



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

VARIAÇÃO NA COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA DO CARBONO E NITROGÊNIO
DA MATÉRIA ORGÂNICA E BIOMASSA DA COROA FOLIAR DE *Aechmea*
aquilega (SALISB.) GRISEB BROMELIACEAE EM CAATINGA, AGRESTE E
MATA ATLÂNTICA DE SERGIPE

SIMONE MESQUITA BISPO

MESTRADO2011





UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E
CONSERVAÇÃO
MESTRADO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO



VARIAÇÃO NA COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA DO CARBONO E NITROGÊNIO
DA MATÉRIA ORGÂNICA E BIOMASSA DA COROA FOLIAR DE *Aechmea*
aquilega (SALISB.) GRISEB BROMELIACEAE EM CAATINGA, AGRESTE E
MATA ATLÂNTICA DE SERGIPE

AUTOR(A): SIMONE MESQUITA BISPO
ORIENTADOR(A): ADAUTO DE SOUZA RIBEIRO

SÃO CRISTOVÃO, SERGIPE
AGOSTO, 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

B
622v Bispo, Simone Mesquita
Variação na composição isotópica do carbono e nitrogênio da matéria orgânica e biomassa da coroa foliar de *Aechmea aquilega* (Salisb.) griseb bromeliaceae em caatinga, agreste e mata atlântica de Sergipe / Simone Mesquita Bispo. – São Cristóvão, 2011.
60f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) – Núcleo de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, Universidade Federal de Sergipe, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Adauto de Souza Ribeiro.

1. Isótopos de carbono. 2. Isótopos de nitrogênio. 3. Metabolismo vegetal. 4. Biomassa foliar. 5. *Aechmea aquilega*. I. Título.

CDU 543.06:582.548.11(813.7)

TERMO DE APROVAÇÃO

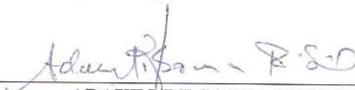
**VARIAÇÃO NA COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA DO CARBONO E NITROGÊNIO DA
MATÉRIA ORGÂNICA E BIOMASSA DA COROA FOLIAR DE *AECHMEA*
AQUILEGA (SALISB.) GRISEB BROMELIACEAE EM CAATINGA, AGRESTE E
MATA ATLÂNTICA DE SERGIPE**

por

SIMONE MESQUITA BISPO

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

Apresentada e aprovada pela banca examinadora composta por



ADAUTO DE SOUZA RIBEIRO
Núcleo de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da
Universidade Federal de Sergipe

MARCELO DA ROSA ALEXANDRE
Universidade Federal de Sergipe



CARLOS DIAS DA SILVA JUNIOR
Núcleo de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da
Universidade Federal de Sergipe



CLAUDIO SERGIO LISI
Núcleo de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da
Universidade Federal de Sergipe

São Cristovão/SE, 14 de setembro de 2011

AGRADECIMENTOS

À Deus que manteve em mim a força para a realização desse projeto, mesmo diante de todas as dificuldades.

Ao meu esposo Tarciso que sempre esteve do meu lado me incentivando e me encorajando cada vez em que os obstáculos persistiam e essa jornada parecia impossível de prosseguir. Sou grata por todo amor, carinho, compreensão, dedicação e é claro, por ter sido meu mais fiel “estagiário” durante o período árduo de coletas. Agradeço ainda por ter feito de mim esposa, mãe e que juntos conseguimos construir o nosso pedacinho ao lado dos nossos filhos Tarciso Gabriel e Ana Livia que ainda está bem guardadinha. Agora eu entendo verdadeiramente o sentido da minha vida e entendo a vontade louca que eu tenho de voltar para casa. Amo vocês!

Ao meu Orientador Aduino por todo conhecimento, dedicação e por toda a paciência do mundo para a realização desse projeto, meu eterno agradecimento.

Aos meus pais, em especial a minha mãe, Dulce, que sempre esteve junto a mim apoiando e ajudando, sem você pode ter certeza que eu não teria chegado até aqui, obrigada, te amo !

A minha família materna que sem exceções estão sempre na torcida. Em especial a minha Vó Adélia por todo carinho e incentivo e a minha prima grande, Juliana que pacientemente ouviu minhas angústias, me ajudou nas minhas dúvidas e sempre contribuiu com palavras de incentivo. Amo vocês!

Agradeço aos meus amigos Ildete e André pelas longas conversas durante as minhas incertezas e por todo carinho e incentivo sempre. Vocês estarão sempre no meu coração.

Aos meus colegas da turma de 2009.1 que se mostraram sempre prestativos uns com os outros, em especial Francisco, Wedna, Cecilia, Erivânia, Betejane e Paulinha pela amizade.

Aos professores do Mestrado em Ecologia e Conservação, em especial ao professor Dr. Claudio Sergio Lisi, que contribuíram com todo conhecimento para o nosso crescimento.

À banca examinadora composta pelos professores Aduino de Souza Ribeiro, Marcelo da Rosa Alexandre, Carlos Dias da Silva Junior e Claudio Sérgio Lisi que aprovaram esse trabalho e contribuíram com críticas super construtivas.

Ao Técnico da Agronomia, seu Raimundo por toda a confiança e apoio durante o processo de secagem e trituração do material. Muitíssimo obrigado.

À secretária do NPEC, Juliana, por sua competência e agilidade com todo serviço burocrático, além de nos manter constantemente informados e nos auxiliar sempre que necessário. Muito obrigada!

Aos funcionários do DBI e do DITRAN pelo auxílio e requisição de transporte durante as coletas.

A todas as pessoas que de alguma maneira contribuíram para a realização desse trabalho, meus sinceros agradecimentos.

*Ao meu esposo Tarciso
e aos meus filhos,
Tarciso Gabriel e Ana Livia.
Amo vocês!*

“Livre como um pássaro. Sem limites de vôo e sem cordões de isolamento.

*Livre como o céu e a chuva, que apesar da nuvem turva
não precisa de um botão para ser e acontecer”.*

(João Martins)

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE FOTOS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xi
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1- INTRODUÇÃO.....	1
1.1- <i>O habitat de Mata Atlântica</i>	1
1.2- <i>O habitat de transição ou Agreste (Ecótono</i>	2
1.3- <i>O habitat de Caatinga</i>	3
1.4- <i>O uso dos isótopos estáveis</i>	6
1.5- <i>Isótopos Estáveis de carbono em plantas</i>	7
1.6- <i>Fracionamento Isotópico do Carbono pelas Plantas</i>	8
1.7- <i>Plantas C₃</i>	10
1.8- <i>Plantas C₄</i>	12
1.9- <i>Plantas CAM (Metabolismo Ácido Crassuláceo)</i>	14
1.10- <i>Comparação entre plantas C₃, C₄ e CAM</i>	15
1.11- <i>Déficit Hídrico</i>	16
1.12- <i>Nitrogênio e o seu fracionamento isotópico</i>	18
1.13- <i>Aspectos gerais das Bromeliaceas</i>	20
1.14- <i>Aechmea aquilega objeto de estudo Bromélia-tanque</i>	23
2- OBJETIVOS.....	24
2.1- <i>Objetivo Geral</i>	24
2.2- <i>Objetivos específicos</i>	24
3- METODOLOGIA.....	25
3.1- <i>Área de estudo</i>	25
3.2- <i>Poço Verde</i>	26
3.3- <i>Pirambu</i>	27
3.4- <i>Areia Branca</i>	28
3.5- <i>Coleta de dados</i>	29
4- RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1- <i>Análise da Matéria Orgânica foliar</i>	31
4.2- <i>Análise da Matéria Orgânica Particulada na coroa foliar</i>	44
5- CONCLUSÃO.....	49

6-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
-----------------------------------	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Esquema simplificado do Ciclo de Calvin ; Benson para fotossíntese C ₃ . www.superbiologia.com – Metabolismo Plantas C3 - C4 – CAM	10
Figura 2	Reação de carboxilação do ciclo C ₃ . Fonte: www.superbiologia.com – Metabolismo Plantas C3 - C4 – CAM.....	11
Figura 3	Esquema simplificado da fotossíntese C ₄ . Fonte: www.superbiologia.com – Metabolismo Plantas C3 - C4 – CAM.....	13
Figura 4	Esquema simplificado da fotossíntese CAM. Fonte: www.superbiologia.com – Metabolismo Plantas CAM	14
Figura 5	Localização dos pontos de amostragem em três regiões climatológica de diferentes regimes de umidade: Mata Atlântica (Pirambu), transição ou ecótono Agreste sergipano (Areia Branca) e semiárido na Caatinga (Poço Verde) de Sergipe.....	25
Figura 6	Médias de carbono da biomassa foliar de <i>Aechmea aquilega</i> em Poço Verde, Pirambu e Areia Branca - Sergipe. 6 a: Percentual de carbono total (à esquerda) e 6 b: abundância de $\delta^{13}\text{C}$ medido pela razão isotópica de carbono (à direita)	34
Figura 7	Médias de nitrogênio da biomassa foliar de <i>Aechmea aquilega</i> em Poço Verde, Pirambu e Areia Branca- Sergipe. 7 a: Percentual de carbono total (à esquerda) e 7 b:percentual da razão isotópica de carbono (à direita).....	34
Figura 8	Relação entre Carbono e Nitrogênio Totais encontrados nas folhas de <i>Aechmea aquilega</i> em Poço Verde, Pirambu e Areia Branca, Sergipe.....	35
Figura 9	Relação entre isótopos de Carbono e Nitrogênio foliar encontrados em <i>Aechmea aquilega</i> em Poço Verde, Pirambu e Areia Branca, Sergipe	36
Figura 10	Variação do carbono total foliar na matéria seca nos três habitats para plantas associadas em moita e isoladas.....	37
Figura 11	Variação de isótopos de carbono na matéria seca nos três habitats para plantas associadas em moita e isoladas	39
Figura 12	Distribuição do Carbono Total das folhas I e III da matéria seca de <i>Aechmea aquilega</i> oriundas de três habitats (n = 24).	40
Figura 13	Distribuição da razão isotópica foliar (I e III) da matéria seca de <i>Aechmea aquilega</i> oriundas de três habitats (n = 24).....	40
Figura 14	Regressão linear entre o teor de carbono total da folha I e folha III em Poço Verde, Pirambu e Areia Branca.....	41
Figura 15	Regressão linear entre da razão isotópica $\delta^{13}\text{C}$ da folha 1 x folha 3 em Poço Verde, Pirambu e Areia Branca.....	42
Figura 16	Análise da regressão nitrogênio total da folha I x folha III em Poço Verde, Pirambu e Areia Branca.....	43
Figura 17	Regressão linear entre os isótopos de nitrogênio $\delta^{15}\text{N}$ ‰ da folha I x folha III em Poço Verde, Pirambu e Areia Branca.....	44
Figura 18	Médias de carbono da matéria orgânica particulada do tanque central de <i>Aechmea aquilega</i> em Poço Verde, Pirambu e Areia Branca - Sergipe. 18 a: Percentual de carbono total (à esquerda) e 18 b: percentual da razão isotópica de carbono (à direita).....	45

Cont.

Figura 19	Médias de nitrogênio da matéria orgânica particulada do tanque central de <i>Aechmea aquilega</i> em Poço Verde, Pirambu e Areia Branca-Sergipe. 19 a: Percentual de nitrogênio total (à esquerda) e 19 b: percentual da razão isotópica de nitrogênio (à direita).....	46
Figura 20	Variação dos isótopos de nitrogênio da MOP seca nos três habitats para plantas associadas em moita e isoladas.....	47
Figura 21	Variação do nitrogênio total foliar na matéria seca nos três habitats para plantas associadas em moita e isoladas e variação do nitrogênio total na MOP nos três habitats para plantas associadas em moita e isoladas.....	48

LISTA DE FOTOS

Foto 1	<i>Aechmea aquilega</i> (Salisb.) Griseb (foto: Rômulo Cavalcanti Braga	23
Foto 2	Assentamento Santa Maria da Lage, Poço Verde, Brasil. Bromélias em situação de moita (à esquerda) e isolada (à direita).	26
Foto 3	Mata Atlântica de Restinga Costeira Litoral Norte de Sergipe – Município de Pirambu	28
Foto 4	Fazenda Santa Isabel, Pirambu, Sergipe, Brasil. Bromélias em situação de moita (à esquerda) e isolada com ilustração da medição dos seus eixos (à direita)	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Comparação entre plantas C ₃ , C ₄ e CAM. Fonte: www.superbiologia.com – Metabolismo Plantas C ₃ - C ₄ – CAM	16
Tabela 2	Tamanho médio da coroa foliar de Bromélias <i>Aechmea aquilega</i> em três ecossistemas Caatinga (Poço Verde), agreste (Areia Branca) e Mata Atlântica (Pirambu)	31
Tabela 3	Razão isotópica de Carbono e Nitrogênio e quantidade Carbono e Nitrogênio Total na coroa foliar de <i>Aechmea aquilega</i> em Poço Verde, Sergipe	32
Tabela 4	Razão isotópica de Carbono e Nitrogênio e quantidade de Carbono e Nitrogênio Total na coroa foliar de <i>Aechmea aquilega</i> em Pirambu, Sergipe	33
Tabela 5	Razão isotópica de Carbono e Nitrogênio e quantidade de Carbono e Nitrogênio Total na coroa foliar de <i>Aechmea aquilega</i> em Areia Branca, Sergipe	33
Tabela 6	Análise da variância do carbono e nitrogênio foliar entre plantas de moita e isoladas e em moita	35
Tabela 7	Razão isotópica de Carbono e Nitrogênio e Carbono e quantidade de Nitrogênio Total da matéria orgânica particulada acumulada no tanque central da <i>Aechmea aquilega</i> em Poço Verde, Pirambu e Areia Branca, Sergipe	45
Tabela 8	Análise da variância do Carbono e Nitrogênio na Matéria Orgânica Particulada na coroa foliar entre plantas isoladas e em moitas	46

RESUMO

Estudos isotópicos para determinar os valores dos isótopos do carbono foliar mostram que estes variam -10 a -28‰ do padrão PDB. Este estudo analisou a composição isotópica do Carbono e Nitrogênio foliar e a matéria orgânica acumulada na coroa foliar de *Aechmea aquilega* de três habitats: Caatinga (Poço Verde), Mata Atlântica (Pirambu) e em um área de transição Mata Atlântica – Caatinga (Areia Branca). Em cada habitat foi coletado quatro bromélias que vivem em moitas e quatro plantas isoladas em substratos do chão com o objetivo de avaliar a hipótese de facilitação da bromélia-tanque como acumuladora de matéria orgânica. As folhas e a matéria orgânica da coroa foliar foram secas em estufa ventilada, trituradas, peneiradas e as análises isotópicas do carbono, nitrogênio, teor de carbono e nitrogênio total foram realizadas no CENA-USP. Os resultados das análises de teor C:N e razões isotópicas mostraram variações significativas do carbono e nitrogênio na coroa foliar, assim como na abundância total tanto na biomassa foliar como na matéria orgânica particulada. As plantas da Caatinga e Mata Atlântica assimilam carbono facultativamente, enquanto as bromélias do ecótono, Parque Nacional da Serra de Itabaiana responderam como CAM obrigatórias tanto quando em moitas como isoladas, assim como estas bromélias tem composição de origem autóctone provavelmente de áreas abertas-graminosa. A razão isotópica do N¹⁵ é 22 vezes mais enriquecido na biomassa foliar das bromélias da Caatinga em relação às plantas das Areias Branca e 2,6 maiores que em habitat de Mata Atlântica, enquanto a matéria orgânica particulada em todos habitats foi enriquecida, porém a origem desta matéria orgânica necessita de explicações, todavia, o estudo apoiou a hipótese de facilitação no papel funcional da bromélia nos três habitats. De acordo com o estudo, foi observado que o sucesso adaptativo maior das plantas da Caatinga quando associada a moitas o mesmo não foi verificado nos outros habitats. Nas Areias Brancas, o substrato arenoso-quartzoso é quente, altamente permeável, favorecendo a evaporação e déficit hídrico no verão o que sugere que haja uma condição de grande estresse, a qual essas bromélias-tanque estão bem adaptadas no solo e não nas árvores.

Palavras-chave: isótopos de carbono e nitrogênio, Bromeliaceae, metabolismo ácido crassuláceo (CAM).

ABSTRACT

The bromeliads are conspicuous elements of the landscape and vegetation of Brazil, in the state of Sergipe occurs in the Atlantic forest ecosystems in the ecotone and caatinga. Bromeliads have an semiarid environment in adaptive capacity to occupy various habitats both on the ground, rocks and trees is partly attributed to its CAM photosynthetic response type obligatory and/or facultative. Isotopic studies to determine the leaf carbon isotope values show that these range from -10 to -28‰ of PDB standard. This study analyzed the isotopic composition of carbon and nitrogen organic matter and leaf in the crown of *Aechmea aquilega* at three habitats: Caatinga (white forest sclerophilous), Atlantic forest (Pirambu) and a transition area between Atlantic Forest and Caatinga, an exception area of white sand-quartzose. In each habitat were collected 4 bromeliads that live in isolated bush and four plants in the ground substrates with the objective of evaluating the hypothesis of facilitation of bromeliad-tank as accumulator of organic matter. The leaves and organic matter of the crown leaves were dried in a ventilated oven, crushed, sieved and made isotopic analysis of carbon-13, nitrogen-15, and total C:N on CENA-USP laboratories. The results of analysis of content C: N and isotope ratios showed significant variations of carbon and nitrogen in the crown of leaves, as well as the total abundance in both leaf biomass and particulate organic matter. Plants of Caatinga and Atlantic Forest obligatory assimilate carbon, while the ecotone of the bromeliads, the National Park of Serra de Itabaiana responded as much as in CAM binding to isolated bushes just as the composition of bromeliads is probably of autoctone origin-open grassy areas. The isotope ratio of the ^{15}N is 22 times more enriched in the bromeliad leaf biomass of scrub plants in relation to the white sands and 2.6 higher than in the Atlantic forest habitat, while the particulate organic matter was enriched in all habitats, but the source this organic matter require explanation, however, the study supported the hypothesis on the functional role of facilitation in the three bromeliad habitats. According to the study, we observed that the adaptive success of higher plants associated with scrub bushes when the same was not observed in other habitats. In white sands bromeliads-tank, the substrate is sandy-quartzes hot, highly permeable, facilitating evaporation and drought in the summer suggesting that there is a condition of great stress, which these tank bromeliads are well adapted to soil and not on trees.

Keywords: carbon and nitrogen isotopes, Bromeliaceae, crassulacean acid metabolism (CAM)

1- INTRODUÇÃO

A seleção de habitat da *Aechmea aquilega* sempre chamou atenção dos biólogos por ser uma bromélia com ampla distribuição na Caatinga e na Mata Atlântica. Uma pergunta que gera outra e trata-se da questão mais simples: a *A. aquilega* é uma planta da Caatinga ou de Mata Atlântica? Esta pergunta coincide com a baixa quantidade e qualidade das informações ecológicas sobre sua distribuição e abundância. Os mecanismos de dispersão tornaram-se uma questão central sobre a história de vida desta planta. Seu mecanismo fotossintético em condições de estresse e de competição será abordado nesse estudo. Foi utilizada a razão isotópica do Carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e do Nitrogenio ($\delta^{15}\text{N}$) como uma ferramenta para definir os padrões de assimilação do Carbono e Nitrogenio na coroa foliar sobre três condições diferentes de ambientes: Caatinga, na transição de Agreste e Mata Atlântica.

1.1- *O habitat de Mata Atlântica*

Em termos gerais, a Mata Atlântica pode ser vista como um mosaico diversificado de ecossistemas, apresentando estruturas e composições florísticas diferenciadas, em função de diferenças de solo, relevo e características climáticas existentes na ampla área de ocorrência desse Bioma no Brasil.

A Mata Atlântica é considerada um dos mais importantes repositórios de biodiversidade do planeta e um dos biomas mais ameaçados do mundo, sendo por isso considerado um hotspot para a conservação (TABARELLI *et al.*, 2005).

A Mata Atlântica é o ecossistema brasileiro que abrange a costa litorânea, percorrendo desde o Rio Grande do Norte até o Rio Grande do Sul, e que tanto tem sofrido com a devastação (PEIXOTO *et al.* 2002). Ocupando uma área original de mais de 1.000.000 km² (LEAL ; CÂMARA, 2005) seu clima é equatorial ao norte e quente temperado sempre úmido ao sul com precipitação anual podendo variar de 1200 a 1700 mm/ano (RIZZINI, 1988).

Devido à sua localização litorânea, a região da Mata Atlântica, caracterizada pela alta diversidade de espécies e alto grau de endemismos (MYERS, 1997), foi a primeira a ser colonizada, de modo que nela se concentra hoje mais de 70% da população brasileira (MMA/SBF, 2000).

