

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – CAMPUS CUITÉ
CENTRO DE EDUCAÇÃO E SAÚDE-CES
CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

**RESPOSTAS DE BULBILHOS DE *AGAVE SISALANA* PERRINE SOB ESTRESSE
HÍDRICO**

Maria de Fátima Cândido Oliveira
Orientador prof. Dr. Marcus José Conceição Lopes

CUITÉ-PB
2013

MARIA DE FÁTIMA CÂNDIDO OLIVEIRA

**RESPOSTAS DE BULBILHOS DE *AGAVE SISALANA* PERRINE SOB ESTRESSE
HÍDRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Federal de Campina Grande como parte das exigências do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas para a obtenção do título de Licenciado.

Orientador Prof. Dr. Marcus José Conceição Lopes

CUITÉ-PB

2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA NA FONTE
Responsabilidade Jesiel Ferreira Gomes – CRB 15 – 256

O48a Oliveira, Maria de Fátima Cândido.

Respostas de bulbilhos de *Agave sisalana* perrine sob estresse hídrico. / Maria de Fátima Cândido Oliveira. – Cuité: CES, 2013.

48 fl.

Monografia (Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas) – Centro de Educação e Saúde / UFCG, 2013.

Orientador: Marcus José Conceição Lopes.

1. Estresse hídrico. 2. Seca - tolerância. 3. *Agavaceae*. I. Título.

CDU 57

MARIA DE FÁTIMA CÂNDIDO OLIVEIRA

**RESPOSTAS DE BULBILHOS DE *AGAVE SISALANA* PERRINE SOB ESTRESSE
HÍDRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Universidade Federal de Campina Grande
como parte das exigências do Curso de
Licenciatura em Ciências Biológicas para a
obtenção do título de Licenciado.

APROVADA: _____

Prof. Dr. Marcus José Conceição Lopes
(Orientador)
(CES)

Prof.^a Dra. Ana Maria da Silva
(CES)

Prof.^a Dra. Flávia Carolina Lins da Silva
(CES)

*Aos meus pais, Antônio José e Maria Do Céu...
Que tornaram esse caminho mais significativo e feliz por caminharem a
meu lado.*

AGRADECIMENTOS

A Deus pela dádiva da vida, família e amigos.

Aos meus pais, Antônio José de Oliveira e Maria Do Céu Cândido Oliveira por seu abnegado amor, paciência, incentivo e apoio incondicional.

Aos meus irmãos, Maria José Cândido Oliveira, José Jailson Cândido Oliveira e Josenildo Cândido Oliveira pelo apoio e ajuda sempre.

A meu orientador prof. Dr. Marcus José Conceição Lopes pela excelente orientação, apoio e confiança que tornaram possível a concretização desse trabalho.

A Universidade Federal de Campina Grande-Campus Cuité pela oportunidade de crescimento profissional.

Ao professor Dr. Ramilton Marinho Costa pela confiança e incentivo que sempre depositou em mim.

A todos os docentes que contribuíram para minha vida acadêmica de modo cuidadoso e paciente.

Aos docentes que fazem parte da Licenciatura em Ciências Biológicas da UFCG- Campus Cuité, pela contribuição.

Aos meus amigos que estiveram sempre ao meu lado.

Ao professor Jorge Alves de Sousa pela contribuição.

“Pois, onde estiver o teu tesouro, ali estará também o teu coração.”

(Mateus 6: 21)

RESUMO

OLIVEIRA, Maria de Fátima Cândido. **Respostas de bulbilhos de *Agave sisalana* Perrine sob estresse hídrico**. Universidade Federal de Campina Grande -Campus Cuité -CES. Cuité, 2013. 48 f.

A família Agavaceae compreende espécies tropicais do Novo Mundo. *Agave* é o maior com muitas de suas espécies apresentando interesse comercial. No Brasil é cultivado o *Agave sisalana*, planta produtora de fibras naturais cultivada no semiárido Nordeste. O objetivo desse trabalho foi analisar as respostas de bulbilhos de *Agave sisalana* sob estresse hídrico. O trabalho foi conduzido no Laboratório de Biologia Celular da UFCG-CES, Cuité- PB. Bulbilhos de *Agave sisalana* foram separados em dois estádios e submetidos a dois tratamentos (controle e estresse) durante 32 dias. No experimento 1, as coletas foram realizadas em 0, 2, 4, 8, 32 dias para análise do comprimento de folhas e raiz. Para o experimento 2, as coletas foram realizadas em 0, 8, 16, 32 dias para a análise de peso da matéria fresca e peso da matéria seca. O experimento foi inteiramente casualizado com três repetições para os parâmetros avaliados. As características avaliadas foram o comprimento das folhas e das raízes e o peso da matéria fresca e o peso da matéria seca. Os resultados demonstraram que o comprimento das folhas nos bulbilhos do estágio 1, sob tratamento de estresse hídrico foram reduzidos no 32º dia. Para o estágio 2, a média do comprimento foliar no controle foi normal e os bulbilhos sob tratamento demonstraram comprimento constante durante o experimento. Nos dois estádios de desenvolvimento as raízes demonstraram aumento no controle e no tratamento. As raízes sob tratamento tiveram o crescimento radicular limitado em função do estresse hídrico. O peso da matéria fresca não demonstrou diferença no estágio 1. No estágio 2, os bulbilhos de *Agave sisalana* tiveram seu peso de matéria fresca reduzido durante o 32º dia. Para o peso da matéria seca os dois estádios não apresentaram diferenças durante o período do experimento. O trabalho verificou que bulbilhos de *Agave sisalana* em dois estádios diferentes de desenvolvimento demonstraram características de tolerância à seca que favorecem a sobrevivência diante dos efeitos do estresse hídrico.

Palavras-Chave: Agavaceae, estresse abiótico e tolerância à seca.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Maria de Fátima Cândido. **Responses of bulbils of *Agave sisalana* Perrine under water stress.** Universidade Federal de Campina Grande -Campus Cuité -CES. Cuité, 2013. 48 f.

The family Agavaceae comprises tropical species of the New World. *Agave* is the largest with many of its species with commercial interests. In Brazil it is grown *Agave sisalana* plant producing natural fibers grown in the semiarid Northeast. The aim of this study was to analyze the responses of bulbils of *Agave sisalana* under water stress. The work was conducted in the Laboratory of Cell Biology UFCG-CES, Cuité-PB. Bulbils of *Agave sisalana* were separated into two stages and subjected to two treatments (control and stress) for 32 days. In experiment 1, samples were collected at 0, 2, 4, 8, 32 days to review the length of leaves and roots. For experiment 2, samples were collected at 0, 8, 16, 32 days for the analysis of fresh weight and dry weight. The experiment was completely randomized with three replicates for all parameters evaluated. These characteristics were the length of the leaves and roots and fresh weight and dry weight. The results showed that the length of the leaves in the stadium cloves 1 under drought stress treatment were reduced after 32 days. For stage 2, the average leaf length was normal in control and bulbils under treatment showed constant length during the experiment. In both developmental stages roots showed an increase in the control and treatment. The roots under treatment had limited root growth due to water stress. The fresh weight showed no difference in stage 1. In stage 2, the bulbils of *Agave sisalana* had their fresh matter weight of reduced during the 32 th day. For dry weight the two stages did not differ during the experiment. The study found that bulbils of *Agave sisalana* at two different stages of development showed drought tolerance characteristics that promote survival in the face of the effects of water stress.

Key-words: Agavaceae, abiotic stress and drought tolerance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Meios de propagação do gênero *Agave*, que apresenta dois tipos de inflorescência: a panícula e a espícula. A planta em sua inflorescência emite o pedúnculo floral que pode atingir entre 6-9 metros de altura, durante a floração surgem flores, sementes ou apenas bulbilhos enquanto a planta fenece. A clonagem é um dos meios de propagação ocorrendo por meio de brotos axilares, brotos basais e rizomáticos e bulbilhos aéreos laterais----- 06

Figura 2 - A inflorescência da planta adulta de *Agave sisalana* é um pedúnculo floral que pode atingir de 6-9 metros de altura, nele surgem ramos com ramificações nas quais se agrupam as flores formando cachos no final da panícula, planta em inflorescência observada no mês de novembro de 2011, no município de Cuité-PB ----- 07

Figura 3- Planta adulta de *Agave sisalana* com inflorescência em forma de panícula e pedúnculo floral produzindo entre 2 e 3 mil bulbilhos (meio de propagação vegetativa). Planta observada no local da coleta durante o mês de novembro de 2011, município de Cuité- PB ----- 08

Figura 4- A via CAM em uma célula do mesofilo. Áreas em preto e branco representam a célula durante o dia e a noite. A linha verde no lado esquerdo da do diagrama representa a epiderme da folha, com a diferença que representa um poro estomático. As enzimas mais importantes que atuam durante o período noturno são as seguintes: (1) fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPC) e (2) a malato desidrogenase. Durante o dia, a descarboxilação do malato ocorre, mas não é totalmente claro se isto ocorre através de piruvato pela enzima NADP-málico ou pela enzima NAD-málico (3) ou através de PEP ou PEP carboxicinase (4) em *Agave*. Ambas as etapas gerariam CO₂ que estaria disponível para Rubisco (5) no cloroplasto para a fotossíntese ----- 14

Figura 5 - Localização do município de Cuité ----- 17

Figura 6 - Inflorescência de *Agave sisalana*, pedúnculo floral com a presença de bulbilhos em suas ramificações finais. Os bulbilhos foram coletados desta planta adulta por meio do balanceio do pedúnculo floral até o seu desprendimento. A coleta foi realizada em novembro de 2011, no município de Cuité-PB ----- 18

Figura 7 - Fotografia do experimento desenvolvido no Laboratório de Biologia Celular (CES) no período de novembro de 2011 a fevereiro de 2012. A- Bulbilhos coletados da mesma planta adulta e separados em dois estádios diferentes de acordo com o número de folhas apresentadas. B-Bulbilhos representando o estágio 1 (com 5 e 6 folhas). C- Bulbilhos representando o estágio 2 (6 e 7 folhas). ----- 19

Figura 8 - Fotografia dos bulbilhos do estágio 1, plantados em copos descartáveis de 200 ml e divididos em 2 bandejas para avaliação grupo controle e estresse- 2011----- 20

Figura 9 - Fotografia dos bulbilhos do estágio 2, plantados em copos de 200 ml e distribuídos em 2 bandejas para avaliação do grupo controle e estresse – 2011----- 20

Figura 10 - Fotografia do experimento 1. A- Distribuição dos bulbilhos nas bandejas com separação dos estádios de desenvolvimento, durante o período de experimentação. (B, C,D) – período durante a realização das coletas dos bulbilhos. E- Depois de coletados os bulbilhos foram lavados delicadamente em água destilada e secos em papel toalha. (F, G)- Depois de medir os comprimentos de raiz e folha, os bulbilhos foram colocados em embalagem de papel alumínio, etiquetados e postos em sacos plásticos conservados em freezer a – 20°C para futuras análises– 2011----- 21

Figura 11 - Fotografia do experimento 2. A- Bulbilhos do estágio 2 retirados de estufa a 70°C para análise da matéria seca. B- Balança analítica de precisão utilizada para realizar a pesagem da matéria seca dos bulbilhos do experimento 2. C- bulbilhos depois de secos referente ao grupo de controle e estresse do estágio 2. D, E - Bulbilhos secos referentes aos estádios de desenvolvimento, com estágio 1, contrastando o grupo controle e estresse e estágio 2, com os grupos controle e estresse – 2011----- 22

Figura 12- Tamanho em milímetros (mm) das folhas dos bulbilhos de *Agave sisalana*, estágio 1, com estresse hídrico(tratamento) e sem estresse hídrico(controle) ----- 24

Figura 13. Tamanho em milímetros (mm) das folhas dos bulbilhos de *Agave sisalana*, estágio 2, com estresse hídrico(tratamento) e sem estresse hídrico(controle) ----- 25

Figura 14 - Tamanho em milímetros (mm) das raízes dos bulbilhos de *Agave sisalana*, estágio 1, com estresse (tratamento) e sem estresse hídrico (controle) ----- 26

Figura 15 -Tamanho em milímetros (mm) das raízes dos bulbilhos de *Agave sisalana*, estágio 2, com estresse (tratamento) e sem estresse hídrico (controle) ----- 27

Figura 16 – Peso da matéria fresca em (g) dos bulbilhos de *Agave sisalana*, estágio 1, com estresse (tratamento) e sem estresse hídrico (controle) ----- 28

Figura 17- Peso da matéria fresca em (g) dos bulbilhos de *Agave sisalana*, estágio 2, com estresse (tratamento) e sem estresse hídrico (controle) ----- 29

Figura 18- Peso da matéria seca em (g) dos bulbilhos de *Agave sisalana*, estágio 1, com estresse (tratamento) e sem estresse hídrico (controle) ----- 30

Figura 19 – Peso da matéria seca em (g) dos bulbilhos de *Agave sisalana*, estágio 2, com estresse (tratamento) e sem estresse hídrico (controle) ----- 31

