero) a 1 (um), no qual 1 seria considerada o ótimo (alto) plástico, porém valores acima de 0,6 são classificados como altos e abaixo disso possuem uma baixa plasticidade.

Alguns estudos mostram que nem sempre possuir uma alta plasticidade está relacionado com algo benéfico para o indivíduo, pois pode ter um custo alto. Sempre essa análise deverá ser feita de forma mais profunda para saber o que foi benéfico ou não de acordo com determinada situação e ambiente (Murrenet al., 2015). Desta forma pode-se notar que todo contexto em que o objeto de estudo está inserido é fundamental para definir o que foi positivo ou negativo, mostrando que o ambiente tem influência direta nessas alterações.

Nos últimos anos, os estudos da compreensão da flexibilidade fenotípica das espécies vegetais têm sido vastamente utilizados como parâmetro para explorar a diversidade entre os indivíduos, bem como compreender as aptidões que permite o indivíduo sobreviver quando as condições ambientais são alteradas (Valladares et al., 2006; Nicotra et al., 2010; Forsman, 2015). O que é crucial para uma melhor compreensão da evolução das espécies, já que a plasticidade fenotípica é entendida como geneticamente controlada e hereditária (Nicotra et al., 2010). Além de serem utilizadas como bons indicadores, aumentando a capacidade de predição dos efeitos das mudanças climáticas (Fay, et al. 2008; Baez et al., 2013; Spence et al. 2015; Ye et al., 2016; Nock et al., 2016). Sendo assim, uma ferramenta fundamental para prever o processo de extinção e mostrando relevância para entender os processos evolutivos de seres vivos (Valladares et al., 2006; Nicotra et al., 2010; Valladares et al., 2007; Ribeiro, 2014).

## **Artigo**

---

Artigo desenvolvido na monografia do curso de Biologia a ser submetido para o periódico Brazilian Journal of Forest Science (Revista Árvore - B3).

# PLASTICIDADE FENOTÍPICA DE *Talinumtriangulare* (Jacq.) Will FRENTE AO EFEITO SIMULADO DAS CHUVAS DA CAATINGA

Júlia Arruda Simões<sup>1\*</sup>, Bruno Ayron de Souza Aguiar, Elcida de Lima Araújo.

<sup>1</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia, Rua Manoel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brasil. \*julia\_simoes\_@hotmail.com

**RESUMO** - A disponibilidade hídrica no solo das florestas tropicais secas é afetada pela irregularidade das chuvas, o que têm provocado alterações nas repostas dos traços funcionais das plantas. Nesta perspectiva, hipotetizamos que as reduções históricas simuladas das chuvas em florestas de caatinga podem afetar quantitativamente a plasticidade fenotípica dos traços vegetativos da herbácea *Talinumtriangulare* (Jacq.) Will. As sementes da espécie foram coletadas ao final da estação chuvosa (ago-set/2017) em um fragmento de floresta de caatinga, localizada no IPA em Caruaru (PE). Após 10 dias de germinação das sementes as plântulas foram transferidas para sacos plásticos contendo 3 kg solo de solo do mesmo local. Depois de 20 dias de aclimatação em 100% da CP (capacidade pote) foi construído o experimento de simulação das chuvas, com 30 repetições por tratamento, monitorado por seis meses (estação chuvosa), sendo estes: **T1** - simulação da média diária dos anos chuvosos; **T2** - simulação da média diária dos anos medianos; **T3** - simulação da média diária dos anos secos. Foram mensuradas semanalmente a altura, diâmetro, longevidade, comprimento e largura foliar, comprimento das raízes, produção das folhas e biomassa das raízes, caules e folhas. A partir destes valores foi mensurada a plasticidade fenotípica. As variações simuladas das chuvas modificam as respostas dos traços vegetativos da herbácea, com uma tendência de redução no crescimento e produtividade de forma crítica em T3. Os traços apresentaram menores (diâmetro) e maiores (acumulo de biomassa) plasticidades, sugerindo diferentes ajustes para sua sobrevivência. Acreditamos que reduções nos tecidos em expansão pode ser uma estratégia de economia de água e alocação de recursos para reprodução. Sugerimos que projeções futuras de redução na precipitação destas florestas poderão influenciar negativamente a dinâmica anual destas populações, pelo crescimento e desenvolvimento limitado.

**Palavras-chaves:** florestas secas, disponibilidade hídrica, produtividade.

**ABSTRACT** - The water availability in the soil of dry tropical forests is affected by irregular rainfall, which has caused changes in the responses of the functional traits of the plants. In this perspective, we hypothesized that the simulated historical reductions of rains in caatinga forests can quantitatively affect the phenotypic plasticity of the vegetative traits of the herbaceous *Talinumtriangulare* (Jacq.) Will. The seeds of the species were collected at the end of the rainy season (Aug-Sep / 2017) in a caatinga forest fragment, located at IPA in Caruaru (PE). After 10 days of seed germination the seedlings were transferred to plastic bags containing 3 kg soil soil from the same place. After 20 days of acclimatization in 100% CP (pot capacity) the rain simulation experiment was constructed, with 30 replicates per treatment, monitored for six months (rainy season), being these: T1 - simulation of the average daily of the years rainy; T2 - mean daily average simulation; T3 - simulation of the daily average of the dry years. The height, diameter, longevity, leaf length and width, root length, leaf production and biomass of roots, stems and leaves were measured weekly. From

these values the phenotypic plasticity was measured. Simulated rainfall variations modify the responses of the herbaceous vegetative traits, with a tendency to decrease in growth and productivity critically in T3. The traits presented smaller (diameter) and larger (biomass accumulation) plasticity, suggesting different adjustments for their survival. We believe that reductions in expanding tissue can be a strategy of saving water and allocating resources for reproduction. We suggest that future projections of reduced precipitation of these forests may negatively influence the annual dynamics of these populations due to limited growth and development.