O processo de degradação da Mata Atlântica iniciou-se no século XVI, a partir da exploração madeireira, resultante da ocupação portuguesa (TABANEZ *et al.*, 1997). O crescimento populacional desenfreado, assim como a exploração da madeira contribuiu, principalmente nos últimos anos, para uma destruição quase que total desse ecossistema nos estados de Sergipe e Alagoas, restando menos de 5% da extensão original das florestas (MMA, 2000), situação não muito diferente do restante do país. Em Sergipe, a mata que originalmente ocupava 40% de toda sua extensão, hoje não passa de 0,5% desse total, distribuída na forma de fragmentos isolados imersos numa matriz dominada por pastagens e áreas agrícolas (SIQUEIRA; RIBEIRO, 2001). Hoje o cálculo percentual dos remanescentes florestados na Mata Atlântica varia de 5% (FONSECA, 1985) a 8,8% (SOS Mata Atlântica e INPE, 2000). Com isso, a Mata Atlântica tornou-se um dos biomas mais ameaçados do mundo (MITTERMEIER *et al.*, 1982).

1.2- O habitat de transição ou Agreste (Ecótono)

Ecótonos são áreas de transição entre biomas ou ecossistemas onde caracteriza-se por ter fitofisionomia e clima distinta dos sistemas fontes e onde encontra-se uma alta diversidade de espécies, pois podem abrigar organismos característicos das diferentes áreas (ODUM, 1988).

O termo Agreste refere-se a uma região geográfica de transição entre a Zona da Mata e o Sertão do Nordeste brasileiro, formando uma faixa de 30 a 40 km de extensão e que se estende por uma vasta área dos estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte com estações climática seca e chuvosa bem estabelecida. Outra característica de sua fitofisionomia é a ocorrência de enclaves de Mata Atlântica, Cerrado e de formações vegetais características de Caatinga, apresentando trechos úmidos no litoral e outros bastante secos no interior (ANDRADE LIMA 1982; ANDRADE, 1989; LINS, 1989). A vegetação típica do Agreste é composta por muitas espécies caducifólias além de cactáceas e bromeliáceas e nas baixadas ocorrência de espécies da mata Atlântica. A ocorrência de florestas ombrófilas ou estacionais neste ecótono variam em função da distância vegetação costeira o Mata Atlântica *strictu sensu* formando mosaicos fitofisionômicos, variando desde estratos arbustivo-arbóreos

e herbáceo-estacionais nas áreas mais secas até estratos arbóreos nas áreas de maior porte em função da disponibilidade hídrica (RODAL *et al.*, 1988).

Desde DUQUE (1980a), um estudioso da influencia da caatinga no Agreste, porém é no levantamento do PROJETO RADAMBRASIL de Veloso *et al.* (1982) em que mapearam e quantificaram o avanço e o grau de degradação na época, chegou a uma estimativa de que mais de 90% da cobertura natural já havia sido alterada, em que creditaram a degradação devido vocação principal da região a ocupação humana com a forte atividade na agricultura e a pecuária extensiva. Essa vegetação de transição se encontra quase totalmente devastada com solos intensamente ocupados pelas culturas agrícolas e pastagens. Contudo, há indicativos que esta região tenha sido coberta por uma floresta tropical densa, semelhante às chamadas matas secas. A intensificação das ações antrópicas provocou o desaparecimento quase que completo dessa cobertura vegetal, dando lugar a uma vegetação xerófila mais acentuada, com características semelhantes às Caatingas propriamente ditas (BRN, 1963).

O Agreste nordestino é caracterizado por apresentar clima semiárido, seco e muito quente, com sua precipitação média anual variando entre 400 e 650 mm por ano (NEVES *et al.*, 1998).

1.3- O habitat de Caatinga

Ocupando a maior parte do semiárido nordestino, a Caatinga é definida por Duque (1980b) como um conjunto de galhos e arbustos baixos e retorcidos, de aspecto seco, com folhas pequenas e caducas no período de seca, para proteger a planta da desidratação pelo calor e pelo vento.

O termo “Caatinga” é de origem Tupi e significa “mata branca”, referindo-se ao aspecto da vegetação durante a estação seca, quando a maioria das árvores perde as folhas e os troncos esbranquiçados e brilhantes dominam a paisagem (PRADO, 2003).

O programa de ampliação do conhecimento dos biomas brasileiros para indicação de ações e áreas prioritárias para sua conservação (SILVA *et al.*, 2004) levantou a importância da vegetação de Caatinga para a conservação da biodiversidade brasileira, devido ao alto nível de endemismo de espécies. No entanto, a Caatinga tem o menor número e a menor extensão protegida dentre todos os biomas brasileiros (LEAL *et al.*, 2005).

O Nordeste brasileiro abrange uma área de 1.600.000 km² dos quais aproximadamente 1.083.790 km² corresponde a área da zona semi-árida, que se caracteriza basicamente pela escassez, irregularidade e má distribuição das chuvas. As chuvas que caem sobre a região variam entre, 300 mm a 950 mm por ano, com 80% da precipitação ocorrendo num período de quatro a seis meses. (EMBRAPA, 2000).

Com uma área estimada de 800.000 km², a Caatinga é o único bioma exclusivamente brasileiro (MELO; ANDRADE, 2007). Está localizado no Nordeste do Brasil, estendendo-se de 2°54' W a 17°21' S, incluindo os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, a maior parte da Paraíba e Pernambuco, sudeste do Piauí, oeste de Alagoas e Sergipe, região norte e central da Bahia e uma faixa em Minas Gerais seguindo o rio São Francisco, juntamente com um enclave no vale seco da região média do rio Jequitinhonha (PRADO, 2005).

Esse ecossistema, que se estende pela região seca do Nordeste do Brasil, é conhecido como província fitogeográfica totalmente superposta por um domínio climático semiárido (AB'SABER, 1977b).

A evapotranspiração potencial na região é considerada uma das mais altas do mundo alcançando uma média anual de aproximadamente 2.000 mm. Esta situação é influenciada pela ocorrência de forte insolação, altas temperaturas (médias anuais de 23 a 28° C) e umidade relativa em torno de 50% (VALDIVIESO; CORDEIRO, 1985).

O déficit hídrico varia de oito a doze meses no ano (FABRICANTE; ANDRADE, 2007). Para Rodal (1992), a deficiência hídrica origina-se da baixa pluviosidade, má distribuição das chuvas ao longo do ano, da elevada taxa de evapotranspiração potencial, que em geral ultrapassa os 2.000 mm anuais e da baixa capacidade de retenção de água dos solos que, por sua vez, são predominantemente jovens, arenosos e com presença de afloramentos graníticos (IBGE, 2008).

Solos rasos, lageados cristalinos e precipitações irregulares, tanto no tempo quanto no espaço, são comuns ao bioma e contribuem com o aspecto xeromórfico da vegetação (CHIANG; KOUTAVAS, 2004; KROL *et al.*, 2001; PRADO, 2005).

Eventos catastróficos, como secas e cheias, são também frequentes a Caatinga, constituindo uma grande “força”, que vem moldando a vida animal e vegetal particular deste bioma (NIMER, 1972).

A precipitação anual varia de 240 a 1500 mm, com a metade da região recebendo menos de 750 mm e algumas áreas centrais valores abaixo de 500 mm

(SAMPAIO, 1995; PRADO, 2005). Nessas áreas as chuvas são observadas em três meses consecutivos, apesar da alta variação anual e dos longos períodos de secas serem comuns. Outras características meteorológicas apresentam-se também extremas no bioma como alta radiação solar, baixa nebulosidade, a mais alta temperatura média anual, baixas taxas de umidade relativa, evapotranspiração potencial mais elevada e, sobretudo, precipitações mais baixas e irregulares (NIMER, 1972; CHIANG; KOUTAVAS, 2004; REIS, 1976).

Esse bioma possui a vegetação mais heterogênea dentre os domínios brasileiros (ARAÚJO; MARTINS, 1999), englobando um grande número de formações e associações vegetais fisionômica e floristicamente distintas (EGLER, 1951).

A Caatinga apresenta formações vegetais semiáridas e xerofíticas (LEAL *et al.*, 2005) com fisionomias vegetais diferenciadas como: florestas de Caatinga alta (acima de 15 m), média (entre 7 e 15 m) e baixa (abaixo de 7 m), Caatinga arbustiva densa ou aberta e Caatinga arbustiva aberta baixa. Em alguns locais é possível observar também florestas úmidas, os brejos de altitude, que se estendem sobre as encostas e topos de chapadas e 14 serras com mais de 500 m de altitude e que recebem mais de 1.200 mm/ano de chuvas orográficas (AB'SABER, 1974; 1999; ANDRADE-LIMA, 1982; PRADO, 2005).

As famílias Fabaceae, Cactaceae, Apocynaceae, Bromeliaceae, Leguminosae, Euphorbiaceae, Ramnaceae, Anacardeaceae, Burseraceae são comuns neste bioma, apresentando um grande número de representantes (PRADO, 2005).

Do ponto de vista de biodiversidade a Caatinga já foi caracterizada como um ambiente de pouco endemismo, com a maioria das espécies ocorrendo também no Cerrado e no Agreste, região de transição com a Mata Atlântica (VANZOLINI *et al.*, 1980). No entanto, essa visão vem se modificando com a inclusão de áreas até então não amostradas, e descrições de novas espécies (RODRIGUES 1984; 1987, RODRIGUES *et al.*, 1988; OLIVEIRA *et al.*, 2005; IANNUZZI *et al.*, 2005; LEAL, 2005; MACHADO ; LOPES, 2005).

Este bioma vem passando por um processo de modificação acelerado resultante do uso inapropriado de seus recursos naturais, o que vem contribuindo para a extinção de espécies endêmicas, eliminação de processos ecológicos importantes e a formação de áreas de desertificação na região (LEAL *et al.*, 2005).

A Caatinga representa um dos maiores desafios para a ciência brasileira com relação ao estudo e à conservação de espécies. Um dos principais fatores relacionados a esse desafio é o contínuo e extenso processo de alteração e degradação ambiental provocados pelo uso insustentável de seus recursos naturais (LEAL *et al.*, 2005). Estas ações estão ocasionando a acelerada perda de espécies endêmicas, a eliminação de processos ecológicos importantes e a formação de extensos núcleos de desertificação em muitos setores da região.

Segundo CASTELLETTI *et al.* (2005), mais de 28% da vegetação original da Caatinga já foi modificada pelo homem. Mesmo assim, menos de 2% do bioma encontra-se protegido em unidades de conservação de proteção integral. Estas modificações podem causar sérias mudanças na dinâmica de populações de animais e vegetais, podendo assim influenciar os padrões locais e regionais de biodiversidade devido a perda de microhabitats únicos, isolamento do habitat, mudanças nos padrões de dispersão e migração e erosão do solo, constituindo uma ameaça a diversidade biológica (LEAL *et al.*, 2005).

Diante deste panorama, medidas urgentes que promovam o aumento do conhecimento das espécies ocorrentes no bioma fazem-se necessárias, de modo a fomentar estratégias para sua conservação. Segundo Barbosa (1998), além do elevado grau de degradação ambiental outro sério problema associado ao semiárido é o baixo conhecimento quantitativo e qualitativo de sua biodiversidade, que é a menos conhecida da América do Sul. Alterações na Caatinga tiveram início com o processo de colonização do Brasil, inicialmente como consequência da pecuária bovina, associada às práticas agrícolas rudimentares. Ao longo do tempo, outras formas de uso da terra foram sendo adotado como diversificação da agricultura e da pecuária, aumento da extração de lenha para produção de carvão, caça e urbanização. Devido ao caráter sistemático dessas atividades nas últimas décadas, o bioma Caatinga tem sido destruído ou seriamente descaracterizado (ZANETTI, 1994).

1.4- O uso dos isótopos estáveis

Os isótopos são átomos do mesmo elemento químico (mesmo número de prótons), mas que diferem em número de nêutrons, apresentando diferentes massas. Os isótopos estáveis do carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O) e nitrogênio (N)

ocorrem naturalmente na atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera. O termo isótopo vem do grego *ISO* (mesmo ou igual) e *TOPOS* (lugar), referindo-se ao fato de que ocupam o mesmo lugar na tabela periódica. A expressão “estáveis” significa que não emitem radiação. Cada elemento químico apresenta um isótopo estável *leve*, dominante: carbono-12 (^{12}C), hidrogênio-1 (^1H), oxigênio-16 (^{16}O) e nitrogênio-14 (^{14}N), e um ou dois isótopos *pesados*: carbono-13 (^{13}C), hidrogênio-2 (^2H), oxigênio-17 (^{17}O), oxigênio-18 (^{18}O) e nitrogênio-15 (^{15}N), com abundância ou concentração natural menor ou próximo a 1%. Alguns isótopos mais pesados tomam parte das mesmas reações químicas que os leves, porém o fazem em diferentes taxas. Os valores do enriquecimento relativo do carbono-13 são expressos na terminologia dos isótopos estáveis, em delta per mil (‰) da razão isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ da amostra em relação ao padrão internacional, *Pee Dee Belemnite* (PDB) (TREVELIN, 2000).

As reações químicas e processos físicos tais como, evaporação e condensação, discriminam os isótopos pesados. O entendimento desses processos na natureza iniciou-se na década de 50 e 60, com aplicações práticas na hidrologia, exploração do petróleo e na geoquímica. Mais tarde verificou-se que, nas plantas, há a discriminação dos isótopos do carbono nos processos biológicos do ciclo da fotossíntese e na fixação do nitrogênio ^{15}N (BARRIER; PROSSER, 1996).

1.5- Isótopos Estáveis de Carbono em Plantas

O elemento carbono tem dois isótopos estáveis que ocorrem naturalmente: ^{12}C (98,89%) e ^{13}C (1,11 %). A razão desses isótopos estáveis em material natural varia dentro de uma faixa estreita de valores $\delta^{13}\text{C}$ (‰).

Define-se $\delta^{13}\text{C}$ (‰) PDB Como:

$$\delta^{13}\text{C} \text{ (‰) PDB} = [(R \text{ amostra}/R \text{ padrão}) - 1] \cdot 10^3$$

R = razão isotópica do isótopo *pesado* em relação ao *leve* (ex: $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ em relação a amostra e o padrão).

Essa expressão é resultante da terminologia empregada no estudo da variabilidade e composição isotópica dos elementos químicos.

O uso da composição isotópica pelas plantas, o valor de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) PDB é convertido a Δ (delta maiúscula ou “deltão”) denominado de fator de enriquecimento/fracionamento ou de discriminação isotópica., sendo expressamente representado da seguinte forma:

$$\Delta\text{‰} = \delta^{13}\text{C} (\text{‰})_{\text{PDB CO}_2\text{atm}} - \delta^{13}\text{C} (\text{‰})_{\text{PDB planta}} / [1 + (\delta^{13}\text{C} (\text{‰})_{\text{PDB planta}} / 10^3)]$$

1.6- Fracionamento Isotópico do Carbono pelas Plantas

As razões isotópicas utilizadas em estudos ambientais se apoiam na existência de diferentes composições isotópicas dos compostos que participam de processos em estudo, sensíveis o suficiente para serem detectados pelo espectrômetro de massa. Tais diferenças ocorrem na natureza e são frutos de reações físico-químicas e/ou biológicas, possibilitando, deste modo, a discriminação de um dos isótopos (MARTINELLI et al., 1988).

Esse processo de discriminação isotópica é chamado de fracionamento isotópico, o qual pode ser resumido como um enriquecimento ou empobrecimento do isótopo pesado da amostra em estudo (produto) em relação a sua fonte (substrato) (LOPES, 2001).

Pesquisas com os isótopos estáveis em plantas iniciaram-se fora da Biologia. Na década de 30 os isótopos eram de interesse dos físicos e na década de 40 dos geólogos. Washburn ; Smith (1934) fizeram a primeira observação de que havia fracionamento isotópico em tecido de plantas, ao determinarem que a densidade da seiva das folhas de *Salix nigra* era isotopicamente mais pesada em hidrogênio do que a água do rio na mesma área. As primeiras observações de fracionamento dos isótopos do carbono ocorreram em calcário de origem inorgânica. Murphy ; Nier (1941) demonstraram que havia uma variação no conteúdo de ^{13}C na madeira de diferentes espécies de plantas. Wickman (1952) fez as primeiras observações de variação na razão isotópica $\delta^{13}\text{C}$ em amostras de plantas de herbário, coletadas em desertos da Ásia Central, que mostraram-se mais enriquecidas em ^{13}C em relação às plantas de origem de floresta tropical.

O ciclo do carbono envolve atividades de troca de CO_2 entre a atmosfera, ecossistemas terrestres e a superfície do oceano. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ do CO_2 atmosférico diminuem em resposta às entradas de $^{13}\text{CO}_2$ empobrecido, originário da queima de

combustíveis fósseis, aliada à biomassa vegetal, queimada ou em decomposição. Em ambientes aquáticos, o valor de $\delta^{13}\text{C}$ varia amplamente dependendo da fonte de CO_2 dissolvido, podendo ter sua origem em rochas calcárias, minerais, atmosfera ou da matéria orgânica (PETERSON ; FRY, 1987).

Esses isótopos têm sido frequentemente empregados em trabalhos com produtores primários, e, talvez, um dos mais intensivos estudos realizados, tanto por ecólogos quanto por fisiologistas vegetais, seja aquele objetivando analisar o processo de fracionamento do carbono em vias fotossintéticas distintas (PARK; EPSTEIN, 1960; SMITH; EPSTEIN, 1971). Há três tipos de assimilação fotossintética de CO_2 pelas plantas clorofiladas, sendo classificadas em plantas C_3 , C_4 e CAM.

O uso de isótopos de carbono nas plantas foi fundamental nos estudos sobre rotas e produtos do metabolismo ácido crassuláceo (CAM), C_4 e C_3 (SMITH, 1972; TING, 1985). Quanto as propriedades químicas dos isótopos de carbono ^{12}C e ^{13}C determinam a sua proporção relativa na matéria orgânica e inorgânica (SMITH, 1972). O fracionamento de isótopo de carbono atmosférico e a variação da razão molar de isótopos estáveis ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) dentro e fora de célula pode ser expressa durante a formação /destruição das ligações químicas envolvendo átomos de carbono, e pode ser expressa através de notação entre a razão isotópica $\delta^{13}\text{C}$ como “unidades por mil” (‰). A diferença na abundância observada de isótopos de carbono em diferentes plantas é devido ao fracionamento de ^{12}C e ^{13}C durante a fixação do carbono pela fotossíntese. (OLEARY, 1988). Um dos pontos principais de fracionamento em plantas vasculares é durante a difusão através dos estômatos, o que favorece o ^{12}C . O ponto de fracionamento de outras plantas é durante a carboxilação, que pode ser medida pela enzima Rubisco ou PEPC. O **Rubisco** discrimina ^{13}C e PEPC (enzima citoplasmática), que não utiliza CO_2 , mas sim a forma hidratada de carbono inorgânico, bicarbonato (HCO_3) que favorece o ^{13}C . A razão isotópica das plantas C_3 , C_4 e CAM é, portanto, resultado da enzima carboxilase primária que domina a absorção de CO_2 . As plantas C_4 são menos pobres em ^{13}C que as plantas C_3 e CAM porque o CO_2 atmosférico é fixado por duas enzimas, a PEPC e a Rubisco.

1.7- Plantas C₃

Plantas do ciclo fotossintético C₃ reduzem o CO₂ a ácido 3- fosfoglicérico (3-PGA), composto de 3 carbonos, via enzima RuBisCO (enzima ribulose bifosfato carboxilase/ oxigenase). De forma simplificada, a fotossíntese C₃ envolve a adição de uma molécula de CO₂ – reação de carboxilação – em uma molécula aceptora constituída de 5 carbonos e dois átomos de fósforo, a ribulose 1,5 bifosfato (RUBP). A Rubisco (ribulose 1,5 bifosfato carboxilase-oxigenase) é a enzima responsável pela carboxilação do ciclo C₃. Todo esse processo também é conhecido como o ciclo de Calvin-Benson.

Calvin ; Benson (1948) descreveram o mecanismo de fixação do carbono. O ciclo foi denominado de ciclo de Calvin, onde uma molécula de CO₂ é incorporada a uma pentose com dois átomos de fósforo, a ribulose-1-5-difosfato (RUBP). A enzima RUBP-carboxilase é fundamental na ligação da pentose ao gás CO₂, formando duas moléculas de 3-fosfoglicerato (3 PGA) com 3 átomos do carbono, razão pela qual esta via é chamada de ciclo C₃. Plantas do ciclo fotossintético C₃ reduzem o CO₂ a 3-PGA (composto de 3 carbonos) via enzima RuBisCO (enzima ribulose bifosfato carboxilase/ oxigenase). (figura 1)

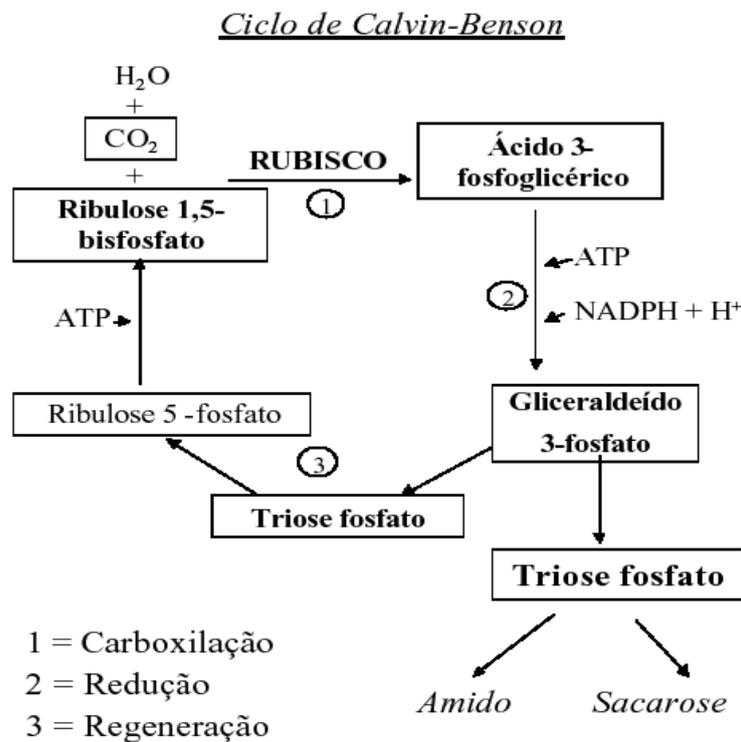


Figura 1: Esquema simplificado do Ciclo de Calvin ; Benson para fotossíntese C₃.

www.superbiologia.com – Metabolismo Plantas C₃ - C₄ – CAM.

