



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

DENILSON PONTES FERREIRA

RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS DO FEIJÃO-CAUPI SOB DIFERENTES
DISPONIBILIDADES DE ÁGUA

BELÉM – PA
2017

DENILSON PONTES FERREIRA

**RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS DO FEIJÃO-CAUPI SOB DIFERENTES
DISPONIBILIDADES DE ÁGUA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Mestre. Orientador: Prof^o. Dr. Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza.

**BELÉM – PA
2017**

Ferreira, Denilson Pontes

Respostas ecofisiológicas do feijão-caupi sob diferentes disponibilidades de água / Denilson Pontes Ferreira. – Belém, PA, 2017. 69 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2017.

Orientador: Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza.

1. *Vigna unguiculata* (L.) Walp 2. Feijão-Caupi - Deficiência hídrica
3. Feijão-Caupi - Parâmetros fisiológicos 4. Feijão-Caupi – Produtividade
I. Souza, Paulo Jorge de Oliveira Ponte de, (orient.) II. Título

CDD – 633.33

DENILSON PONTES FERREIRA

**RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS DO FEIJÃO-CAUPI SOB DIFERENTES
DISPONIBILIDADES DE ÁGUA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza – Orientador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA

Dr. Roberto Lisboa Cunha – 1º Examinador
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL – EMBRAPA

Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto – 2º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA

Dr. Marcus José Alves de Lima – 3º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelas bênçãos, paz, discernimento, serenidade e dificuldades, pois graças a elas eu me torno uma pessoa mais forte e melhor por dentro.

As pessoas mais importantes da minha vida, minha mãe Fátima e meu filho Kauê, vocês são meus maiores motivos para nunca desistir e os principais responsáveis pelas minhas vitórias;

A toda minha família, ao meu filho Kauê, aos meus pais Fátima e Raimundo, aos meus avós “pais” Miguel Pontes, Sebastiana, Miguel Ferreira e Agostinha, aos meus irmãos Danielle, Delianne, David, Lais e Joycelem, as minhas sobrinhas Leticia e Luiza, aos meus tios e primos, que são os alicerces da minha vida e sempre acreditaram em mim;

Aos amigos Éverson, Walter, Junior, Rogério, Marco Antônio, Kezen e Nazaré pela amizade, incentivo e companheirismo;

A família que ganhei na universidade Denis de Pinho, Wagner Lopes, Richard de Nixon e Fernanda Mendonça, essa vitória é nossa, Obrigado!;

Aos amigos do grupo de pesquisa Interações solo-planta-atmosfera na Amazônia: Denis, Hildo, Vivian, Marcus, João, Bruna, Thaynara, Cenneya, Lucas, Thais, Gustavo, Hamilton, Vandeilson, Wylker, Allan, Igor, Erica, Irna, Lene e Deborah por toda a ajuda;

Aos funcionários da Fazenda Escola da UFRA em Castanhal: Seu Raimundinho, Tia Neide, Tia Andrea, Maradona, Gilson, Paulo, Tito, Fernando, Maciel, Nairo, Renato, Mica, Ladeira, Cledson, Darlan, Eric, Junior, Alexandre e Rogério por todo apoio nos experimentos de campo;

Aos amigos da Pós-graduação - UFRA: Josi Mescouto, Josué, Gledson, Ângelo, Bruna, Deymeson e William pelo incentivo, amizade e contribuições científicas;

Aos professores Hugo Pinheiro, Antônio Vinicius e Rafael Viana pelo suporte durante essa caminhada. Ao meu orientador, Professor Dr. Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza, por acreditar na minha capacidade mesmo em momentos difíceis e pelo exemplo de profissional;

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos;

E a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho científico.

“ Quando seu olhar cruzou meu caminho; Decidi não mais viver tão sozinho; Vi amor no seu olhar; Vi amor no seu olhar”

Muito Obrigado!

*Dedico ao meu filho Kauê,
Aos meus pais Fátima e Raimundo,
Aos meus avós e pais Miguel Pontes, Sebastiana, Miguel Ferreira e Agostinha,
Aos meus irmãos Danielle, David e Delianne,
As minhas sobrinhas Leticia e Luiza,
Ao restante da minha família e amigos.
Pelo amor, carinho, dedicação, incentivo, companheirismo e amizade!*

*“Cada sonho que você deixa para trás,
é um pedaço do seu futuro
que deixa de existir”*

Steve Jobs

SUMÁRIO

1 CONTEXTUALIZAÇÃO	13
OBJETIVOS	15
1.1 REVISÃO DE LITERATURA	16
1.1.1 Aspectos gerais do feijão-caupi	16
1.1.2 Cultivar BR3-Tracuateua	17
1.1.3 Aspectos socioeconômicos	17
1.1.4 Deficiência hídrica	19
1.1.5 Parâmetros fisiológicos	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
2 RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS DO FEIJÃO-CAUPI SOB DIFERENTES DISPONIBILIDADES DE ÁGUA	30
2.1 INTRODUÇÃO	30
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS	32
2.2.1 Local do experimento	32
2.2.2 Delineamento experimental	33
2.2.3 Condições do solo e cultivo	33
2.2.4 Tratamentos e Irrigação	34
2.2.5 Dados meteorológicos	37
2.2.6 Fenologia do feijão-caupi	39
2.2.7 Produtividade	40
2.2.8 Comportamento fisiológico	40
2.2.8.1 Curva diurna	40
2.2.8.2 Trocas gasosas e temperatura foliar	40
2.2.8.3 Potencial hídrico foliar	41
2.2.9 Análises estatísticas	42
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
2.3.1 Condições climáticas durante o período experimento	42
2.3.2 Disponibilidade hídrica	43
2.3.3 Potencial hídrico foliar, trocas gasosas e temperatura foliar	46
2.3.4 Produtividade	60
2.4 CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
APÊNDICE	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área do experimento.....	32
Figura 2. Coberturas móveis para tratamentos T4	35
Figura 3. Torre micrometeorológica (a), estação meteorológica automática (b), pluviômetro (c) e sensor de umidade do solo (d)	38
Figura 4. Fases vegetativas (Fases fenológicas vegetativas, V1(a), V2(b), V3(c), V4(d) e reprodutivas R5(e), R7(f), R8(g), R9(h) do feijão-caupi) e seus respectivos estádios fenológicos do feijão-caupi.....	40
Figura 5. Trocas gasosas verificadas com o IRGA.....	41
Figura 6. Determinação do potencial hídrico foliar.....	42
Figura 7. Valores médios diários de temperatura do ar (Tar), Evapotranspiração de referência (ET ₀), Radiação Solar Global (Rn) e Déficit de Pressão de Vapor (DPV) para os experimentos de 2015 e 2016	43
Figura 8. Umidade do solo para o período experimental nos anos de 2015 (a) e 2016 (b)	46
Figura 9. Valores médios de Potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}), em função da deficiência hídrica acumulada no solo para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa.....	48
Figura 10. Valores médios de condutância estomática (<i>g_s</i>), em função da deficiência hídrica acumulada no solo para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa.....	50
Figura 11. Valores médios de Fotossíntese (<i>A</i>), em função da deficiência hídrica acumulada no solo, para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa.....	52
Figura 12. Valores médios da concentração interna de CO ₂ (<i>C_i</i>), em função da deficiência hídrica acumulada no solo, para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa.....	54
Figura 13. Valores médios de Transpiração (<i>E</i>), em função da deficiência hídrica acumulada no solo, para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa.....	56
Figura 14. Valores médios de Temperatura foliar (<i>T_f</i>), em função da deficiência hídrica acumulada no solo, para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa.....	58
Figura 15. Valores médios de Condutância estomática (<i>g_s</i>), Fotossíntese (<i>A</i>), Transpiração (<i>E</i>) e Temperatura foliar (<i>T_f</i>) em função do Potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}), para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa	59

Figura 16. Produtividade em 2015 (A) e em 2016 (B) para o experimento com feijão-caupi, Castanhal-Pa.....60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo da área experimental	33
Tabela 2. Coeficiente da cultura (K_c) em função do estágio fenológico do feijão-caupi utilizado durante os dois anos de experimento	36
Tabela 3. Variáveis e instrumentos utilizados no experimento e a disposição em relação ao solo	38
Tabela 4. Escala fenológica do feijão comum adaptada para o caupi	39
Tabela 5. Lâminas aplicadas antes da diferenciação dos tratamentos (Irrigação fase vegetativa + Precipitação fase vegetativa), lâminas aplicadas após a diferenciação dos tratamentos (Irrigação fase Reprodutiva + Precipitação fase Reprodutiva), lâminas totais de água durante o experimento (Total), número de irrigações (NI) e ET_c Total, para o período experimental dos anos de 2015 e 2016	44
Tabela 6. Valores médios de Potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}), para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa	47
Tabela 7. Valores médios de condutância estomática (gs), para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa	49
Tabela 8. Valores médios de Fotossíntese (A), para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa	51
Tabela 9. Valores médios da concentração interna de CO_2 (C_i), para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa	53
Tabela 10. Valores médios de Transpiração (E), para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa	55
Tabela 11. Valores médios de temperatura foliar (T_f), para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa	57