**Key words:** dry forests, water availability, productivity.

## 1. INTRODUÇÃO

Em ambientes semiáridos a disponibilidade hídrica no solo das florestas é controlada principalmente pela heterogeneidade temporal e espacial das chuvas (Albuquerque et al., 2012; Miranda et al., 2014). Nestas regiões, o prolongamento das condições de seca pode alterar o ritmo fenológico vegetativo (Richardson et al., 2013; Takeno, 2016), limitar o crescimento (Bernal et al., 2011; Tardieu, 2014), provocar declínios nos processos reprodutivos (Becerra, 2014; Yousfi et al., 2015) e afetar a produção de biomassa das plantas em seus diversos hábitos (Correia, et al, 2016). Todavia, em especial as espécies herbáceas, possuem adaptações e ajustes categorizados em tolerância ou escape a seca (Moreno et al., 2008; Oliveira et al., 2015; Kooyers et al., 2015), para sobreviver em meio a estas condições com recursos limitados, adotando estratégias positivas e eficientes para economia de água (Jongen et al., 2015).

Nesses ambientes, independente da estratégia, a ocorrência das espécies podem ser descontínua no tempo e haver reduções na densidade de suas populações entre anos, possivelmente explicadas pelas variações nos quantitativos e distribuição das precipitações anualmente (Reis et al., 2006; Silva et al., 2015). Os efeitos da imprevisibilidade das chuvas sobre as respostas vegetativas e reprodutivas de herbáceas em ambientes de caatinga ainda são poucos compreendidos (Moreno et al., 2008), mas sabe-se que são indutores de mortalidade (Silva et al., 2015 ) e explicam parte das variações na chuva de sementes (Souza et al., 2014) e 48% da riqueza de espécies que fica armazenada no banco de sementes no solo (Santos et al., 2013b). Os Estudos preditores mostram que nestas regiões semiáridas reduções nos quantitativos das chuvas são esperadas, aumentando a severidade das secas para os próximos anos, em consequência do aquecimento global (Richardson et al., 2013; Vicente-Serrano et al., 2013; Dai et al., 2013), o que pode modificar e intensificar os processos citados.

Nos últimos anos, os estudos da compreensão da flexibilidade fenotípica das espécies vegetais têm sidovastamente utilizados como parâmetro para explorar os padrões de

diversidade entre os indivíduos, bem como compreender as aptidões que permite o indivíduo sobreviver quando as condições ambientais são alteradas (Valladares et al., 2006; Nicotra et al., 2010; Forsman, 2015). Este tipo de estudo é crucial para uma melhor compreensão da evolução das espécies, já que a plasticidade fenotípica é importante para compreender heranças genéticas e a manutenção da biodiversidade (Nicotra et al., 2010 ; Forsman, 2015). Além de serem utilizadas como bons indicadores, aumentando a capacidade de predição dos efeitos das mudanças climáticas (Fay, et al. 2008; Bazzaz et al., 2013; Spence et al. 2015; Ye et al., 2016; Nock et al., 2016).

Diante do interesse crescente nas questões de como a variação interindividual e a plasticidade influenciam o desempenho e o sucesso ecológico das populações de plantas, quando as condições ambientais são alteradas, nosso estudo busca compreender a relação entre as variações no quantitativo e distribuição das chuvas na plasticidade dos traços de herbáceas da caatinga. Nesta perspectiva, hipotetizamos que as reduções históricas simuladas das chuvas em florestas de caatinga podem afetar quantitativamente a plasticidade fenotípica dos traços vegetativos da herbácea geófito *Talinum triangulare* (Jacq.) Will.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### ***2.1. Espécie estudada***

A espécie modelo selecionada para o estudo de simulação das chuvas foi a herbácea *Talinum triangulare* (Jacq.) Will., que apresenta ampla distribuição e elevada densidade na vegetação da caatinga (Santos et al. 2013a). A mesma apresenta autogamia facultativa, permitindo que o estudo seja conduzido em casa de vegetação para o melhor controle do nível de disponibilidade hídrica. A espécie ainda apresenta potencial forrageiro e alimentício, sendo utilizadas pelas populações locais na alimentação de animais e na alimentação humana (Santos et al., 2010).

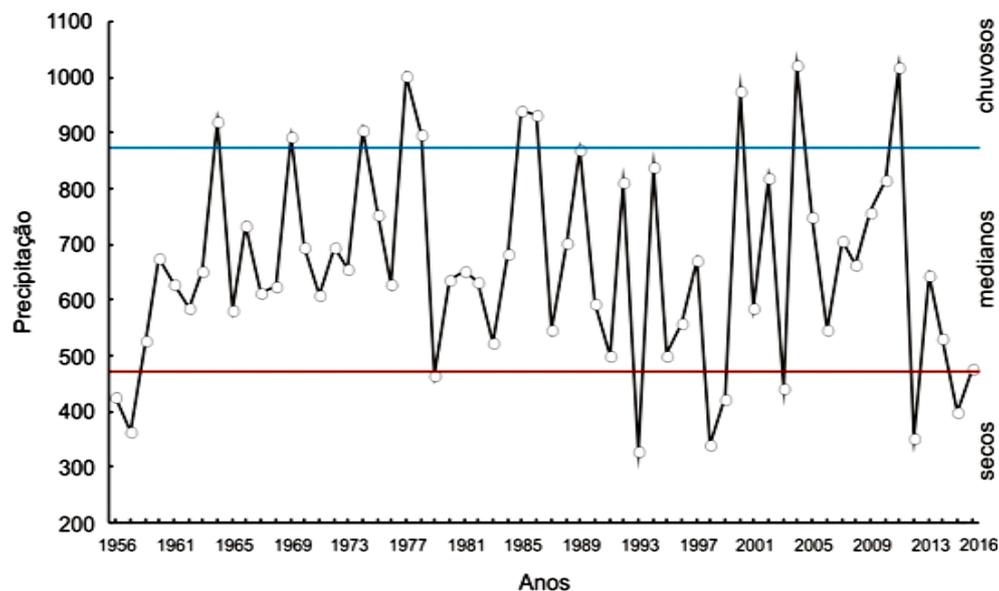
### ***2.2. Coleta das sementes e instalação do experimento***