Na carboxilação da fotossíntese em plantas C₃, o CO₂ é introduzido na molécula de RUBP (5 carbonos) através da RUDP carboxilase (Rubisco), originando uma hexose (6 carbonos) instável que é rapidamente hidrolizada, formando duas moléculas com três carbonos cada, o 3-PGA. (Figura 2).

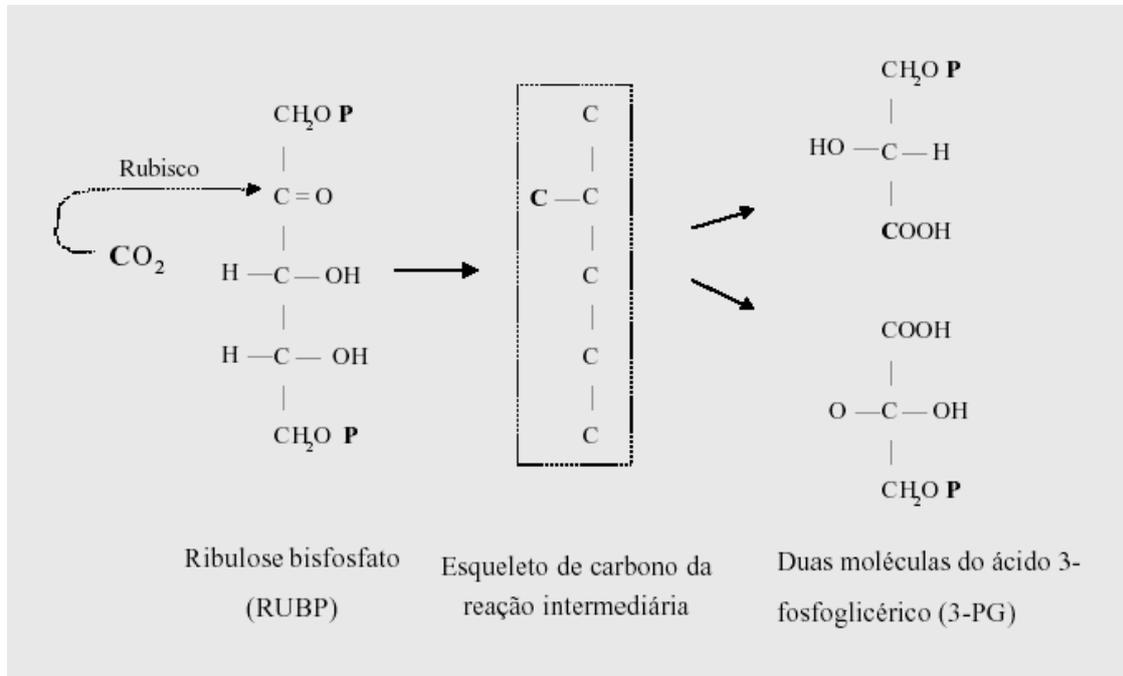


Figura 2: Reação de carboxilação do ciclo C₃. Fonte: www.superbiologia.com – Metabolismo Plantas C₃ - C₄ – CAM.

As plantas C₃ os valores da razão isotópica $\delta^{13}\text{C}$ (‰)_{PDB} que podem variar de -32 a -22 ‰, com uma média de -27 ‰. Farquhar *et al* (1982) desenvolveram um modelo que prevê a composição dos isótopos de carbono pelas plantas C₃ durante o processo de assimilação, dentro da câmara de troca gasosa, estomas

$$\delta^{13}\text{C} (\text{‰})_{\text{PDB planta}} = \delta^{13}\text{C} (\text{‰})_{\text{PDB CO}_2 \text{ atm}} - a - (b-a) (p_i/p_a)$$

onde:

$$\delta^{13}\text{C} (\text{‰})_{\text{PDB planta}} = \delta^{13}\text{C} (\text{‰})_{\text{PDB dos tecidos das plantas C}_3}$$

$$\delta^{13}\text{C} (\text{‰})_{\text{PDB CO}_2 \text{ atm}} = \delta^{13}\text{C} (\text{‰})_{\text{PDB do CO}_2 \text{ atmosférico}} (-7,4 \text{ ‰}).$$

a = fracionamento isotópico resultante da diferença na taxa de difusão de ¹³CO₂ e ¹²CO₂ no ar (+4,4 ‰).

b = é o fracionamento isotópico devido a fixação de carbono pela enzima RuBisCO (+30 ‰).

P_i = é pressão parcial ou concentração de CO₂ intercelular nas folhas.

P_a = é a pressão parcial de CO_2

Cerca de 85% de todas as espécies de plantas da superfície terrestre possuem o ciclo C_3 de fotossíntese e estas são dominantes na maioria dos ecossistemas das regiões boreais aos trópicos.

1.8- Plantas C_4

HATCH ; SLACK (1966) descobriram que existia outra via pela qual o CO_2 pode ser incorporado. Nesse mecanismo, denominado de via C_4 , o **ácido oxalacético**, com quatro átomos de carbono, na presença de CO_2 reage com o fosfoenolpiruvato (PEP), que possui três átomos de carbono. Essa reação é mediada por uma enzima, a PEP-carboxilase. Um dos parâmetros mais importantes na diferenciação das plantas C_3 e C_4 refere-se à capacidade dos tecidos das plantas C_4 de concentrarem CO_2 atmosférico nos sítios de produção de carboidratos, ou seja, nas células da bainha vascular.

As plantas C_4 reduzem o CO_2 a ácido aspártico ou málico (composto de 4 carbonos), através da enzima fosfoenol piruvato carboxilase (PEP-case). Nestas plantas, além da presença da Rubisco, confinada as células Kranz da bainha, é encontrada nas células do mesófilo foliar a fosfoenol pirúvico carboxilase (PEPcase), uma enzima com uma afinidade muito maior pelo CO_2 do que a primeira. A compartimentação espacial das duas enzimas faz com que o CO_2 fixado pela PEPcarboxilase se transloque, via malato e aspartato, até a bainha dos feixes vasculares, onde ocorre a descarboxilação com entrada do carbono no ciclo Calvin-Benson. (figura 3)

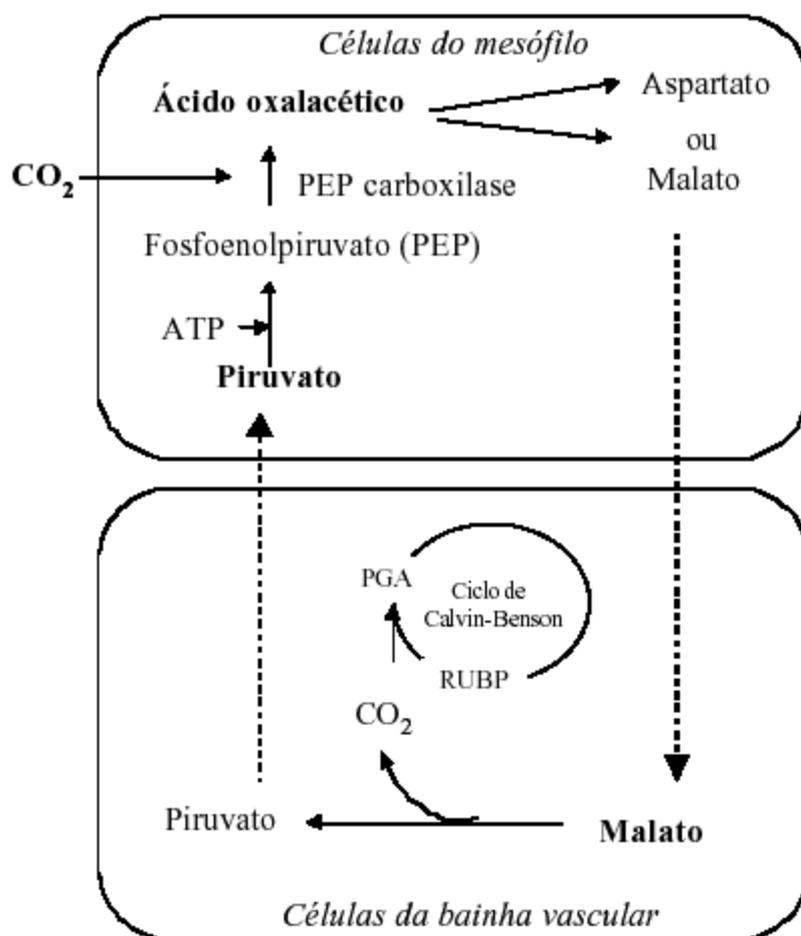


Figura 3: Esquema simplificado da fotossíntese C_4 . Fonte: www.superbiologia.com – Metabolismo Plantas C_3 - C_4 – CAM.

As plantas C_4 compreendem cerca de 5% de todas as espécies terrestres e discriminam menos átomos ^{13}C , possuem um maior valor de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) que as plantas C_3 cujos valores variam entre -17 a -9 ‰ com média de -13 ‰. As plantas ciclo fotossintético C_4 são encontradas em 18 famílias e em todas áreas geográficas com forte restrição hídrica sendo que metade das espécies C_4 são gramíneas de origem tropical, subtropical e cobrem cerca de 17 % da superfície terrestre constituindo as savanas, pântanos e mangues (salino) e pastagens naturais. Outros dados mais recentes estipulam que entre 20-30 % da produção fotossintética global é devida às plantas C_4 (RAVEN, 2003)

1.9- Plantas CAM (Metabolismo Ácido Crassuláceo)

Uma terceira via de fixação de CO_2 ou Metabolismo Ácido Crassuláceo (CAM ou MAC) evoluiu independentemente em muitas plantas suculentas de clima árido. Nessas plantas, os ácidos málico e isocítrico acumulam-se nas folhas durante a noite e são novamente convertidos em CO_2 na presença de luz. As plantas CAM abrem os estômatos à noite, quando a temperatura e a evapotranspiração diminuem, favorecendo um aumento da umidade relativa da camada de ar que envolve a planta. O CO_2 é fixado pela via C_4 e é acumulado em forma de malato. Durante o dia os estômatos permanecem fechados e o carbono acumulado é utilizado na fotossíntese, aumentando a eficiência na utilização da água (RAVEN *et al.*, 1978). A descarboxilação do malato acumulado no vacúolo durante a noite permite que o CO_2 liberado durante o dia seja incorporado ao ciclo de Calvin-Benson (Rubisco), conforme figura 4.

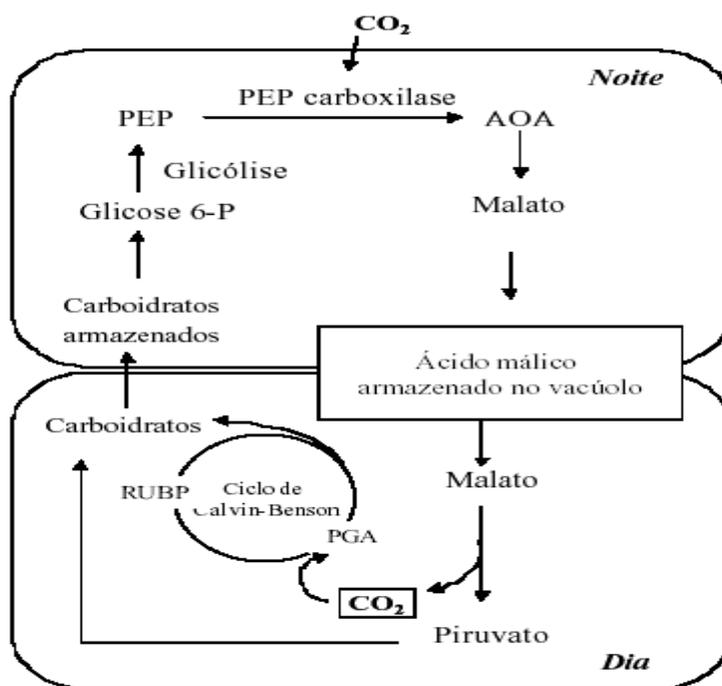


Figura 4: Esquema simplificado da fotossíntese CAM. Fonte: www.superbiologia.com – Metabolismo Plantas C_3 - C_4 – CAM.

Embora bioquimicamente estes processos de fixação de CO_2 sejam iguais aos realizados pelas plantas C_3 e C_4 , há algumas diferenças acentuadas quanto a compartimentação temporal dos produtos fotossintéticos nas plantas CAM.

As plantas CAM obrigatórias fixam CO_2 à noite enquanto as plantas CAM facultativas podem fixar durante o dia como as plantas C_3 , sob condições favoráveis ou de stress hídrico do ambiente. Portanto, algumas apresentam os dois mecanismos C_3 e CAM (plantas C_3 -CAM facultativas). Estas plantas possuem uma extraordinária flexibilidade fisiológica, ajustando o mecanismo fotossintético segundo as variações ambientais. Nestes casos os valores isotópicos das plantas CAM obrigatórias são comparáveis às plantas C_4 , -13‰, enquanto as CAM facultativas variam de -10 ‰ a -28 ‰, dependendo das condições ambientais (CRYAN 2004).

As espécies CAM compreendem 10% de todas as espécies de plantas, ocorrendo em cerca de 30 famílias, como as Cactaceae, Euphorbiaceae e Bromeliaceae. Um aumento proporcional progressivo do número de espécies CAM comparada com espécies C_3 foi relatada nas florestas úmidas às florestas secas. (MOONEY *et al.* 1989, ZOTZ, 2004). Entretanto, a contribuição do metabolismo ácido crassuláceo para a biomassa total ou o número de indivíduos com esse ciclo fotossintético em relação àqueles C_3 ainda é pobremente estudado. Numa floresta úmida do Panamá, por exemplo, onde a pluviometria chega aos 3.500 mm/ano, mostraram que 19,4 % do número total de espécies eram CAM, mas representaram menos que 5 % dos indivíduos nesta floresta (ZOTZ, 2004). Mesmo que uma tendência geral seja descrita, a abundância de bromélias que freqüentemente estão presentes em muitos habitats úmidos ou secos nos Trópicos ainda é imprecisa. Como os habitats secos são por si só estressantes, a predominância de plantas CAM é esperada na maioria das espécies de bromélias independentemente da sua abundância na área (FONTOURA; REINERT, 2009).

1.10- Comparação entre plantas C_3 , C_4 e CAM

Na tabela 1 estão relacionados Os aspectos fisiológicos e comparativos entre plantas C_3 , C_4 e CAM.

Tabela 1: Comparação entre plantas C₃, C₄ e CAM. Fonte: www.superbiologia.com – Metabolismo Plantas C₃ - C₄ – CAM.

	C₃	C₄	CAM
Anatomia	Células esponjosas e paliçádicas	Mesófilo e células da bainha do feixe vascular	Células com grandes vacúolos
Taxa de crescimento g.dm⁻².dia⁻¹	1	4	0,02
Estômatos	Abertos durante o dia e fechados à noite	Abertos durante o dia e fechados à noite	Fechados durante o dia e abertos à noite
Eficiência do uso da água (g CO₂Kg⁻¹ H₂O)	1 - 3	2 - 5	10 -40
Taxa fotossintética ótima (mg CO₂ dm⁻²h⁻¹)	30	60	3
Temperatura ótima	20-30° C	30-45° C	30-45° C
Plano de compensação de CO₂	50 ppm	5 ppm	2 ppm (no escuro)
Fotorrespiração	Alta	Baixa	Baixa
Enzima-chave	Rubisco	PEP case e Rubisco	PEP case e Rubisco
δ¹³C (‰)	-32 a 22 ‰	-17 a -9 ‰	-10 a -28 ‰

1.11- Déficit Hídrico

O déficit hídrico é uma situação comum à produção de muitas culturas, podendo apresentar um impacto negativo substancial no crescimento e desenvolvimento das plantas (LECOEUR ; SINCLAIR, 1996); assim, existe um conflito entre a conservação da água pela planta e a taxa de assimilação de CO₂ para produção de carboidratos (TAIZ ; ZEIGER, 1991). A necessidade em se resolver este conflito leva a planta a desenvolver mecanismos morfofisiológicos, que as conduzem a economizar água para uso em períodos posteriores (McCREE ; FERNÁNDEZ, 1989).

A água representa cerca de 10 a 95 % do peso fresco de uma planta, dessa forma, é um elemento fundamental para a realização de todos os seus processos metabólicos como, fotossíntese, crescimento, transpiração, além de ser o principal constituinte da célula vegetal.

O déficit hídrico ocorre quando o conteúdo de água de um tecido ou célula está em uma quantidade inferior ao mais alto exibido no estado de maior hidratação (TAIZ ; ZEIGER, 2006).

As plantas normalmente apresentam um decréscimo paralelo entre a fotossíntese e a condutância estomática à medida que a deficiência hídrica se torna mais severa, logo, a taxa de transpiração também decresce como resultado do fechamento dos estômatos. Esse é um dos importantes mecanismos de defesa que as plantas possuem contra perdas exageradas de água (GLENN et al., 2000).

As regiões que apresentam déficit hídrico possuem como característica baixa precipitação e alta evaporação. Nessas áreas a estiagem possui ocorrência prolongada e regular, de forma que a evaporação anual ultrapassa a precipitação total. Aproximadamente, 1/3 da área continental terrestre apresenta deficiência em relação à precipitação. Na metade dessa área a precipitação atinge 250 mm por ano (LARCHER, 2006).

A Região Nordeste tem características peculiares no que se refere à distribuição hídrica. Entre elas podemos destacar a variação do clima onde há uma predominância do tropical semiárido e, conseqüentemente, uma má distribuição das chuvas ao longo do ano. Essa condição de déficit hídrico provavelmente desencadeou um processo adaptativo das plantas em que fez-se necessário o desenvolvimento de mecanismos onde a economia de água seja priorizada, garantindo dessa forma à sua sobrevivência.

As plantas adaptadas à aridez são conhecidas como plantas xerófilas e suas características adaptativas não só ocorrem a nível morfológico como também a nível fisiológico e bioquímico, tendo o controle de células estomáticas como a principal dessas características para que a perda de água seja evitada.

A precipitação pluviométrica influencia na distribuição das espécies e na produção de biomassa, assim como a localização geográfica, a configuração do relevo e as condições edáficas (fertilidade, teor de matéria orgânica, profundidade do solo, dentre outros (SAMPAIO, 2003).

Conforme Larcher (2004), à medida que a disponibilidade de água no solo diminui, o fechamento dos estômatos provoca um decréscimo na taxa de transpiração. Quando esse processo ocorre de forma lenta, são desencadeadas mudanças no desenvolvimento da planta, como efeitos diretos sobre o crescimento (TATAGIBA et al., 2007), e, conseqüentemente, sobre a produção de biomassa seca (GHOLZ et al., 1990).

Para resistir à seca, Sampaio (1995) caracterizou as adaptações mais significativas das plantas da Caatinga, são elas: a) perda de folhas durante a estação seca (comum em árvores e arbustos); b) a morte de plantas herbáceas, ficando no período seco sob a forma de sementes no solo; e c) plantas com metabolismo CAM (plantas de metabolismo ácido crassuláceo ou CAM).

As plantas CAM (do inglês, *Crassulacean Acid Metabolism*) são adaptadas para viverem em regiões áridas ou semi-áridas, com alta demanda evaporativa atmosférica, elevadas temperaturas diurnas e baixa noturnas, alta taxa de radiação e pouca água disponível no meio ambiente. Por isso, as plantas CAM têm que economizar água, evitando a transpiração durante o dia com o fechamento dos estômatos e sua abertura a noite quando as temperaturas são mais amenas. Dessa forma, minimizam a perda de água e apresentam uma alta eficiência no uso da água. Nas angiospermas com o metabolismo CAM, destacam-se as famílias, *Bromeliáceas*, *Cactáceas*, *Crassuláceas*, e *Orquidáceas*.