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 <i>Agave</i>	3
2.2 <i>Agave sisalana</i>	4
2.3 Reprodução em <i>Agave</i>	5
2.4 Estresse Hídrico	9
2.4.1 Efeito do estresse hídrico em plantas	10
2.4.2 Efeito do estresse hídrico em folhas	10
2.4.3 Efeito do estresse hídrico em raízes	11
2.4.4 Efeito do estresse hídrico sobre a produtividade das plantas	12
2.5 Metabolismo ácido das crassuláceas	12
3. OBJETIVOS	16
3.1 Objetivo Geral	16
3.2 Objetivos Específicos.....	16
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
4.1 Local do estudo.....	17
4.2 Coleta, tratamento e local do experimento.....	18
4.2.1 Experimento 1.....	20
4.2.2 Experimento 2.....	22
4.3 Delineamento experimental.....	23
4.4 Características avaliadas.....	23
4.4.1 Comprimento de raízes e folhas.....	23
4.4.2 Peso da matéria fresca e da matéria seca	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
5.1 Comprimento das folhas	24
5.2 Comprimento das raízes	26
5.3 Peso da matéria fresca.....	28
5.4 Peso da matéria seca	30
6. CONCLUSÃO.....	33
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

1. INTRODUÇÃO

A família Agavaceae esta distribuída predominantemente entre a América do Norte e América do Sul, com aproximadamente 25 gêneros e 637 espécies, reúne plantas herbáceas, árvores e arbustos rizomatosos, com folhas alternas, espiraladas e dispostas em roseta (NETO, MARTINS, 2012). Na família Agavaceae o maior gênero é *Agave* com aproximadamente 300 espécies, das quais várias apresentam interesse econômico, para produção de alimentos, bebidas, sabões, cordas, roupas e fibras, agulhas, fios de papel, colas, medicamentos, corantes e como plantas ornamentais e de cobertura (GARCIA-MOYA, ROMERO-MANZANARES & NOBEL, 2011). *Agave* são plantas que suportam baixos volumes pluviométricos e altas temperaturas não sendo muito exigente com relação ao tipo de solo, característica que possibilita a exploração de variados ambientes, conseguindo adaptar-se a regiões áridas e semiáridas justamente por apresentarem característica como: uma epiderme fortemente cuticulada, cutícula espessa, fechamento dos estômatos, folhas carnosas, número de estômatos reduzido, via fotossintética de metabolismo CAM, que garante o uso de água de modo mais eficiente, essas características mantem a planta em condições de estresse hídrico (NETO, MARTINS, 2012).

No Brasil a espécie do gênero cultivada é *Agave sisalana*, com produção em destaque para a região Nordeste para obtenção de fibras naturais. Adaptou-se muito bem ao clima da região tornando-se a base da economia. A partir de 1930, a Paraíba era o principal produtor de sisal e na mesoregião do Curimataú a cultura sisaleira tornou-se a base para sustentação de muitas famílias no campo por décadas. Atualmente, o maior produtor e exportador mundial de fibras de sisal e de sisal manufaturado é o Brasil, com cultivo centralizado nos estados da Bahia, Paraíba, Rio grande do Norte e Ceará. Cerca de 70% do sisal brasileiro beneficiado vem sendo exportado para Europa e Ásia. E o sisal manufaturado tem como principais importadores Estados Unidos (86%) e Canadá (5%) (MARTIN et al., 2009).

Os produtores de sisal na região nordeste podem escolher entre dois tipos para o cultivo: o *Agave sisalana* que representa 95% do sisal cultivado na região e o híbrido 11648, resultante do cruzamento entre *Agave angustifolia* e *Agave amaniensis*, originário da África e introduzido no Brasil na década de 1970. Entre as vantagens do cultivo do híbrido estão

maior produtividade e mais tolerância à seca, o que permite a colheita das folhas o ano todo, porém é mais exigente quanto à fertilidade do solo, possui fibras mais curtas e mais duras o que dificulta o desfibrilamento. Mesmo com alto potencial de produção do híbrido 11648, *Agave sisalana* tem maior aceitação entre os produtores, isso também se deve a relação do peso da folha, individual, que supera em 18% o híbrido, superioridade com relação ao comprimento da folha e rendimento da fibra. O comprimento da folha e a resistência da fibra são características importantes para a indústria na confecção de fios, cordas e cabos, qualidades essas intrínsecas em *Agave sisalana* (SILVA, 2007).

Além da produção de fibras, espécies do gênero *Agave* são possíveis fontes de biocombustíveis, isso porque possuem celulose, hemicelulose e menores concentrações de lignina e reservas em seus tecidos de carboidratos solúveis. Em plantas CAM há menor concentração de lignina e maior reserva de carboidratos, exigindo menor energia para conversão dos mesmos em biocombustíveis e gerando uma matéria-prima de melhor qualidade (ESCAMILLA- TREVIÑO, 2012).

Por sua adaptação em regiões áridas e semiáridas como é o caso do nordeste brasileiro, onde o sisal tem sido cultivado com interesse econômico para produção de fibras naturais, se faz necessário entender os mecanismos que permitem suportar altas temperaturas e períodos de seca, tanto para promoção das culturas existentes, quanto para a produção de híbridos em programas de melhoramento genético, bem como a aplicação de marcadores genéticos, bioquímicos e morfológicos, na seleção de híbridos tolerantes à seca e com alta produção de fibras.

Essa é uma pesquisa introdutória de como *Agave sisalana* reage diante de condições de estresse hídrico, mas é preciso ter conhecimento de como se dá à atividade de enzimas antioxidantes, fitohormônios, níveis de prolina, metabólitos secundários envolvidos no estresse, oxidação proteica, peroxidação lipídica de membrana, além de estudos mais avançados em morfologia e anatomia. Apesar de o gênero *Agave* ser bem estudado, existem poucos trabalhos com *Agave sisalana*, o que demonstra uma grande necessidade de estudos mais avançados com essa espécie.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Agave*

A família Agavaceae está distribuída predominantemente entre a América do Norte e América do Sul, com aproximadamente 25 gêneros e 637 espécies, reúne plantas herbáceas, árvores e arbustos rizomatosos, com folhas alternas, espiraladas e dispostas em roseta (NETO, MARTINS, 2012). *Agave* é o maior gênero e apresenta muitas espécies de importância econômica, com muitas de suas espécies cultivadas ao redor do mundo, como por exemplo, no leste da África e nordeste do Brasil. (DOMINGUES, 2008; MARTIN et al., 2009). Várias espécies do gênero têm sido usadas para produção de alimento, bebida, sabão, corda, roupas e outras fibras, agulhas e fios de papel, cola, medicamentos, corantes vermelhos e como planta ornamental e de cobertura (GARCIA-MOYA, ROMERO-MANZANARES & NOBEL, 2011). O gênero *Agave* tem sido utilizado desde o século XVIII para fins ornamentais quando foi levado para as regiões costeiras do mediterrâneo, no século XIX teve seu apogeu ornamentando jardins públicos e privados da Europa. No Brasil, a partir de 1930, foi introduzido o cultivo de *Agave sisalana* para produção de fibras (SILVA F., 2007).

Algumas espécies de *Agave* têm sido usadas para ornamentação, entre as quais encontramos *Agave americana* L. originária da América Tropical, geralmente utilizada em grandes jardins ou praças, como planta isolada ou em grupos formando conjuntos a pleno sol. Sua multiplicação é por meio de bulbilhos que se formam após o florescimento e pelas inúmeras mudas que se formam na base da planta (ASFAW, 2011). O *Agave angustifolia* Haw originário das Antilhas e México é utilizado na composição de grupos ou como planta isolada a pleno sol. O *Agave attenuata* Salm- Dyck é originário do México, sendo usado em plantio isolado e formação de grupos maciços, a pleno sol. O cultivo é indicado para regiões tropicais e subtropicais do país. *Agave franzosinii* Baker planta ornamental adequada para cultivo em todas as regiões do país, principalmente como planta isolada em jardins de pedra a pleno sol. *Agave macroacantha* Zucc, planta de áreas nativas do México, possui características ornamentais, sendo cultivada em regiões tropicais e subtropicais. Recomendada como elemento isolado ou em grupos, a pleno sol, em jardins de pedras e em terrenos bem drenáveis. *Agave negleta* Small, nativa do sul dos Estados Unidos, colocada em jardins e praças, tanto como planta isolada, como em grupos formando conjuntos a pleno sol. *Agave*

vilmoriniana Berger, nativa do México, e utilizada em jardins e praças públicas, tanto como planta isolada como em grupos formando conjuntos, a pleno sol, em todas as regiões tropicais e subtropicais. *Agave sisalana* Perrine, originária do México, floresce apenas uma vez entre 8 e 10 anos, morrendo logo depois. As flores localizam-se em pendões verticais com cerca de 5 m. No Brasil é cultivada apenas no nordeste com fins têxteis. É também cultivada com fins ornamentais em todas as regiões tropicais e subtropicais. Multiplica-se pelos bulbilhos que se formam após a floração (LORENZI, MELO FILHO, 2001).

O *Agave tequilana* weber var. Azul é uma espécie de muita importância sendo usada para a produção de tequila, a parte aérea da planta (as folhas e o pseudocaulo compõe a parte conhecida como cabeça) possui alto teor de frutanos utilizados para a produção da tequila. (MONTAÑEZ- SOTO et al., 2011). O *Agave salmiana* e *A. mapisaga* tem sido usados para produção da bebida alcoólica conhecida no México como pulque e as espécies *A. potatorum* e *A. angustifolia* são utilizadas para a produção do “mezcal” (SANTOS, 2009; JACINTO, GARCÍA MOYA, 2000). Para produção de fibras naturais duas espécies são cultivadas: *Agave sisalana* (sisal) e *A. fourcroydes* (henequém), que adquiriram importância econômica mundial, sendo a primeira a mais plantada no Brasil e a segunda é muito cultivada no México (HOLTUM et al., 2011).

2.2. *Agave sisalana*

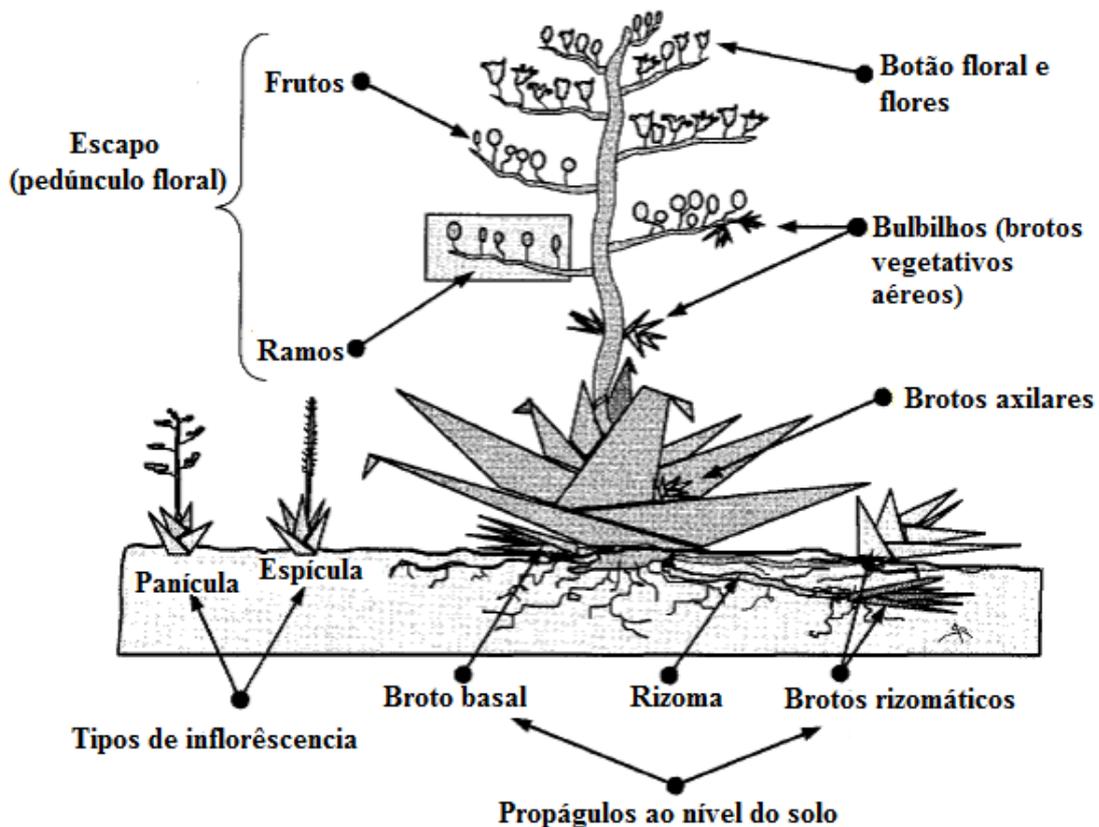
Agave sisalana é originária do México, reconhecida como o verdadeiro sisal. A espécie recebeu este nome de uma erva nativa chamada zizal-xiu. Em 1834, as primeiras mudas foram levadas para o sul da Flórida (EUA) e a partir de 1892 começaram a ser cultivadas na África (MARTIN et al., 2009). No Brasil, os primeiros bulbilhos de *Agave sisalana* Perrine foram introduzidos na Bahia em 1903, sendo esta a única espécie do gênero *Agave* cultivada comercialmente no país. Mudas de *Agave sisalana* foram trazidas da Bahia para a Paraíba em 1911 pelo agrônomo J. Viana Junior, mas sua expansão em base econômica se deu na Paraíba entre 1937/38 e na Bahia em 1939/40 (SILVA, 2007). O sisal chegou ao Curimataú paraibano em 1930 sendo incorporada como novo ciclo econômico em lugar da pecuária que desde então era a base da economia (COSTA, 1991).