As sementes foram coletadas ao final da estação chuvosa na vegetação de caatinga do Instituto de Pesquisa Agropecuária (IPA) em Caruaru (PE) e colocadas para germinar em câmara de BOD após a condução de tratamentos pré-germinativos para superação da dormência (escarificação química combinado com imersão em água por 24h). Dez dias após a emergência das plântulas, 90 indivíduos foram transferidos cuidadosamente para sacos de polietileno devidamente enumerados. Estes sacos, com circunferência de 250 cm<sup>2</sup>,

contiveram 3 kg de solo autoclavado (para evitar competição com o banco de sementes), coletado no mesmo local de obtenção das sementes. Após serem transplantadas, as plantas foram mantidas em casa de vegetação durante 20 dias para aclimação, período em que o solo foi mantido na capacidade máxima de retenção hídrica ou capacidade de pote, pelo método gravimétrico proposto por Souza et al. (2000).

Os indivíduos foram submetidos aos tratamentos que simularam os cenários de precipitações da caatinga. O experimento foi construído utilizando os totais de chuvas dos últimos 60 anos, estes foram submetidos a análises de estatística descritiva e interquartílica para determinar o valor de corte (mm), visando classificar quais seriam os anos secos, medianos e muito chuvosos.

A administração hídrica simulada em casa de vegetação, por sua vez, foi baseada na média diária dos totais de chuvas (mm) do conjunto de anos de cada tratamento (chuvoso, medianos e secos) que tenha ocorrido nos últimos 60 anos (figura 1). O início do experimento e de administração hídrica foi baseado no início da estação chuvosa, período de recrutamento da maioria das herbáceas de regiões secas (Santos et al., 2013 a,b), com duração de seis meses de estudo (período chuvoso). Considerando que as plantas foram cultivadas em sacos de polietileno com área da circunferência de  $250 \text{ cm}^2$ , o valor médio diário de precipitação para cada tratamento, que é dado em  $\text{mm}^3$ , foi convertido em  $\text{litros/m}^2$  e depois em  $\text{litros/cm}^2$ , para facilitar a administração de água por instrumentos manuais como pipetas, béqueres e provetas. No geral, o delineamento do experimento foi inteiramente casualizado, com 30 repetições por tratamento (T) de simulação das precipitações: T1 - simulação da média diária de precipitações dos anos chuvosos; T2 - simulação da média diária de precipitações dos anos medianos; T3 - simulação da média diária de precipitações dos anos secos.



**Figura 1** - Quantitativos anuais das chuvas em 60 anos (1956-2016) em um fragmento de caatinga, obtidos da estação meteorológica do IPA (Instituto Agrônomo de Pernambuco - Estação Experimental José Nilson de Melo) sediado em Caruaru (PE). Valor de corte evidenciado pela linha azul para seleção de anos chuvosos e linha vermelha para anos secos.

### **2.3. Monitoramento dos traços vegetativos**

Semanalmente, foram mensurados os traços vegetativos por repetição (30 repetições), sendo estes: a altura (do colo da planta até o ápice caulinar); o diâmetro da base do caule, número de folhas acumuladas produzidas; comprimento, largura e longevidade foliar (marcando uma folha por planta no início de sua brotação até a sua queda). O local de medição do diâmetro do caule e as folhas selecionadas para o estudo foram marcados com tinta no momento da primeira medição, para que as demais mensurações fossem feitas no mesmo local demarcado. As medidas foram realizadas com auxílio de fita métrica e paquímetro digital. Ao final do experimento, as partes de cada planta (folhas, caule e raiz) foram separadas, acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa de circulação de ar forçada a 65 °C até atingir peso constante para determinação do peso da matéria seca das folhas (MSF), dos caules (MSC), das raízes (MSR) e da matéria seca total (MST) de cada tratamento. Para medir o peso da MSF, MSC, MSR e MST foi utilizada uma balança de precisão semianalítica.

### **2.4. Plasticidade fenotípica**

Para calcular a plasticidade fenotípica dos traços vegetativos utilizamos os valores da última coleta, sendo estes a máxima construção das estruturas do vegetal. Para o presente estudo foi utilizado o RDPI (“relativedistanceplasticity index”), o qual é calculado pela seguinte fórmula matemática:

$$RDPI = \sum [d_{ij \rightarrow i'j'} / (x_{i'j'} + x_{ij})] / n$$

Onde  $d_{ij \rightarrow i'j'}$  é a distância relativa absoluta entre o valor de um traço de um tratamento e outro, sendo  $i \neq i'$ . O valor de “x” representa o traço ou característica da planta, “i” representa o tratamento, “j” representa o indivíduo ou a repetição e “n” os números de vezes das combinações das distâncias relativas que foram realizadas. Esse índice pode variar de 0 a 1, ou seja, partindo de uma menor para maior plasticidade, sendo acima de 0,6 uma alta plasticidade (Valladares, 2006).