As bromélias pertencem ao grupo de plantas possuidoras de metabolismo especial de fixar fotossinteticamente o CO₂ (MEDINA, 1987), pois, muitas delas apresentam metabolismo CAM. Por terem comportamento estomático diferente, as medições de trocas gasosas ficam mais difíceis de serem interpretadas. Essas características juntamente com o hábito epífita representam apomorfias (características derivadas de outras primitivas) para a família por serem raros ou ausentes em outras espécies (CRAYN *et al.* 2004). Segundo Crayn *et al.* (2004), as duas características surgiram independentemente e várias vezes durante a história evolutiva das subfamílias, sendo que em Bromelioideae, onde o epifitismo é considerado derivado, 90% das espécies apresentam fotossíntese CAM. Já em Tillandsioideae, grupo predominantemente epífita, o metabolismo CAM aparece em todas as *Tillandsia* epífitas atmosféricas (MARTIN, 1994), enquanto que em Pitcairnioideae, onde os representantes são terrestres, predomina o metabolismo C₃.

1.12- Nitrogênio e o seu fracionamento isotópico

As análises isotópicas são consideradas, atualmente, como uma importante ferramenta para fisiologistas, ecólogos e outros pesquisadores que estudam os ciclos dos elementos e matéria no ambiente. Além disso, abundância natural isotópica pode ser

usada: para traçar padrões e verificar mecanismos fisiológicos em organismos; traçar fluxos energéticos em cadeias alimentares; no entendimento de paleo-dietas; e ainda no estabelecimento das vias de ciclagem de nutrientes em ecossistemas terrestres e aquáticos (LAJTHA ; MICHENER, 1994).

Na atmosfera terrestre, o N_2 é o gás mais abundante, com cerca de 78 %, seguido do oxigênio com 21 % e para os demais gases, 1 % em sua totalidade. Segundo Odum (1983), é o carbono que fornece essa fonte primária para o crescimento dos vegetais.

O nitrogênio encontra-se na natureza na forma molecular N_2 , que assim sendo não é aproveitado pelos vegetais superiores. O nitrogênio é incorporado ao solo através de descargas elétricas na atmosfera, transformando o N_2 em óxidos que são convertidos em ácidos nítricos. Com a água das chuvas, estes são carregados para o solo, resultando em nitratos aproveitáveis pelas plantas (ODUM, 1983; MATSON *et. al.*, 1999).

O nitrogênio está presente na biosfera na forma de gás N_2 . O ar atmosférico é um reservatório bem homogeneizado, com uma composição isotópica que é, essencialmente, constante a 0 ‰. Por outro lado, pode ser encontrado um grande contraste nos valores isotópicos em lagos em que a produção primária é limitada por N (sem fracionamento do fitoplâncton) versus P (N abundante, na qual ocorre grande fracionamento durante a tomada de N pelo fitoplâncton). Em ambientes aquáticos, em que o fitoplâncton tem valores de $\delta^{15}N$ diferentes da vegetação terrestre, os isótopos de nitrogênio podem funcionar como marcadores para matéria orgânica de origem autóctone ou alóctone (PETERSON ; FRY, 1987).

O $\delta^{15}N$ das plantas assemelha-se ao de sua fonte de nitrogênio por duas razões: primeiro, as plantas não fracionam o nitrogênio quando absorvem nitrato, e segundo, as plantas reutilizam seu nitrogênio com produtos em um grau maior que os animais. Portanto, as vias biossintéticas em plantas, que não fracionam o nitrogênio, dependem de uma variação na composição da fonte de nitrogênio, o que pode revelar plantas com distintas assinaturas isotópicas. Por exemplo, o solo contém mais ^{15}N que a atmosfera, assim, plantas que fixam o nitrogênio atmosférico são empobrecidas quanto a esse elemento, em relação às não-fixadoras para um mesmo local. (GANNES ; DEL RIO; KOCK, 1998).

O nitrogênio é incorporado ao solo por diversos processos e pode ser classificado como inorgânico e orgânico. Do nitrogênio existente no solo, cerca de 95 a 98 %, acha-se na forma orgânica, que, para ser aproveitada pelas plantas, necessita ser transformada para as formas inorgânicas (NH_4^+ e NO_3^-) pelo processo de mineralização.

A mineralização de compostos orgânicos nitrogenados ocorre essencialmente por três reações: aminação, amonificação e nitrificação, sendo as duas primeiras promovidas por microorganismos heterotróficos e a terceira por microorganismos autotróficos (TAIZ ; ZEIGER, 1998).

Outro método de incorporação é a fixação direta de nitrogênio do ar pelos microorganismos do solo. O processo de fixação biológica de nitrogênio ocorre através dos microorganismos livres, como bactérias e fungos. Todo nitrogênio acumulado na planta somente é incorporado ao solo na medida em que os resíduos de raízes mortas, folhas, galhos, cascas e troncos forem decompostos (ODUM, 1983; CLEVELAND *et al.*,1999).

1.13- Aspectos gerais das Bromeliáceas

A família Bromeliaceae, com cerca de 56 gêneros e 3270 espécies (GRANT; ZIJLSTRA 1998; LUTHER,2000), está quase que exclusivamente restrita à zona neotropical do continente americano com exceção da espécie *Pitcairnia feliciana*, nativa do Golfo da Guiné – África (LEME,1984). Ao longo do continente americano as bromélias se estendem desde o sudeste dos Estados Unidos ao sul do Chile e Patagônia (SMITH 1934, SMITH ; DOWNS 1974, 1977, 1979). Aproximadamente 40% do total das espécies e 80% dos 56 gêneros podem ser encontrados no Brasil colocando o país entre os mais importantes centros de diversidade da família Bromeliaceae (LEME 1997).

A diversidade filogenética, segundo Mez (1935) classificou a família em três subfamílias: *Pitcairnoideae*, *Tillandsioideae* e *Bromelioideae* separadas, principalmente, pelo hábito de crescimento, tipos de tricomas, tipos de frutos e sementes e pela posição do ovário. (SMITH ; DOWNS 1974, 1977, 1979). Análises moleculares recentes têm confirmado a monofilia de Bromelioideae e Tillandsioideae, mas apontam Pitcairnoideae como um grupo polifilético (CRAYN *et al.* 2000; HORRES *et al.* 2000; BARFUSS *et al.* 2005):

I) *Pitcairnoideae* - As espécies desta subfamília são terrestres e saxícolas, com exceção do gênero *Brocchinia*, que apresenta tendências epifíticas. Não são formadoras de tanques. Têm como centro de diversidade o Nordeste dos Andes, com extensões ao

México e às Antilhas, ocorrendo também no Planalto das Guianas e na Mata Atlântica do Brasil .

II) *Bromelioideae* – As espécies são predominantemente formadoras de tanques e apresentam tanto hábito terrestre como epifítico. O centro de diversidade da família é a Região Leste do Brasil.

III) *Tillandsioideae* - As espécies são predominantemente epífitas, representadas tanto por formadoras de tanques e como por outras ditas atmosféricas. Esta sub-família apresenta ampla distribuição, com o gênero *Tillandsia* ocorrendo desde a Argentina até os Estados Unidos. O centro de diversidade de *Tillandsioideae* inclui o norte da América do Sul e a região caribenha.

Nesta família a maioria das espécies é considerada ecologicamente importante fonte de ciclagem de nutrientes para as florestas de solos pobres (OLIVEIRA, 2004). Diversos animais utilizam as bromélias como local de forrageamento, reprodução e refúgio contra predadores (CARVALHO *et al.* 2001) sendo algumas espécies descritas como bioindicadoras no monitoramento da poluição atmosférica (BRIGHIGNA *et al.* 2003; ELIAS *et al.* 2006). Todavia, é na subfamília *Bromelioideae*, em que a eficiência na armazenam água devido ao formato de um tanque tubular formado por suas folhas dispostas em rosetas (SMITH, 1974), sendo por isso denominada bromélias-tanque (HAY; LACERDA, 1982). O volume de água retido na roseta depende do tamanho e grau de dilatação das bainhas foliares (FERREIRA, 1981), contendo a água aí armazenada quantidade variável de nutrientes (CARVALHO *et al.*, 1996). Estes tanques são normalmente associados com uma enorme variedade de organismos que incluem algas, plantas vasculares e vários tipos de animais, em sua grande maioria, invertebrados. As Bromélias terrestres podem funcionar como abrigos temporários para sementes de plantas terrestres (FIALHO; FURTADO, 1993; SCARANO *et al.* , 1995; e refúgio para diferentes espécies de invertebrados e vertebrados (LAESSLE, 1961; 1984; LOPEZ *et al.*, 1996; MASCARENHAS *et al.*, 1996;).

A estrutura da coroa foliar em geral é fortemente rosetada, apresenta o caule reduzido, onde prendem-se as folhas dispostas espiraladamente e seu hábito de crescimento terrestre pode vegetar sobre solo, enquanto as epífitas acumulam matéria orgânica na coroa foliar as rupículas fixam diretamente sobre rocha nua (PAULETTI, 2002; ZOMLEFER, 1994).). Geralmente a base foliar é alargada, conferindo a algumas espécies uma maior ou menor capacidade de armazenamento de água e acúmulo de detritos orgânicos (LEME; MARIGO, 1993). As folhas apresentam margens que podem

ser lisas e/ou cobertas por espinhos. As flores são hermafroditas, trímeras, com ovário de súpero a ínfero (JOLY, 1993). O fruto pode ser carnosos do tipo baga ou capsular deiscente, produzindo sementes que podem ser dispersas por zoocoria e anemocoria, respectivamente (SCHULTZ, 1990). Além da distribuição horizontal tendem agregar-se formando moitas e associações em solos pobres e arenosos (SCARANO et al. 2004), enquanto as espécies epífitas fixam-se em troncos de árvores, variando de locais extremamente expostos, até locais sombreados (ALVES, 2005), demonstrando sua capacidade de adaptabilidade e plasticidade fenotípica. Algumas possuem resistência à dessecação (GRAHAN; ANDRADE, 2004) e tendem a ocupar espaços mais altos ou extremidades distais dos troncos.

As bromélias-tanque desempenham importante papel ecológico por contribuírem no aumento da diversidade e na quantidade de habitats disponíveis para o estabelecimento de uma série de espécies aquáticas, anfíbias e terrestres (FISH, 1976). Constituem assim um substrato vivo para um micro ecossistema complexo capaz de manter uma comunidade de organismos bastante diversificada (REITZ, 1983).

Estudos em ecologia vegetal demonstram que a arquitetura da planta é um fator importante, influenciando a riqueza, diversidade (LAWTON, 1983) e abundância das espécies a ela associadas (DANSA; ROCHA, 1992; SANTOS *et al.*, 1996 *b*). Uma bromélia tanque pode ser analisada como uma ilha e dentre os parâmetros considerados na *Teoria de Ilhas* estão: a arquitetura de uma bromélia – tanque, localização e altura, a área de captação de água (eixos), o número de folhas e o volume (LAWTON, 1983), quanto a adaptação formam ilhas terrestres ou epífitas, ambientes méxicos, semiméxicos e xéricos. (BENZING *et al.*, 1976), ocorrem desde ao nível do mar até altitudes acima de 4000 m. Há uma grande variedade de *habitats*, desde desérticos, quentes e secos, até florestas úmidas e regiões montanhosas mais frias (MALM *et al.*, 1998).

O Brasil conta com uma rica diversidade de espécies de bromélias em quase todo o seu território. A Mata Atlântica é o ecossistema que apresenta sua maior riqueza (LEME; MARINGO, 1993; FONTOURA ; REINERT, 1995), mas os campos rupestres do interior do país também são regiões prolíficas para as bromeliáceas. Curiosamente, a Amazônia, a maior área florestal do mundo, apresenta uma incidência menor.

1.14- *Aechmea aquilega* objeto de estudo Bromélia-tanque



Foto 1: *Aechmea aquilega* (Salisb.) Griseb
(foto: Rômulo Cavalcanti Braga)

O gênero tem seu nome derivado do grego *aichmé* – “ponta de lança”, em referência aos lacínios do cálice, os quais terminam em ponta. Planta herbácea, ereta, perene, rizomatosa de folhagem ornamental, apresenta ampla variação quanto a morfologia e coloração das inflorescências. As flores são pequenas, envolvidas por brácteas e podem estar densa a frouxamente agrupadas com tonalidade que varia do verde claro ao amarelo dourado, passando por diversos tons de laranja.

Suas inflorescências são eretas em panículas conjestas, disposta sobre escapo floral rijo bem acima das folhagens. Apresenta hábito terrestre. Indivíduos de grande porte alcançando até 1,5 m de altura. É espécie exclusiva do nordeste brasileiro (MEE, 1992). No Brasil se distribuem pelos estados nordestinos da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia. É, talvez, a espécie mais comum de Sergipe, onde apresenta hábito terrestre e epifítico, ocupando diferentes habitats e ecossistemas.

2- OBJETIVOS

2.1-Objetivo Geral

Contribuir com o conhecimento sobre a ecologia das interações em *Aechmea aquilega* (Salisb) Griseb (Bromeliaceae) em ecossistema de Caatinga, ecótono (Agreste) e Mata Atlântica utilizando a abundância de isótopos estáveis do carbono e nitrogênio da biomassa foliar e matéria orgânica partícula da coroa foliar.

2.2- Objetivos específicos:

- I- Caracterizar a abundância de carbono e nitrogênio na produção de biomassa da coroa foliar de *Aechmea aquilega* nos habitats de caatinga, ecótono (Agreste) e Mata Atlântica.
- II- Interpretar como se dá a assimilação do carbono e do nitrogênio foliar em *Aechmea aquilega* utilizando o fracionamento isotópico ($\delta^{13}\text{C}$) e enriquecimento do Nitrogênio $\delta^{15}\text{N}$ nos três habitat de Mata Atlântica, Agreste e Caatinga.
- III- Quantificar e determinar a origem do Carbono e Nitrogênio contida no tanque central de *Aechmea aquilega* isoladas e agrupadas nos três habitat.

3- METODOLOGIA

3.1- Áreas de Estudo

O estudo foi realizado em três municípios do Estado de Sergipe: Poço Verde, Pirambu e Areia Branca, área de transição entre os dois ecossistemas. Nestes Municípios (Figura 5) podemos encontrar um domínio de Caatinga, remanescentes de Mata Atlântica e áreas ecotonais (Agreste) onde é observada a transição de um bioma para o outro, respectivamente.

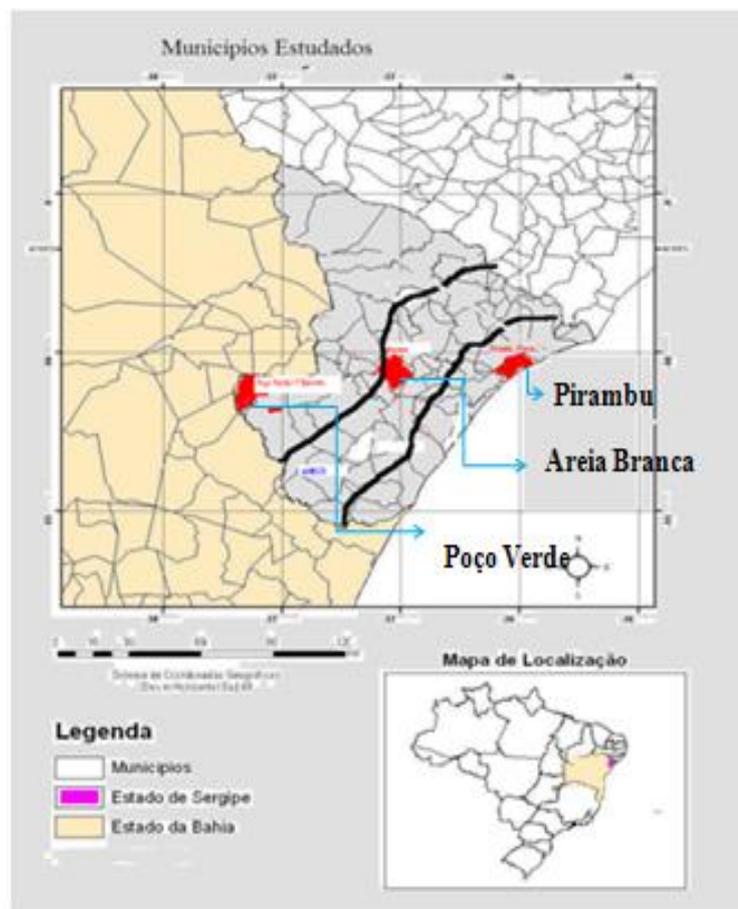


Figura 5. Localização dos pontos de amostragem em três regiões climáticas de diferentes regimes de umidade: Mata Atlântica (Pirambu), transição ou ecótono Agreste sergipano (Areia Branca) e semiárido na Caatinga (Poço Verde) de Sergipe.

3.2- Poço Verde

O município de Poço Verde está situado na mesorregião geográfica do Sertão Sergipano e na microrregião de Tobias Barreto, juntamente com Simão Dias, no Estado de Sergipe. De acordo com o IBGE (2001), este município apresenta uma superfície de 380,7 Km², o que corresponde a 18,47% da microrregião e 1,72% do estado de Sergipe. Limita-se ao norte com os municípios baianos de Paripiranga e Adustina; ao oeste com Fátima, Heliópolis e Ribeira do Amparo; a leste com o município sergipano de Simão Dias e ao Sul com Tobias Barreto. A sede municipal tem uma altitude de 273 metros e coordenadas geográficas 10°42'11" de latitude sul e 38°11'06" de longitude oeste.

Na parte oriental, o relevo se caracteriza como ligeiramente montanhoso apresentando algumas serras, como: Caraíba, Poço Dantas e São José. Na região do centro-sul sergipano, localizado na região Oeste do Estado, onde se situa o município de Poço Verde, aparecem elevações como a Serra Negra com 750m, ponto culminante de Sergipe. (IBGE, 2008).

O clima predominante é quente, do Tipo Megatérmico Semiárido com transição para seco e Sub-Úmido. A precipitação média anual é de 786,5 mm com período chuvoso compreendido entre os meses de março a julho. A temperatura varia em torno de 38 °C nos meses mais quentes e 17 °C nos meses mais frios (IBGE, 2001).



Foto 2: Assentamento Santa Maria da Lage, Poço Verde, Brasil. Bromélias em situação de moita (à esquerda) e isolada (à direita).

3.3- Pirambu

O município de Pirambu com coordenadas geográficas 10°,73' de latitude sul e 36°,85' de longitude oeste. Limita-se com os Municípios Pacatuba, Japarutuba, Carmópolis, Santo Amaro, Barra dos Coqueiros e o Oceano Atlântico. Está localizado no litoral sergipano, em sua porção centro-oeste, e insere-se na micro-região geográfica do Japarutuba, juntamente com os municípios de São Francisco, Japoatã, Pacatuba e Japarutuba. Possui uma área territorial de 218 Km², sendo 71 Km² de área urbano e 147 Km² de área rural. A sede do município está localizada a 28 Km de distância da Capital, Aracaju via Rodovia SE-100 e 76 Km pela BR-101, o relevo costeiro encontra-se a 2 metros de altitude, sendo seu modelado representado pela planície litorânea ao Sul. Com um clima quente e temperatura média anual de 28° C apresenta um período chuvoso, que vai de março a agosto, onde as planícies litorâneas na região de Pirambu não possuem grandes altitudes, sendo um relevo baixo, dominado por terras planas ou ligeiramente onduladas. Seu modelado está representado pela planície litorânea ao sul. Dentro dessa planície litorânea, na porção norte, centro-oeste e sudeste do município, há ocorrência do terraço fluvial. Acompanhando a linha da praia, penetrando para o interior, ao norte, ocorre a planície fluvio-marinha. Sua topografia apresenta poucas elevações, estando suas altitudes oscilando entre 0 e 100 metros, destacando-se a presença de dunas móveis e fixas e de 30 Km de praias virgens.

O município é composto de uma vegetação litorânea muito variada, nas praias predominam os coqueirais e uma vegetação rasteira, com campos de dunas, matas de restinga, manguezais e uma pequena reserva florestal Reserva Biológica Santa Isabel – ICMBIO, remanescente de mata Atlântica. A vegetação é herbácea e ocorre ao longo de todo litoral e as matas de restinga é fitofisionômica uma vegetação baixa, com ananases, embaúbas-de-praia, cajueiros, oitizeiros, pitombeiras, mangabeiras, mangues etc.