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
FAPESPA	Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
g_s	Condutância Estomática
E	Transpiração
A	Fotossíntese
T_f	Temperatura foliar
Tar	Temperatura do ar
C_i	Concentração intercelular de dióxido de carbono
ETc	Evapotranspiração da cultura
ETo	Evapotranspiração de referência
AD	Água Disponível
PMP	Ponto de Murcha Permanente
AFD	Água Facilmente Disponível
CC	Capacidade de Campo
Kc	Coefficiente da Cultura
CO ₂	Dióxido de Carbono
Ψ_{wf}	Potencial hídrico foliar
DAS	Dias Após a Semeadura
DAIT	Dias Após o Início dos Tratamentos

RESUMO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma leguminosa bastante cultivada por pequenos e médios produtores das regiões Norte e Nordeste do Brasil. No Pará, o nordeste do estado é o polo produtivo de feijão-caupi, porém, a cultura ainda apresenta baixa produtividade, resultado de diversos fatores como baixa fertilidade dos solos e adversidade climática, principalmente a deficiência hídrica. Assim o presente trabalho teve como objetivo avaliar os parâmetros fisiológicos e a produtividade do feijão-caupi sob diferentes laminas de água no solo. O experimento foi conduzido no município de Castanhal, localizado na região nordeste do estado do Pará, nos meses de setembro a novembro dos anos de 2015 e 2016 em uma área de aproximadamente 0,5 hectare, localizada nas dependências da Fazenda Experimental da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), a cultivar utilizada foi a BR3-Tracuateua que é a recomendada para a região. Utilizou-se delineamento experimental de blocos ao acaso, com seis repetições e quatro tratamentos. A partir da fase reprodutiva (R5) houve diferença na disponibilidade de água no solo, o tratamento T1 consistiu na reposição de 100% da água perdida pela evapotranspiração da cultura (ET_c), T2 em 50%, T3 em 25% e T4 sem irrigação. As determinações das taxas de fotossíntese (*A*), condutância estomática (*g_s*), transpiração foliar (*E*), concentração interna de CO₂ (*C_i*) e temperatura foliar (*T_f*) foram realizadas por meio de um analisador de gás infravermelho portátil, e o potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}) foi determinado utilizando-se uma bomba de pressão tipo Scholander, em quatro coletas com periodicidade semanal, 7, 14, 21 e 28 dias sob restrição hídrica, nos estádios fenológicos R5, R7, R8 e R9, respectivamente. O feijão-caupi mostrou-se sensível as disponibilidades de água no solo, apresentando diferença significativa entre os tratamentos para variáveis fisiológicas e produtividade, com o tratamento T1 sempre exibindo melhores respostas em função dos demais. O tratamento T4 apresentou reduções de 85% e 86% na *A*, de 76% e 74% na *g_s*, de 69% e 67% na *E* e aumento de 4,09°C e 4,18°C na *T_f*, para os anos de 2015 e 2016, respectivamente. Ao se atingir um Ψ_{wf} de -0,88 MPa, ocorreram alterações importantes das variáveis estudadas, definindo esse valor como limiar para o estresse hídrico da cultura nas condições climáticas do nordeste paraense. A produtividade evidenciou que os diferentes níveis de água no solo influenciaram de forma direta em seu resultado, com T4 reduzindo em 57% para ambos os anos, demonstrando que a oferta hídrica ideal resulta no melhor crescimento e desenvolvimento da cultura, e, conseqüentemente, no aumento da produtividade.

Palavra chave: *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Deficiência hídrica. Parâmetros fisiológicos. Produtividade.

ABSTRACT

The cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) is a legume grown by small and medium producers in the North and Northeast of Brazil. In Pará, the northeastern state is the productive pole of cowpea, but the crop still presents low productivity, resulting from several factors such as low soil fertility and climatic adversity, mainly water deficiency. Thus the present work had as objective to evaluate the physiological parameters and the productivity of the cowpea under different layers of water in the soil. The experiment was conducted in the municipality of Castanhal, located in the northeastern region of the state of Pará, in the months of September to November of the years 2015 and 2016 in an area of approximately 0,5 hectare, located in the dependencies of the Experimental Farm of the Federal Rural University Of Amazonia (UFRA), the cultivar used was BR3-Tracuateua, which is recommended for the region. A randomized complete block design with six replicates and four treatments was used. From the reproductive phase (R5) there was a difference in the availability of water in the soil, T1 treatment consisted in the replacement of 100% of the water lost by the evapotranspiration of the crop (ETc), T2 in 50%, T3 in 25% and T4 without irrigation. The determinations of the photosynthesis rates (A), stomatal conductance (g_s), leaf transpiration (E), CO₂ internal concentration (C_i) and Leaf temperature (T_f) were performed by means of a portable infrared gas analyzer, and the potential (Ψ_{wf}) was determined using a Scholander type pressure pump, in four collections with weekly intervals, 7, 14, 21 and 28 days under water restriction, at the phenological stages R5, R6, R7 and R9 respectively. Cowpea were sensitive to the availability of water in the soil, presenting a significant difference between treatments for physiological variables and productivity, with T1 treatment always showing better responses in function of the others. T4 treatment showed reductions of 85% and 86% in A , 76% and 74% in g_s , 69% and 67% reductions in E and an increase of 4.09°C and 4.18°C in T_f for the years 2015 and 2016, respectively. When a Ψ_{wf} of -0.88 MPa was reached, important changes of the studied variables occurred, defining this value as a threshold for the water stress of the crop in the climatic conditions of the northeast of Para. The productivity showed that the different levels of water in the soil had a direct influence on its result, with T4 reducing by 57% for both years, demonstrating that the ideal water supply results in the best growth and development of the crop, and consequently in the increase of productivity.

Key words: *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Water deficit. Physiological parameters. Productivity.

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Vigna unguiculata (L.) Walp., comumente chamado de feijão-caupi, feijão-de-corda ou feijão macassar, é um alimento básico para a população nas regiões Norte e do Nordeste do Brasil, sendo uma das principais culturas alimentares destas regiões (ONWULIRI e OBU, 2002). No País são cultivadas várias espécies de feijão, entretanto, para efeito de regulamento técnico, somente as espécies *Phaseolus vulgaris* (L.) e *Vigna unguiculata* (L.) Walp., feijão comum e feijão-caupi, respectivamente, são consideradas como feijão pelo MAPA (MAPA, BRASIL, 2008). A produção de feijão-caupi concentra-se nas regiões Nordeste e Norte e vem se expandindo para a região Centro-Oeste, principalmente para o Estado de Mato Grosso (FREIRE FILHO et al., 2011).

Na região Nordeste, a produção tradicionalmente concentra-se nas áreas semiáridas, onde outras culturas leguminosas anuais não se desenvolvem satisfatoriamente em razão da irregularidade das chuvas e de altas temperaturas (FREIRE FILHO et al., 2011). Nesta região, a produção do feijão-caupi tem apresentado ao longo dos últimos anos variações importantes de acréscimo e decréscimo, com tendência oscilante (FREITAS, 2012). Essas variações na produção são características de regiões cujos processos produtivos são subordinados ao clima, em que um ano de distribuição de chuva regular quase sempre é seguido por uma distribuição irregular, com reflexos na produção (FROTA e PEREIRA, 2000).

No Pará, o nordeste do estado é caracterizado como o polo produtivo de feijão-caupi, onde vem sendo realizado elevado investimento por parte dos centros de pesquisas para a obtenção de cultivares mais adaptadas às diversas condições através do avanço tecnológico nos sistemas de produção (FREIRE FILHO et al., 2009). Segundo a FAPESPA (2015), o caupi ainda apresenta baixa produtividade no estado, atingindo em torno de 669 kg ha⁻¹, resultado de diversos fatores como o manejo incorreto das sementes, baixa fertilidade dos solos e adversidade climática, principalmente a deficiência hídrica (MEDICI et al., 2007).

A carência da oferta de água no cultivo do feijoeiro pode modificar de forma significativa todas as fases de seu desenvolvimento, alterando seu ciclo. Cardoso et al. (2000) relatam que a deficiência hídrica no estágio inicial afeta sensivelmente a germinação, afetando, o estabelecimento da cultura, podendo, inclusive, paralisar o crescimento, e conseqüentemente retardar o desenvolvimento.

Segundo Azevedo et al., (2011) a deficiência de água limita a obtenção de elevadas produtividades de grãos de feijão-caupi, e o seu rendimento é afetado com maior ou menor intensidade em função da duração e da época de ocorrência da deficiência hídrica nessa cultura.

Nesse sentido, é possível que no Brasil possam ocorrer variações na produtividade entre os anos. Nascimento et al. (2004) ressaltam a importância de se conhecer a resposta da cultura a restrição hídrica quando se busca produtividade, sendo importante também saber a relação entre o consumo de água e a produção.