## 2.5. Análises estatísticas

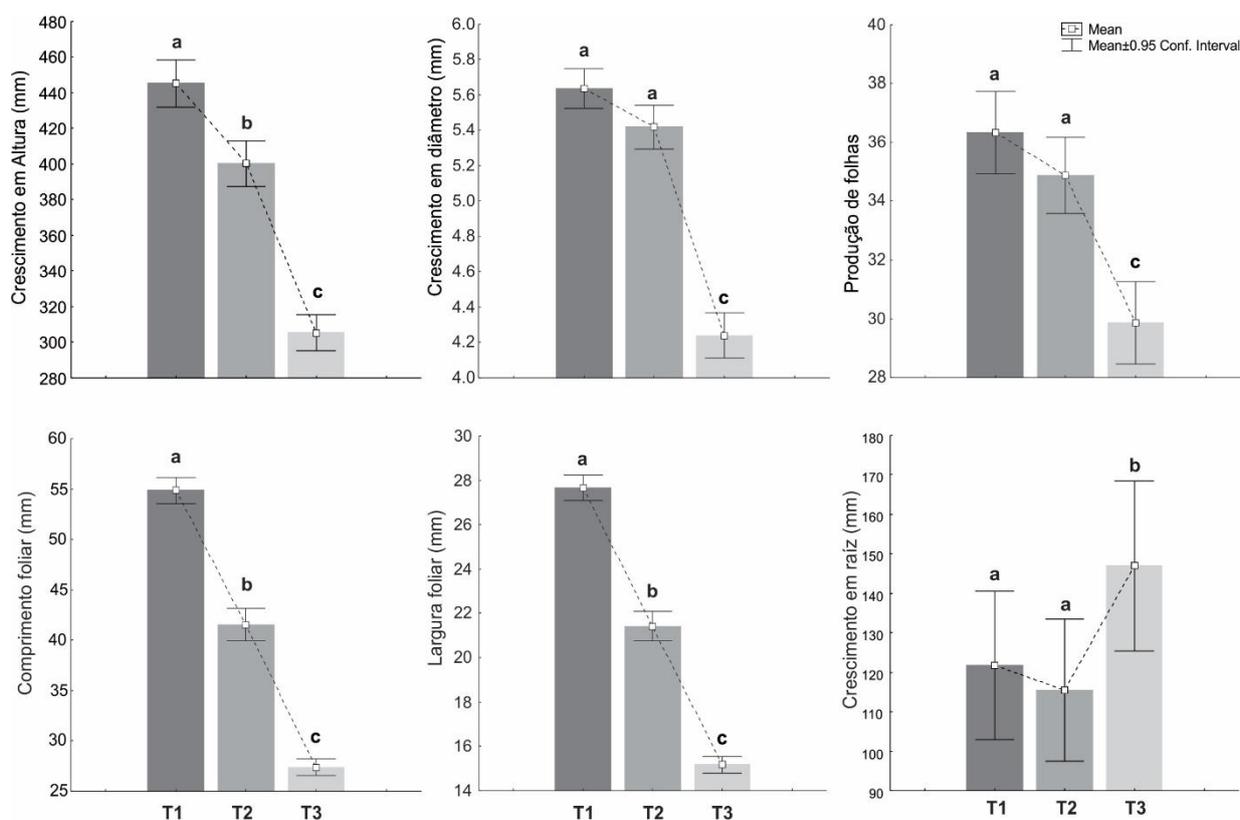
Diferenças nas respostas dos traços vegetativos entre os tratamentos, bem como o poder de explicação do fator hídrico, foram avaliadas pela análise de GLM (General linear model) incorporando ANOVA e teste *Tukey* a posteriori, utilizando-se o software SATISTICA 8.0 (Statsoft, 2007).

## 3. RESULTADOS

Durante os seis meses de estudos houve diferenças nos traços vegetativos de *Talinumtriangulare* (Jacq.) Will. entre os tratamentos de simulação das chuvas, sendo estes, no crescimento em altura, diâmetro e raiz, na produção de folhas, comprimento e largura foliar. Em geral, o tratamento que simulava os anos chuvosos (T1) obteve os maiores valores médios (Tukey;  $p < 0,05$ ) em relação aos demais, porém o efeito não foi verificado na produção de folhas e diâmetro em T2, apenas em T3. Em contrapartida, também o comprimento da raiz apresentou maiores valores em T3, quando comparados ao T2 e T1, que foram estatisticamente iguais (Tabela1; Figura 2). Em média, o crescimento das plantas entre os tratamentos diferenciavam-se a partir da 3ª semana.

**Tabela 1.** Análise de GLM (Modelo Linear Generalizado) mostrando a influência das simulações das chuvas nos traços vegetativas de *Talinumtriangulare* (Jacq.) Will. (df: grau de liberdade; SS: soma dos quadrados; Error: valor do erro; MS: Média dos quadrados; F: Teste Fisher;  $p$ :  $< 0,05$ -diferenças significativas;  $R^2$ : Percentual explicativo).

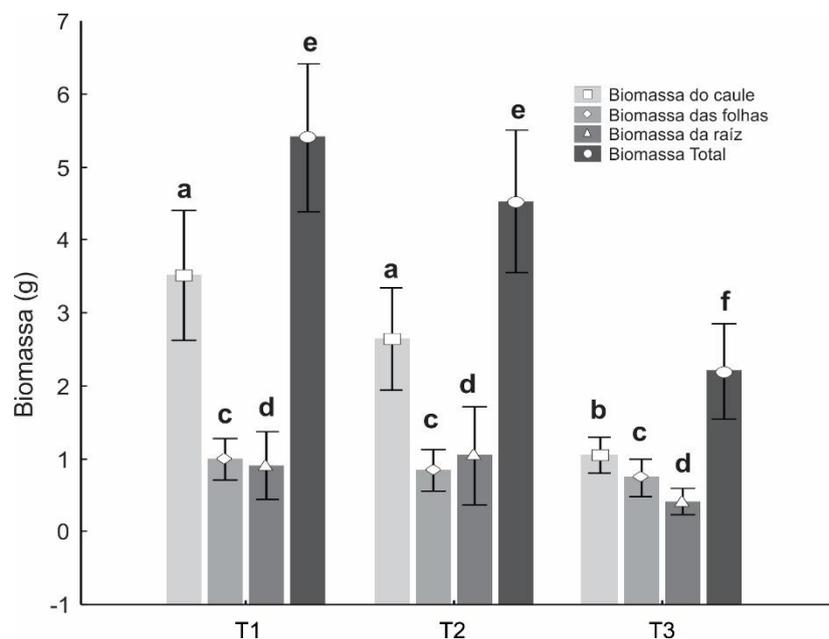
Traços	R <sup>2</sup>	SS	df	MS	Error	F	<i>p</i>
Altura	0.10	7644916	2	3822458	63745167	134.74	0.00
Diâmetro	0.11	847	2	424	6380	149.16	0.00
Produção de folhas	0.01	17260	2	8630	821454	23.60	0.00
Comprimento Foliar	0.38	232965.6	2	116482.8	377254.1	532.61	0.00
Largura Foliar	0.39	47905.4	2	23952.7	74634.5	553.60	0.00
Biomassa do caule	0.78	15.64163	2	7.82	3.503243	26.78	0.00
Biomassa das folhas	0.07	0.15802	2	0.07	0.59	1.58	0.24
Biomassa da raiz	0.27	1.10294	2	0.55	1.79	3.68	0.05
Biomassa Total	0.78	27.48553	2	13.74	6.24	26.40	0.00
Tamanho da raiz	0.39	2775.531	2	1387.7	2951.8	5.64	0.01