Foto 3: Mata Atlântica de Restinga Costeira Litoral Norte de Sergipe – Município de Pirambu

3.4- *Areia Branca*

A terceira área de estudo localiza-se numa transição de ecótono entre os ecossistemas de mata Atlântica e a Caatinga, denominada pelos geógrafos de agreste, situada no Parque Nacional Serra de Itabaiana (PNSI). Climaticamente a área de estudo está situada na Meso-região do agreste do Estado de Sergipe e localiza-se na sua maior parte no município de Areia Branca e o restante em Itabaiana, em uma região situada em núcleos de areias brancas de tabuleiros cristalinos. Faz parte do domo de Itabaiana, que possui formato circular com prolongamento na porção norte, estendendo-se por 45 km de comprimento e 30 km de largura, constituído pelas Serras de Itabaiana, Comprida, Capunga e Miaba (Atlas de Sergipe, 1979). Diferentes fisionomias são encontradas na vegetação local, predominando a Floresta Estacional Semi decidual, existindo também uma área de tensão ecológica entre Savana Parque e Floresta Estacional (Gonçalves; Orlandi 1983). Áreas de formações florestais ripárias, pois ocorrem geralmente associadas aos riachos que cortam a Serra ou próximo deles; em vários pontos predomina vegetação arbustiva, principalmente normais periféricos e encostas não muito elevadas, apresentando-se ora como arbustos esparsos, ora como arbustos agrupados. A fisionomia que domina as partes mais altas da Serra é formada por uma vegetação rasteira. Esta fisionomia, juntamente com os afloramentos de rochas e os fragmentos destas, proporciona um aspecto de campo limpo rochoso, principalmente à vertente leste (Dantas e Ribeiro, 2010).

3.5- Coleta de Dados

O desenho experimental define dois grupos de planta por habitat. Em função da heterogeneidade espacial da floresta seca foram amostradas dois grupos de plantas: bromélias de moitas e bromélias isoladas. Foram selecionadas aleatoriamente, duas plantas de moita e duas isoladas, perfazendo um total de quatro plantas em cada uma das áreas estudadas, Poço Verde (caatinga), Pirambu (Mata Atlântica) e Areia Branca (ecótono). No campo foram mensurados dois eixos, A e B, os quais retirou-se uma média para obtermos o diâmetro da bromélia (foto 4).



Foto 4: Fazenda Santa Isabel, Pirambu, Sergipe, Brasil. Bromélias em situação de moita (à esquerda) e isolada com ilustração da medição dos seus eixos (à direita).

De cada bromélia foram coletadas três folhas para análise do carbono e nitrogênio, sendo a primeira folha > que 20 cm, 3ª e 5ª. A partir desta primeira folha, alternava-se uma e retirava a seguinte, sendo nomeadas como folha I e III. No laboratório, a bromélia foi inteiramente desmontada e lavada cuidadosamente dentro de um recipiente para que toda a matéria orgânica particulada (MOP) do tanque central fosse aproveitada e em seguida, todo o material retido na peneira de 200 μm foi seco em estufa de ventilação por 48 a 60 horas a uma temperatura de 60 °C. As folhas I e III foram lavadas com água destilada e secas em estufa de ventilação por 48 a 60 horas a uma temperatura de 60 °C.

Após secagem, a matéria seca obtida foi moída no triturador e peneirada em peneira de 0,2 mm. Todo material foi acondicionado em frascos plásticos lavados com água destilada e secos em estufa de ventilação. Após esse processo foram enviadas as

amostras para o Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP para a determinação da abundância de isótopos do Carbono e carbono total, isótopos de nitrogênio e nitrogênio total. Os resultados estão expressos pela unidade relativa “ δ ”, determinada em relação ao padrão internacional PDB.

Utilizando um espectrômetro de massa de Razão Isotópica (Isotope Ratio Mass Spectrometers - IRMS), determinou-se a razão isotópica para Carbono e Nitrogênio na coroa foliar e na matéria orgânica contida no interior do tanque central, bem como os seus valores totais de carbono e Nitrogênio.

4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 –Análise da matéria orgânica foliar

O tamanho da coroa foliar das bromélias amostradas aleatoriamente na moita não variou para as três localidades: Poço Verde, Areia Branca e Pirambu, esta condição foi importante na tomada de decisão uma vez que os resultados da abundância de matéria orgânica afetaria o carbono e nitrogênio total. Os resultados das análises estatísticas utilizando o teste t student verificou que não houve diferença significativa nas plantas escolhidas (Tabela 2), Entre amostras de habitat de moita e isolada foi realizado o teste “t” Student ($p=0,05$) (t) = 0.5268 (p) 0.31 assim na análise de variância “F” ($p = 0,05$) o $F_{\text{calc.}} = 0.1843$ e ($p_{\text{obs.}}$) = 0.6788 assim como testes para as médias $t_{\text{calc.}} = 0,52$ e ($p_{\text{obs.}}$) = 0,31.

Tabela 2. Tamanho médio da coroa foliar de Bromélias *Aechmea aquilega* em três ecossistemas Caatinga (Poço Verde), agreste (Areia Branca) e Mata Atlântica (Pirambu).

Bromélia	habitat	Diâmetro (cm)
A1 Poço Verde	Moita	82
A4 Poço Verde	Moita	100
A8 Poço Verde	Isolada	96
A12 Poço Verde	Isolada	95
A1 Pirambu	Moita	160
A4 Pirambu	Moita	83
A8 Pirambu	Isolada	115
A12 Pirambu	Isolada	101
A1 Areia Branca	Moita	120
A4 Areia Branca	Moita	100
A8 Areia Branca	Isolada	96
A12 Areia Branca	Isolada	110

As tabelas 3, 4 e 5 discriminam os valores com relação a abundância total de Carbono e Nitrogênio foliar, e as razões isotópicas do carbono ^{13}C e ^{15}N da coroa foliar respectivamente, verificou-se que o carbono total é mais abundante nas plantas de Areia Branca em relação as plantas da Caatinga cujo o teor de C total foi 3 % superior (Figura 6 (a)) assim como em relação ao nitrogênio total não houve diferença significativa (Figura 7 (a)). Todavia, os teores dos valores isotópicos do carbono de Areia Branca foram maiores significativamente, indicando que as bromélias das Areia Brancas

respondem continuamente a um ciclo fotossintético obrigatório CAM, enquanto na Mata Atlântica e Caatinga, as plantas responderam facultativamente, ora fazendo ciclo fotossintético CAM ou C3. Os valores enriquecidos de ^{15}N na folha das plantas da Caatinga Figura 7 (b) indicaram que fisiologicamente a uma captura efficientíssima de Nitrogenio da matéria orgânica externa, uma vez que as plantas não assimilam diretamente o nitrogênio. Levanta-se a hipótese de simbiose arbuscular, todavia na literatura há poucos dados com relação a bromélias, portanto, esse nitrogênio, em hipótese, pode ser oriundo da captura de nutrientes do ambiente e fracionado na coroa foliar, todavia os estudo de simbiose arbuscular praticamente não existe para esta Bromélia.

As bromélias rupícolas apresentam um maior grau de colonização micorrízica quando comparada a bromélias epífitas. Quando micorrizadas, as raízes apresentam um padrão de colonização predominante de micélio interno e externo, enquanto as bromélias CAM apresentaram potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares em área de Caatinga, na Região de Xingó *Bromelia laciniosa* e *Encholirium spectabile* duas espécies abundantes na região (SOUZA et al., 2003).

Tabela 3 : Razão isotópica de Carbono e Nitrogênio e quantidade Carbono e Nitrogênio Total na coroa foliar de *Aechmea aquilega* em Poço Verde, Sergipe.

Amostra	C total (%)	$\delta^{13}\text{C}\text{‰}$	Ntotal (%)	$\delta^{15}\text{N}\text{‰}$
Folha A1 I	39,65	-13,84	0,36	15,77
Folha A1 III	39,49	-13,61	0,44	10,47
Folha A4 I	39,96	-13,56	0,55	10,94
Folha A4 III	39,91	-13,76	0,50	11,25
Folha A8 I	40,70	-13,83	0,43	11,26
Folha A8 III	41,25	-13,95	0,58	7,77
Folha A12 I	39,12	-16,52	1,14	10,99
Folha A12 III	42,50	-14,59	0,86	11,51

Fonte LIE-CENA-USP/LEC-UFS

Tabela 4: Razão isotópica de Carbono e Nitrogênio e quantidade de Carbono e Nitrogênio Total na coroa foliar de *Aechmea aquilega* em Pirambu, Sergipe.

Amostra	C total (%)	$\delta^{13}\text{C} \text{‰}$	Ntotal (%)	$\delta^{15}\text{N} \text{‰}$
Folha A1 I	41,44	-14,44	0,65	5,18
Folha A1 III	41,74	-14,38	0,64	4,37
Folha A4 I	41,79	-13,57	0,65	2,92
Folha A4 III	42,86	-13,79	0,45	4,18
Folha A8 I	41,07	-14,36	0,44	4,04
Folha A8 III	41,55	-14,43	0,44	2,56
Folha A12 I	42,00	-14,84	0,52	4,63
Folha A12 III	42,28	-17,70	0,71	3,18

Fonte LIE-CENA-USP/LEC-UFS

Tabela 5 : Razão isotópica de Carbono e Nitrogênio e quantidade de Carbono e Nitrogênio Total na coroa foliar de *Aechmea aquilega* em Areia Branca, Sergipe.

Amostra	C total (%)	$\delta^{13}\text{C} \text{‰}$	Ntotal (%)	$\delta^{15}\text{N} \text{‰}$
Folha A1 I	42,36	-12,49	0,63	0,44
Folha A1 III	43,29	-12,37	0,39	0,36
Folha A4 I	42,66	-12,34	0,59	0,25
Folha A4 III	42,77	-12,42	0,55	0,01
Folha A8 I	42,92	-12,11	0,41	0,98
Folha A8 III	43,24	-12,33	0,37	1,20
Folha A12 I	43,18	-13,73	0,52	0,04
Folha A12 III	42,95	-13,73	0,48	0,64

Fonte LIE-CENA-USP/LEC-UFS

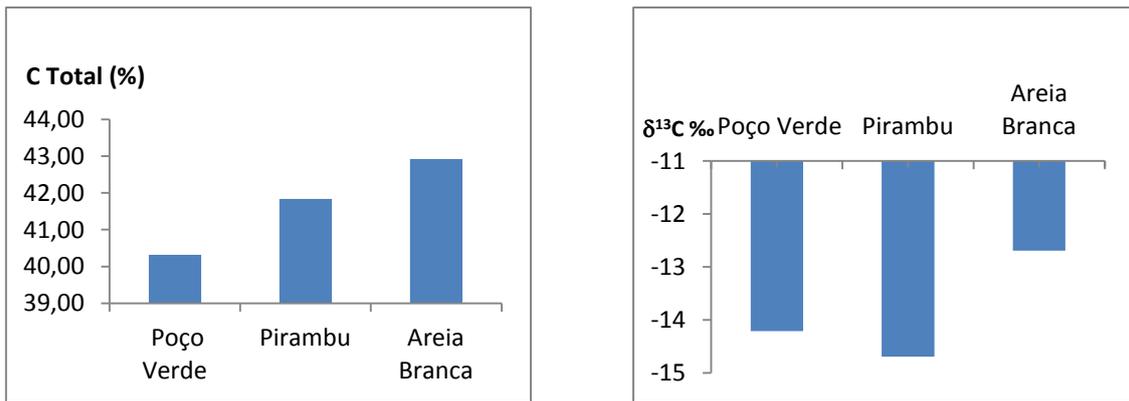


Figura 6: Médias de carbono da biomassa foliar de *Aechmea aquilega* em Poço Verde, Pirambu e Areia Branca - Sergipe. 6 a: Percentual de carbono total (à esquerda) e 6 b: abundância de $\delta^{13}\text{C}$ medido pela razão isotópica de carbono (à direita).

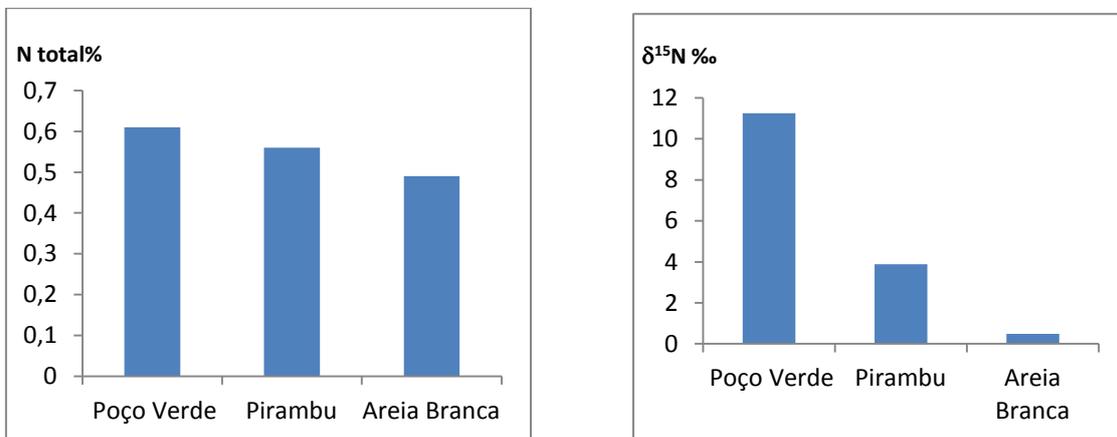


Figura 7 : Médias de nitrogênio da biomassa foliar de *Aechmea aquilega* em Poço Verde, Pirambu e Areia Branca- Sergipe. 7 a: Percentual de carbono total (à esquerda) e 7 b: percentual da razão isotópica de carbono (à direita).

O Nitrogênio é um dos elementos essenciais para o desenvolvimento e produção das plantas. A produtividade da planta é determinada pela interação entre o metabolismo do nitrogênio e do carbono já que a energia necessária para a assimilação do nitrogênio provém da fotossíntese e a capacidade fotossintética depende do suprimento de nitrogênio, pois grande parte do nitrogênio das folhas está alocada nas proteínas envolvidas no processo fotossintético (SEEMANN *et al.*, 1987).

No cruzamento dos valores totais de carbono e nitrogênio encontrados nas folhas de *Aechmea aquilega* (tabela 6) foi verificado que não há relação entre eles (Figura 8, 9). Embora a produção primária dependa da presença do nitrogênio, os dados mostram que o aumento de biomassa não significa um aumento direto da taxa de nitrogênio,

assim a quantidade de carbono presente na planta não depende da sua quantidade de nitrogênio.

Tabela 6: Análise da variância do carbono e nitrogênio foliar entre plantas de moita e isoladas e em moitas

	Media moita x isolada	Variância	Teste “t” p = 0,05 = 2,07 Tab. Zar GL = 23	Teste “F” p = 0,05 GL(1:22) Critico
C total	41.446 41.943	1.9410 1.4452	1.6440	0,87(p = 0,67)
N total	0.4992 0.6092	0.4992 0.6092	1.6084	2,58 (p = 0,11)
C13	-13.378 -14.345	0.5931 2.4123	1.9333	3,74 (p = 0,06)
N15	5.2658 5.1458	29.188 18.450	0.0602	2,58 (p = 0,11)

Esses resultados ainda sugerem uma tendência, mas fraca em que as plantas CAM quando facultativa podem assimilar mais nitrogênio, $R^2 = 0.22$ (Figura 9). Nas plantas sob condição de estresse hídrico como o que ocorre em Areia Branca, os valores dos isótopos de carbono e nitrogênio tem alta eficiência fotossintética e baixa capacidade de assimilar nitrogênio.

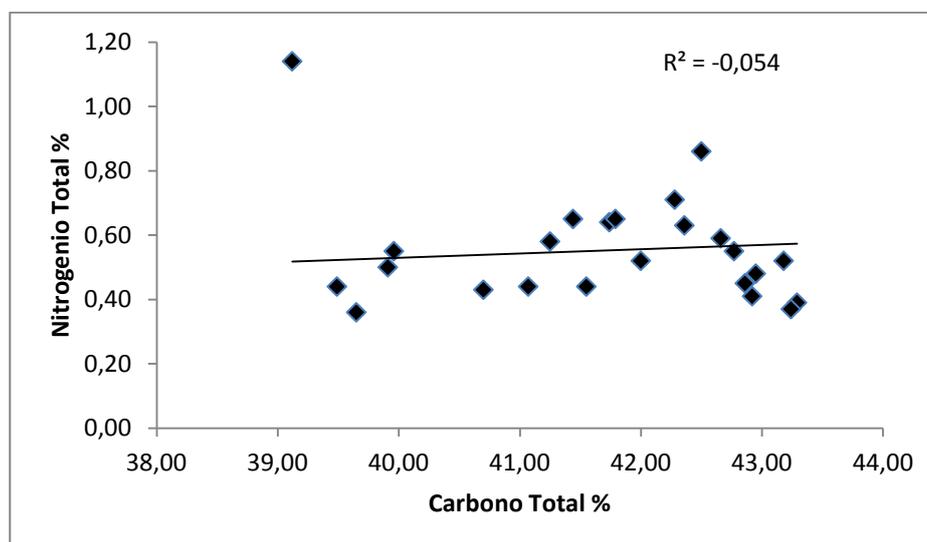


Figura 8: Relação entre Carbono e Nitrogênio Totais encontrados nas folhas de *Aechmea aquilega* em Poço Verde, Pirambu e Areia Branca, Sergipe.

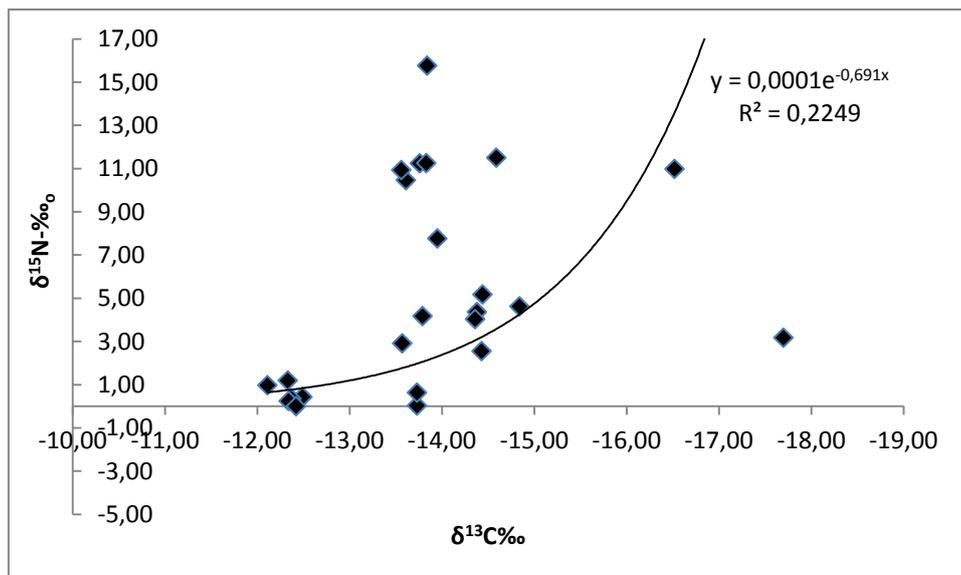


Figura 9: Relação entre isótopos de Carbono e Nitrogênio foliar encontrados em *Aechmea aquilega* em Poço Verde, Pirambu e Areia Branca, Sergipe.

O carbono orgânico da *A. aquilega* associada a moita e isolada apresenta uma abundância muito similar com variação de 39,12 a 43,29 mg/g no três habitats, porém o carbono total da matéria orgânica particulada depositada no fundo das coroas foliares das plantas isoladas é menor e com um desvio significativo na Caatinga e no agreste (Figura 10). As bromélias da serra de Itabaiana tem maior carreamento para dentro da coroa foliar e eficiência da assimilação de carbono.

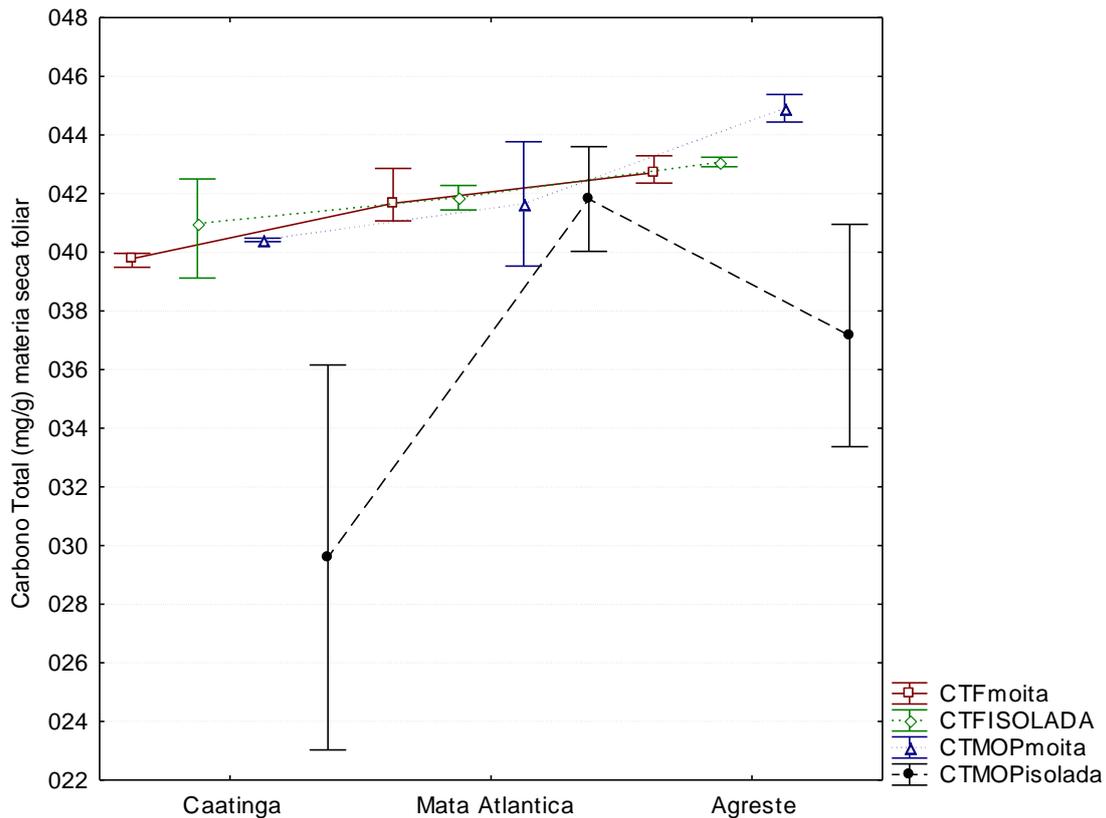


Figura 10: Variação do carbono total foliar na matéria seca nos três habitats para plantas associadas em moita e isoladas.