O sisal sobrevive bem em regiões tropicais e subtropicais em ambientes com poucas chuvas e elevadas luminosidade. Necessita de temperatura média anual entre 20^o C e 28^o C para seu melhor desenvolvimento e altitude entre 200 a 800 metros acima do nível do mar com precipitação pluvial entre 600 e 1.500 mm/ano bem distribuída e solos silicosos, sílico-argilosos, permeáveis, de média fertilidade, dotados de bom teor de calcário, ricos em potássio e fósforo e relativamente profundos. O sisal não é conhecido como planta exigente, podendo ser cultivada em solos com pH entre 5 e 6, desenvolve-se melhor em solos com pH 7 (DOMINGUES, 2008). Não tolera salinidade e solos com problemas de baixa drenagem, pois não resiste a hipoxia e muito menos a anoxia, respectivamente, deficiência e ausência de oxigênio nas raízes (ALVES, SANTIAGO & LIMA, 2005). *Agave sisalana* adaptou-se bem a região semiárida do Nordeste brasileiro por ser tolerante a estiagens prolongadas, isso porque apresenta estruturas peculiares de defesa contra as condições de aridez: folhas carnosas, número reduzido de estômatos e epiderme fortemente cutinizada bem como o metabolismo ácido das crassuláceas (CAM) que promove uma maior retenção de água na planta (SILVA, 2007; NETO, MARTINS, 2012).

2.3. Reprodução em *Agave*

No gênero *Agave* muitas espécies mostram mecanismos de reprodução sexuada e de clonagem (ARIZAGA, EZCURRA, 2002). Em diferentes espécies a clonagem se dá pelo desenvolvimento de brotos clonais em diferentes partes da roseta, incluindo: (1) bulbilhos aéreos produzidos no florescimento do escapo floral, (2) brotos laterais produzidos nas axilas das folhas, (3) brotos basais produzidos abaixo da roseta, ou (4) brotos rizomáticos que emergem a partir do solo a uma curta distância da planta parental (figura 1).

Figura1- Meios de propagação do gênero *Agave*, que apresenta dois tipos de inflorescência: a panícula e a espícula. A planta em sua inflorescência emite o pedúnculo floral que pode atingir entre 6-9 metros de altura, durante a floração surgem flores, sementes ou apenas bulbilhos enquanto a planta fenece. A clonagem é um dos meios de propagação ocorrendo por meio de brotos axilares, brotos basais e rizomáticos e bulbilhos aéreos laterais.



FONTE: ARIZAGA, EZCURRA (2002), traduzida por Maria de Fátima Cândido Oliveira, 2013.

O estabelecimento e o estágio de mudas são as fases mais vulneráveis no ciclo de vida do *Agave*. As mudas tem uma quantidade limitada de reservas, baixa capacidade de absorção de água e são expostos a elevadas temperaturas na superfície do solo o que caracteriza os ambientes áridos. Assim o estabelecimento bem sucedido é geralmente confinado a estações chuvosas (ARIZAGA, EZCURRA, 2002). Em termos de sobrevivência, a clonagem parece ser um mecanismo mais eficiente de propagação. Verifica-se um crescimento inicial mais rápido na propagação por meio de mudas de bulbilhos, uma das principais alternativas de propagação da espécie, principalmente em base econômica, pois apresentam pouca variação genética, sendo clones da planta adulta. No escapo floral podem

ser produzidas de 2 a 3 mil bulbilhos de vários tamanhos. Os bulbilhos podem ser coletados diretamente do escapo floral ou por meio do balanceio da flecha (BATISTA et al., 2010). Rebentos, oriundos do rizoma da base da planta mãe em fase de floração ou não, também constituem material de propagação vegetativa. Em alguns casos ocorre à esporádica formação de frutos, que podem aparecer isolados ou em produção simultânea aos bulbilhos na panícula (DAVIS, DOHLEMAN & LONG, 2011; SILVA, 2008).

A planta de *Agave sisalana* possui um ciclo perene, sendo monocárpica e com ciclo reprodutivo em média de 8 a 10 anos. A planta emite em sua inflorescência um pedúnculo floral que pode atingir de 6-9 metros de altura (figura 2). A metade superior do pedúnculo apresenta-se com 22 a 40 ramos em ramificações com flores que às vezes formam frutos (GONDIM, SOUZA, 2009).

Figura 2- A inflorescência da planta adulta de *Agave sisalana* é um pedúnculo floral que pode atingir de 6-9 metros de altura, nele surgem ramos com ramificações nas quais se agrupam as flores formando cachos no final da panícula, planta em inflorescência observada no mês de novembro de 2011, no município de Cuité-PB.



FONTE: Maria de Fátima C. Oliveira, 2011.

A flor é hermafrodita, sendo encontrada agrupada em cachos situados no final de cada ramo da panícula. Após a queda das flores desenvolvem-se, na panícula, os bulbilhos que são utilizados como mudas de propagação vegetativa. Originam-se por meio de gemas que se encontram abaixo da linha onde estão inseridas as flores, sendo formados por tecido meristemático, tamanho de 6 a 10 cm e com 6 a 8 folhas caem da planta após três meses promovendo a propagação de novas plantas (figura 3). Na floração são produzidos flores, frutos e sementes ou apenas bulbilhos enquanto fenece a planta adulta (GONDIM, SOUZA, 2009; SILVA, 2008).

Figura 3- Planta adulta de *Agave sisalana* com inflorescência em forma de panícula e pedúnculo floral produzindo entre 2 e 3 mil bulbilhos (meio de propagação vegetativa). Planta observada no local da coleta durante o mês de novembro de 2011, município de Cuité- PB.



FONTE: Maria de Fátima C. Oliveira, 2011.

O fruto do sisal é pouco conhecido devido a sua rara produção em plantas de *A. sisalana* e a dificuldade da utilização das sementes para propagação em plantios comerciais.

Entretanto, o emprego das sementes apresenta grande importância para programas de melhoramento genético do *Agave sisalana* (GONDIM, SOUZA, 2009).

O plantio e cultivo dos bulbilhos é feito em viveiros com espaçamento de 20 cm entre as plantas e de 50 cm entre linhas, devendo a planta ser mantida no local até atingir a altura média de 40 a 50 cm (12 a 15 folhas), podendo ser transplantado para um local definitivo (SILVA F., 2007). A época mais adequada para plantio na região é antes do início da estação chuvosa, aproximadamente entre os meses de dezembro e fevereiro com maior enraizamento nessa época (ALVES, SANTIAGO & LIMA, 2005; GONDIM, SOUZA, 2009).

2.4 Estresse hídrico

A água é essencial para a manutenção da vida, nas plantas constitui 80% a 95% da massa dos tecidos em crescimento. O movimento intra e extracelular bem como a expansão celular e a integridade físico-química da parede dependem da água, diante de sua importância a sua presença ou ausência podem ser fatores que promovem situações de estresse nas plantas (FIGUEIRÔA, BARBOSA & SIMABUKURO, 2004).

O estresse hídrico desenvolve-se na planta quando a taxa de transpiração é maior que a taxa de absorção e transporte de água na planta. Ao longo de todo o período de evolução as plantas desenvolveram diferentes respostas e adaptações que lhes permitem sobreviver em condições de déficit hídrico. Quando o déficit hídrico acontece de forma lenta, as plantas podem apresentar respostas de aclimação que afetam seu crescimento, expansão foliar e crescimento radicular, fechamento dos estômatos, estruturas responsáveis pela maior proporção de perda de água nas plantas. Esta resposta é sinalizada pelo hormônio ácido abscísico (ABA) (CAVALCANTE, CAVALLINI & LIMA, 2009).

A capacidade de tornar o uso de água mais eficiente é possível em plantas que desenvolveram metabolismos como o C₄ e o metabolismo ácido das Crassuláceas (CAM), permitindo sobreviver em ambientes onde a presença de água é limitada ou até mesmo escassa (CAVALCANTE, 2001; MATTOS, GOMIDE & HUAMAN, 2005).

2.4.1 Efeitos do estresse hídrico em plantas

O déficit hídrico é o principal fator limitante da produção vegetal afetando as relações hídricas nas plantas, alterando-lhes o metabolismo. Em regiões semiáridas os períodos de estiagem são frequentes e para que a cultura de plantas perenes se mantenha, as plantas devem ser eficientes na utilização de água. A disponibilidade de água podem afetar o estabelecimento e o crescimento inicial de espécies, uma vez que o sistema radicular de plantas jovens é bastante superficial e na estação seca o potencial hídrico nas camadas superficiais do solo pode atingir valores inferiores ao do ponto de murcha permanente. A literatura indica vários parâmetros como resposta das plantas ao estresse hídrico como, por exemplo, potencial hídrico foliar, condutância estomática, transpiração, a temperatura foliar e acúmulo de prolina (CAVALCANTE, CAVALLINI & LIMA, 2009).

Algumas plantas como as aceroleiras sob condições de estresse hídrico decrescem a transpiração, ocorrendo valores mínimos de potencial de água na folha. Em plantas sob severo estresse hídrico, pela diminuição de água disponível para suprir a demanda transpiratória, há significativa redução na abertura estomática, comprovada pela redução da transpiração e aumento na produção de prolina (NOGUEIRA et al, 2001).

2.4.2 Efeito de estresse hídrico nas folhas

A inibição da área foliar é uma resposta precoce aos ambientes com deficiência hídrica. A diminuição de água na planta resulta em contração celular e afrouxamento das paredes. Esse decréscimo no volume da célula resulta em menor pressão de turgor e acúmulo de solutos nas células. A redução do turgor como primeiro efeito significativo ao estresse hídrico, afeta atividades que dependem do turgor como a expansão foliar e o alongamento da raiz, sendo os processos mais sensíveis ao estresse hídrico (TAIZ, ZEIGER, 2004).

A redução no turgor diminui a taxa de crescimento. Plantas submetidas a estresse hídrico tendem a se reidratar a noite, com maior crescimento foliar nesse período. Como a expansão foliar depende da expansão celular, a inibição da expansão celular provoca uma

lentidão da expansão foliar no início do desenvolvimento de déficit hídrico. A redução da área foliar pode ser considerada uma defesa contra os períodos de secas. O estresse hídrico limita não apenas o tamanho, mas também o número de folhas em algumas plantas. O déficit hídrico tem muitos efeitos sobre o crescimento das plantas promovendo a limitação da expansão foliar, característica importante, pois dela depende a fotossíntese. Uma expansão foliar rápida pode afetar negativamente a adaptação a pouca disponibilidade de água (MACHADO, 2009; MORENO, 2009). A área foliar é um importante determinante da produtividade das plantas e seu potencial de produtividade é bastante afetado por estresse hídrico (CAVALCANTE, CAVALLINI & LIMA, 2009).

Em plantas que toleram estresse hídrico há presença de uma cutícula espessa e um aprofundamento dos estômatos que durante o período de temperaturas mais elevadas se mantêm fechados. Em *Agave* os estômatos se apresentam em número reduzido, evitando a perda de água para a atmosfera e mantendo maior potencial de água na planta. A maioria das plantas submetidas a estresse tem diminuição em sua produtividade, porém o gênero *Agave* demonstra eficiência em produzir biomassa sob estresse hídrico, mostrando potencial para produtividade em regiões semiáridas (GARCIA-MOYA, ROMERO-MANZANARES & NOBEL, 2011). Aroeiras sob condições de estresse hídrico e baixa luminosidade, com fotoperíodo de 12 h e temperatura de 27 °C demonstraram diminuição na atividade fotossintética em função da limitação na condutância estomática (QUEIROZ, GARCIA & LEMOS FILHO, 2002).

2.4.3 Efeito de estresse hídrico nas raízes

As raízes podem atuar em plantas sob estresse como sensores do déficit de água no solo, que é detectado pelas células guarda dos estômatos, mesmo antes de qualquer déficit hídrico ser observado nas folhas, por meio de sinais (ácido abscísico) enviados à parte aérea da planta. O déficit hídrico promove a desidratação, redução do crescimento e aceleração da senescência dos tecidos das plantas, comprometendo o crescimento por reduzir as taxas de expansão foliar e fotossíntese. Diante de estresse as plantas promovem alocação de fitomassa para as raízes acarretando o crescimento do sistema radicular, para obter água em regiões mais profundas do solo (MATTOS, GOMIDE & HUAMAN, 2005).