**Figura 2** - Efeito das simulações das chuvas nos traços vegetativos de *Talinum triangulare* (Jacq.) Will. Letras distintas entre os tratamentos denotam diferenças significativas pelo teste de *Tukeya posteriori*. (**T1** - simulação da média diária de precipitações dos anos chuvosos; **T2** - simulação da média diária de precipitações dos anos medianos; **T3** - simulação da média diária de precipitações dos anos secos).

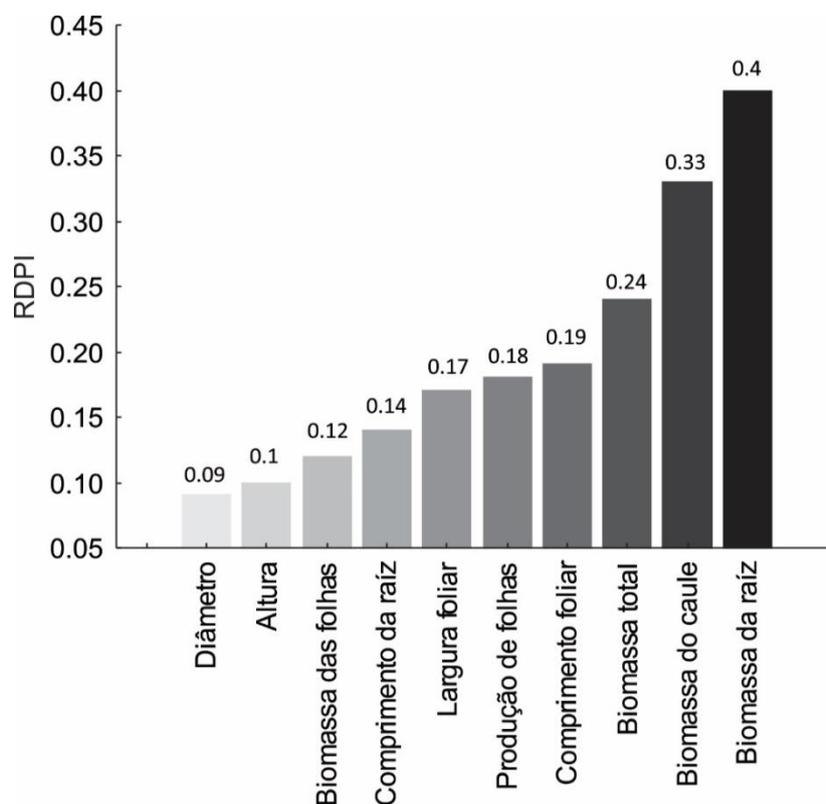
As folhas marcadas apresentaram uma longevidade que variou em uma amplitude de 5 a 25 semanas no estudo. No T1 a abscisão destas folhas previamente marcadas iniciaram antecipadamente na 5ª semana de monitoramento chegando a 60% de queda no final do experimento. Em relação a T2 o início da perca das folhas ocorreu de forma tardia na 11ª semana chegando cerca de 80% de queda ao final do monitoramento. Em T3 o início se concentrou tardiamente na 10ª semana com apenas 30% das folhas marcadas em abscisão ao final do tratamento, significando que a maioria das folhas permanecia no vegetal (70%).

A biomassa acumulada no caule apresentou diferenças significativas entre T3 e os demais tratamentos, mas T1 e T2 apresentavam o mesmo acúmulo de carbono. A biomassa acumulada nas folhas e raiz não tiveram diferenças entre todos os tratamentos monitorados. A biomassa seca total seguiu o mesmo padrão da biomassa do caule, obtendo diferenças significativas apenas na simulação dos anos secos em relação aos demais tratamentos (figura 3).



**Figura 3** - Efeito das simulações das chuvas na biomassa de *Talinum triangulare* (Jacq.) Will. Letras distintas entre os tratamentos denotam diferenças significativas pelo teste de *Tukeya posteriori*. (**T1** - simulação da média diária de precipitações dos anos chuvosos; **T2** - simulação da média diária de precipitações dos anos medianos; **T3** - simulação da média diária de precipitações dos anos secos).

Os valores de RDPI mostraram que todos os traços vegetativos monitorados da espécie foram plásticos, tanto na parte aérea quanto na subterrânea, porém a maior plasticidade se concentrou no acúmulo de biomassa na raiz e caule, sendo menor no crescimento em diâmetro seguido da altura (figura 4). As variações dos padrões de chuvas podem explicar uma amplitude de 1% a 78% nas variações de todos os traços vegetativos desta espécie.



**Figura 4** - Índice de plasticidade fenotípica (RDPI) nos traços vegetativos de *Talinum triangulare* (Jacq.) Will. ao efeito histórico simulado das chuvas de caatinga.