A capacidade de assimilar carbono e o fracionamento do ^{13}C nas bromélias indicam que estas são plantas CAM facultativas, porém as plantas nas moitas mostraram-se mais eficientes nos três habitats, enquanto as plantas isoladas foram significativamente perturbadas em seu sistema fotossintético. Isto indica que ecofisiologicamente ela responde às alterações nas condições de luminosidade e de estresse hídrico do solo. Porém os valores das razões isotópicas das bromélias em moita ou isolado em Areia Branca indicaram que fisiologicamente responderam como plantas CAM obrigatórias, ou seja, está o tempo todo economizando água, e fazendo fotossíntese como planta C_3 , ciclo Rubisco.

Quanto a origem do carbono da Matéria Orgânica Particulada (Figura 11) dentro da coroa foliar as plantas isoladas e associadas a moitas da Caatinga e Mata Atlântica apresentaram a mesma estratégia de captura de carbono de origem da floresta (-28 a -25 ‰), enquanto que nas bromélias associadas a moitas na serra de Itabaiana, há uma mistura nos valores isotópicos do ^{13}C , indicando a origem de carbono de gramíneas C_4 e plantas CAM facultativas (-20 a -15). Há uma discussão em Scarano (2002) em que as bromélias das restingas no Rio de Janeiro são funcionalmente

facilitadoras e atuam como espécies berçários para outras plantas e animais, devido a grande quantidade de água disponível. Cogliatti - Carvalho (2010) estimou o volume de água em 59.007 rosetas, um volume máximo de 44.388 litros, mas medidos 17.000 litros de água efetivamente armazenados e encontrou diferenças interespecíficas nos volumes máximo e efetivamente reservado de água, na biomassa, no número de folhas e no volume do cone da planta e especificamente *Aechmea aquilega*, *A. blanchetiana* e *Hohenbergia castelanosii* tiveram os maiores volumes efetivos. Neste caso explicando bem a estratégia de captura de carbono externo das moitas observadas.

Os valores isotópicos para carbono nas plantas de Poço Verde, assim como as de Pirambu demonstraram que estas se comportam como uma planta CAM facultativa, pois variaram de - 16,52 a - 13,56 ‰, ambos em Poço Verde (Caatinga).

Mesmo em ecossistemas distintos, Caatinga e Mata Atlântica, onde as referências mostraram números distantes em relação ao déficit hídrico, nossos dados mostraram uma diferença muito menor nesses valores. O que ocorre nesses ecossistemas é uma certa semelhança nas condições que favorecem esse tipo de mecanismo fotossintético, talvez isso tenha ocorrido devido a área de estudo em Poço Verde não apresentar características propriamente ditas da região de caatinga.

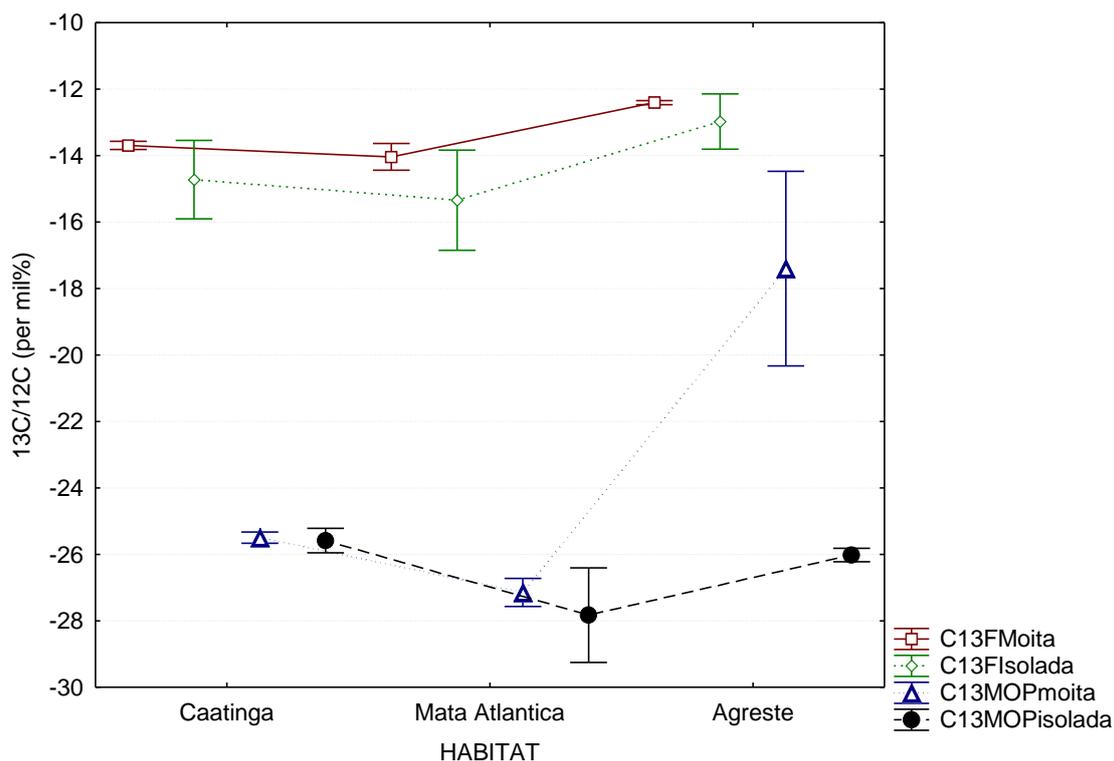


Figura 11: Variação de isótopos de carbono na matéria seca nos três habitats para plantas associadas em moita e isoladas.

Para a análise do carbono total e fracionamento isotópico do carbono da matéria orgânica foliar, folhas I e III (Figuras 12 e 13), mostraram que os diferentes habitats influenciam diretamente na assimilação do carbono pela *Aechmea aquilega* obtido a partir das curvas ajustadas de Poisson e a curva Normal respectivamente, embora o carbono total tenha valores aproximados, as bromélias tanque das Areias Brancas apresentaram valores maiores em média de 42,92% do carbono total da matéria foliar seca. Nesta amostragem entre os três habitats as bromélias se comportaram como CAM facultativas cujos valores do $\delta^{13}\text{C}$ variaram de -17,70‰ a -12,11‰. A análise da variância e o teste de Tukey mostraram expressiva diferença estatística entre as plantas de Areia Branca com os valores da média -12,69 ‰, reforçando a observação a respeito do funcionamento do seu metabolismo CAM obrigatório quando sob condição constante de estresse hídrico, diferentemente dos outros habitats de Caatinga e Mata Atlântica, em que os valores de $\delta^{13}\text{C}$ oscilaram em torno de -14‰. Todavia essa contradição não foi explicada pois as plantas de Areia Branca funcionam como um verdadeiro tanque de água.

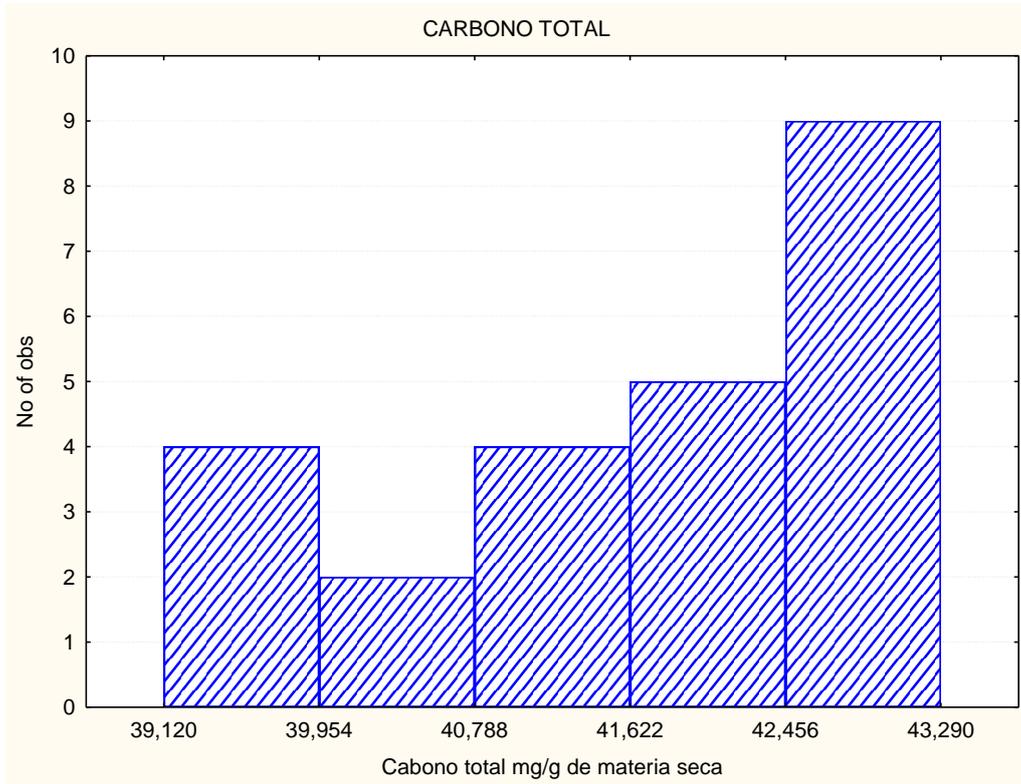


Figura 12: Distribuição do Carbono Total das folhas I e III da matéria seca de *Aechmea aquilega* oriundas de três habitats (n = 24).

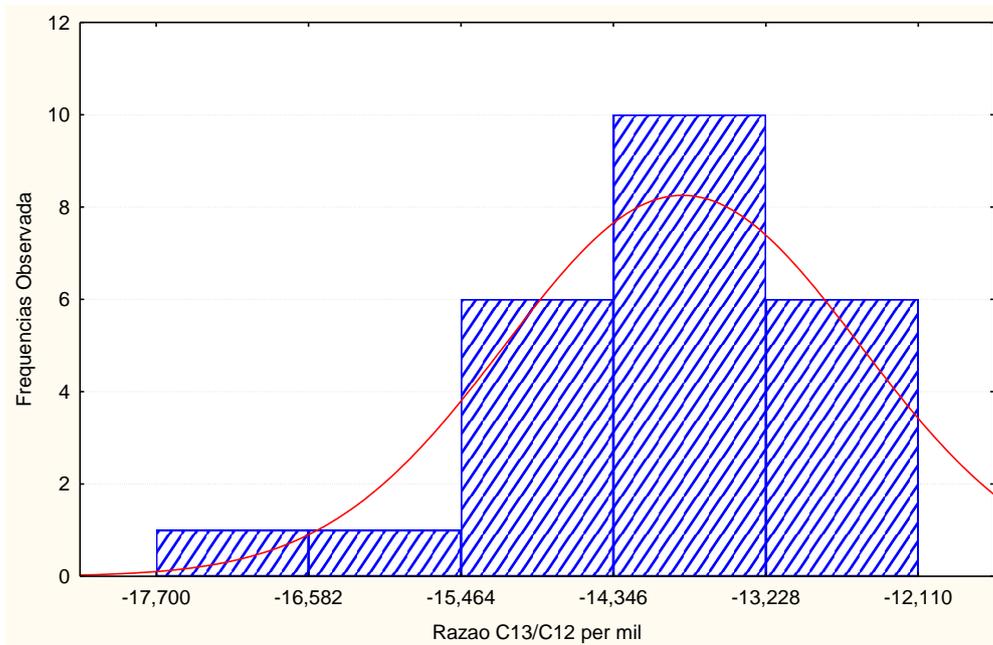


Figura 13: Distribuição da razão isotópica foliar (I e III) da matéria seca de *Aechmea aquilega* oriundas de três habitats (n = 24).

O resultado da análise da regressão linear, (Figura 14) entre o teor de carbono total das folhas I e III aumentou significativamente com coeficiente $r = 0,52$ e $r^2 = 0,47$, todavia as médias não diferiram significativamente, $t_{\text{calc.}} 1,10 < t_{\text{crit}} 2,20$ entre as folhas 1 e 3. Já a Anova da regressão $F = 10,84$, $p = 0,0081$, indicam que há outros fatores interferindo significativamente na distribuição dos desvios em torno da reta.

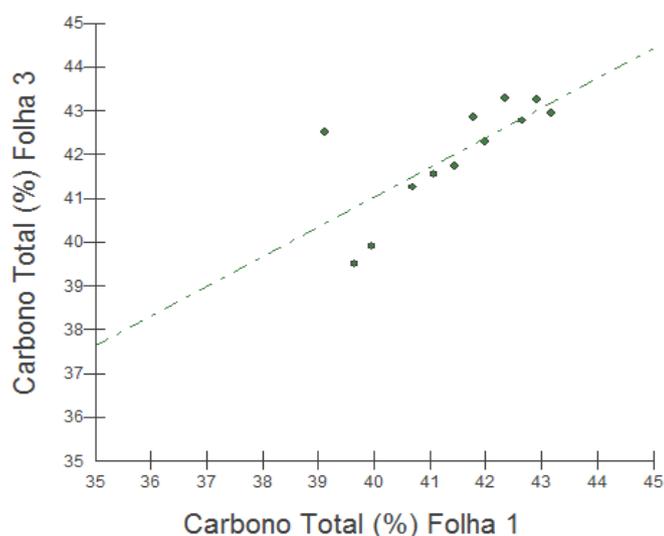


Figura 14: Regressão linear entre o teor de carbono total da folha I e folha III em Poço Verde, Pirambu e Areia Branca.

Na análise, (Figura 15) entre a razão isotópica de carbono na folha I e III, a Anova da regressão também mostrou que outros fatores estão interferindo nessa distribuição F (regressão) = 9,6083 $p = 0,0110$, já que 43,9 % ($R^2 = 0,4942$ e R^2 (ajustado) = 0,4942) da variação da razão isotópica de carbono na folha III é explicada pela variação que ocorre na folha I. Esses dados nos mostram uma forte tendência das folhas das bromélias responderem da mesma forma em relação ao fracionamento isotópico de carbono em todos os habitats, porém a análise de variância da regressão não rejeitou a hipótese nula de igualdade. Já o teste de Tukey mostrou que as plantas da Caatinga e da Mata Atlântica em áreas abertas realizam ciclo fotossintético CAM facultativo independente da idade da folha.

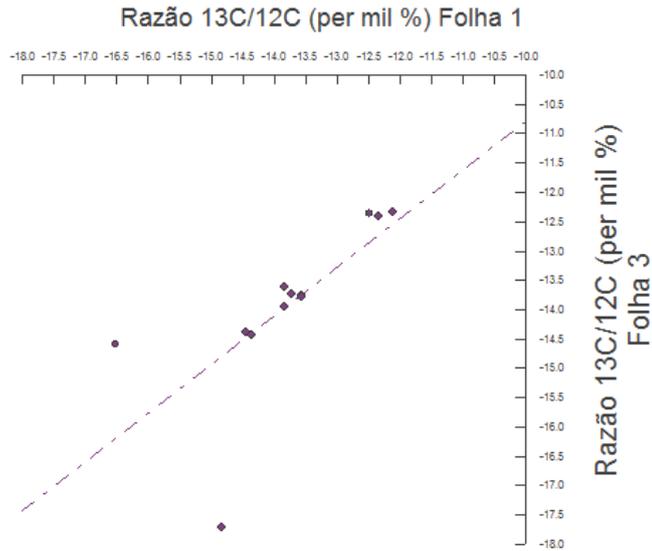


Figura 15: Regressão linear entre da razão isotópica $\delta^{13}\text{C}$ da folha 1 x folha 3 em Poço Verde, Pirambu e Areia Branca.

Para o nitrogênio Total, (Figura 16), os resultados mostraram que os valores da quantidade de nitrogênio total tenderam a se aproximar nas relações entre as folhas I e III. Com $r^2 = 0,4942$ e r^2 ajustado = $0,4436$ a variação do nitrogênio total assimilado pela folha III pode ser explicada pela variação dos valores de nitrogênio assimilados na folha I.

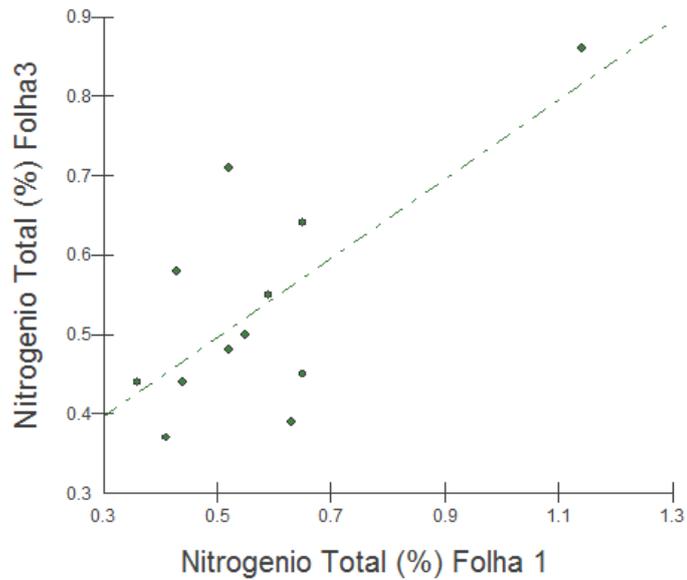


Figura 16: Análise da regressão nitrogênio total da folha I x folha III em Poço Verde, Pirambu e Areia Branca.

O coeficiente de correlação = 0,9427 entre a razão isotópica de nitrogênio das folhas I e III e um $r^2 = 0,8887$ e r^2 ajustado = 0,8776 da regressão mostrou que há um ajustamento na variação do $\delta^{15}\text{N}$ ‰ para as folhas I e III (Figura 17). A ANOVA não rejeitou a hipótese nula de diferença entre folhas novas e velhas. Os valores mais empobrecidos ocorrem nas bromélias de areia branca, e os mais elevados nas plantas da Caatinga e intermediários na Mata Atlântica.

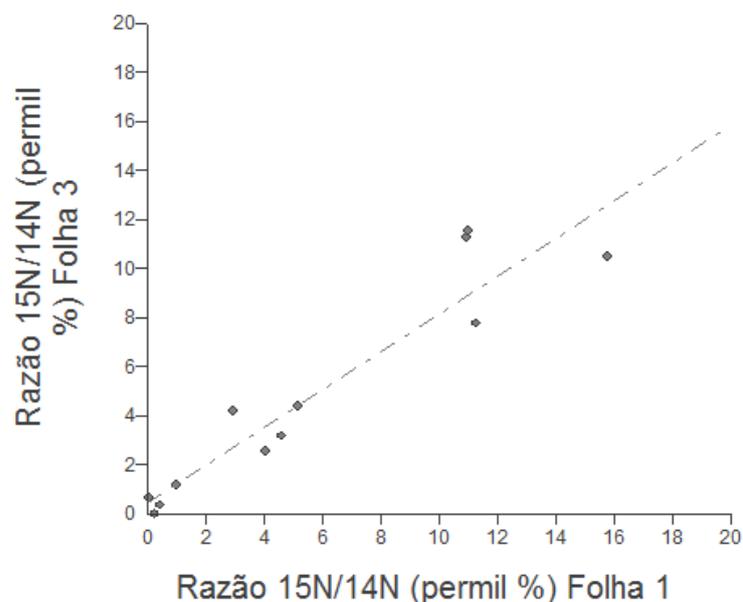


Figura 17: Regressão linear dos isótopos de nitrogênio $\delta^{15}\text{N}$ ‰ da folha I x folha III em Poço Verde, Pirambu e Areia Branca.

4.2 – Análise da Matéria Orgânica Particulada na Coroa Foliar.

Na tabela 7, os valores com relação abundância de Carbono Total da matéria orgânica retida no copo central variaram de 23,03 a 45,38 %. As plantas que estavam associadas a moitas obtiveram as maiores quantidade de carbono, o que evidencia o acúmulo de matéria orgânica ser maior nesse tipo de associação. Com relação às médias indicadas na figura 22 a, foi em Pirambu que indicou um índice maior no acúmulo de matéria orgânica do tanque de *A. aquilega*.