Em *Agave* a resposta ao estresse hídrico acontece pela redução das raízes. *Agave salmiana* quando em condições de estresse reduziu o crescimento da raiz, produziu mais prolina, e aumentou a produção de biomassa (PEÑA-VALDIVIA, SÁNCHEZ-URDANETA, 2009). O gênero *Agave* pode suportar um longo período de estiagem, não pela tolerância para baixo potencial hídrico, mas pelo isolamento hidráulico (LÚTTGE, 2010). Durante um evento de seca em que o solo perde sua umidade ocorre o encolhimento do córtex da raiz, deixando um espaço de ar entre o solo e a superfície radicular. Isto evita a desidratação, devido à água mover-se da planta para o solo por causa do baixo potencial de água no solo. Mesmo que as raízes de *Agave* sejam suscetíveis à cavitação, a haste de alto potencial de água limita a ocorrência de cavitação durante secas prolongadas (DAVIS, DOHLEMAN & LONG, 2011).

2.4.4. Efeito do estresse hídrico sobre a produtividade das plantas

A maioria das plantas C_3 e C_4 tem sua matéria fresca e matéria seca afetada pelo estresse hídrico, porém plantas que apresentam o metabolismo das Crassuláceas (CAM) exibem alta eficiência ao uso da água podendo obter 1 g de matéria seca por apenas 125 g de água usada – uma razão que é de três a cinco vezes maior que uma planta C_3 típica. A exposição a fatores externos desfavoráveis afetam negativamente as plantas promovendo estresse. Esses fatores podem ser ambientes com temperatura elevadas, solos com pouca drenagem, levando dias ou semanas para manifestar o déficit hídrico, ou até mesmo deficiência mineral. O estresse pode ser medido em relação à sobrevivência da planta, produtividade agrícola, crescimento (produção de biomassa) e processo de assimilação (absorção de CO_2 e minerais), dos quais depende o crescimento da planta (TAIZ, ZEIGER, 2004).

3. Metabolismo ácido das Crassuláceas (CAM)

Plantas com metabolismo ácido das Crassuláceas (CAM) são aquelas que abrem os estômatos à noite e os fecham durante o dia, evitando a transpiração por causa de elevadas temperaturas. O CO_2 absorvido a noite é fixado em malato o que reduz significativamente a perda de água, como os estômatos são abertos a noite em condições de temperatura mais frias, tanto CO_2 como o orvalho da noite são absorvidos (TAIZ, ZEIGER, 2004). *Agave* são plantas

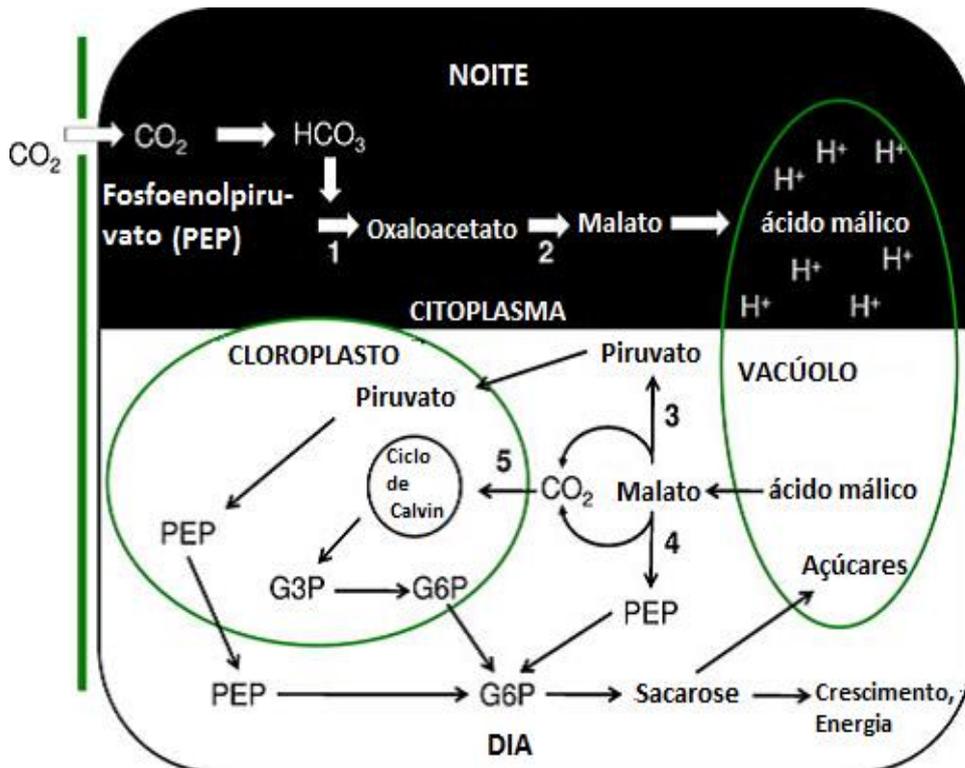
suculentas que armazenam água nos tecidos das folhas, um exemplo é a piteira (*Agave americana*), planta suculenta que possui células parenquimáticas não fotossintetizantes do tecido fundamental e que constitui o tecido armazenador de água (RAVEN, EVERT & EICHHORN, 1992).

As plantas CAM apresentam bastante eficiência no consumo de água, reduzindo sua perda por transpiração. Cerca de 7% das plantas vasculares apresentam metabolismo CAM. Normalmente uma planta CAM possui aproximadamente 33% das necessidades de água de uma planta C₄ e, aproximadamente, 16% da água requisitada por uma planta C₃ para produzir a mesma quantidade de biomassa, permitindo a essas espécies a conquista de diversos ambientes (ESCAMILLA-TREVIÑO, 2012).

Em plantas CAM a absorção de CO₂ líquida acontece à noite, melhorando drasticamente a eficiência ao uso de água para assimilação de carbono em plantas que crescem em habitats áridos. A abertura dos estômatos permite a entrada de CO₂ para realização da fotossíntese, essa abertura leva a perda de vapor de água (transpiração). Em plantas C₃ e C₄, a abertura dos estômatos acontece durante o dia, quando as temperaturas são elevadas e a perda de água é alta. A principal característica da via fotossintética CAM usada por *Agave* é a abertura e absorção de CO₂ durante a noite, permitindo que menos água seja perdida por transpiração (GARCIA-MOYA, ROMERO-MANZANARES & NOBEL, 2011).

Durante a fase diurna as plantas CAM tendem a fechar seus estômatos, assim o CO₂ fixado durante este período deve vir de algum local dentro da planta. Fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPCase) é a enzima utilizada pelas plantas C₄ e CAM para a captura de CO₂ atmosférico em células do mesófilo, mas enquanto em plantas C₄ os produtos de quatro carbonos ácidos são transportados para as células do feixe da bainha, onde são fixados em produtos da fotossíntese pela ribulose bisfosfato carboxilase oxigenase (Rubisco), em plantas CAM, todo o processo ocorre nas células mesofílicas, mas em diferentes etapas (figura 4).

Figura 4- A via CAM em uma célula do mesófilo. Áreas em preto e branco representam a célula durante o dia e a noite. A linha verde no lado esquerdo do diagrama representa a epiderme da folha, com a diferença que representa um poro estomático. As enzimas mais importantes que atuam durante o período noturno são as seguintes: (1) fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPCase) e (2) a malato desidrogenase. Durante o dia, a descarboxilação do malato ocorre, mas não é totalmente claro se isto ocorre através de piruvato pela enzima NADP-málico ou pela enzima NAD-málico (3) ou PEP através de PEP carboxicinas (4) em *Agave*. Ambas as etapas gerariam CO_2 que estaria disponível para Rubisco (5) no cloroplasto para a fotossíntese.



FONTE: (ESCAMILLA- TREVINO, 2012) traduzida por Maria de Fátima C. Oliveira, 2013.

À noite, quando os estômatos estão abertos, o PEPCase gera um produto ácido de quatro carbonos (tais como o oxaloacetato) que é convertido em malato no citosol pela malato desidrogenase. O malato é transportado e armazenado no vacúolo como ácido málico, devido à alta concentração de H^+ . Uma vez que a absorção de CO_2 e acumulação de malato continuam durante a noite, este pode atingir elevadas concentrações no vacúolo de madrugada (TAIZ, ZEIGER, 2004).

Durante o dia, o malato é exportado para o citosol onde é descarboxilado. A descarboxilação do malato pode ocorrer por vários itinerários e enzimas, dependendo da espécie de CAM. Ainda não está claro como ocorre a descarboxilação de malato em *Agave*,

mas os produtos podem ser piruvato ou fosfoenolpiruvato (PEP) e em ambos os casos resulta em CO₂. Este CO₂ está disponível para Rubisco no cloroplasto para a fotossíntese, e o piruvato pode ser convertido para PEP e ou ser reutilizado pela PEPCase ou então utilizado para a biossíntese de produtos de armazenamento como frutanos e açúcares solúveis que são encontrados em *Agave*. Os estômatos permanecem fechados durante o dia, evitando a fuga do CO₂ libertado internamente e ao mesmo tempo, evitando a perda de água pela transpiração (ESCAMILLA- TREVIÑO, 2012).

O metabolismo ácido das crassuláceas (CAM) evoluiu em resposta ao estresse, particularmente para baixo suprimento de água. Em plantas da Caatinga, a via CAM geralmente é acompanhada por vários mecanismos para lidar com a seca e temperaturas elevadas. Portanto, este curioso metabolismo poderá representar uma vantagem competitiva sobre as atuais mudanças climáticas, onde as previsões para as áreas tropicais são temperaturas mais elevadas e secas mais prolongadas (MORENO, 2009; GONDIM, CAVALCANTE & BELTRAO, 2010).

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

- ✓ Analisar as respostas de bulbilhos de *Agave sisalana* Perrine sob estresse hídrico.

4.2 Objetivos Específicos

- ✓ Observar o efeito do estresse hídrico sobre o comprimento das raízes e das folhas de bulbilhos de *Agave sisalana* perrine em dois estádios de desenvolvimento.
- ✓ Comparar o peso da matéria fresca e o peso da matéria seca de bulbilhos de *Agave sisalana* perrine submetidos a estresse hídrico em dois diferentes estádios de desenvolvimento.
- ✓ Analisar as respostas de *Agave sisalana* perrine ao estresse hídrico buscando entender o que possibilita a adaptação dessa espécie ao Bioma Caatinga e semiárido nordestino.

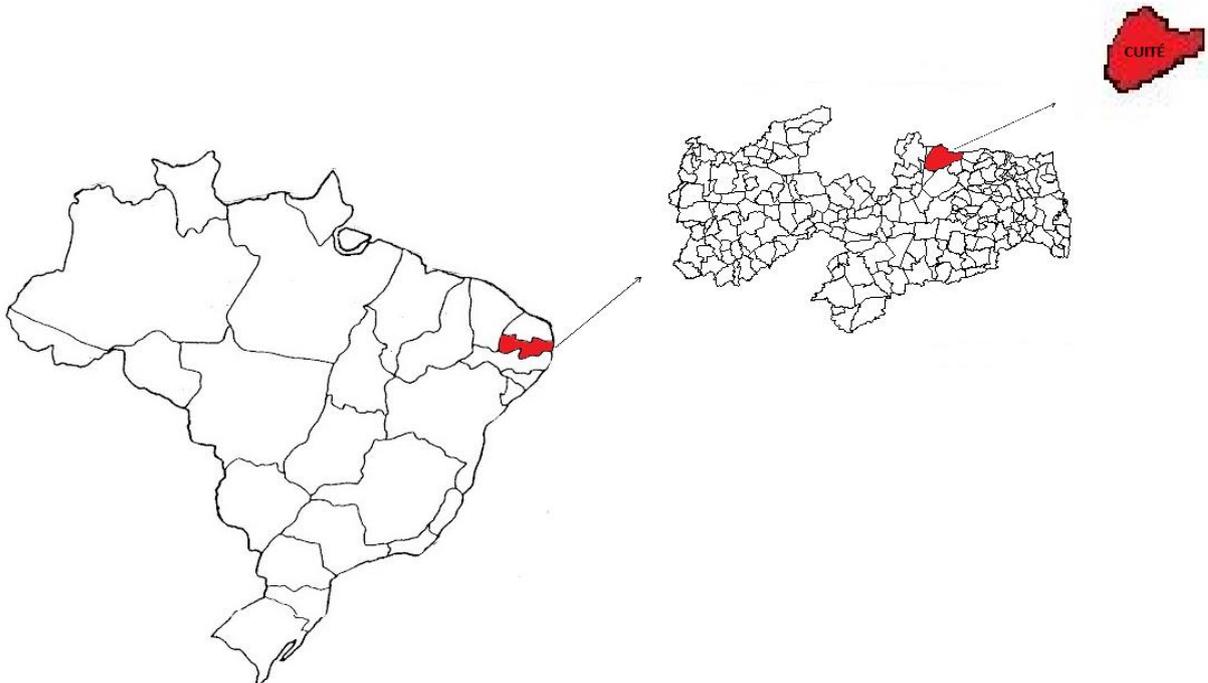
5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Local do estudo

O trabalho foi realizado no município de Cuité (cidade do Nordeste brasileiro, localizada na Mesorregião do Agreste Paraibano e na Microrregião do Curimatau Ocidental). O município situa-se geograficamente entre as coordenadas 6° 29' 06 de Latitude Sul e 36° 09' 24 de Longitude Oeste e possui altitude média de 667 metros, seu território ocupa aproximadamente uma área de 742 km² (figura 5). Acessível em território paraibano pela BR 104 está distante 235 km da capital paraibana: João Pessoa (GOMES, 2011).