#### 4. DISCUSSÃO

Nossos resultados mostraram que variações históricas simuladas no quantitativo e distribuição das chuvas modificam as respostas dos traços vegetativos funcionais da herbácea *T. triangulare*, sendo mais crítico na simulação dos anos considerados secos. Todavia, nem sempre é verificado essa mudança, podendo algumas características na espécie apresentar baixas plasticidades, diante do aumento e redução das chuvas, sugerindo mudanças na direção de armazenamento de recursos, quando estas condições ambientais são alteradas. Segundo a literatura, as reduções na disponibilidade hídrica, sejam elas mediadas pelo grau de infiltração e diferenças na capacidade retenção de água no solo, como também pelas variações estocásticas das chuvas, pode ser crítico para o crescimento e desenvolvimento vegetativo de herbáceas de ambientes semiáridos (Fehmi e Kong et al., 2012; Miranda et al. 2014, Butterfield et al., 2016; Aguiar, 2017). Podendo gerar reduções no crescimento de todos os tecidos em expansão, como em altura, no diâmetro e na construção foliar (Peñuelaset al., 2004; Moreno et al., 2008; Miranda et al., 2009; Bernal et al., 2011; Muller et al., 2011; Tardieu et al., 2011; Tardieu, 2014; Correia, et al. 2016), aceleração da maturidade física da população (Yousfi et al., 2015; Wang et al., 2009), afetando o acúmulo de biomassa

(Gibson-Forty et al., 2016), ou responder de forma contrária diante de seus ajustes. Como exemplo, na Caatinga, as herbáceas apresentam reduzidas alturas e diâmetro, quando comparadas entre anos, influenciados pelas variações nos quantitativos das chuvas (REIS et al., 2006; Becerra, 2014). Uma das fortes explicações difundidas entre os cientistas sobre a redução drástica do crescimento nestas condições é provocado pelo declínio das respostas estomáticas, gerando limites na absorção de CO<sub>2</sub> e por fim, redução da atividade fotossintética (Chaves et al., 2002; Xu, 2010; Osakabe, 2014).

Em *T. triangulare* foi possível observar que os maiores valores no crescimento vegetativo estavam concentrados, na maioria das vezes, na simulação de anos chuvosos, porém é possível notar a presença de ajustes para se manterem menor disponibilidade de água, e sobreviver em meio a estas condições com recursos limitados, adotando estratégias positivas e eficientes para economia de água (Moreno et al., 2008; Jongen et al., 2015). Como por exemplo, ao compararmos o comprimento da raiz na simulação em geral, o T3 apresentou os maiores valores para o crescimento da raiz, sendo relativamente iguais no acúmulo de carbono aos demais tratamentos. Esta estratégia de alongar a raiz é provavelmente um ajuste para acessar o recurso hídrico em regiões mais profundas do solo, que se encontra naturalmente em menor disponibilidade em anos mais secos (Chaves et al. 2002; Lu et al. 2011; Lelièvre et al. 2011). Este acúmulo de biomassa na raiz, representa que a produção de fotoassimilados estão sendo preferencialmente direcionadas e revertidas para parte subterrânea, no acúmulo de reservas energéticas que garante a sobrevivência em situações críticas diante da seca (Poorter et al., 2012). Estas respostas eram esperadas por que a espécie (geófita), evolutivamente possui mecanismos de tolerância a seca em baixo potencial hídrico, mantendo ativos os processos biológicos armazenando nutrientes em suas raízes, para que permaneça em latência no solo, suprimindo qualquer estrutura que contenha um meristema visível (Cornelissen et al., 2003; Khodorova e Boitel-Conti, 2013).

A expansão foliar e a produção das folhas foram menores e plásticas conforme reduzia a disponibilidade hídrica, permitindo modificar seu fenótipo de acordo com o ambiente (Forsman, 2015), porém manteve-se o acúmulo de biomassa nesta parte aérea ao final da estação chuvosa em todos os tratamentos da simulação. Este fato de redução da área foliar (Lu et al., 2011; Tardieu et al. 2013), menor produção e manutenção das folhas (Miranda et al., 2009), também registrado para as herbáceas de ambientes semiáridos, sugere que, apesar de poder reduzir as taxas fotossintéticas, são sinalizadas como uma estratégia para minimizar a transpiração, visando a economia da água. Todavia, o acúmulo de biomassa nas folhas, que

não apresentou diferenças entre os tratamentos, implica que nesta espécie o investimento ocorre no aumento da espessura da folha para compensar o efeito negativo da redução da área foliar na fotossíntese, pois teriam como vantagem uma melhor interceptação da luz, e com isto, maior ganho de carbono (Chaves et al. 2002). Confirmando o que foi discutido, ao analisar a flexibilidade fenotípica intraindividual na espécie vegetal submetida a condições estressantes do meio (Soares, 2012; Oliveira et al., 2012) os maiores valores para plasticidade estão concentrados na biomassa seca do vegetal.

## 5. CONCLUSÃO

As variações históricas simuladas das chuvas modificam as respostas dos traços vegetativos funcionais da herbácea *T. triangulare*, com uma tendência de redução no crescimento e produtividade de forma mais crítica na simulação dos anos considerados secos. Entretanto, comparando os traços da espécie, alguns podem apresentar menores (diâmetro) e maiores (acúmulo de biomassa) plasticidades, sugerindo mudanças nas relações de custo e benefício do vegetal quando as condições ambientais são alteradas, neste caso em relação a redução da disponibilidade hídrica nas florestas. Em alguns traços, os anos medianos no quantitativo das chuvas não interferem significativamente, como na produção de folhas e diâmetro da espécie. Acreditamos que reduções em todos os tecidos em expansão pode ser uma estratégia de economia de água e posteriormente alocação de recursos para reprodução ou acúmulo de reservas energéticas (Perene), garantindo sua sobrevivência. Entretanto, as projeções futuras de redução na precipitação destas florestas secas, poderão influenciar negativamente a dinâmica anual da população desta espécie, pelo crescimento e desenvolvimento limitado.