A deficiência hídrica afeta a capacidade produtiva das plantas, inicialmente devido ao fechamento estomático, com conseqüente redução da absorção de CO₂ (CHAVES et al., 2002), mas conforme o aumento da intensidade do estresse, ocorrem várias alterações metabólicas (RIBEIRO et al., 2008), culminando com a queda das folhas nas espécies (SANTANA e SOUTO, 2011). Outros aspectos relacionados ao estresse hídrico incluem a diminuição da absorção de nutrientes minerais (GONZALEZ et al., 2010) e a redução do crescimento celular (CHAVES et al., 2009) e da planta (BENGOUGH et al., 2011).

Ao avaliar o efeito do estresse hídrico na fase vegetativa e reprodutiva, sobre o crescimento do feijão-caupi, Leite e Virgens Filho (2004) constataram que houve efeitos negativos sobre o crescimento da cultura, que se acentuaram com os déficits hídricos de maior duração, tanto na fase vegetativa quanto na fase reprodutiva, resultando em progressiva redução da matéria seca total, de folhas, flores e frutos. Em condições de deficiência hídrica prolongada, as plantas diminuíram acentuadamente seu crescimento, evidenciando um período de repouso fisiológico, porém com capacidade de retomar suas atividades após o fim do período estressado (FREITAS, 2012).

Assim, são necessários estudos sobre o comportamento fisiológico e produtivo do feijão-caupi que propiciem conhecimento sobre a disponibilidade de água, pois é de fundamental importância na medida em que é capaz de representar alternativa que possibilite aumentar a eficiência do uso da água pela cultura e elevando o rendimento de grãos. Diante disto o presente trabalho visa responder a seguinte questão científica: A disponibilidade de água no solo abaixo da ideal no cultivo de feijão-caupi influencia na fisiologia da espécie, diminuindo a sua produção de grãos? A hipótese testada é de que a redução do conteúdo de água no solo reduz o potencial hídrico da planta e trocas gasosas, diminuindo sua produtividade.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Avaliar os parâmetros ecofisiológicos e a produtividade do feijão-caupi sob diferentes lâminas de água no solo.

Objetivos Específicos

Analisar os parâmetros fisiológicos (potencial hídrico, trocas gasosas e temperatura foliar).

Determinar o limiar das variáveis fisiológicas como indicador do estresse hídrico para o feijão-caupi.

Avaliar a produtividade do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos.

1.1 REVISÃO DE LITERATURA

1.1.1 Aspectos gerais do feijão-caupi

O feijão-caupi é uma dicotiledônea pertencente à ordem Fabales, família Fabacea, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolinae, gênero *Vigna*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (ONOFRE, 2008).

O caupi é uma cultura de origem africana que foi introduzida no Brasil na segunda metade do século XVI pelos colonizadores portugueses no estado da Bahia (FREIRE FILHO, 1988), possui crescimento rápido, leguminosa anual, herbácea, possibilita boa cobertura ao solo, suas flores são hermafroditas e auto férteis, produz frutos do tipo vagem, se desenvolvendo bem em condições de alta temperatura, solos arenosos ou de textura média, com boa drenagem (FREIRE FILHO, 2005). A propagação é feita por sementes, apresenta autofecundação e uma taxa muito baixa de alopoliploidia ou fecundação cruzada (TEÓFILO et al., 1999),

Segundo Dutra (2007), o feijão-caupi é cultivado para a produção de grãos, secos ou verdes, visando o consumo humano in natura, na forma de conserva ou desidratado. Além disso, também é utilizado como forragem verde, feno, ensilagem, farinha para alimentação animal e, ainda, para a adubação verde e proteção do solo (ANDRADE JÚNIOR, 2000). Apresenta ciclo curto, em torno de 60 a 80 dias, baixa exigência hídrica, fertilidade do solo e é adaptado às condições de temperaturas elevadas (EMBRAPA, 2003). Os principais produtores no mundo de feijão-caupi são a Nigéria, Níger, Brasil, Mali e Tanzânia (FREIRE FILHO, 2011). Segundo Lima Filho et al., (2013) no Brasil, a produção concentra-se predominantemente na região do semiárido nordestino e pequenas áreas da Amazônia, sendo amplamente cultivado pelos pequenos produtores. É uma das leguminosas mais adaptadas, estratégicas e nutritivas entre as espécies cultivadas.

No Brasil nas Regiões Norte e Nordeste, o feijão-caupi constitui uma das principais alternativas sociais e econômicas de suprimento alimentar e geração de emprego, pelo alto valor nutritivo e baixo custo de produção (OLIVEIRA, 2011). Estimou-se que nos anos de 2005 a 2009, a cultura do caupi tenha sido responsável pela geração de 1.113.109 empregos por ano no Brasil, produzindo suprimento alimentar para 28.205.327 pessoas e gerando uma produção anual no valor de R\$ 684.825.33 (FREIRE FILHO, 2011). É amplamente cultivado pelos pequenos e médios produtores, constituindo um dos principais componentes da dieta alimentar (FREIRE FILHO et al., 2005). E atualmente a cultura está conquistando espaço na região Centro-Oeste, em razão do desenvolvimento de cultivares com características que favorecem o cultivo mecanizado (TEIXEIRA et al., 2010).

Segundo a EMBRAPA MEIO NORTE (2003), além de fonte de proteínas e carboidratos, destaca-se pelo alto teor de fibras alimentares, vitaminas e minerais, além de

possuir baixa quantidade de lipídios. Segundo Iqbal et al. (2003), apresenta um aminoácido essencial que é a lisina, onde a maioria dos cereais são deficientes do mesmo. Assim Freire Filho et al. (2004), relatam que esta leguminosa pode ser considerada estratégica para a agricultura brasileira.

1.1.2 Cultivar BR3-Tracuateua

A cultivar BR3-Tracuateua foi lançada em 1984 pelo Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (CPATU), atualmente Embrapa Amazônia Oriental, foi amplamente difundida no Estado do Pará, e muito bem aceita na região Bragantina, onde passou a ser cultivada em larga escala (EMBRAPA, 2005).

Apesar dos esforços dos produtores de sementes certificadas e agricultores, as novas cultivares logo se tornam contaminadas com cultivares estranhas, havendo assim, necessidade de purificações periódicas para manter a pureza e identidade das mesmas (ALLARD, 1971). Assim foi com a cultivar BR3-Tracuateua, que perdeu sua identidade genética após anos de cultivo, havendo a necessidade de um trabalho de purificação e relançamento comercial (FREIRE FILHO et al., 2005b). A cultivar acumulou variações no tipo de porte e de folha, cor da flor, forma e tamanho de grãos, a falta de uniformidade passou a dificultar o manejo da lavoura, especialmente a colheita, e a comprometer os preços obtidos pelos produtores (EMBRAPA, 2005).

Para recuperar o tipo original da cultivar, foi realizado um trabalho de seleção de plantas individuais com teste de progênies, onde a que sobressaiu-se foi a progênie 235, para ser rerepresentada como BR3-Tracuateua Purificada, que apresenta um porte prostrado, geralmente não forma um grande volume de ramas, possui inserção das vagens no nível da folhagem, grãos de cor branca, grandes, reniformes e com tegumento levemente enrugado, com seu ciclo variando de 60 a 75 dias, seu plantio ocorre principalmente entre os meses de dezembro e março, que é quando se tem água prontamente disponível ou com uso de irrigação. Nos ensaios, realizados pela EMBRAPA a cultivar BR3-Tracuateua purificada apresentou uma média de produtividade de 1.435,6 kg por hectare, superando a cultivar original em 9% (EMBRAPA, 2005).

1.1.3 Aspectos socioeconômicos

O feijão-caupi, cultivado na Ásia, África e na América do Sul é uma leguminosa de grande importância nas regiões tropicais e subtropicais do mundo (LIMA, 2008). Segundo a SEAB (2015), no Brasil é conhecido nas regiões de cultivo como: Nordeste (feijão macassa,

feijão macassar, feijão-de-corda, feijão-de-moita), Norte (feijão-de-praia), Bahia (feijão Catador), Bahia e norte de Minas Gerais (feijão gurutuba), Maranhão (Trepapau), Bahia e Rio de Janeiro (feijão Fradinho) e no Sul (Feijão Miúdo), em outros países: Paraguai (Cumondá), EUA e Nigéria (Cowpea) e países de latino americanos de língua espanhola (Parotro).