Os isótopos de carbono obtidos com valores variando entre -15,22 na planta de moita em Areia Branca e -28,89 na planta isolada em Pirambu (Tabela 7) e com médias mais baixas na Mata Atlântica de Pirambu (Figura 22 b) parece não indicar diferenças significativas entre plantas de moitas e isoladas. Porém os dados em Areia Branca nos chamaram a atenção por apresentar um enriquecimento de carbono mais significativo nas plantas de moitas, o que retrata a tendência que esse agrupamento tem em acumular matéria orgânica nos seus tanques.

Tabela 7: Razão isotópica de Carbono e Nitrogênio e Carbono e quantidade de Nitrogênio Total da matéria orgânica particulada acumulada no tanque central da *Aechmea aquilega* em Poço Verde, Pirambu e Areia Branca, Sergipe.

Amostra	C total (%)	$\delta^{13}\text{C}\text{‰}$	Ntotal (%)	$\delta^{15}\text{N}\text{‰}$
A1 Poço Verde	40,36	-25,37	2,24	9,31
A4 Poço Verde	40,48	-25,62	2,63	9,36
A8 Poço Verde	36,16	-25,31	1,73	9,06
A12 Poço Verde	23,03	-25,86	1,52	11,31
A1 Pirambu	43,60	-26,77	1,45	5,47
A4 Pirambu	43,77	-26,83	1,55	3,88
A8 Pirambu	39,53	-27,46	1,36	2,70
A12 Pirambu	40,03	-28,89	1,17	3,04
A1 A.Branca	44,44	-15,22	0,74	0,63
A4 A. Branca	45,38	-19,58	1,11	-0,10
A8 A. Branca	33,37	-25,87	1,24	2,36
A12 A. Branca	40,95	-26,17	0,82	-0,18

Fonte LIE-CENA-USP/LEC-UFS

Com relação aos nitrogênios totais e isotópicos, (Tabela 7 e Figuras 18 e 19 a e b) os valores obtidos na Caatinga se distanciam bastante dos dados obtidos para Pirambu e principalmente para Areia Branca, o que indica uma forte tendência das plantas de Caatinga apresentarem uma maior eficiência na captura tanto do Nitrogênio como no acúmulo do isótopo ^{15}N .

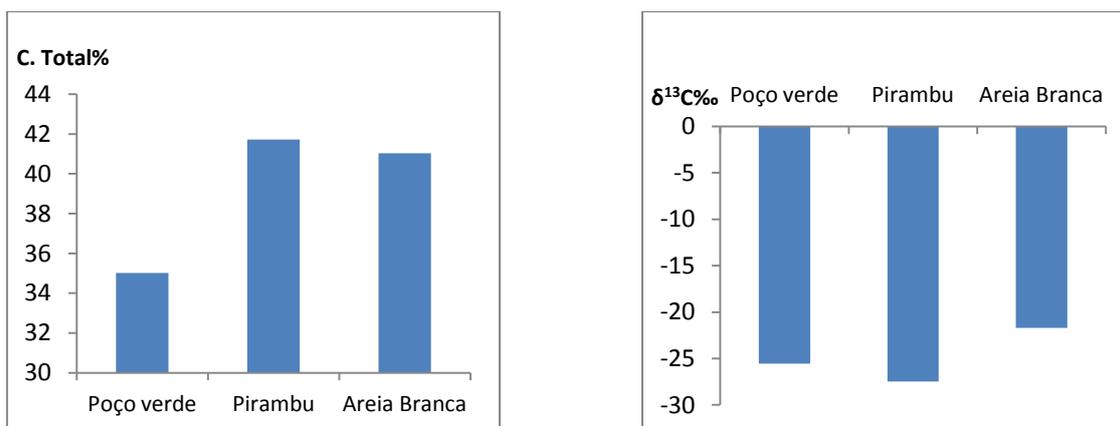


Figura 18: Médias de carbono da matéria orgânica particulada do tanque central de *Aechmea aquilega* em Poço Verde, Pirambu e Areia Branca - Sergipe. 18 a: Percentual de carbono total (à esquerda) e 18 b: percentual da razão isotópica de carbono (à direita).

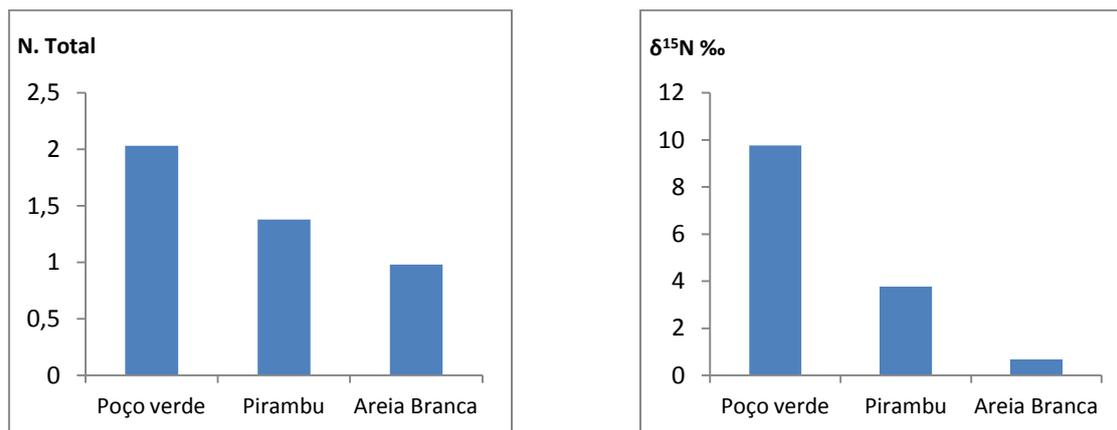


Figura 19: Médias de nitrogênio da matéria orgânica particulada do tanque central de *Aechmea aquilega* em Poço Verde, Pirambu e Areia Branca-Sergipe. 19 a: Percentual de nitrogênio total (à esquerda) e 19 b: percentual da razão isotópica de nitrogênio (à direita).

As análises entre amostras de matéria orgânica particulada na coroa foliar, (tabela 8) os valores médios foram semelhantes tanto em nível de carbono e nitrogênio total como isótopos estáveis para plantas aglomeradas e plantas isoladas. A análise de variância da MOP entre plantas isoladas e agrupadas verificou-se os isótopos do ¹⁵N na coroa foliar foi significativamente diferente entre os indivíduos isolados e agrupados conforme teste de Tukey. Para os valores de Carbono Total, Nitrogênio Total e ¹³C, análise não mostrou relações significativas.

Tabela 8: Análise da variância do Carbono e Nitrogênio na Matéria Orgânica Particulada na coroa foliar entre plantas isoladas e em moitas, F(T) total, F(R) residual

	Media Moita Isolada	Desvio Padrao	Teste "t" crítico p = 0,05 =2,57 GL = 5	Teste "F" Crítico p = 0,05 GL(1:5:5) 4,96
C	42.3267	2.4888	2.176	F (T) = 4.7342 (p) =0.0575
Total	36.1900	7.3953		F (R) =1.5513 (p) =0.3200
N	1.6050	0.7085	1,316	F (T) =1.7317 p =0.2447
Total	1.3217	0.3175		F (R) =3.3345 p = 0.1066
¹³C	-23.346	4.8692	1,714	F (T) =2.9388 p = 0.1458
	-26.478	1.2739		F (R) = 1.5302 P = 0.3252
¹⁵N	4.2967	4.1538	2,18	F (T) =4.7787 p = 0.0565
	5.1767	4.3354		F (R) =73.1508 p = 0.0006

A variação dos isótopos de nitrogênio, (Figura 20) das bromélias tanto em moita como isoladas, indicam que o enriquecimento de $\delta^{15}\text{N}$ tanto na matéria orgânica particulada da coroa foliar, assim como na folha indicam que a estratégia das plantas da Caatinga se mostra muito mais eficiente na captura e assimilação foliar do $\delta^{15}\text{N}$. Os dados ainda sugerem que o ^{15}N tanto da MOP como da biomassa foliar tendem a ser proporcionais podendo se fortalecer em estudos futuros.

Estudos realizados com as escamas epidérmicas absorventes das folhas de Bromeliaceae mencionam sua capacidade de absorver água e nutrientes (HABERLANDT 1914, SOLEREDERE MEYER 1929, KRAUS 1948, TOMLINSON, 1969). A comprovação de que as escamas epidérmicas de determinadas espécies de Bromeliaceae realmente absorvem água e nutrientes coube a Benzing (1970, 1976), Benzing *et al.* (1976) e Benzing; Renfrow (1980). Portanto trabalhos futuros poderão mostrar se o ^{15}N presente na matéria orgânica do tanque central é de alguma forma absorvido e acumulado nas folhas da planta.

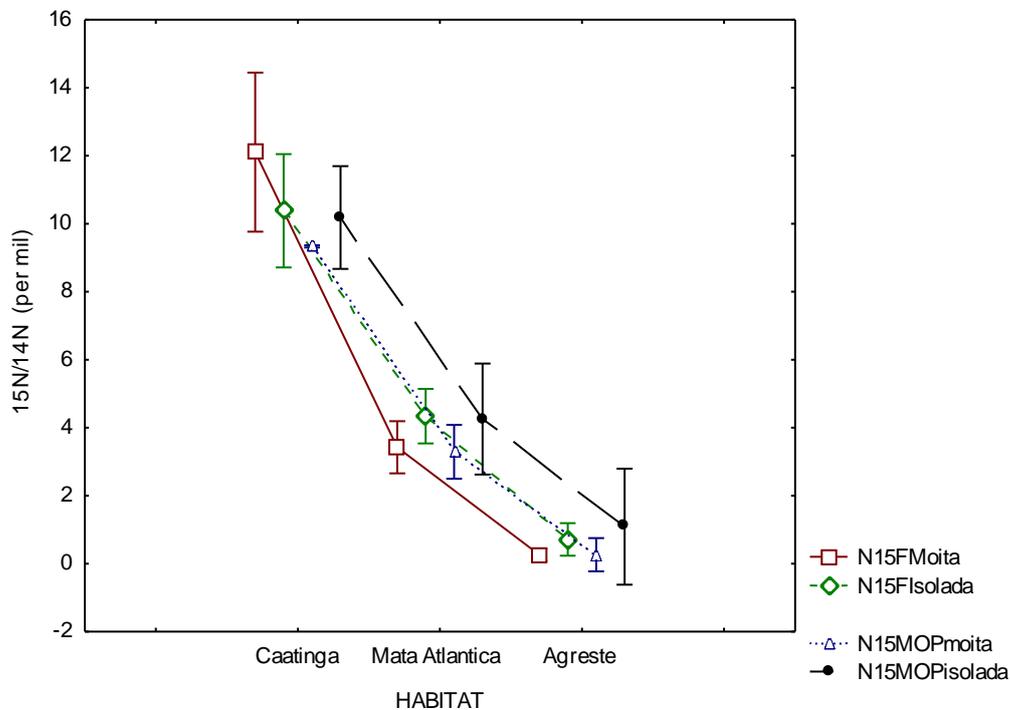


Figura 20: Variação dos isótopos de nitrogênio da MOP seca nos três habitats para plantas associadas em moita e isoladas.

A Figura 21 mostra que o Nitrogênio total foliar assimilado pela planta tem comportamento similar nos três habitat, indicando também que nas plantas isoladas, há uma variação maior do que nas plantas associados às moitas. Neste estudo não avaliamos a diversidade de espécies animais e plantas associadas às moitas, mas estudos futuros poderão comprovar esta hipótese. Para reforçar esta hipótese avaliamos que as bromélias da Caatinga são mais eficientes como coletoras de nitrogênio do que as bromélias de Mata Atlântica e da Areia Branca, e evidenciou que os teores de nitrogênio total na MOP da coroa foliar indicam diferentes origens principalmente em plantas isoladas. Aqui podemos levantar outra hipótese sobre as vantagens em isolar-se, e, portanto, que outras interações estão envolvidas.

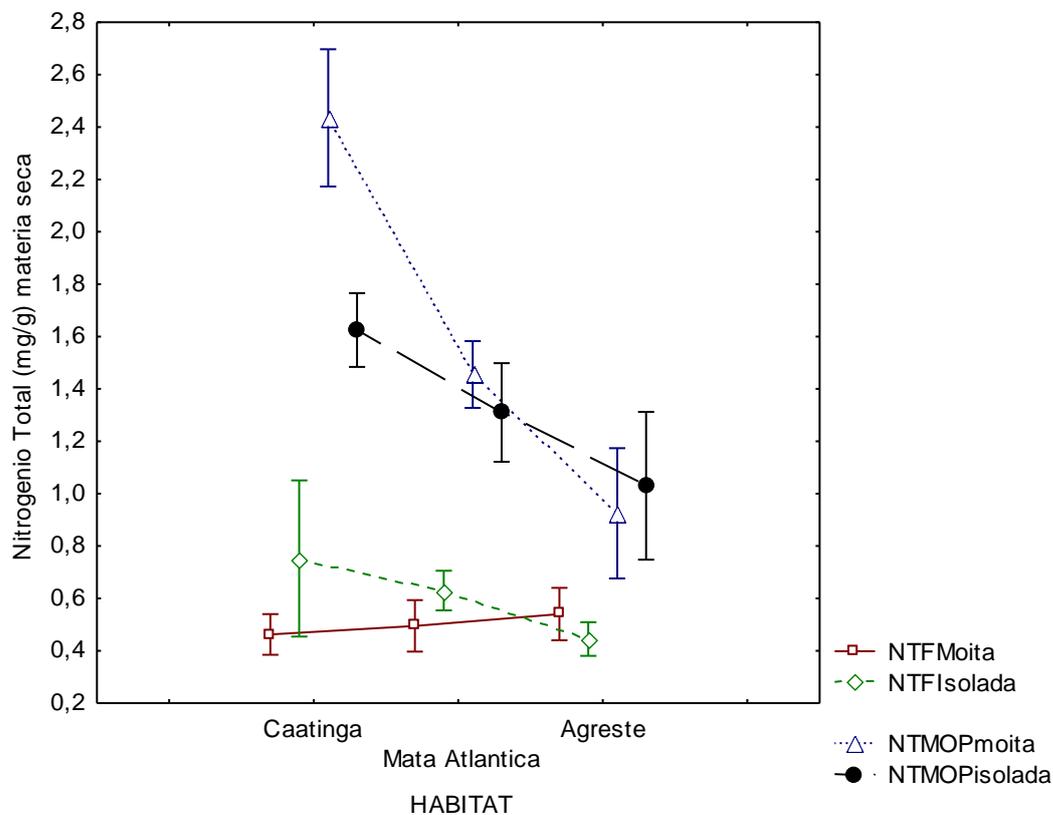


Figura 21: Variação do nitrogênio total foliar na matéria seca nos três habitats para plantas associadas em moita e isoladas e variação do nitrogênio total na MOP nos três habitats para plantas associadas em moita e isoladas.

5- CONCLUSÃO

A bromélia tanque *Aechmea aquilega* apresenta-se bem adaptada nas condições da Caatinga e vive em moitas nos três habitats, todavia a planta isolada teve valores isotópicos distintos quando comparada os valores isótopos do carbono da planta na Mata Atlântica. De acordo com os valores isotópicos de nitrogênio, as plantas da Mata Atlântica, principalmente as de Areia Branca são indicativas de que elas estão submetidas a uma grande pressão de estresse hídrico devido a alta evaporação local, pois as plantas optam pelo ciclo fotossintético CAM obrigatório.

A estratégia de captura de matéria orgânica C:N para dentro da coroa foliar tanto em plantas isoladas quanto naquelas que estão associadas às moitas, na Caatinga e na Mata Atlântica demonstra ter sua origem na floresta devido aos valores que variaram de -28 a -25 ‰. Já as bromélias associada a moitas nas areias brancas da Serra de Itabaiana, os valores isotópicos do ^{13}C se misturam e os valores variaram entre 20 a -15‰, indicando que, a a origem desse carbono vem de uma vegetação gramínosa onde há predomínio de plantas C_4 em relação às C_3 .

Os valores isotópicos de carbono mostram que os mecanismos fotossintéticos das bromélias nos três habitats estudados se comportam como CAM facultativa na Caatinga e Mata Atlântica, enquanto na Areia Branca a *Aechmea aquilega* comporta-se com CAM obrigatória, com valores médios de -12,69 ‰. Na área de Poço Verde e Pirambu as condições ambientais se mostram mais favoráveis para as bromélias, já que essas respondem utilizando o mecanismo CAM facultativo.

6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. **O domínio morfoclimático semi-árido das Caatingas brasileiras.** *Geomorfologia*, v. 43, p. 1-39, 1974.
- AB'SABER, A. N., 1977 b. **Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul, por ocasião dos períodos glaciais quaternários.** *Paleoclimas* (Inst. Geogr. Univ. São Paulo) 3:1-19.
- AB'SABER, A. N. **Sertões e sertanejos: Uma geografia humana sofrida.** *Estudos avançados*, São Paulo, v. 13, n. 36, p. 7-59, 1999.
- ALVES, T.F. 2005. **Distribuição geográfica, forófitos e espécies de bromélias epífitas nas matas e plantações de cacau da região de Una, Bahia.** Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- ANDRADE - LIMA, D. **Present-day forest refuges in Northeastern Brazil.** Pp. 245-251, in: G.T. Prance (ed.). *Biological diversification in the tropics.* Columbia University Press, New York. 1982.
- ANDRADE, M.C. de. 1989. **Ecosistemas e potencialidades dos recursos naturais do Nordeste.** Recife: SUDENE. Universidade Federal de Pernambuco. v.2, 348p.
- ARAÚJO, F.S.; MARTINS, F.R. 1999. **Fisionomia e organização da vegetação do Carrasco do Planalto da Ibiapaba, Estado do Ceará.** *Acta Botânica Brasilica* 13(1): 1-13.
- BARBOSA, C.B. **Estabilidade de comunidades ribeirinhas no semiárido brasileiro.** Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB. 1998. 124p. Dissertação de Mestrado.
- BARRIE, A.; PROSSER, S.J. **Automated analysis of light–element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry.** In: BOUTTON, T.W.; YAMSAHI, S. (Ed.). *Mass spectrometry of soils.* New York: Marcel Dekker, 1996. p.1–46.
- BARFUSS, M.H.J.; SAMUEL, R.; TILL, W.; STUESSY, T.F. 2005. **Phylogenetic relationships in subfamily Tillandsioideae (Bromeliaceae) based on DNA sequence data from seven plastid regions.** *American Journal of Botany* 92: 337-351.
- BENZING, D.H. ; BURT, K.M. 1970. **Foliar permeability among twenty species of the Bromeliaceae.** *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 96:269-279.

- BENZING, D.H.; BURT, K.M. 1976. **Foliar permeability among twenty species of the Bromeliaceae.** Bulletin of the Torrey Botanical Club 96:269-279.
- BENZING, D.H., GIVNISH, T.J.; BERMUDEZ, D. 1985. **Absorptive trichomes in *Brochiniareducta* (Bromeliaceae) and their evolutionary and systematic significance.** Systematic Botany 10:81-91.
- BENZING, D.H. 2000. **Bromeliaceae: Profile of an Adaptive Radiation.** Cambridge University Press, Cambridge.
- BRIGHIGNA, L. *et al.*, **The use of tropical bromeliads (*Tillandsia* spp) for monitoring atmospheric pollution in the town of Florence, Italy.** Rev. Biol. Trop., n. 2, v.50, 577-584, 2003.
- BRN, **Boletim de Recursos Naturais.**1963. Recife, SUDENE. 6 (1/4): 60 - 63.
- CALVIN, M.; BENSON, A. A. **The path of carbon in photosynthesis.** Science, v.107, p.476-480, 1948.
- CARVALHO, L.C. *et al.* **Variação na estrutura e na composição de Bromeliaceae em cinco zonas de Restinga no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, Macaé, RJ.** Rev. Brás. Bot., n.1, v.24, 2001.
- CARVALHO, M.V.; SOUZA, M.F.L. ; COUTO, E.C.G. 1996. **Características hidroquímicas de bromélias-tanque.** Anais da 48º Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, São Paulo.
- CASTELLETTI, C. H. M.; SANTOS, A. M. M.; TABARELLI, M. ; J. M. C. SILVA. **Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar.** In: LEAL I. R.; TABARELLI, M.; J.M.C. SILVA. *Ecologia e Conservação da Caatinga.* Recife: Editora da UFPE, 2005. p. 719-734.
- CHIANG, J. C. H; KOUTAVAS, A. **Tropical Flip-Flop Connections.** *Nature*, v. 432, p.684-685, 2004.
- CLEVELAND, C.C., A.R. TOWNSEND, D.S. SCHIMEL, H. FISHER, R.W. HOWARTH, L.O. HEDIN, S.S. PERAKIS, E.F. LATTY, VON FISHER, J.C, ELSEROAD, A. and WASSON, M.F. 1999. **Global patterns of terrestrial e biological nitrogen (N₂) fixation in natural ecosystems.** *Global Biogeochem. Cycles* 13:623–645.
- COAGLIATTI-CARVALHO, L.; FREITAS, A.F.N.; ROCHA, C.F.D.; SLUYS, M.V. 2001. **Variação na estrutura e na composição de Bromeliaceae em cinco zonas de restinga no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, Macaé, RJ.** Revista Brasileira de Botânica 24 (1): 31-57.