## 6. REFERÊNCIAS

- Aguiar BAS. Relação entre disponibilidade de água e aspectos vegetativos e reprodutivos de herbácea da caatinga. 2017
- Albuquerque UP, Araújo EL, El-Deir ACA, Lima ALA, Souto A, Bezerra BM, Moura GJB. Caatinga revisited: ecology and conservation of an important seasonal dry forest. *The Scientific World Journal*, 2012.
- Becerra JAB. Influence of the rainfall seasonal variability in the caatinga vegetation of ne brazil by the use of time-series. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 4(1), 31-44.
- Bernal M, Estiarte M, Peñuelas J. Drought advances spring growth phenology of the Mediterranean shrub *Erica multiflora*. *Plant Biology*, 2011; 13(2), 252-257.

- Bernal M, Estiarte M, Peñuelas J. Drought advances spring growth phenology of the Mediterranean shrub *Erica multiflora*. *Plant Biology*, 2011; 13(2), 252-257.
- Butterfield BJ, Bradford JB, Armas C, Prieto I, Pugnaire FI. Does the stress-gradient hypothesis hold water? Disentangling spatial and temporal variation in plant effects on soil moisture in dryland systems. *Functional Ecology*, 2016;30(1), 10-19.
- Chaves MM, Pereira JS, Maroco J, Rodrigues ML, Ricardo CPP, Osório ML, Pinheiro C.. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Annals of botany*, 2002;89(7), 907-916.
- Cornelissen JHC, Lavorel S, Garnier E, Diaz S, Buchmann N, Gurvich DE, ... , Pausas JG. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian journal of Botany*, 2003; 51(4),335-380.
- Correia AC, Costa-e-Silva F, Dubbert M, Piayda A, Pereira JS. Severe dry winter affects plant phenology and carbon balance of a cork oak woodland understorey. *Acta Oecologica*,2016; 76, 1-12.
- Dai A. Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change*, 2013;3(1), 52.
- Fehmi JS, Kong TM. Effects of soil type, rainfall, straw mulch, and fertilizer on semi-arid vegetation establishment, growth and diversity. *Ecological Engineering*, 2012;44, 70-77.
- Forsman A. Rethinking phenotypic plasticity and its consequences for individuals, populations and species. *Heredity*, 2015; 115(4), 276.
- Jongen M, Hellmann C, Unger S. Species-specific adaptations explain resilience of herbaceous understorey to increased precipitation variability in a Mediterranean oak woodland. *Ecology and evolution*, 2015;5(19), 4246-4262.
- Khodorova NV, Boitel-Conti M. The role of temperature in the growth and flowering of geophytes. *Plants*, 2013;2(4), 699-711.
- Knapp AK, Fay PA, Blair JM, Collins SL, Smith MD, Carlisle JD, McCarron JK. Rainfall variability, carbon cycling, and plant species diversity in a mesic grassland. *Science*, 2002; 298(5601).
- Kooyers NJ. The evolution of drought escape and avoidance in natural herbaceous populations. *Plant Science*, 2015;234, 155-162.
- Lelièvre F, Seddaiu G, Ledda L, Porqueddu C, Volaire F. Water use efficiency and drought survival in Mediterranean perennial forage grasses. *Field Crops Research*, 2011;121(3), 333-342.
- Lemos AO, Silva SI, Pimentel RMM, Xavier BT, Lima EA. Respostas ecofisiológicas de *Bernardiasidoides* Müll. Arg. ao estresse hídrico. *Revista de Geografia (Recife)-ISSN: 0104-5490*,2011; 28(1), 149-160.
- Lu N, Chen S, Wilske B, Sun G, Chen J. Evapotranspiration and soil water relationships in a range of disturbed and undisturbed ecosystems in the semi-arid Inner Mongolia, China. *Journal of Plant Ecology*, 2011;4(1-2), 49-60.
- Mansur RJ, Nogueira C, Barbosa DCA. Comportamento fisiológico em plantas jovens de quatro espécies lenhosas da caatinga submetidas a dois ciclos de estresse hídrico. *Phyton*, 2000; 68, 97-106.

- Miranda JD, Jorquera MJ, Pugnaire FI. Phenological and reproductive responses of a semiarid shrub to pulsed watering. *Plant ecology*, 2014;215(7), 769-777.
- Miranda JD, Padilla FM, Pugnaire, FI. Response of a Mediterranean semiarid community to changing patterns of water supply. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2009;11(4), 255-266.
- Montanari RM, Sousa LA, Leite MN, Coelho ADFS, Viccini LF, Stefanini MB. Plasticidade fenotípica da morfologia externa de *Lippia alba* (Mill.) NE Br. ex Britt. & Wilson (Verbenaceae) em resposta a níveis de luminosidade e adubação. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 2004;96-101.
- Moraes M, Filho BGS, Santos DSB, Junior L, Neto OGR. Respostas fisiológicas e bioquímicas de *Brachiaria brizantha* (Hochstex A. Rich) Stapf cv. marandu submetida a diferentes níveis de deficiência hídrica. In *Embrapa Amazônia Oriental-Resumo em anais de congresso (ALICE)*. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, v. 11, p. 119-120, jul. 1999. Suplemento.
- Morellato LPC, Alberton B, Alvarado ST, Borges B, Buisson E, Camargo MGG, ..., Mendoza I. Linking plant phenology to conservation biology. *Biological Conservation*, 2016;195, 60-72.
- Moreno M, Gullías J, Lazaridou M, Medrano H, Cifre J. Ecophysiological strategies to overcome water deficit in herbaceous species under Mediterranean conditions. *Sustainable Mediterranean grasslands and their multi-functions*. (Eds C Porqueddu, MM Tavares de Sousa) pp, 2008; 247-257.
- Muller B, Pantin F, Génard M, Turc O, Freixes S, Piques M, Gibon Y. Water deficits uncouple growth from photosynthesis, increase C content, and modify the relationships between C and growth in sink organs. *Journal of experimental botany*, 2011;62(6), 1715-1729.
- Murren CJ, Auld JR, Callahan H, Ghalambor CK, Handelsman CA, Heskell MA, Pfennig DW. Constraints on the evolution of phenotypic plasticity: limits and costs of phenotype and plasticity. *Heredity*, 2015;115(4), 293.
- Nicotra AB, Atkin OK, Bonser SP, Davidson AM, Finnegan EJ, Mathesius U, Poot P, Purugganan MD, Richards CL, Valladares F, van Kleunen M. Plant phenotypic plasticity in a changing climate. *Trends in plant Science*. 2010;15(12), 684-692.
- Oliveira AKM, Andrade SCJG. Crescimento inicial de *Tabebuia aurea* sob três intensidades luminosas. *Ciência Florestal*, 2012;22(2), 263-273.
- Oliveira CC, Zandavalli RB, Lima ALA, Rodal MJN. Functional groups of woody species in semi-arid regions at low latitudes. *Austral Ecology*, 2015;40(1), 40-49.
- Osakabe Y, Osakabe K, Shinozaki K, Tran LSP. Response of plants to water stress. *Frontiers in plant science*, 2014;5, 86.
- Penuelas J, Gordon C, Llorens L, Nielsen T, Tietema A, Beier C, Bruna P, Emmett D, Estiart M, Gorissen A. Noninvasive field experiments show different plant responses to warming and drought among sites, seasons, and species in a north-south European gradient. *Ecosystems*, 2004; 7(6), 598-612.
- Poorter L. Leaf traits show different relationships with shade tolerance in moist versus dry tropical forests. *New phytologist*, 2009;181(4), 890-900.