A área esta localizada no Bioma Caatinga e apresentava evidências de devastação por ações antrópicas e desgaste por erosão. O local demonstrava indícios de recuperação pela presença de plantas de cobertura, como *Agave sisalana* e gramíneas, entre outras espécies do semiárido paraibano.

Figura 5- Localização do município de Cuité.



FONTE: Adaptação de Maria de Fátima C. Oliveira, 2013.

5.2. Coleta, tratamento e local do experimento.

A coleta de bulbilhos de *Agave sisalana* foi realizada no dia 30 de novembro de 2011, exatamente a 06° 30' 07.5 de Latitude Sul e 036° 08' 53.0 de Longitude Oeste. Os bulbilhos foram coletados por meio do balanceio do escapo floral até o total desprendimento (figura 6). O material coletado foi transferido para o laboratório de Biologia Celular da UFCG- Campus Cuité- CES, 2011, onde foi conduzido o experimento.

Figura 6- Inflorescência de *Agave sisalana*, pedúnculo floral com a presença de bulbilhos em suas ramificações finais. Os bulbilhos foram coletados desta planta adulta por meio do balanceio do pedúnculo floral até o seu desprendimento. A coleta foi realizada em novembro de 2011, no município de Cuité-PB.



FONTE: Maria de Fátima C. Oliveira, 2011.

Para o experimento foram coletadas 120 bulbilhos de *Agave sisalana* separados em dois estádios de acordo com o número de folhas apresentadas (figura 7- A), o estágio 1, inclui plântulas com 5 ou 6 folhas (V₅-V₆) (figura7- B), no estágio 2, plântulas com 6 ou 7 folhas (V₆-V₇) (figura7- C). O substrato utilizado para o plantio foi coletado no mesmo local dos bulbilhos e posteriormente peneirado e homogeneizado. Os bulbilhos foram colocados em

copos descartáveis com capacidade de 200 ml, preparados com um furo central e 4 nas laterais de modo que não ocorresse estresse por anoxia/hipoxia. Após a separação das plântulas foi realizado o plantio em copos descartáveis (200 ml) previamente preparados. O experimento foi conduzido sob condições de temperatura ambiental e fotoperíodo de 12 h de luz.

O experimento foi dividido em 4 bandejas plásticas onde foram colocadas as mudas de sisal referentes aos estádios 1 e 2 (figura 9 e 10). As duas primeiras bandejas continham os bulbilhos referentes ao estágio 1. A bandeja 1, para o grupo controle, com 30 mudas e a bandeja 2, para o grupo de estresse, com 30 mudas. As bandejas 3 e 4 continham bulbilhos referentes ao estágio 2, a bandeja 3 com 30 mudas referentes ao grupo controle e a bandeja 4 com 30 mudas para o grupo de estresse hídrico.

Figura 7- Experimento desenvolvido no Laboratório de Biologia Celular (CES) no período de dezembro de 2011 a fevereiro de 2012. A- Bulbilhos coletados da mesma planta adulta e separados em dois estádios diferentes de acordo com o número de folhas apresentadas. B- Bulbilhos representando o estágio 1 (com 5 e 6 folhas). C- Bulbilhos representando o estágio 2 (6 e 7 folhas).



FONTE: Maria de Fátima C. Oliveira, 2011.

Figura 8- Bulbilhos do estágio 1, plantados em copos descartáveis de 200 ml e divididos em 2 bandejas para avaliação grupo controle e estresse. Figura 9 - Bulbilhos do estágio 2, plantados em copos de 200 ml e distribuídos em 2 bandejas para avaliação do grupo controle e estresse .



FONTE: Maria de Fátima C. Oliveira, 2011.



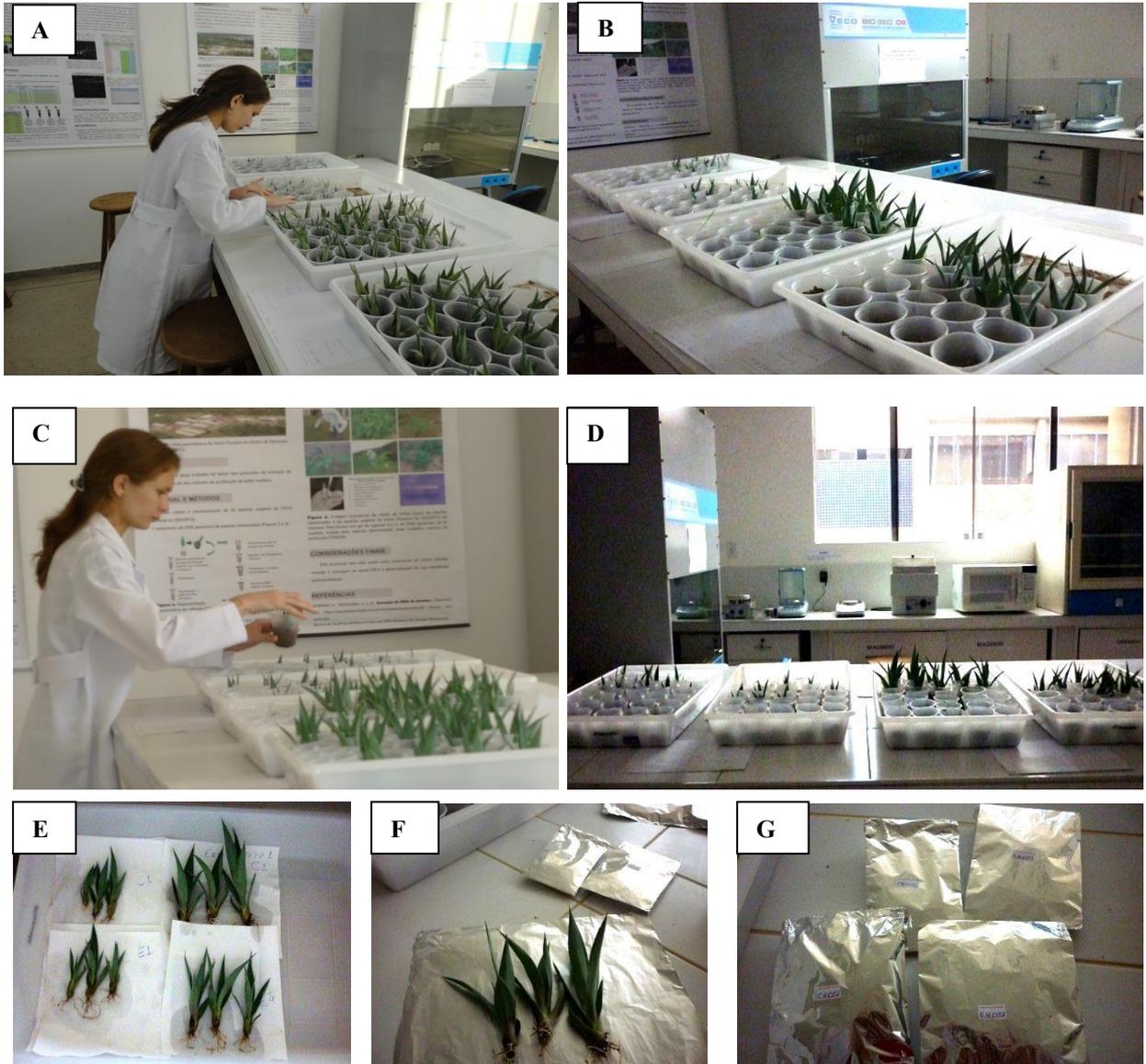
FONTE: Maria de Fátima C. Oliveira, 2011.

Antes da fase experimental os bulbilhos foram transplantados para copos e posicionados dentro das bandejas para aclimação de 10 dias, a irrigação foi realizada com água destilada a cada 2 dias até a capacidade de campo. Após esse período foi suspensa a irrigação nas bandejas 3 e 4 que continham as plantas do grupo submetido ao estresse e manteve-se a irrigação nas bandejas 1 e 3 que continham os bulbilhos do grupo controle. A irrigação com água destilada para o grupo controle foi realizada a cada dois dias, até a capacidade de campo.

5.2.1 Experimento 1

A coleta experimental procedeu-se em 0h, 2, 4, 8, 16 e 32 dias (figura 10- A, B). Os bulbilhos referentes aos dois estádios coletados foram medidos com o auxílio de um paquímetro digital (mm), para análise do tamanho de folha e raiz (Figura C, D). Os bulbilhos foram lavados delicadamente com água destilada, secos em papel toalha e acondicionados em embalagens de papel alumínio etiquetadas, colocadas em freezer -20 °C para futuras análises (Figura 10 - E, F, G).

Figura 10- Experimento1. A- Distribuição dos bulbilhos nas bandejas com separação dos estádios de desenvolvimento, durante o período de experimentação. (B, C, D) – período durante a realização das coletas dos bulbilhos. E- Depois de coletados os bulbilhos foram lavados e secos em papel toalha. (F, G)- Depois de medir os comprimentos de raiz e folha, os bulbilhos foram colocados em embalagem de papel alumínio, etiquetados e postos em sacos plásticos conservados em freezer a – 20°C para outras análises.

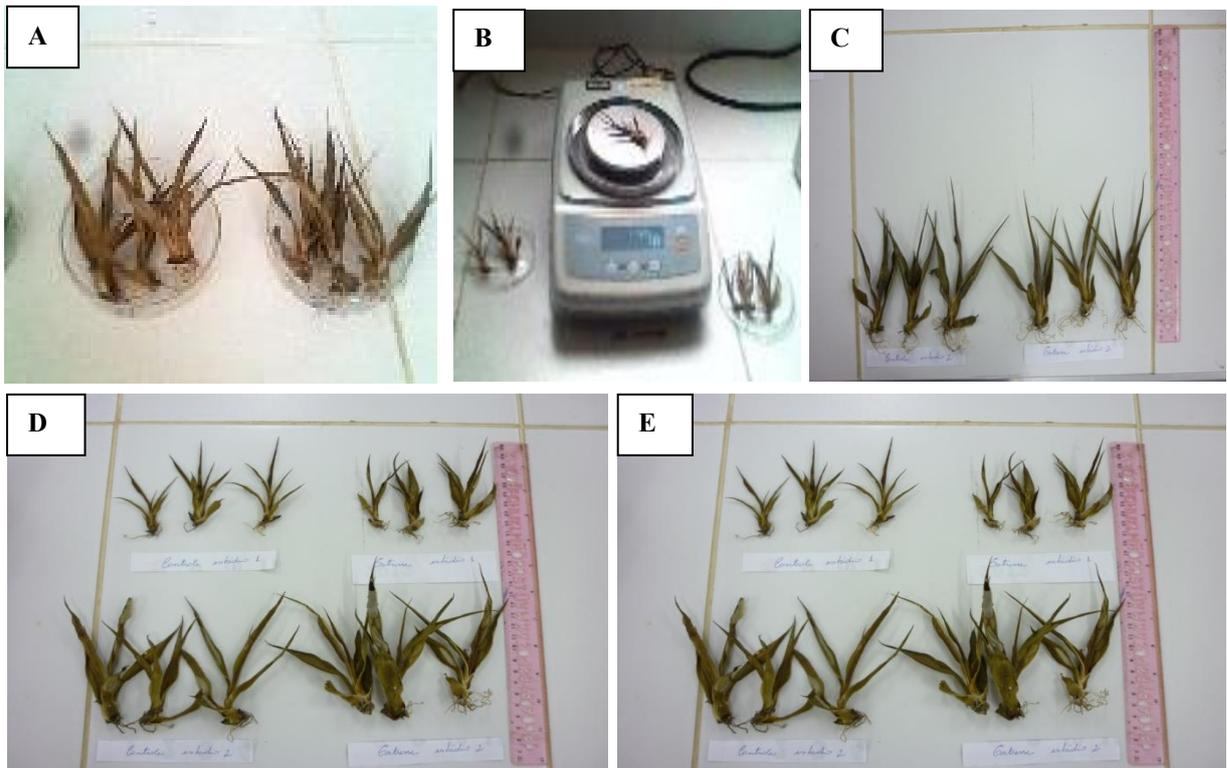


FONTE: Maria de Fátima C. Oliveira, 2011.

5.2.2 Experimento 2

A coleta experimental procedeu-se em 0h, 8, 16 e 32 dias. Após a coleta os bulbilhos dos dois estádios coletados foram pesados com o auxílio de balança analítica (g), para análise de matéria fresca e em seguida colocados em estufa a 70° C, (Figura 11- A, B, C) até que por meio de pesagem obtivesse matéria seca constante (Figura 11- D, E).

Figura 11- Experimento 2. A- Bulbilhos do estágio 2 retirados de estufa a 70°C para análise da matéria seca. B- Balança analítica de precisão utilizada para realizar a pesagem da matéria seca dos bulbilhos do experimento 2. C- bulbilhos depois de secos referente ao grupo de controle e estresse do estágio 2. D, E - Bulbilhos secos referentes aos estádios de desenvolvimento, com estágio 1, contrastando o grupo controle e estresse e estágio 2, com os grupos controle e estresse.



FONTE: Maria de Fátima C. Oliveira, 2011.

5.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com três repetições para todos os parâmetros avaliados nos dois experimentos.