Segundo dados da FAO (2015), a produção mundial média de feijão-caupi, 2010 a 2013, foi de 6,576 milhões de toneladas. O principal país produtor de caupi é a Nigéria que responde por 50% da produção mundial, em seguida vem o Níger, com 23% do volume total médio e em terceiro Burkina Faso com 9%. As três nações respondem por 81% da produção mundial de feijão-caupi seco (FAO, 2015). É uma das principais culturas anuais dos trópicos, onde sua importância econômica social é explicitada pelos mais de 11 milhões de hectares plantados ao redor do mundo (LANGYINTUO et al., 2003). Segundo Oliveira (2012), a cultura é responsável por 34% e 15,6%, respectivamente, da área plantada e a produção de feijão do Brasil, para cada hectare cultivado gera-se um emprego/ano. Considerando o consumo per capita de 19,56 kg pessoa⁻¹ano⁻¹ e o preço médio histórico da saca de US\$ 31,96 (AGRIANUAL, 2013). Segundo Freire Filho (2011), entre os anos de 2005 e 2009, a leguminosa foi responsável pela geração de 1.113.109 empregos no Brasil.

As Regiões Nordeste e Norte do Brasil destacam-se por apresentarem maior consumo de feijão-caupi, especialmente na zona rural. Variando de 9,2 a 21,8 kg pessoa⁻¹ano⁻¹, de acordo com o Estado, a média regional é 15 kg pessoa⁻¹ano⁻¹ (ROCHA e FREIRE FILHO, 2013). Nessas regiões a leguminosa tem uma grande importância como fonte geradora de emprego e renda, está entre as principais culturas de subsistência, pelo alto índice de proteína, caracterizando-se como uma cultura de alto valor estratégico e energético (FREIRE FILHO et al., 2005a). Na Região Norte, os principais estados produtores de feijão caupi são: Amapá, Pará, Rondônia e Roraima (EMBRAPA, 2015).

Observa-se uma expansão na área e um aumento no consumo desta leguminosa nos últimos anos, tornando-se excelente alternativa de comercialização para os agricultores das regiões Norte e Nordeste e Centro Oeste (NASCIMENTO, 2009). É importante salientar que a FAO não contabiliza a produção brasileira, deixando assim de ocupar a terceira posição de país que mais produz a espécie, e que o IBGE não separa os dados de área e produção do feijão-comum e feijão-caupi. Segundo Damasceno (2009), a ausência de informações sobre a produção do caupi torna-se um grande entrave às exportações brasileiras, já que o mercado internacional desconhece a real produção da cultura, pois os órgãos oficiais não expõem os dados.

1.1.4 Deficiência hídrica

A frequência e a intensidade da deficiência hídrica constituem os fatores mais importantes à limitação da produção agrícola mundial (CARLESSO e SANTOS, 1998), pois segundo Nogueira et al. (2001), afeta as relações hídricas nas plantas alterando seu metabolismo, e é um fenômeno que ocorre em grandes extensões de áreas cultiváveis. Uma planta pode estar submetida a vários tipos de estresses ambientais. Entretanto, o estresse por deficiência hídrica é considerado como a maior restrição na produção e estabilidade da produtividade de culturas em muitas regiões do mundo (HEINEMANN, 2010).

De acordo com Ortolani e Camargo (1987) sem se considerar os efeitos extremos, esta limitação é responsável por 60 a 70% da variabilidade final da produção, razão por que, no planejamento da agricultura irrigada, é de fundamental importância o conhecimento das condições meteorológicas durante o período de desenvolvimento das plantas, principalmente quanto aos períodos de baixa precipitação e elevada demanda na evapotranspiração.

O primeiro efeito da carência hídrica na planta é a perda de turgidez, devido à diminuição do conteúdo de água, onde a célula encolhe e as paredes irão relaxar, o crescimento celular da planta é um processo que depende da turgidez (SEIXAS, 2015) a sensibilidade do desenvolvimento das folhas a deficiência hídrica pode mudar durante o dia, ou nas diferentes estações do ano (SHULTZ e MATTEWS, 1993). Segundo Larcher (2006), associada a esta diminuição da turgescência está a diminuição do processo de crescimento e expansão da planta, onde Kerbaury (2009) relata ainda que quando sofrem deficiência hídrica levam a inibição da fotossíntese e produtividade de cultivos.

Para Petry (1991) a importância da manutenção do turgor nas células é permitir a continuidade dos processos de crescimento vegetal, expansão, divisão celular e fotossíntese; outro fator é a possibilidade de adiar a desidratação dos tecidos, podendo essas reservas serem usadas em períodos posteriores do ciclo. Uma vez iniciado o primórdio foliar, o tamanho final atingido é determinado pelo índice de duração da divisão e expansão celular (CARLESSO e SANTOS, 1998).

A condescendência à seca em plantas não é um mecanismo fácil, e sim muito complexo para adaptações que possam trabalhar em conjunto ou isoladamente, para evitar ou tolerar períodos prolongados de deficiência hídrica. Segundo Cordeiro et al. (2009), afirmam que períodos de seca tornam limitante a produtividade das plantas sempre que a deficiência hídrica é suficiente para interferir na assimilação de carbono e produção de fotoassimilados.

Desta forma, ressalta-se que a água é um recurso cada vez mais limitante ao desenvolvimento e produção vegetal e daí a necessidade de técnicas que permitam aumentar a

produtividade das culturas a cada unidade de volume de água aplicada (SANTOS, 2012). Segundo Coêlho et al. (2014), é necessário saber a quantidade de água a ser fornecida em cada cultivo para que seja feito um bom manejo, em que as plantas se desenvolvam de forma satisfatória, com uma boa qualidade de produção, evitando desperdícios e reduzindo custos na irrigação, evitando gastos desnecessários com energia e mão-de-obra para operação e manejo do sistema, que representam importantes despesas adicionais à produção.

Segundo Santos (1998), uma das muitas atuações da pesquisa está em se direcionar para um entendimento mais completo das respostas das plantas a deficiência hídrica, para isto, necessita-se de um programa amplo, multidisciplinar, que aborde os elementos de meteorologia, física do solo, fisiologia vegetal e o conhecimento do crescimento e desenvolvimento das plantas, para que esses elementos possam contribuir para uma solução comum no entendimento da resposta das plantas a deficiência hídrica.

1.1.5 Parâmetros fisiológicos

A deficiência hídrica é um dos fatores que afetam a produção agrícola com maior frequência e intensidade, influenciando praticamente todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento vegetal, diminuindo a taxa de fotossíntese pela redução da área foliar e afetando vários outros processos fisiológicos, como condutância estomática e transpiração, além de alterar o ambiente físico das culturas (FONTANA et al., 1992). Segundo Jaleel et al. (2009), afirmam que a redução do teor de água na planta, a diminuição do potencial hídrico foliar com a perda de turgor, o fechamento dos estômatos e a diminuição do crescimento celular constituem respostas de uma planta submetida ao estresse hídrico.

O controle estomático é importante propriedade fisiológica por meio da qual as plantas limitam a perda de água, o que reduz a condutância estomática e as trocas gasosas como forma de resposta das plantas ao déficit hídrico (PAIVA et al., 2005). De acordo com Oliveira (2011), a disponibilidade de água no solo afeta o crescimento das plantas por controlar a abertura dos estômatos e, conseqüentemente, a produção de fitomassa. O decréscimo de água no solo diminui o potencial de água na folha e sua condutância estomática, promovendo o fechamento dos estômatos. Esse fechamento bloqueia o fluxo de CO₂ para as folhas, afetando o acúmulo de fotoassimilados, o que pode reduzir a produtividade (NASCIMENTO, 2009).

O efeito da restrição hídrica é muito diferente e depende também da intensidade da deficiência de água no solo em que a planta está sujeita. Uma redução na condutância estomática afeta uma série de interações planta-ambiente, uma vez que os estômatos são pontos de controle de vapor d'água e balanço de energia entre o vegetal e o ambiente (LUZ, 2008).

Segundo Cordeiro (2012), embora a redução na taxa de perda de água possa representar uma vantagem imediata para prevenir a desidratação do tecido, ela pode afetar diretamente o balanço de calor sensível sobre o vegetal, e ainda a absorção de CO₂ e conseqüentemente a taxa fotossintética. Segundo Kozlowski e Pallardy (1996), os efeitos prejudiciais da deficiência hídrica no processo fotossintético podem durar semanas ou até meses, porém as plantas estressadas têm capacidade fotossintética de se recuperar, o que pode estar associada à capacidade dos estômatos reabrirem parcial ou totalmente e com as injúrias sofridas pelo aparelho fotossintético, como a síntese de proteínas. Segundo Jones (1985), o estresse hídrico reduz a fotossíntese de três maneiras: pela redução na área foliar disponível para interceptar a radiação solar, pela redução da difusão do CO₂ para dentro da folha e pela redução da habilidade dos cloroplastos para fixar o CO₂ que neles penetram.