- Reis AMS, Araújo EL, Ferraz EMN, Moura AN. Inter-annual variations in the floristic and population structure of an herbaceous community of "caatinga" vegetation in Pernambuco, Brazil. *Brazilian Journal of Botany*, 2006;29(3), 497-508.
- Reis AMS, Araújo EL, Ferraz EMN, Moura AN. Inter-annual variations in the floristic and population structure of an herbaceous community of "caatinga" vegetation in Pernambuco, Brazil. *Brazilian Journal of Botany*, 2006;29(3), 497-508.
- Ribeiro MSP. Plasticidade fenotípica de características morfológicas de *Drosophilacardini*. 2014.
- Richardson AD, Keenan TF, Migliavacca M, Ryu Y, Sonnentag O, Toomey M. Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2013;169, 156-173.
- Santos DM, Silva KA, Albuquerque UP, Santos JMFF, Lopes CGR, Araújo EL. Can spatial variation and inter-annual variation in precipitation explain the seed density and species richness of the germinable soil seed bank in a tropical dry forest in northeastern Brazil?. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 2013; 208(7), 445-452.
- Santos JMFF, Santos DM, Lopes CGR, Silva KA, Sampaio EVSB, Araújo EL. Natural regeneration of the herbaceous community in a semiarid region in Northeastern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(10), 8287-8302.
- Santos, M. V. F. D., Lira, M. D. A., Junior, D., Batista, J. C., Guim, A., Mello, A. C. L. D., & Cunha, M. V. D. (2010). Potential of Caatinga forage plants in ruminant feeding. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2013; 39, 204-215.
- Silva KA, Andrade JR, Santos JMFFD, Lopes CGR, Ferraz EMN, Albuquerque UP, Araújo EL. Effect of temporal variation in precipitation on the demography of four herbaceous populations in a tropical dry forest area in Northeastern Brazil. *Revista de biología tropical*, 2015; 63(4), 903-914.
- Simon MN. *Plasticidade fenotípica em relação à temperatura de larvas de Rhinella (Anura: Bufonidae) da caatinga e da floresta Atlântica* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo). 2010.
- Soares MG. *Plasticidade fenotípica de plantas jovens de *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) Mattos (Bignoniaceae) em resposta a radiação solar* (Master's thesis, Universidade Federal do Espírito Santo). 2012.
- Souza CD, Oliveira FAD, Silva IF, Neto MSA. Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob cultivo de algodoeiro herbáceo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2000;4(3), 338-342.
- Souza JT, Ferraz EMN, Albuquerque UP, Araújo EL. Does proximity to a mature forest contribute to the seed rain and recovery of an abandoned agriculture area in a semiarid climate?. *Plant Biology*, 2014;16(4), 748-756.
- Takeo K. Stress-induced flowering: the third category of flowering response. *Journal of experimental botany*, 2016;67(17), 4925-4934.
- Tardieu F, Granier C, Muller B. Water deficit and growth. Co-ordinating processes without an orchestrator?. *Current opinion in plant biology*, 2011;14(3), 283-289.

- Tardieu F. Plant response to environmental conditions: assessing potential production, water demand, and negative effects of water deficit. *Frontiers in physiology*, 2013;4, 17.
- Tardieu F. Plant response to environmental conditions: assessing potential production, water demand, and negative effects of water deficit. *Frontiers in physiology*, 2013;4, 17.
- Valladares F, Gianoli E, Gómez JM. Ecological limits to plant phenotypic plasticity. *New phytologist*, 2007;176(4), 749-763.
- Valladares F, Sanchez-gomez DAVID, Zavala MA. Quantitative estimation of phenotypic plasticity: bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. *Journal of ecology*, 2006; 94(6). 1103-1116.
- Wang YH, He WM, Yu FH, Zhang LL, Cui QG, Chu Y, Dong M. Brushing effects on the growth and mechanical properties of *Corispermum mongolicum* vary with water regime. *Plant Biology*, 2009;11(5), 694-700.
- Xu Z, Zhou G, Shimizu H. Plant responses to drought and rewatering. *Plant signaling & behavior*, 2010;5(6), 649-654.
- Yousfi N, Saïdi I, Slama I, Abdelly C. Phenology, leaf gas exchange, growth and seed yield in *Medicago polymorpha* L. populations affected by water deficit and subsequent recovery. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 2015;214, 50-60.
- Yousfi N, Saïdi I, Slama I, Abdelly C. Phenology, leaf gas exchange, growth and seed yield in *Medicago polymorpha* L. populations affected by water deficit and subsequent recovery. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 2015; 214, 50-60.