5.4 Características avaliadas

Foram avaliados o comprimento de folhas e raiz, também peso da matéria fresca e peso da matéria seca em dois estádios de desenvolvimento de bulbilhos de *Agave sisalana*.

5.4.1 Comprimento de raízes e folhas

Para as características avaliadas os bulbilhos coletados foram lavados em água destilada e secos, em seguida utilizou-se um paquímetro digital 6” Western (150 mm) para registrar o comprimento de folhas e raiz em milímetros (mm). Esse material foi depositado em embalagens de papel alumínio, devidamente etiquetados e colocados em sacos plásticos, preservados em freezer a - 20°C. As coletas foram realizadas em: 0h, 2, 4, 8, 16 e 32 dias.

5.4.2 Peso da matéria fresca e da matéria seca

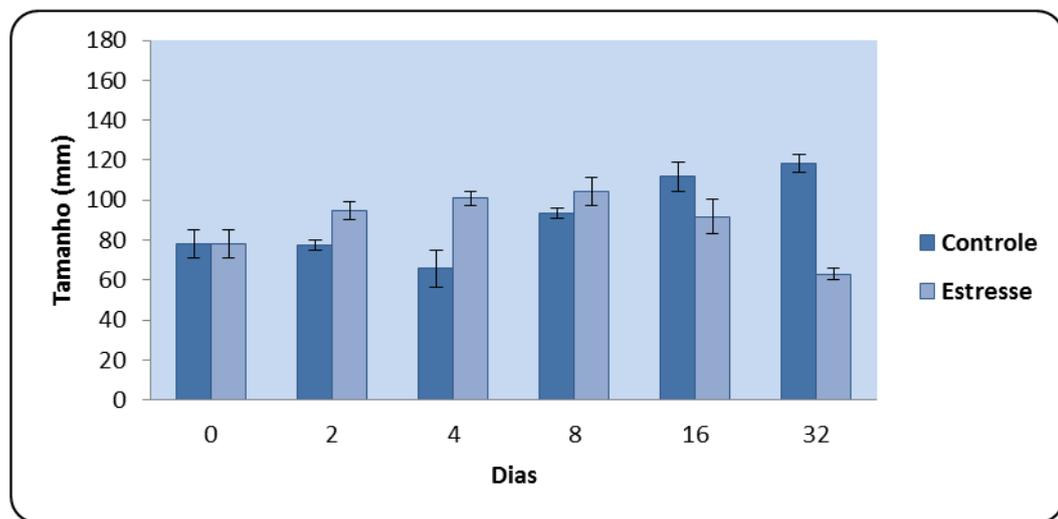
Para o peso da matéria fresca os bulbilhos foram lavados em água destilada e secos, após esse procedimentos foram pesados em balança analítica Bel Engineering (0,001g) para análise da matéria fresca. Para a matéria seca os bulbilhos foram colocados em estufa Biopar (modelo S250BA) a 70° C, até a obtenção de massa constante. As coletas para o experimento foram realizadas em: 0h, 8, 16, 32 dias.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Comprimentos das folhas

O comprimento das folhas de *Agave sisalana*, estágio 1, demonstrou aumento no crescimento foliar depois após 8º dia. Nos bulbilhos sob tratamento houve redução no comprimento das folhas no 32º dia (figura 12).

Figura 12- Tamanho em milímetros (mm) das folhas dos bulbilhos de *Agave sisalana*, estágio 1, com estresse hídrico (tratamento) e sem estresse hídrico (controle).



FONTE: DADOS DA PESQUISA.

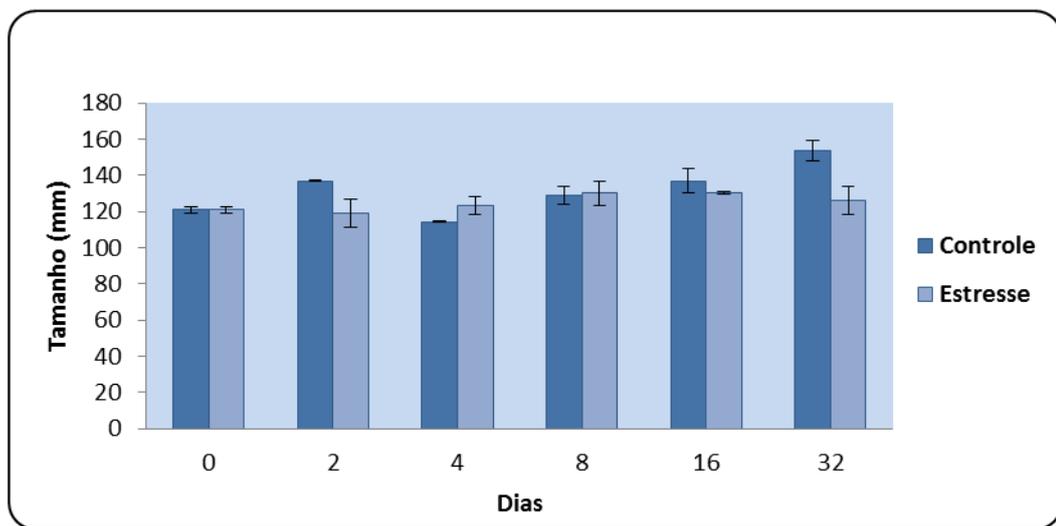
As plantas em todo o mundo tem seu desenvolvimento comprometido pela deficiência hídrica, apresentando um efeito negativo sobre seu crescimento e produção. O déficit hídrico causa alterações nas plantas cuja irreversibilidade depende do genótipo, duração, severidade e estágio de desenvolvimento da planta (SANTOS, CARLESSO, 1998).

As médias do comprimento foliar do estresse no estágio 1, decresceram no 16º e 32º dias do experimento, quando apresentaram maior sensibilidade a deficiência hídrica. No estágio 1, foi observado crescimento normal durante o experimento, nos bulbilhos do tratamento ocorreu diminuição do comprimento foliar no período 32º dia. Um comportamento similar foi observado em plantas de cana-de-açúcar que tiveram seu crescimento foliar

afetado de modo significativo e redução no número de folhas quando submetido a estresse hídrico (CARLIN, SANTOS, 2009).

Os resultados das médias para o comprimento foliar no estágio 2, em bulbilhos de *Agave sisalana* demonstraram um crescimento normal e os bulbilhos sob estresse mantiveram sua média de comprimento constante durante todo período de tratamento (figura 13). O comprimento médio das folhas no tratamento possui valores semelhantes quando comparados ao 32º dia do experimento.

Figura 13- Tamanho em milímetros (mm) das folhas dos bulbilhos de *Agave sisalana*, estágio 2, com estresse hídrico (tratamento) e sem estresse hídrico (controle).



FONTE: DADOS DA PESQUISA.

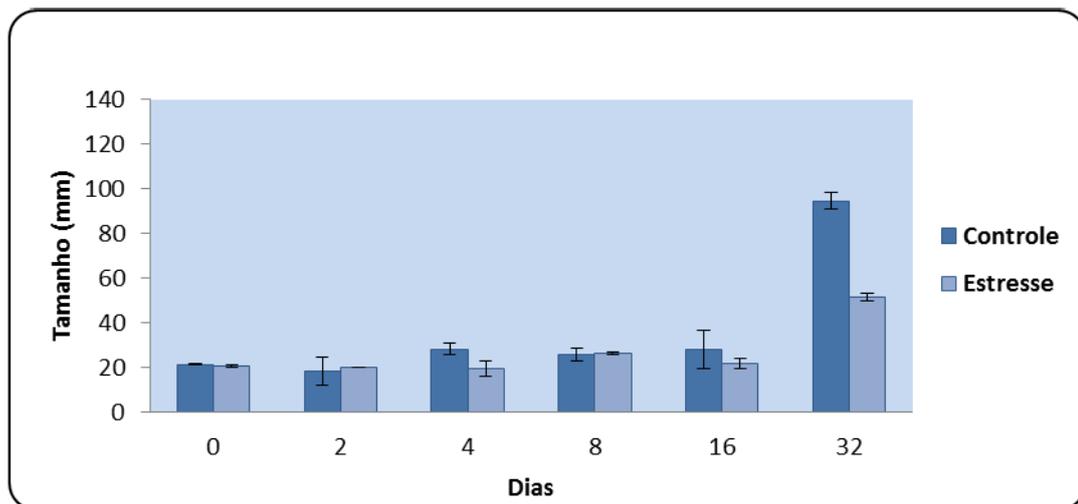
As médias de comprimento das folhas demonstraram pouca diferença entre os grupo de controle e o tratamento nos bulbilhos do estágio 2, uma característica das plantas que apresentam tolerância é um crescimento mais lento, o que favorece a planta quando em condições de déficit hídrico (AMARAL et al., 2003). Como os bulbilhos de *Agave sisalana* do estágio 2, mantiveram suas médias de comprimento foliar nesse período observa-se uma tolerância desses bulbilhos a condição de déficit hídrico, como o tratamento foi aplicado de modo lento permitiu a planta no estágio mais avançado de desenvolvimento adaptar-se a essas condições. O estágio 1, reduziu o comprimento das folhas no 32º dia, porém no estágio 2, sob tratamento os bulbilhos mantiveram o comprimento foliar constante até o 32º dia, o que indica que o estágio 2, é mais tolerante ao déficit hídrico do que o estágio 1.

Quando o estresse se desenvolve lentamente promove respostas que afetam o crescimento, sendo uma dessas variações a limitação do crescimento foliar (MORENO, 2009).

6.2 Comprimentos das raízes

Para os bulbilhos de *Agave sisalana* do estágio 1, houve aumento na média do comprimento das raízes no grupo controle e no tratamento, o crescimento das raízes no grupo controle aumentou principalmente ao 32º dia, no tratamento também houve crescimento radicular durante todo o período com aumento mais expressivo no 32º (figura 14).

Gráfico 14 - Tamanho em milímetros (mm) das raízes dos bulbilhos de *Agave sisalana*, estágio 1, com estresse hídrico (tratamento) e sem estresse hídrico (controle).



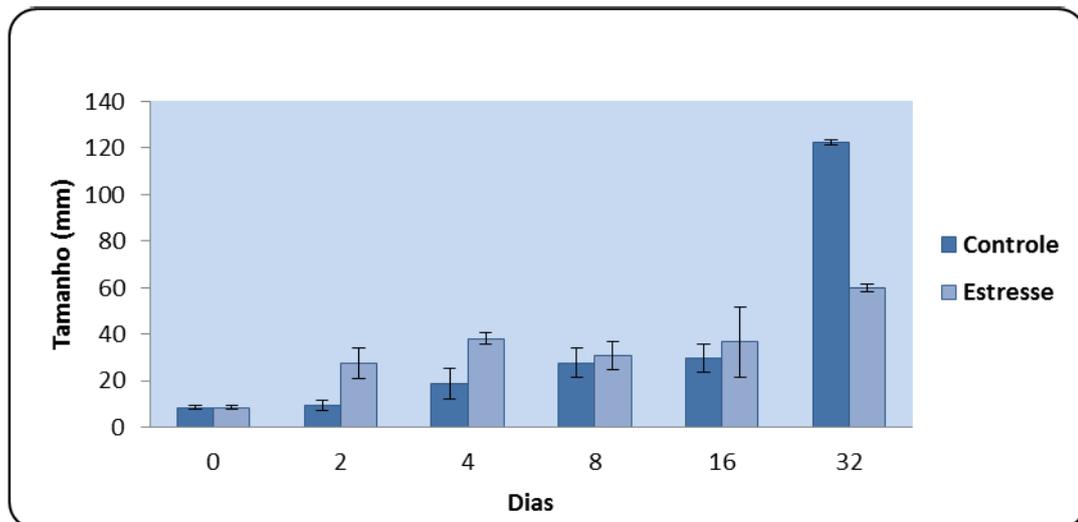
FONTE: DADOS DA PESQUISA.

As médias de comprimento das raízes dos bulbilhos de *Agave sisalana* sob tratamento mantiveram o crescimento no período do experimento. Em outras plantas submetidas a estresse hídrico resultados similares foram observados, com crescimento do sistema radicular pela alocação de fotossíntatos para essas áreas. Sob estresse hídrico a razão parte aérea/ raiz é limitada. As raízes continuam a crescer, porém a parte aérea tem seu crescimento comprometido diante do estresse, por meio desse crescimento as raízes podem encontrar água em zonas mais profundas do solo (MORENO, 2009).

Mesmo que as raízes tenham crescido diante de condições de estresse hídrico, ao observar os gráficos percebemos que o crescimento do controle foi superior, o que denota que as raízes também tiveram seu potencial de crescimento limitado diante do estresse hídrico. As raízes de plantas adultas de *Agave* suportam condições extremamente secas por um período de até 30 dias. Em *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck, as raízes sob condições de estresse hídrico tiveram diminuição de suas dimensões com significativa redução da área transversal (PEÑA-VALDIVIA, SÁNCHEZ-URDANETA, 2009).

As médias de comprimento das raízes nos bulbilhos do estágio 2, demonstraram crescimento constante no grupo controle com aumento ao 32º dia de experimento, as raízes sob tratamento demonstraram crescimento similar ao observado nos bulbilhos do controle, com maior crescimento no mesmo período (figura 15).