A medida que a disponibilidade de água no sistema diminui, há controle da transpiração, em decorrência do fechamento parcial ou total dos estômatos (CHAVES et al., 2004). Este é um mecanismo que as plantas usam como forma de defesa contra perdas exageradas de água e eventual morte por dessecação (GLENN et al., 2000). Segundo Larcher (2004), mais de 90% da água absorvida pela planta pode ser consumida pela transpiração, ocorrendo em qualquer parte do organismo vegetal acima solo, sendo no caso as folhas as principais responsáveis. A transpiração nas folhas acontece através da perda de água da superfície das células do mesófilo, principalmente, através dos estômatos, cutícula, e em menor extensão, através das lenticelas e da casca (TATAGIBA, 2006). Em condições normais, a taxa de transpiração nas folhas é determinada especialmente pela radiação, déficit de saturação e pela condutância estomática (OLIVEIRA, 2013). As culturas perdem quase a totalidade da água através dos estômatos, a vaporização ocorre no interior da folha, nos espaços intercelulares, e a troca de vapor com a atmosfera é controlada pela abertura estomática (REICHARDT e TIMM, 2012).

Em casos de deficiência hídrica severa, quando a disponibilidade de CO₂ está em níveis extremamente reduzidos, a planta utiliza dióxido de carbono proveniente da respiração para manter um nível mínimo de atividade fotossintética (RAVEN et al., 2001). Nascimento (2009), avaliando o crescimento e o desenvolvimento do feijão-caupi sob diferentes lâminas de irrigação, verificou redução marcante da área foliar da cultura, à medida que se intensificou o estresse hídrico. De acordo com Taiz e Zeiger (2013) essa redução ocorreu devido, a deficiência hídrica reduzir o potencial hídrico das plantas, diminuindo a condutância e a transpiração foliar. Como consequência há um aumento da temperatura foliar e redução na produção de fotoassimilados, causando redução no crescimento e na produtividade da cultura (LOCATELI, 2013).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL - **Anuário Estatístico da Agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio, 2003. 532 p.

ALLARD, R. W. **Princípios do melhoramento genético das plantas**. Rio de Janeiro: Edgard Blucher, 381p. 1971.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. Viabilidade da irrigação, sob risco climático e econômico, nas microrregiões de Teresina e Litoral Piauiense. **Tese (Doutorado)** – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2000.

ARAÚJO, R. L. ESTRESSE HÍDRICO E SALINO SOBRE CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS DO FEIJÃO-CAUPI. **Dissertação** Mestrado. Universidade Federal do Piauí, Teresina. 2016.

AZEVEDO, B. M., Fernandes, C. N. V., Pinheiro, J. A., Braga, E. S., Campêlo, A. R., de Araújo Viana, T. V., & Marinho, A. B. EFEITOS DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NA CULTURA DO FEIJÃO VIGNA DE COR PRETA. **Agropecuária Técnica**, 32(1), 152-159, 2011.

BENGOUGH, A. G. et al. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 1, p. 59-68, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 12 de 28 mar. 2008. **Diário Oficial** [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 31 mar. Seção 1, p. 11-14, 2008.

BRUNINI, O.; CARDOSO, M. Efeito do déficit hídrico do solo sobre o comportamento estomático e potencial da água em mudas de seringueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1053-1060, 1998.

CARDOSO, M. J.; MELO, F. B.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; LIMA, M. G. **Clima e aspectos de plantio**. In: **CARDOSO, M. J. (Org.) A cultura do feijão-caupi no Meio-Norte do Brasil**. Teresina: Embrapa/Meio-Norte, 264p. (Circular técnica, 28), 2000.

CARLESSO, R.; SANTOS, R. F. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 287-294.1998.

CHAVES, J.H.; REIS, G.G.; R, M.G.F. et al. Early selection of eucalypt clones to be planted in environments with varying soil water availability: water relations of plants in small size plastic tubes. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.3, p.333-341, 2004.

CHAVES, M. M. et al. How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. **Annals Botany**, Oxford, v. 89, n. 7, p. 907-916, 2002.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, n. 4, p. 551-560, 2009.

COÊLHO, M.R.V. Alterações fisiológicas e metabólicas em *hyptis fruticosa* salzm. ex. benth e *ocimum gratissimum* L. sob diferentes regimes hídricos. 87 p. **Dissertação** (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Federal de Feira de Santana, Feira de Santana, 2014.

COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO - CONAB. **Oitavo levantamento de avaliação da safra 2007/2008**. Brasília, CONAB, 2008. 22p. < http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/12_levantamento_s_t2008.pdf >. 25 jul. 2016.

CORDEIRO, Y. E. M.; PINHEIRO, H. A. ; FILHO, B. G. S. ; CORREA, S. S. ; SILVA, J. R. R. E.; FILHO, M. B. D. . Physiological and morphological responses of young mahogany (*Swietenia macrophylla* King) plants to drought. **Forest ecology and management**, v. 258, p. 1449-1455, 2009.

CORDEIRO, Y.E.M. Potencial de uso em recuperação de áreas degradadas: um estudo de três espécies nativas da Amazônia oriental sob dois regimes hídricos. **Tese** (Doutorado em Ciências Agrárias) -Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2012.

DAMASCENO, S. K. J. Produção, avanços e desafios para cultura do Feijão- Caupi no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2; Reunião Nacional de Feijão-Caupi, 7., Belém, PA. Da agricultura de subsistência ao agronegócio: **Anais...** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009.

DUTRA, A. S.; TEÓFILO, E. M. Envelhecimento acelerado para avaliar o vigor de sementes de feijão-caupi. **Revista Brasileira de sementes**, v. 29, n. 1, p. 193-197, 2007.

EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. **Cultivar de Feijão Caupi: BR3 – Tracueteua purificada para o estado do Pará.** Ano 2005. Disponível em < http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/br3tracueteua_000fljvhfns02wyiv80lcx0a9xtkboga.pdf >. Acessado em 23 Set 2016.

EMBRAPA MEIO NORTE. **Cultivo do feijão-caupi. Sistemas de Produção, 2.** Versão Eletrônica. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoCaupi/autores.htm>. 2003. Acesso em: 30 jun. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **A importância econômica do feijão caupi,** 2015. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijaocaupi/arvore/CONTAG01_14_510200683536.html. Acesso: 15 set. 2016.

FAO. **Water in agriculture: opportunity untapped.** Rome: food and agriculture organization of the united nations, 2013. Disponível em: <http://www.fao.org/publications/en/>. Acesso: 7 jul. 2016

FAO. **Water in agriculture: opportunity untapped.** Rome: food and agriculture organization of the united nations, 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/publications/en/>. Acesso: 7 jul. 2016

FAPESPA. 2015. Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará. **Boletim Agropecuário do estado do Pará 2015.** Disponível em: http://www.fapespa.pa.gov.br/sites/default/files/Boletim_Agropecuario_do_Estado_do_Para_2015.pdf. Acesso: 4 de nov. 2016.

FILGUEIRAS, G. C. et al. Aspectos socioeconômicos. In: ZILLI, J. E.; VILARINHO, A. A.; ALVES, J. M. A. **A Cultura do Feijão caupi na Amazônia Brasileira.** Boa Vista, RR: EMBRAPA RORAIMA, 35 p. 2009.

FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H. Alterações micrometeorológicas na cultura da soja submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** v.27, n.5, p.661669, 1992.

FREIRE FILHO, F. R. **Feijão-caupi no Brasil: Produção, melhoramento genético, avanços e desafios.** Teresina, EMBRAPA Meio Norte, 84p. 2011.

FREIRE FILHO, F. R. **Origem, evolução e domesticação do caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)** In: ARAÚJO, J. P. P. de; WATT, E.E. Org. O Caupi no Brasil. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF/ Ibadan: IITA, p.25-46,1988.

FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). **Feijão caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 191-210, 2005.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, P. D.; SANTOS, A. A. Melhoramento Genético. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 29-92, 2005 a.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. M.; LOPES, A. C. A. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi. **Rev Ciência Rural**, v.35, p.24-30, Ano 2005b.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; NOGUEIRA, M. S. R.; RODRIGUES, E. V. Produção, melhoramento genético e potencialidades do feijão-caupi no Brasil. In: Reunião de Biofortificação, 4., 2011, Teresina. **Anais...** Teresina: EMBRAPA, CPAMN, p.21, Ano 2011.

FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J.A.A.; VIANA, F.M.P.; RIBEIRO, V.Q. **Feijão caupi: avanços tecnológicos**. Teresina: Embrapa Meio- Norte, 640p, 2004.

FREIRE FILHO, M.M.; CRAVO, M.S.; ROCHA, M.M.; CASTELO, E.O.; BRANDÃO, E.S.; BELMINO, C.S. **BR3 – Tracueteua purificada: cultivar de feijão-caupi para o estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 4p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado Técnico, 134), 2005b.

FREITAS, R. M. O. Crescimento e produção de feijão caupi sob efeito de veranico nos sistemas de plantio direto e convencional. **Dissertação** (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural Do Semi-Árido, Mossoró, 2012.

FROTA, A. A. A.; PEREIRA, P. R. Caracterização do feijão-caupi na região meio-norte do Brasil. In: CARDOSO, M. J. (Org.). **A cultura do feijão-caupi no meio-norte do Brasil**. Teresina: EMBRAPA Meio-Norte, 264p. 2000.