- CRAYN, D.M.; RANDALL, G.T.; SMITH., J.A.C.; WINTER, K. 2000. **Molecular systematics investigations in Pitcairnioideae (Bromeliaceae) as a basis for understanding the evolution of crassulacean acid metabolism (CAM)**. Pp. 569-579. In: K.L. WINTER; D.A.MORRISON (eds.). **Monocots: systematic and evolution**. Melbourne, CSIRO.
- CRAYN, D.M.; WINTER, K. ; SMITH, A.C. 2004. **Multiple origins of crassulacean acid metabolism and the epiphytic habit in the Neotropical family Bromeliaceae**. Proceedings of the National Academy of Sciences 101: 3703-3708.
- DANSA, C.V. A. ; ROCHA, C.F.D. 1992. **Na ant-membracid-plant interaction in a cerradoárea of Brazil**. J. Trop. Ecol.8:339-348
- DUQUE, J.G. 1980a. **O Nordeste e as lavouras xerófilas**. 3ª ed. Fundação Guimarães Duque. Natal : Coleção Mossoroense. 316p.
- DUQUE, J.G. 1980 b. **Solo e água no polígono das secas**. 5ª ed. Natal: Coleção Mossoroense. 273p.
- EGLER, W.A. 1951. **Contribuição ao estudo da caatinga pernambucana**. Revista Brasileira de Geografia. 13 (14): 65–77.
- ELIAS, C. et al, **Seleção de epífitas acumuladoras de elementos químicos na Mata Atlântica**. Biota Neotropica, v. 6, n. 1, 2006.
- EMBRAPA Semiárido (Petrolina, PE). 2000. II Plano Diretor Embrapa Semiárido 2000-2003. Petrolina, 55p.
- FABRICANTE, J.R.; ANDRADE, L.A. 2007. **Análise estrutural de um remanescente da Caatinga no Seridó paraibano**. Oecologia Brasiliensis 11 (3): 341-349.
- FERREIRA, C. P.1981. **Fauna associada às bromélias *Canistrum aff. giganteum* (Baker) L.B. Smith e *Neoregelia cruenta* (R. Graham) L.B. Smith de restinga do litoral norte do Estado de São Paulo**. Tese de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 97 p., 3 Apêndices.
- FIALHO,R.F.; FURTADO, A.L.S. 1993. **Germination of *Eritroxy lumovalifolium* (Erythroxylaceae) seeds within the terrestrial bromeliad *Neoregelia cruenta***. Biotropica, 25 (3): 359- 362.
- FISH, D. 1976. **Structure and composition of the aquatic invertebrate community inhabiting epiphytic bromeliads in South America and discovery of an insectivorous bromeliads**. Doctorat Thesis, Florida University, 78 p.

- FONSECA, G. A. B. da 1985. **The vanishing Brazilian Atlantic Forest.** *Biol Conserv.* 34: 17-34.
- FONTOURA, T.; REINERT F. 2009. **Habitat utilization and CAM occurrence among epiphytic bromeliads in a dry forest from southeastern Brazil.** *Revista Brasil. Bot.*, V.32, n.3, p.521-530.
- FRY, B. **Food web structure on Georges bank from stable C, N, and S isotopic compositions.** *Limnol.Oceanogr.*, Waco, v. 33, n. 5, p. 1182-1190, 1988.
- GANNES, L.Z.; DEL-RIO, C.M.; KOCH, P. **Natural abundance variations in stable isotopes and their potential uses in animal physiology ecology.** *Comp. Biochem. Physiol.*, 199A , v.3, p.725-737, 1998.
- GHOLZ, H.L.; EWEL, K.C.; TESKEY, R.O. **Water and forest productivity.** *Forest Ecological Management*, Amsterdam, v.30, n.1, p.1-18, 1990.
- GRAHAM, E.A.; ANDRADE, J.L. 2004. **Drought tolerance associated with vertical stratification of two co-occurring epiphytic bromeliads in a tropical dry forest.** *American Journal of Botany*, 91: 699-706.
- GRANT, J. R ZIJLSTRA, 1998. **Na annotated catalogue of the generic names of the bromeliaceae.** *Selbyana* 19:92-121.
- GLEEN, D.M., SCORZA, R. BASSETT, C. **Physiological and morphological traits associated with water use efficiency in the willow-leaf peach.** *Ortscience.*, v.35,n.7, p.1241-43, 2000.
- HATCH, M.D., SLACK, C.R. **Photosynthesis by sugarcane leaves: A new carboxylation reaction and the pathway of sugar formation.** *Biochemistry Journal*, v.101, p.103-111, 1966.
- HORRES, R; ZIZKA, G.; KAHL, G.; WEISING, K. 2000. **Molecular phylogenetics of Bromeliaceae: evidence from *trn L* (UAA) intron sequences of the chloroplast genome.** *Plant Biology* 2: 306-315.
- IANNUZZI, L.; MAIA; A. C. D.; NOBRE, C. E. B.; SUZUKI, D. K. ; F.J.A. MUNIZ. **Padrões locais de diversidade de Coleoptera em vegetação de Caatinga.** In: LEAL I. R.; TABARELI, M.; J.M.C. SILVA. *Ecologia e Conservação da Caatinga.* Recife: Editora da UFPE, 2005. p 367-390.
- IBGE, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de solos do Brasil. [Http:// mapas.ibge.gov.br/website/solos/view](http://mapas.ibge.gov.br/website/solos/view). 01 de setembro de 2008.
- JOLY, A.B. **Botânica: introdução à taxonomia vegetal.** São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1993. 777p.

- KROL, M. S.; JAEGAR, A.; BRONSTERT, A. ; KRYWKOW, J. **The Semiarid Integrated Model (SDIM), a Regional Integrated Model Assessing Water Availability, Vulnerability of Ecosystems and Society in NE-Brazil.** *Physics and Chemistry of the Earth* (b), v. 26, p.529-533, 2001.
- KUHLMANN, E. 1974. **O Domínio da caatinga.** *Boletim Geográfico*, Rio de Janeiro, v.33, p.65-72.
- LACERDA, L. D. ; HAY, J. D. 1982. **Habitat of *Neoregelia cruenta* (Bromeliaceae) in coastal sand dunes of Maricá, Brazil.** *Revista de Biologia Tropical* 30(2): 171-173.
- LAJTHA, K. and R.H. MCHENER. 1994. **Stable isotopes in ecology and environmental science.** Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal.** São Carlos: Rima artes e textos, 2000. 531p.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal.** São Carlos: Rima, 2006.
- LAESSLE, A.M. 1961. **A micro-limnological study of Jamaican bromeliads.** *Ecology* 42 (3): 449-517.
- LAWTON, J.H. 1983. **Plant architecture and diversity of phitophagus insect.** *Ann. Rev. Entomol.*, 28: 23 -29.
- LEAL, I.R. ; CÂMARA, I.G. 2005. **Mata Atlântica Biodiversidade, ameaças e Perspectivas. Fundação SOS Mata Atlântica – Conservação Internacional:** Belo Horizonte - BH. 467p.
- LECOEUR, J., SINCLAIR, R.T. **Field pea transpiration and leaf growth in response to soil waterdeficits.** *CropSci.* n.36, p. 331-335, 1996.
- LEME, E.M.C. 1984. **Bromélias.** *Ciência Hoje* 3:66-72.
- LEME, E. M. ; MARIGO, L. C. 1993. **Bromélias na natureza.** Rio de Janeiro. Mareio comunicação visual. 183 p.
- LEME, E. M. C. 1997. ***Canistrum*, Bromélias da Mata Atlântica.** Ed. Salamandra, Rio de Janeiro, 107p.
- LINS, R.C. 1989. **As áreas de exceção do agreste de Pernambuco.** SUDENE/PSU/SER. Recife. 402 p.
- LOPEZ, L.C.S.; RODRIGUES, P.P ; RIOS, R.I. 1996. **Dispersão por foresia: interações entre ostracoda de bromélia (*Elpidiumbromeliarium*) e diversas espécies de anfíbios e répteis que utilizam bromélias-tanque (Fam. Bromeliaceae) como abrigo.** Resumos do XXI Congresso Brasileiro de Zoologia Rio de Janeiro,14.

- LUETZELBERG, P.V. 1923. **Estudo Botânico do Nordeste**. Ministério da Viação e Obras públicas. Rio de Janeiro. 384p.
- LUTHER, H. E. ; SIEFF, E. 2000 .**De Rebus Bromelia cearum III**. Selbyana 22(1): 34-67.
- MACHADO I. C. ; A.V. LOPES. **Recursos florais e sistemas de polinização e sexuais em Caatinga**. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; J.M.C. SILVA. *Ecologia e Conservação da Caatinga*. Recife: Editora da UFPE, 2005. p. 515-564.
- MACARTHUR, R.H. ; WILSON, E.O. (1963) **An equilibrium theory of insular zoogeography**. *Evolution*, 17, 373–387.
- MACARTHUR, R.H. ; WILSON, E.O. (1967) **The theory of island biogeography**. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- MCCREE, K.J.; FERNANDEZ, C.J. **Simulation model for studying physiological water stress responses of whole plants**. *Crop Science*, Madison, v.29, p.353-360, 1989.
- MALM, O.; FONSECA, M.F.; HISSNAUER, P.M.; BASTOS, W.R. and PINTO, F.N. 1998.**Use o epiphyte plants as biomonitors to map atmospheric mercury in a gold trade center city, Amazon, Brazil**. *The Science of the Total Environment*, 213/1-3 pp. 57-64.
- MARTIN, CE. 1994. **Physiological ecology of the Bromeliaceae**. *Botanical Review*, 60: 1-8.
- MASCARENHAS, B.M; GUIMARÃES, D.G. ; ALMEIDA, S.S, 1996. **Distribuição e abundância de insetos imaturos sub-aquáticos em corpos d'água de bromélias epífitas *Aechmea tinctoria***. Resumos do XXI Congresso Brasileiro de Zoologia, Rio de Janeiro, 94
- MATSON, P.A.; McDOWELL, W.H. ; TOWNSEND, A. R. ; VITOUSEK, P.M. **The globalization of N deposition: ecosystem consequences in tropical environments**. *Biogeochemistry*, v.46, p.67- 83, 1999.
- MEDINA, E. **Aspectos ecofisiológicos de plantas CAM en los trópicos**. *Rev. Biol. Trop.*, Venezuela, v. 35, n. 1, p. 55-70, 1987.
- MEE, M. 1992. **Bromélias Brasileiras**. Texto e comentários por Maria das Graças Wanderley. Publicação especial do Instituto de Botânica de São Paulo, USP, 159 p.

- MELO, J.I.M.; ANDRADE, W.M. 2007. BORAGINACEAE *s.l.* **A. Juss. em uma área de Caatingada ESEC Raso da Catarina, BA, Brasil.** Acta Botânica Brasilica. 21(2):369-378.
- MITTERMEIER, R. A., A. F. COIMBRA-FILHO, I. D. CONSTABLE, A. B. RYLANDS, and C. M. C. VALLE. 1982. **Conservation of primates in the Atlantic forest region of Eastern Brazil.** *Int. Zoo Yearb* 22:2–17.
- MMA, Ministério do Meio Ambiente. 2000. Avaliação e Ações Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade da Mata Atlântica e Campos Sulinos. Conservação Internacional do Brasil, Fundação SOS Mata Atlântica, Fundação Biodiversitas, Instituto de Pesquisas Ecológicas, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, SEMAD/Instituto Estadual de Florestas - MG. 40p.
- MOONEY, H.A., BULLOCK, S.H.; EHLERINGER, J.R. 1989. **Carbon isotope ratios of plants of a tropical forest in Mexico.** *Functional Ecology* 3:137-142.
- MURPHY, B.F.; NIER, A.O. **Variations in the relative abundance of the carbon isotopes.** *Physics Review*, v.59, p.771-772, 1941.
- MYERS, N., MITTERMEIER, C.G., FONSECA, G.A.B. ; KENT, J. 1997. **Biodiversity hotspots for conservation priorities.** *Nature*.43: 853-858.
- NEVES, M.C.P., MARTINS, L.M., XAVIER, G.R. ; RUMJANEK, N.G. 1988. **Levantamento de estirpes de rizóbio capazes de nodular caupi (*Vigna unguiculata*) em solos do nordeste do Brasil. III Agreste.** Embrapa-CNPAB. Seropédica: Embrapa-Agrobiologia. Documentos, 48. 7p.
- NEVES, R. M. L. 1998. **Estudo de ectoparasitos de aves silvestres (Passeiriformes: Emberezidae) de Mata Atlântica, Igarassu, Pernambuco.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- NIMER, E. **Climatologia da Região Nordeste do Brasil. In: Introdução a Climatologia Dinâmica.** *Revista Brasileira de Geografia*, v. 34, p. 3-51, 1972.
- ODUM, Eugene. 1983. **Ecologia.** Rio de Janeiro: Guanabara.
- ODUM, E. 1988. **Ecologia.** Rio de Janeiro. Editora Guanabara. 434p.
- O'LEARY, M.H. 1988. Carbon isotopes in photosynthesis. *BioScience*, 38: 328-335.
- OLIVEIRA, R.R. **Importância das bromélias epífitas na ciclagem de nutrientes da Floresta Atlântica.** *Acta Bot. Brás.*, n.4, v.18, 2004.
- OLIVEIRA J. A.; GONÇALVES, P. R. ; C.R. BONVICINO. **Mamíferos da Caatinga.** In: LEAL I.R.; TABARELI, M.; J.M.C. SILVA. *Ecologia e Conservação da Caatinga.* Recife: Editora da UFPE, 2005. p. 275-302.

- PARK, R and EPSTEIN, S (1960). **Carbon isotope fractionation during photosynthesis**. *Geochim. Cosmochim. Acta* 21,110-26.
- PAULETTI, K.R. **Desenvolvimento de Bromélias em ambientes protegidos com diferentes alturas e níveis de sombreamento**. Dissertação de Mestrado ESALQ – USP – Piracicaba, 2002.
- PEIXOTO *et al*, **Caracterização da Mata Atlântica**. in: Sylvestre, L. da S. ; Rosa, M.M.T. da. **Manual metodológico para estudos botânicos na Mata Atlântica**. Seropédica, RJ: EDUR, 123p. 09-23.2002.
- PETERSON, B.J.; FRY, B. **Stable isotopes in ecosystem studies**. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, Palo Alto, v.18, p. 293-320, 1987.
- PRADO, D. 2003. **As Caatingas da América do Sul**. In: Leal, I.R., Tabarelli, M. ; Silva (Eds.). *Ecologia e Conservação da Caatinga*. Editora Universitária. Recife. 3-73p.
- PRADO D. **As Caatingas da America do Sul**. In: LEAL I. R.; TABARELI, M.; J.M.C. SILVA. *Ecologia e Conservação da Caatinga*. Recife: Editora da UFPE, 2005. p. 3-73.
- RAVEN, P.H.; EVERT, R.V.; CURTIS, H. **Biologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1978.
- REIS, A. C. **Clima da caatinga**. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.48, p. 325- 335, 1976.
- REITZ, R. 1983. **Bromeliáceas e a Malária- Bromélia Endêmica**. In: Reitz, R. (ed.). *Flora Ilustrada Catarinense*. Herbário Barbosa Rodrigues, Itajaí, Fasc. BROM. 59p.
- RIZINNI, C.T. COIMBRA, A.F. ; HOUAISS, A. 1988. **Ecosistemas Brasileiros**. Ed ENGE Rio. 200p.
- RODAL, M.J.N. 1992. **Fitossociologia da vegetação arbustivo-arbórea em quatro áreas de Caatinga em Pernambuco**. Tese de doutorado, Universidade estadual de Campinas, Campinas.
- RODAL, M.J.N., SALES, M.F. ; MAYO, S.J. 1998. **Florestas serranas de Pernambuco: localização e diversidade dos remanescentes dos brejos de altitude**. Imprensa Universitária. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

- SAMPAIO E. V. S. B. **Overview of the Brazilian Caatinga.** In: BULLOCK H. A.; MOONEY, H. A.; E. MEDINA. *Seasonally Dry Forests*. Reino Unido: Cambridge University Press, 1995. p. 35-58.
- SAMPAIO, E.V.S.B. **Fisiologia da palma.** In; MENEZES, R.S.C.et al. (eds). **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso.** Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005. p. 43-55zx
- SANTOS, L.T.; SILVA, S.D.B. ; ISIDORO, M.S.S.; MENDES, V.M.T. ; COUTO, E.C.G. 1996 b. **Efeito da complexidade da arquitetura de *Hohenbergia cf. stellata* Schultes F. (Bromeliaceae) sobre a comunidade animal associada.** Resumos do XXI Congresso Brasileiro de Zoologia, 15.
- SCARANO, F.R.; RIBEIRO, K.T. ; MORAES, L.F.D. 1995. **Um possível papel dos tanques de *Nidularumprocerum* (Bromeliaceae) no sucesso da propagação sexuada de espécies da floresta atlântica permanentemente inundada.** Resumos do XLVI Congresso Nacional de Botânica, Ribeirão Preto, 312.
- SCHULTZ, A. 1990. **Introdução à botânica sistemática.** Editora Sagra (Universidade Federal do Rio Grande do Sul). Porto Alegre. v.2, 6 edição, p.191.
- SILVA, J.M.C., TABARELLI, M. FONSECA, M.T. ; LINS, L.V. (orgs.). **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação.** Ministério do Meio Ambiente, Brasília. 2004.
- SIQUEIRA, E.R. ; RIBEIRO, F.E. 2001. **A Mata Atlântica de Sergipe.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiro. 132p.
- SMITH, L.B. 1934. **Geographical evidence on the lines of evolution in the Bromeliaceae.** Bot. Jahrb. Syst. 66: 446-468.
- SMITH, B.N.; EPSTEIN, S. **Two categories of $13C/12C$ ratios for higher plants.** Plant Physiology, nv.47, p.380-384, 1971.
- SMITH, B.N. 1972. **Natural abundance of the stable isotopes of carbon in biological systems.** Bioscience, 22: 226-231.
- SMITH, L.B.; DOWNS, R.J. 1974. **Pitcairnioideae (Bromeliaceae).** Flora Neotropica, Monograph 14: 1-662.
- SMITH, L.B.; DOWNS, R.J. 1977. **Tillandsioideae (Bromeliaceae).** Flora Neotropica, Monograph 14: 663-1492.
- SMITH, L.B.; DOWNS, R.J. 1979. **Bromelioideae (Bromeliaceae).** Flora Neotropica, Monograph 14: 1493-2142.

- SOS M Atlântica/INPE. 2000. **Atlas dos remanescentes florestais e ecossistemas associados da Mata Atlântica**. Fundação SOS Mata Atlântica, São Paulo.
- SOUZA, R.G; MAIA L.G; SALES M.; TRUFEM, S.B.F. 2003. **Diversidade potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares em área de Caatinga, na Região de Xingó, Estado de Alagoas, Brasil**. Revista Brasil. Bot., V.26, n.1, p.49-60.
- TABANEZ, A.A.J., VIANA, V.M. ; DIAS, A.S. 1997. **Consequências da fragmentação e do efeito de borda sobre a estrutura, diversidade e sustentabilidade de um fragmento de floresta de planalto de Piracicaba – SP**. Revista Brasileira de Biologia. 57(1): 47-60.
- TABARELLI, M., SILVA, J.M.C.; GASCON, C. 2005. **Forest fragmentation, synergisms and the impoverishment of neotropical forests**. BiodiversityandConservation. 13: 1419- 1425.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 2.ed. Sunderland: Sinauer Associates, 1998. 792p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006.
- TATAGIBA, S.D. et al. *Cerne*, v.13, n.2, p.149-159, 2007.
- TING, I.P. 1985. **Crassulacean acid metabolism**. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 36: 595-622.
- TRIVELIN, P.C.O.; Salati, E.; MATSUI, E. **Preparo de amostras para análise de ¹⁵N por espectrometria de massa**. Piracicaba, CENA, 1973.41p (Boletim Técnico, 2).
- VALDIVIESO, SCR ; CORDEIRO, GG. 1985. **Pespectiva do uso de águas subterrâneas no embasamento cristalino do Nordeste Semi- Árido do Brasil**. Petrolina, PE; EMBRAPA-CPATSA 40p. (EMBRAPA- CPATSA, Documentos, 39).
- VANZOLINI, P. E., A. M. M. RAMOS-COSTA, and L. J. Vitt. 1980. **Répteis da Caatinga**. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, 161 pp.
- VELLOSO, A.L. **ETA I Ecorregiões propostas para o Bioma Caatinga**. Recife: Associação Plantas do Nordeste - APNE, Instituto de Conservação Ambiental, TheNatureConservancy do Brasil. 2002. 76p.
- WASHBURN, E.W.; SMITH, E.R. **The isotopic fractionation of water by physiological processes**. Science, v.79, p.188-189, 1934.

WICKMAN, F.E. **Variations in the relative abundance of the carbon isotopes in plants.**; *Geochimica et Cosmochimica Acta*.v.2, p.243-254, 1952.