Gráfico 15 - Tamanho em milímetros (mm) das raízes dos bulbilhos de *Agave sisalana*, estágio 2, com estresse (tratamento1) e sem estresse hídrico (controle).



FONTE: DADOS DA PESQUISA

As médias de crescimento radicular do tratamento demonstrou diferenças entre o controle no 32º dia. No estágio de mudas os bulbilhos de *Agave* são muito sensíveis ao déficit hídrico, pois suas raízes são superficiais e encontram dificuldades para absorver água em solo seco, em condições severas de estresse reduzem o córtex da raiz e aumentam a espessura da parede do xilema e o diâmetro dos vasos do xilema, esses dados são importante porque a condução de água ao longo da muda e dos tecidos da planta inteira depende do xilema da raiz.

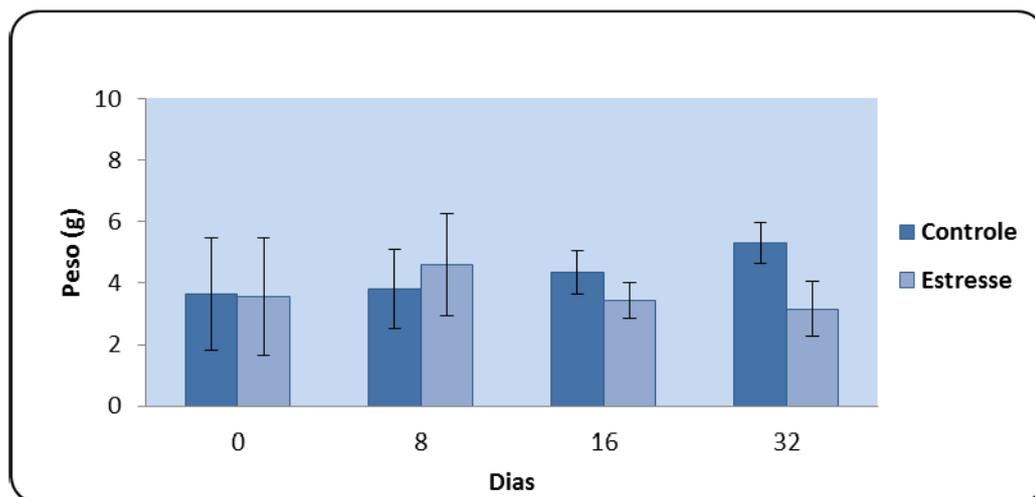
Em raiz de *Agave* a exoderme é suberizada, a endoderme e o córtex se tornam mais espessas devido à seca, assim as raízes não perdem água para o solo quando este se encontra com potencial de água baixo (GARCIA-MOYA, ROMERO-MANZANARES & NOBEL, 2011; LÜTTGE, 2010).

O comprimento das raízes nos dois estádios de desenvolvimento dos bulbilhos demonstraram características de tolerância e o comportamento das raízes sob tratamento foi similar nos dois ensaios. As raízes demonstraram crescimento, porém quando comparadas ao grupo controle o crescimento no tratamento foi comprometido pelo déficit hídrico.

6.3 Peso da matéria fresca

O peso da matéria fresca nos bulbilhos de *Agave sisalana* do estadio 1, no grupo controle mostraram aumento entre os períodos de 0 a 32º dia. Os bulbilhos sob tratamento não demonstraram diferenças entre as médias de peso da matéria fresca durante o experimento (figura 16).

Grafico 16 - Peso da matéria fresca em (g) dos bulbilhos de *Agave sisalana*, estadio 1, com estresse hidrico (tratamento) e sem estresse hidrico (controle).

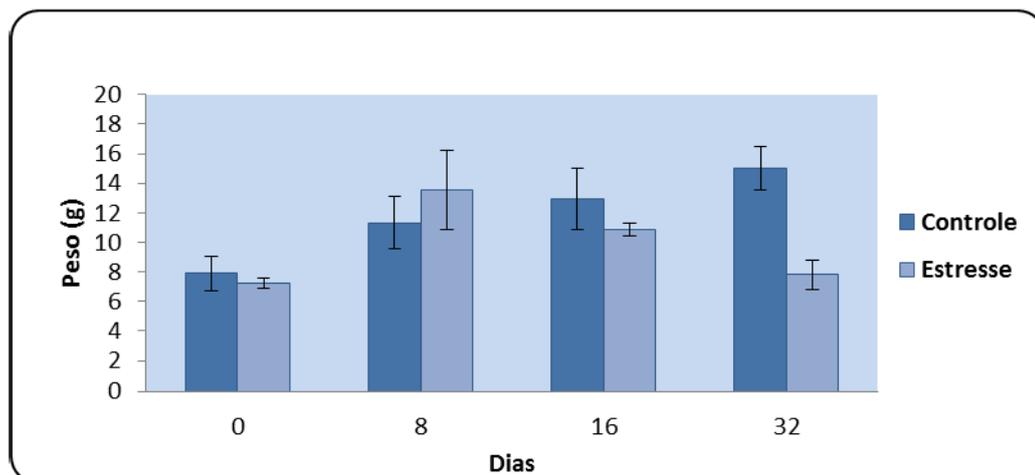


FONTE: DADOS DA PESQUISA

Os bulbilhos sob estresse hídrico demonstraram sensibilidade a essa condição a partir do 16º dia. Em plantas de *Artemisia* com redução no nível hídrico do substrato em 50% da capacidade de campo, observou-se decréscimo de 16% na altura e 23 % no acúmulo de massa fresca na parte aérea da planta. A deficiência hídrica interrompe o processo de crescimento, causando a diminuição do acúmulo de massa fresca e seca (CARVALHO L. et al., 2003). Estudos realizados com trigo em diferentes estádios sob estresse hídrico demonstraram a redução na produção da fitomassa (MOREIRA, ÂNGULO FILHO & RUDORFF, 1999).

O peso da matéria fresca dos bulbilhos de *Agave sisalana*, estadio 2 demonstrou aumento entre o período de 0 a 32º dia (figura 17). O peso da matéria fresca nos bulbilhos sob tratamento foi reduzido ao 32º dia.

Grafico 17 – Peso da matéria fresca em (g) dos bulbilhos de *Agave sisalana*, estadio 2, com estresse hídrico (tratamento) e sem estresse hídrico (controle).



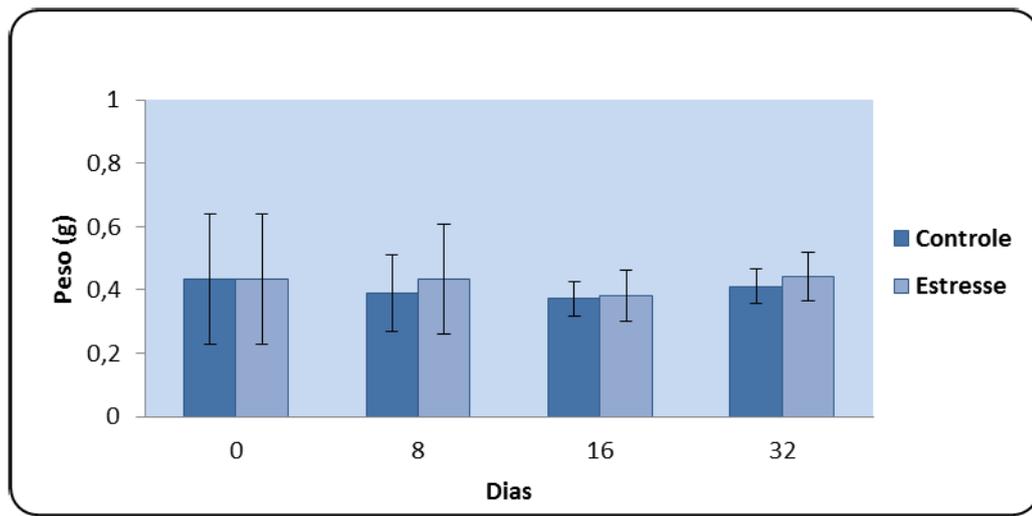
FONTE: DADOS DA PESQUISA

O peso de matéria fresca dos bulbilhos sob tratamento no estágio 2, diminuiu ao 32º dia de experimento. Um comportamento similar foi observado em rabanetes, que tiveram uma significativa redução na massa fresca da raiz a partir do 21º dia do ciclo da cultura em tratamento sob estresse hídrico, afetando assim a produção de biomassa (BREGONCI et al., 2008).

6.4 Peso da matéria seca

Para o peso da matéria seca dos bulbilhos de *Agave sisalana* no estágio 1, não houve diferenças durante o período do experimento (figura 18).

Grafico 18 - Peso da matéria seca em (g) dos bulbilhos de *Agave sisalana*, estadio 1, com estresse hídrico (tratamento) e sem estresse hídrico (controle).



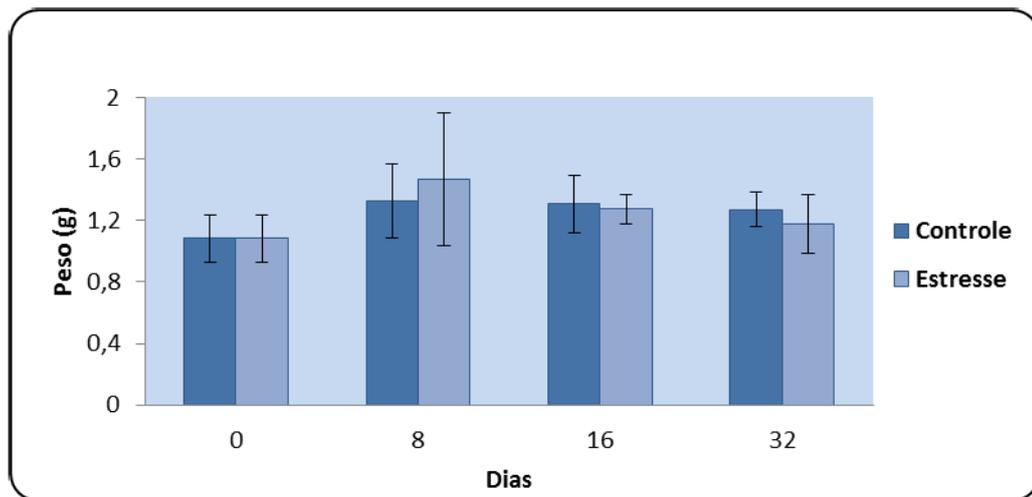
FONTE: DADOS DA PESQUISA

Os bulbilhos de *Agave sisalana* sob tratamento mantiveram a produção de matéria seca pequena, mas constante durante o período experimento. O que mostra a tolerância dos mesmos a períodos de déficit hídrico. Plantas de Umbuzeiro com adubação fosfatada, demonstraram aumento da produção de matéria seca como indicativo de sua tolerância a ambientes de estresse hídrico (NEVES et al., 2008).

Como a produção de matéria seca manteve-se nos bulbilhos sob tratamento de estresse hídrico, observa-se que esses apresentam tolerância a essas condições, pois em plantas que não possuem tolerância o estresse hídrico reduz a produtividade de matéria seca. Em plantas jovens de Nim-Indiano (*Azadirachta indica* A. Juss.) submetidas a diferentes regimes hídricos, efeitos do estresse foram observados pela redução da matéria seca das folhas, caule, raízes e na matéria seca total, bem como diminuição na alocação de biomassa para as folhas (MARTINS et al., 2010).

O peso da matéria seca dos bulbilhos de *Agave sisalana*, estágio 2, no grupo controle mantiveram o peso da matéria seca constantes durante o período do experimento, o grupo de estresse aumentou ao 8º dia, após esse período manteve-se constante até o final do experimento (figura 19).

Grafico 19 – Peso da matéria seca em (g) dos bulbilhos de *Agave sisalana*, estadio 2, com estresse hídrico (tratamento) e sem estresse hídrico (controle).



FONTE: DADOS DA PESQUISA

Os bulbilhos sob tratamento no estágio 2, não demonstraram diferenças no período do experimento comprovando a tolerância da espécie de *Agave sisalana* sob estresse hídrico. Em plantas não tolerantes ocorre redução de massa seca em condições de estresse hídrico. Plantas jovens de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (aroeira) submetidas a diferentes regimes hídricos demonstraram significativa redução na produção de massa secas sob regime de estresse hídrico (FIGUEIRÔA, BARBOSA & SIMABUKURO, 2004).

A produção de matéria seca apresentada nos bulbilhos demonstra que os mesmos são tolerantes ao estresse hídrico. Resultados similares foram observados em mudas de duas espécies de Eucalipto que sob deficiência hídrica demonstraram acúmulo de biomassa seca em folhas e raiz (KLIPPEL et al., 2009).

No estágio 2, o desenvolvimento das plantas no grupo controle mostra a eficiência dos bulbilhos de *Agave sisalana* no consumo de água. A relevante produção de fitomassa

apresentada pelas plantas, quando não submetidas a déficit hídrico, indicam elevada eficiência na transformação da água consumida em matéria seca.

Agave sisalana é uma espécie de ciclo perene que desenvolveu adaptações para sobreviver na região nordeste, onde é comum os períodos de secas. Em espécies perenes mecanismos de tolerância a seca favorecem o crescimento e a formação de biomassa nas épocas secas (CARVALHO, 2005).