FUNDAÇÃO AMAZÔNIA DE AMPARO A ESTUDOS E PESQUISAS DO PARÁ. **Boletim Agropecuário do Estado do Pará 2015**. Belém, nº 1, 38 f.: il. Julho 2015.

GHOLZ, H. L.; EWEL, K. C.; TESKEY, R. O. Water and forest productivity. **Forest Ecological Management**, Amsterdam, v.30, n.1, p.118, 1990.

GLENN, D. M., SCORZA, R. BASSETT, C. Physiological and morphological traits associated with water use efficiency in the willow-leaf peach. **Hortsci.**, v.35, n.7, p. 1241-43, 2000.

GOLLAN, T.; PASSIOURA, J. B., MUNNS, R. Soil water status effects the stomatal conductance of fully turgid wheat and sunflower leaves. **Australian Journal Plant Physiology**, v.13, p.459-464, 1986.

GONZALEZ-DUGO, V.; DURAND, J.; GASTAL, F. Water deficit and nitrogen nutrition of crops. A review. *Agronomy Sustainable Development*, **Baghdad**, v. 30, n. 3, p. 529-544, 2010.

HEINEMANN, A.B. Caracterização dos padrões de estresse hídrico para a cultura do arroz (ciclo curto e médio) no estado de Goiás e suas consequências para o melhoramento genético. **Ciência & Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 29-36, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção agrícola municipal: arroz em casca e feijão em grão**. Brasília: IBGE, 2008.

IQBAL, A.; KHALIL, I. A.; SHAH, H. Nutritional yield and amino acid profile of rice protein as influenced by nitrogen fertilizer. **Sarhad Journal of Agriculture**, v. 19, n. 1, p. 127-134, 2003.

JALEEL, C.A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H.J.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of Agricultural Biology**, Faisalabad, v. 11, p. 100–105, 2009.

JONES, C. A. C4 grasses and cereals: Growth, development and stress response. **New York**: Jhon Wiley, 419 p. 1985.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 452 p. 2009.

KOSLOWSKI, T.T.; PALLARDY, S.G. **Physiology of woody plants**, 2.ed. San Diego, 411p. 1996.

LANGYINTUO, A. S.; LOWENBERGDEBOER, J.; FAYE, M.; LAMBERT, D.; IBRO, G.; MOUSSA, B.; KERGNA, A.; KUSHWAHA, S.; MUSA, S.; NTOUKAM, G. Cowpea supply and demand in west and central Africa. **Field Crops Research**, v.82 p.215-231, 2003.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 531p. 2004.

LEITE, M. L.; VIRGENS FILHO, J. S. Produção de matéria seca em plantas de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a déficits hídricos. **Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v. 10, n. 1, p. 43-51, 2004.

LIMA, A. A. F. Respostas fisiológicas de cultivares de feijão [*Phaseolus vulgaris* (L) e *Vigna unguiculata* (L.) walp] submetidas à deficiência hídrica: uma alternativa para a agricultura familiar do semiárido sergipano. **Dissertação**. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2008.

LIMA FILHO, A. F. L.; COELHO FILHO, M. A.; HEINEMANN, A. B. Calibração e avaliação do modelo CROPGRO para a cultura do feijão caupi no Recôncavo Baiano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.1286-1293, 2013.

LOCATELLI, V. E. R. Desempenho de feijão-caupi sob lâminas de irrigação cultivado sobre palhada no cerrado de Roraima. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia)- Universidade Federal de Roraima, Boa Vista. 2013.

LUZ, G. L. Frequência de irrigação no cultivo hidropônico de alface. **Dissertação** (Mestrado em agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

MAIA, F. M. M. Composição e caracterização nutricional de três cultivares de *Vigna unguiculata* (L.) Walp: EPACE-10, Olho de ovelha e IPA-206. **Dissertação** (Mestrado em Fitotecnia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1996.

MEDICI, L. O.; AZEVEDO, R. A.; CANELLAS, L.P.; MACHADO, A.T.; PIMENTEL, C. **Stomatal conductance of maize under water and nitrogen deficits**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 42, n. 4, p. 599-601, 2007.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Instrução Normativa nº 12 de 28 mar. 2008**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 31 mar. Seção 1, p. 11-14. 2008.

NASCIMENTO, J.T.; PEDROSA, M.B.; TAVARES SOBRINHO, J. Efeito da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção de feijão caupi, vagens e grãos verdes. **Horticultura Brasileira**, v.22, n.2, p.174-177. 2004.

NASCIMENTO, SP do. Efeito do déficit hídrico em feijão-caupi para identificação de genótipos com tolerância à seca. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal do Piauí, Teresina. 2009.

NOGUEIRA, R.J.M.C.; MORAES, J.A.P.V.; BURITY, H.A.; BEZERRA NETO, E. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 13, p. 75-87, 2001.

OLIVEIRA, G. A. et al. Resposta do feijão-caupi as lâminas de irrigação e as doses de fósforo no cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 872-882, 2011.

OLIVEIRA, S. R. M. Densidade populacional do feijão-caupi sob níveis de irrigação. **Tese** (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

ONOFRE, A. V. C. Diversidade genética e avaliação de genótipos de feijão-caupi contrastantes para resistência aos estresses bióticos e abióticos com marcadores SSR, DAF, e ISSR. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

ONWULIRI, A. V.; OBU, A. J. Lipids and other constituents of *Vigna unguiculata* and *Phaseolus vulgaris* grown in northern Nigéria. **Food Chemistry**, Oxford, v. 78, n. 1, p. 17, 2002.

ORTOLANI, A.A.; CAMARGO, M.B.P. Influência dos fatores climáticos na produção. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, p.71-100. 1987.

PETRY, C. Adaptação de cultivares de soja a deficiência hídrica no solo. Santa Maria. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) -Universidade Federal Rural de Santa Maria. 1991.

RAVEN P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. Movimento de água e soluto nas plantas. In: *Biologia Vegetal*. 6ª ed. Rio de Janeiro: **Guanagara Koogan**, 720p. 2001.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta, atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2 ed. Barueri, SP: Manole, 500p. 2012.

RIBEIRO, R. V. et al. Photochemical heat-shock response in common bean leaves as affected by previous water deficit. **Russian Journal of Plant Physiology**, Moscow, v. 55, n. 3, p. 350358, 2008.

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

TATAGIBA, SANDRO DAN. Crescimento inicial, trocas gasosas e status hídrico de clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre. 2006.

TEIXEIRA, I. R.; SILVA, G. C.; RIBEIRA-OLIVEIRA, J. P.; SILVA, A. G.; PELÁ, A. Desempenho agronômico e qualidade de sementes de cultivares de feijão-caupi na região do cerrado. **Rev Ciência Agronômica**, v. 41, p. 300- 307, Ano 2010.

TÉOFILO, E. M.; MAMEDE, F. B.; SOMBRA, N. S. Hibridação natural em feijão caupi. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.23, n.4, p.10111012, 1999.

2 RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS DO FEIJÃO-CAUPI SOB DIFERENTES DISPONIBILIDADES DE ÁGUA

2.1 INTRODUÇÃO

O caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma leguminosa bastante cultivada por pequenos e médios produtores das regiões Nordeste e Norte do Brasil, e mais recentemente por grandes agricultores dessas regiões (XAVIER et al., 2005). No cenário mundial, o caupi tem grande importância econômica e social, especialmente na Índia e continente africano (FREIRE FILHO et al., 2005).

Estima-se que o feijão-caupi foi introduzido no estado do Pará por migrantes do Nordeste do Brasil (SANTOS et al., 2009) e atualmente o gênero *Vigna* corresponde por 80% do feijão produzido no estado, destacando-se por gerar mais de 70 mil empregos diretos (SAGRI, 2010). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), dos 144 municípios do estado, 122 cultivam essa espécie, numa área total de aproximadamente 43.000 hectares e produção de 31.000 toneladas/ano. O polo produtivo de feijão-caupi no estado do Pará localiza-se na microrregião Nordeste, onde se encontram os sete municípios que mais produzem o feijão-caupi, que são: Capanema, Tracuateua, Bragança, Augusto Corrêa, Capitão Poço, São Miguel do Guamá e Ipixuna do Pará. Essa região vem empregando recursos para obter cultivares mais adaptadas as adversidades climáticas e ao ataque de pragas e doenças, incorporando tecnologia aos sistemas de produção (FREIRE FILHO et al., 2009).

Leite et al. (1999) acrescentam a importância do conhecimento do crescimento da cultura em função da água disponível no solo, instrumento fundamental para explicar perdas de produção em condições de deficiência hídrica. Segundo Nascimento (2004), a baixa produtividade desta cultura em regiões com baixo índice pluviométrico, atribuída em parte à sua adaptação ecológica, mostra a necessidade do conhecimento do comportamento hídrico das cultivares usadas nestas regiões, visando melhor aproveitamento da água disponível no solo em combinação com a distribuição de chuvas.

Durante um estresse hídrico, a redução na disponibilidade de água para processos associados ao transporte, conduz a mudanças na concentração de muitos metabólitos, seguidas por distúrbios nos hidratos de carbono e no metabolismo de aminoácidos (OSBERT et al., 1995). O estresse provoca modificações na composição das células das plantas superiores, levando em muitos casos à produção e acúmulo de substâncias osmoticamente ativas (DE CARVALHO, 2005). Este processo, conhecido como osmorregulação, é um componente de

grande importância no processo de tolerância à seca em várias espécies (SUBBARAO et al., 2000).

Segundo Larcher (2000), quanto menor a quantidade de água no solo mais negativo deve ser o potencial de água na folha desenvolvido pelos vegetais, formando um gradiente que favoreça a absorção de água pelas plantas. Os valores médios de potencial hídrico indicados para os diferentes grupos de planta dependem do tipo de solo e do tipo de vegetação, podendo ser ainda menores devido à adaptação das plantas em relação à deficiência hídrica (LARCHER, 1995). Uma das características marcante de mudança nas proporções dos aminoácidos e frequente aumento na concentração de prolina se dão por distúrbios no metabolismo das proteínas (LARCHER, 2000), e pela manutenção, provável, no potencial hídrico da folha, que em contrapartida aumenta o teor deste aminoácido, no sentido de se ajustar osmoticamente e defender as plantas da desidratação (COSTA, 1999).

Sousa et al. (2009) verificaram que o efeito do estresse hídrico em feijoeiro causa reduções nos componentes de produção e é mais severo quando ocorre nas fases de floração e frutificação. Guimarães et al. (2006) também constataram que a deficiência hídrica nas plantas é tanto maior quanto menor o suprimento de água pelas raízes. As plantas respondem ao estresse hídrico de acordo com cada espécie, ao tempo ao qual são expostas a essas condições aos fatores edáficos entre outros, sendo assim não existe uma única variável fisiológica que, por si só, seja indicativa de tolerância à deficiência hídrica. Segundo Nogueira et al. (2001), o ideal é avaliar-se mais de uma variável, tais como potencial hídrico, condutância estomática, temperatura foliar e transpiração foliar, considerados importantes para avaliar as respostas das espécies vegetais ao estresse hídrico. Como forma de elevar a produtividade da cultura, baixar custos de produção, elevar a renda do produtor rural, diminuir danos ao meio ambiente e maximizar o uso dos recursos naturais é fundamental a adoção de tecnologias, tal como: o manejo adequado da irrigação.

Para um correto manejo, deve-se levar em consideração a lâmina de irrigação adequada para um bom suprimento hídrico, evitando estresse à cultura, que possa afetar o crescimento das plantas, afetando a produção (BEZERRA et al., 2003). Assim o conhecimento mais detalhado do desenvolvimento do feijão-caupi, em função de lâminas de água, torna-se um importante fator para gerar tecnologia de baixo custo com aumento da produção.

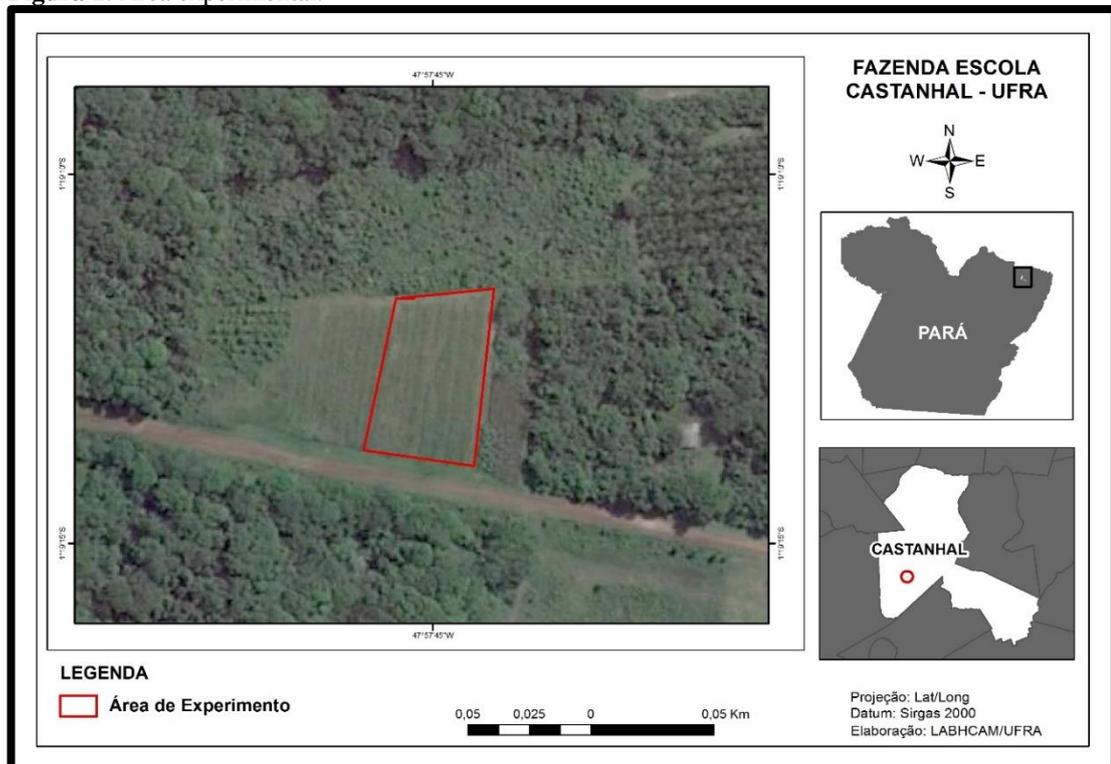
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido no município de Castanhal, localizado na região nordeste do estado do Pará, nos anos agrícolas de 2015 e 2016 em uma área de aproximadamente 0,5 hectare (Figura 1), localizada nas dependências da Fazenda Experimental da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), cujas coordenadas geográficas são 1° 19' 24" S latitude, 47° 57' 38" W longitude e altitude de 41 m. O solo do campo experimental foi classificado como latossolo amarelo distrófico de textura franco arenosa com 12% de argila (TENÓRIO et al., 1999).

O clima no local do experimento é definido seguindo classificação climática de Köppen como Am, tropical com característica de monção, apresenta moderada estação seca com precipitação pluviométrica média anual de 2000 a 2500mm, os meses com maior precipitação pluviométrica vão de dezembro a maio e o período de menor pluviosidade vai de junho a novembro. Segundo Tenório et al (1999) o município possui temperatura média de 26°C, com máxima de 35°C e mínima de 18°C, e 80% de umidade relativa.

Figura 1. Área experimental.



Fonte: Autor

2.2.2 Delineamento experimental

Utilizou-se delineamento experimental de blocos ao acaso, com seis repetições e quatro tratamentos, com distintos níveis de disponibilidade de água no solo a partir da fase reprodutiva do feijão-caupi. As unidades experimentais consistiram de parcelas medindo 22 x 24 m, separados por uma bordadura de 2 metros (Croqui, em apêndice), com espaçamento de 0,5 m entre linhas de plantio e 0,1 m entre plantas, perfazendo uma densidade de 200.000 plantas por hectare.

2.2.3 Condições do solo e cultivo

Com o intuito de se identificar as características físicas e químicas do solo, foram realizadas duas coletas na área do experimento. Para a análise física, amostras indeformadas, e para análise química, amostras deformadas com profundidade de 0 a 20 cm, o que corresponde a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura do feijão-caupi. As análises foram realizadas no Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental, no município de Belém/Pa. Os resultados das análises físicas e químicas do solo para a área experimental estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo da área experimental.

Características	Profundidade (0-20 cm)	
	2015	2016
pH em H₂O	4,9	3,7
N (%)	0,05	0,0
P (mg/dm⁻³)	2	20
K⁺ (mg/dm⁻³)	26	30
Na²⁺ (mg/dm⁻³)	9	2
Ca²⁺ (cmol_c/dm³)	0,5	1,0
Ca²⁺+Mg²⁺ (cmol_c/dm³)	0,8	1,2
Al³⁺ (cmol_c/dm³)	0,8	0,6
Areia (g/kg)	835	835
Silte (g/kg)	125	125
Argila (g/kg)	40	40
Densidade do solo (g/cm⁻³)	1,56	1,56
Capacidade de campo (m³m⁻³)	0,20	0,20
Ponto de Murcha Permanente (m³m⁻³)	0,11	0,11

Fonte: Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental (2015/2016).

Previamente ao início do experimento foi realizado o preparo da área, utilizando o sistema convencional, com aração e gradagem. As sementes receberam tratamento com

fungicida Carbomax 500 SC, na proporção de 100 ml do produto diluído em 400 ml de água para cada 100 kg de sementes. Durante o experimento foram utilizados, quando necessários, os inseticidas Decis 25 EC na proporção de 3 ml do produto diluído em 10 L de água e o Actara 250 WG na proporção de 200g/ha.