As plantas do Bioma Caatinga desenvolveram características para manter o estoque de água em seu interior durante períodos de deficiência hídrica que quase sempre é longo. Para sobreviver nas condições de estresse ocasionadas pela seca as plantas desenvolvem respostas como diminuição do comprimento foliar e aprofundamento do sistema radicular, e mecanismos fisiológicos como o metabolismo ácido das crassuláceas que permite uso eficaz da água (TROVÃO et al., 2007).

O presente estudo demonstrou que plantas de *Agave sisalana* sobrevivem em solos com déficit hídrico e elevadas temperaturas por sua eficiência ao consumo de água. A eficiência dos bulbilhos de *Agave sisalana* mostra que essa espécie é tolerante a períodos de seca, isso pode ser percebido pelo aumento no comprimento foliar, crescimento do sistema radicular sob condições de estresse hídrico, com a constante produção de matéria fresca e da matéria seca que não demonstrou diferenças entre o controle e o tratamento. Uma característica que promove o sucesso de *Agave sisalana* é que essa planta apresenta o metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), que mantém o armazenamento de água nos tecidos.

7- CONCLUSÃO

O comprimento das folhas dos bulbilhos de *Agave sisalana*, no estágio 1, demonstraram redução nas médias de comprimento foliar, mostrando que estádios mais jovens são mais sensíveis ao déficit hídrico. No estágio 2, os bulbilhos sob tratamento mantiveram as médias de comprimento foliar similar ao controle mostrando maior tolerância ao déficit hídrico. As raízes do controle nos dois estádios demonstraram crescimento normal, as raízes do tratamento também cresceram com crescimento mais acentuado no 32º dia do experimento. Raízes de *Agave sisalana* tem seu crescimento radicular limitado sob condições de déficit hídrico.

O peso da matéria fresca e o peso da matéria seca dos bulbilhos de *Agave sisalana* nos dois estádios não demonstraram diferença na produção de matéria fresca e da matéria seca entre o tratamento e o controle no período do experimento.

O trabalho mostra que bulbilhos de *Agave sisalana* em dois estádios diferentes de desenvolvimento demonstraram características de tolerância, mantendo a média de comprimento foliar, crescimento radicular e produção de matéria fresca e de matéria seca, que favorecem a sobrevivência diante dos efeitos do estresse hídrico, porém se faz necessário outras análises como parede celular, teor de clorofila, atividade de enzimas anti-oxidantes e análises anatômicas para comprovação da irrefutável tolerância dessa espécie.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, Maria Odete; SANTIAGO, Eduardo Girão; LIMA, Antônio Renam Moreira. **Diagnostico socioeconômico do setor sisaleiro do Nordeste brasileiro**. Fortaleza. Banco Nordeste do Brasil, 2005.
- AMARAL, Sergio ribeiro do et al. Comportamento de linhagem de sorgo forrageiro submetida a déficit hídrico sob condição controlada. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília. v. 38, n.8, p 973-979, ago, 2003.
- ARIZAGA, Santiago; EZCURRA, Exequiel. Propagation mechanisms in *Agave macroacantha* (Agavaceae), a tropical arid-land succulent rosette. **American Journal of Botany**. v. 89, n. 4, p. 632–641, apr, 2002.
- ASFAW, Kinfemichael Geressu. Investigation of the Reasons for the Unique Growth and Development of *Agave* Species (*Agave sisalana* and *Agave americana*) Crop Plants at the Southern, Central, North Western and Eastern Parts of Tigray, Ethiopia. **Current Research Journal of Biological Sciences**. v. 3, 4. Ed. p. 273-281, 2011.
- BATISTA, Diógenes da Cruz et al. **Manejo da podridão vermelha do tronco do sisal**. Petrolina- PE. Embrapa, dez. 2010. 92. ISSN1808-9976.
- BREGONCI, Izaias dos Santos et al. Desenvolvimento do sistema radicular do rabanete em condição de estresse hídrico. **IDESIA**. Chile. v. 26, n. 1, p. 33- 38, enero- abril, 2008.
- CARLIN, Samira Domingues; SANTOS, Durvalina Maria Mathias dos. Indicadores fisiológicos da interação entre déficit hídrico e acidez do solo em cana- de- açúcar. **Pesquisa Agropecuária brasileira**. Brasília, v. 44, n. 9, p. 1106-1113, set, 2009.
- CARVALHO, C. J. R. Respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* [*S. parahyba* var. *amazonicum*] E *Schizolobium parahyba* [*Schizolobium parahybum*] à deficiência hídrica. **Revista Arvore**. Viçosa- MG. v. 29, n. 6, p. 907-914, 2005.
- CARVALHO, Luciana M. de et al. Disponibilidade de água no solo e crescimento de Artemísia. **Hortic. Brás.** v.21, n.4, out-dez, 2003.
- CAVALCANTE, Ana Clara Rodrigues; CAVALLINI, Maria Cecília; LIMA, Nino Rodrigo Cabral de Barros. **Estresse por déficit hídrico em plantas forrageiras**. Embrapa Caprinos e Ovinos, p.50, Sobral, CE, 2009. ISSN 1676-7659.
- COSTA, R. M. O Capa Verde: transformações econômicas e representações ideológicas dos trabalhadores do sisal. In: Juarez Rubens Brandão Lopes. (Org.). **Brasil Norte e Nordeste Estudos em Ciências Sociais**. Rio de Janeiro: ANPOCS/ Interamerican Foudation. p.67-90, 1991.
- DAVIS, Sarah C.; DOHLEMAN, Frank G.; LONG, Stephen P. The global potential for Agave as a biofuel feedstock. **GCB Bionergy**. n. 3, p. 68-78. Out, 2011.
- DOMINGUES, Luciana Ferreira. **Avaliação da atividade anti-helmíntica do resíduo líquido de *Agave sisalana* Perrine (sisal) em caprinos**. 2008. 69p. Dissertação (Mestrado

em Ciência Animal nos Trópicos)- Departamento de Patologia e Clínicas, Universidade Federal da Bahia. Salvador-Bahia.2008.

ESCAMILLA-TREVIÑO, Luis Lauro. Potential of Plants from the Genus *Agave* as Bioenergy Crops. **Bioenerg. Research**. v. 5, p. 1–9. Mar, 2012.

FIGUEIROA, Joselma Maria de; BARBOSA, Dilosa Carvalho de Alencar; SIMABUKURO, Eliana Akie. Crescimento de plantas jovens de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) sob diferentes regimes hídricos. **Acta Bot. Bras.** 2004, v. 18, n.3, pp. 573-580. ISSN 0102- 3306.

GARCIA-MOYA, E.; ROMERO- MANZANARES, A.; NOBEL, P.S. Highlights for *Agave* productivity. **GCB Bioenergy**. v. 3, p. 4-14. Out, 2011.

GOMES, Maria Verônica de Azevedo. **ALTERAÇÕES ESPACIAIS E NOVAS RELAÇÕES: influências e transformações do/no espaço urbano de Cuité- PB.** 2011. 53 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geografia) – Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Educação. Campina Grande- PB. 2011.

GONDIM, Tarcísio Marcos de Souza; SOUZA, Leossávio César de. **Caracterização de frutos e sementes de sisal.** Campina Grande, PB. Embrapa, nov. 2009. 127. ISSN0100-6460.

GONDIM, Tarcísio Marcos de Souza; CAVALCANTE, Lourival Ferreira; BELTRAO, Napoleão Esberad de Macedo. AQUECIMENTO GLOBAL: salinidade e consequências no comportamento vegetal. **Rev. bras. ol. fibros.**Campina Grande. v. 14, n.1, p.37-54, jan/abr. 2010.

HOLTUM, J. A. et al. *Agave* as a biofuel feedstock in Australia. **GCB Bioenergy**. v.3, p. 58-67, sept. 2011.

JACINTO, Rocío José; GARCIA MOYA, Edmundo. Remoción cuticular (“mixiote”) y desarrollo foliar en los Agaves pulqueros (*Agave salmiana* y *A. Mapisaga*). **Boletín de la Sociedad Botánica de México.** Distrito federal, Mexico, n. 66, p. 73-79, 2000.

KLIPPEL, Valeria H. et al. **Efeito do estresse hídrico na produção de biomassa seca de mudas de Eucalipto submetidas a diferentes regimes de irrigação.** Alegre- ES, 2009.

LORENZI, Harri; MELLO FILHO, Luiz Emygdio de. **As plantas tropicais de R. Burle Marx.** n. Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2001.

LÜTTGE, U. **Ability of crassulacean acid metabolism plants to overcome interacting stresses in tropical environments.** AoB PLANTS 2010: plq005, doi:10.1093/aobpla/plq005. 2010.

MACHADO, Ricardo Silverio et al. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, v.44, n.12, p.1575-1582, dez. 2009.

MARTIN, A.R. et al. Caracterização Química e Estrutural de Fibra de Sisal da Variedade *Agave sisalana*. **POLÍMEROS: Ciências e tecnologia.** v.19, n. 1, p. 40-46, 2009.

- MARTINS, Marcio de Oliveira et al. Crescimento de plantas jovens de Nim-Indiano (*Azadirachta indica* A. Juss. - Meliaceae) sob diferentes regimes hídricos. **Revista Árvore**. Viçosa-MG, v.34, n.5, p.771-779, 2010.
- MATTOS, Jorge Luiz Schirmer de; GOMIDE, Jose Alberto; HUAMAN, Carlos Alberto Martinez y. Crescimento de Espécies do Gênero *Brachiaria*, sob Déficit Hídrico, em Casa de Vegetação. **R. Bras. Zootecnia**. v.34, n.3, p.746-754, 2005.
- MONTAÑEZ-SOTO, José et al. Extracion, caracterizacion e cuantificacion de los fructanos en la cabeza e en las hojas de Agave tequilana weber azul. **Bioagro**. México. v. 23, n.3, 2011.
- MORENO, Liz Patricia F. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. **Agronomía Colombiana**. Colômbia. v. 27, n. 2, p. , 179-191, 2009.
- MOREIRA, Mauricio Alves; ÂNGULO FILHO, Rubens; RUDORFF, Bernardo Friedrich Theodor. Eficiência do uso da radiação e índice de colheita em trigo submetido a estresse hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento. **Ciência Agrícola**. Piracicaba, v. 56, n.3, jul, 1999.
- NETO, Israel Lopes da Cunha; MARTINS, Fabiano Machado. Anatomia dos órgãos vegetativos de *Agave sisalana* Perrine ex Engelm (Agavaceae). **Revista Caatinga**. Mossoró. v.25, n.2, p. 72-78, mar- jun, 2012.
- NEVES, Orlando Silvio Caires et al. Crescimento, nutrição mineral e nível crítico foliar de P em mudas de umbuzeiro, em função da adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal- SP, v.30, n.3, p. 801-805, set.2008.
- NOGUEIRA, Rejane J. Mansur C. et al. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**. Recife, PE. v. 13, n.1, p.75-87, 2001.
- QUEIROZ, Cristina G. S.; GARCIA, Queila S. and LEMOS FILHO, José Pires. Atividade fotossintética e peroxidacao de lipídios de membrana em plantas de aroeira- do- sertão sob estresse hídrico e após reidratação. **Braz. J. Plant. Physiol.** [online]. Belo Horizonte, MG. v.14, n. 1, p. 59-63. 2002. ISSN 1677-0420.
- SANTOS, Jener David Gonçalves dos. **Avaliação da atividade antimicrobiana de extratos e caracterização parcial de saponinas obtidos de resíduos de *Agave sisalana* perrine**. 2009. 125 p. Dissertação (mestrado em recursos genéticos vegetais) – Departamento de Ciências Biológicas, universidade Estadual de feira de Santana, Feira de Santana.2009.
- SANTOS, Reginaldo Ferreira; CARLESSO, Reimar. Deficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista brasileira de engenharia Agrícola e Ambiental**. v.2, n.3, p. 287-294,Campina Grande , 1998.
- SILVA, Francisco Salles Marques dos. **Responsabilidade Social e Desenvolvimento Sustentável da Cultura do sisal (*Agave sisalana* no Semiárido baiano)**. 2007. 146p. Dissertação (mestrado profissional multidisciplinar em desenvolvimento humano e responsabilidade social) – Centro de pós- graduação e pesquisa Visconde de Cairu, Fundação Visconde de Cairu, Salvador. 2007.

SILVA, Odilon Reny Ribeiro Ferreira da et al. **Cultivo do sisal no Nordeste Brasileiro**. Campina Grande-PB. Embrapa. Jul. 2008. 123. ISSN 0100-6460.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TROVÃO, Dilma M. de B. M. et al. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental**. Campina Grande-PB. v. 11, n. 3, p. 307- 311, 2007.

PEÑA-VALDIVIA, Cecilia B.; SÁNCHEZ- URDANETA, Adriana B. Effects of substrate water potential in root growth of *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck seedlings. **Biol. Res. Santiago**. v.42, n.2, 2009. ISSN 0716- 9760.

RAVEN, Peter H.; EVERT, Ray F.; EICHHORN, Susan E. **Biologia Vegetal**. 5 ed. Guanabara koogan. Rio de Janeiro. 1996.