A semeadura foi realizada no dia 23 de setembro em 2015, e no dia 17 de setembro em 2016, para ambos os anos o semeio foi realizado de forma manual, utilizando-se a cultivar BR3-Tracateua que é a recomendada para a região (FREIRE FILHO et al, 2009).

A adubação para os anos de 2015 e 2016 foi parcelada em duas vezes, a de fundação no momento do plantio e a de cobertura trinta dias após a emergência das sementes, sendo que somente o cloreto de potássio (KCl) foi utilizado para a adubação de cobertura, aplicado 50% do total na primeira e o restante na segunda adubação. Para o experimento de 2015 utilizou-se 350 kg ha⁻¹ de fertilizante químico (Uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio) da formulação 10-20-20, seguindo os resultados da análise química do solo, enquanto que para o ano de 2016 foi aplicado 195 kg ha⁻¹ de fertilizante químico (Uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio) da formulação 6-18-15. A adubação foi realizada em sulcos distanciados 5 cm da linha de plantio e os tratamentos culturais de monda e amontoa foram conduzidos conforme as recomendações técnicas da Embrapa para a cultura na região (EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 2005).

2.2.4 Tratamentos e Irrigação

Foram utilizados quatro tratamentos dispostos da seguinte forma: o tratamento T1 consistiu da reposição de 100% da água (irrigação + precipitação pluviométrica) perdida pela evapotranspiração da cultura (ETc), o tratamento T2 em 50% de reposição da água (irrigação + precipitação pluviométrica) perdida pela ETc, o tratamento T3 em 25% de reposição (irrigação + precipitação pluviométrica) da ETc e no tratamento T4 não houve reposição da ETc por meio da irrigação na fase reprodutiva, foram construídas coberturas móveis de polipropileno transparente de 100 microns (figura 2), com altura de 1,5m para os tratamentos T4 de todos os blocos, com o intuito de impedir a entrada de água pela chuva, a partir dos estádios reprodutivos, sendo montadas apenas no período de precipitação pluviométrica, durante o dia.

Figura 2. Coberturas móveis para tratamentos T4.



Fonte: Autor.

O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento, através de fitas gotejadoras de polietileno aditivado, com diâmetro nominal de 16 mm e com emissores do tipo in-line, espaçados 20 cm entre si, posicionadas na superfície do solo, de forma que cada fita atendesse uma linha de plantio de 20 metros, totalizando 100 emissores/linha. As fitas gotejadoras foram conectadas nas linhas de derivação que estavam conectados a linha principal, ambas de tubos de PVC com DN 50, com registros de esfera. A vazão no sistema de irrigação foi de $1,0 \text{ L h}^{-1}$, com pressão de serviço de 5 mca, alimentado por uma bomba elétrica submersa de 2 cv, que retirava água diretamente de um poço artesiano de 40 metros profundidade. Um filtro de disco foi inserido no final da tubulação de recalque.

Com a finalidade de se apurar o desempenho hidráulico do sistema de irrigação, foram determinados o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição – CUD (equação 1) e a Eficiência de Aplicação da irrigação - E_a (equação 2).

$$\text{CUD} = \left(\frac{q_{25}}{\bar{q}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Em que:

CUD: Coeficiente de Uniformidade de Distribuição, %;

q_{25} : média de 25% do total dos gotejadores com as menores vazões, L h^{-1} ;

\bar{q} : vazão média dos gotejadores, L h^{-1} ;

$$Ea=0,9 \times CUD \quad (2)$$

Em que:

Ea: eficiência de aplicação, em %

CUD: Coeficiente de Uniformidade de Distribuição, %.

Para o teste de uniformidade foram utilizados recipientes com capacidade de 2000 ml, enterrados a altura do solo afim de que não causasse empecilhos para passagem da água, esses foram distribuídos no início, meio e final das fitas, com captura de três emissores, nos quatro tratamentos de todos os blocos. A janela de coleta teve duração de 20 minutos com duas repetições.

Segundo Merriam e Keller (1978), resultados do CUD superior a 90% são considerados excelentes, entre 80 e 90% bom, entre 70 e 80% regular e menores que 70% ruins. A eficiência de aplicação (Ea) foi avaliada pelo critério de Bernardo et. al (2006) que estabelece como aceitável a Ea acima de 80% e inaceitáveis valores menores que 80%.

Para a determinação da lâmina líquida de água utilizou a evapotranspiração de referência (ET_o) calculada por meio da equação de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) com os dados medidos e baixados via internet da estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) instalada à 2 km do experimento. Em seguida a ET_o foi multiplicada pelo coeficiente de cultura (K_c) de cada fase do feijão-caupi disponível na literatura (BASTOS et al., 2008) a fim de se obter a evapotranspiração máxima da cultura, conforme tabela 2.

Tabela 2. Coeficiente da cultura (K_c) em função do estágio fenológico do feijão-caupi utilizado durante os dois anos de experimento.

Estádios Fenológicos	Coeficiente da cultura (K _c)
Inicial	0,8
Crescimento	0,8 a 1,1
Reprodutivo	1,1 a 1,4
Final	1,4 a 0,3

O cálculo da lâmina bruta de água foi realizado seguindo a equação 3, considerando a razão entre a lâmina líquida de água e a eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação. E a partir dos resultados havia a diferenciação para cada tratamento.

$$LB = \frac{LL}{Ea} \quad (3)$$

Em que:

LB: lâmina bruta de irrigação, mm;

LL: lâmina líquida de irrigação, mm;

Ea: eficiência do sistema de irrigação, decimal.

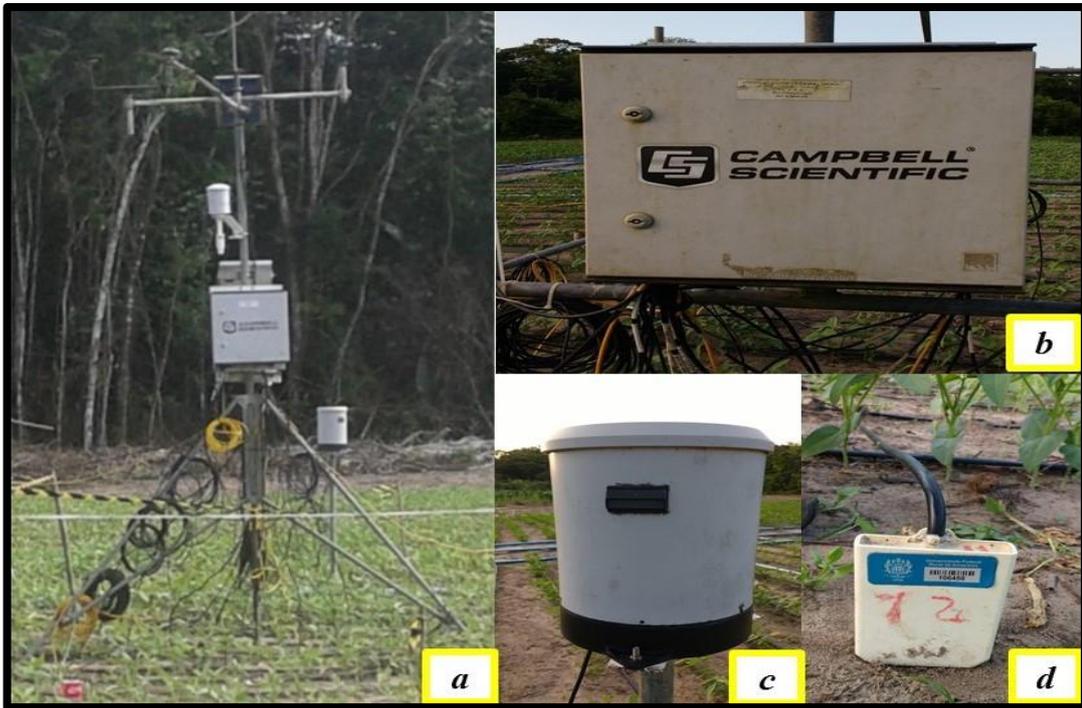
Na fase vegetativa, todos os tratamentos foram mantidos próximos à capacidade de campo, ou seja, com 100% de reposição da ETc (Irrigação + precipitação pluviométrica). A diferenciação das lâminas de água para os tratamentos T2 e T3 e a eliminação da irrigação ao T4, se deram ao 36º dia após a semeadura tanto para o ano de 2015 quanto para 2016, quando a cultura alcançou a fase reprodutiva, fase de maior sensibilidade para a deficiência hídrica (BEZERRA et al., 2003). A suspensão da irrigação ocorreu em 2015 ao 58º e ao 61º DAS em 2016, quando a fase de maturação dos grãos (R9) foi atingida. Vale ressaltar que durante o período do experimento nos casos onde a precipitação pluviométrica ultrapassou a ETc diária, a irrigação era interrompida, com o objetivo de não elevar a umidade do solo acima da capacidade de campo, havendo o controle da entrada de água no solo e reinício da irrigação em função do instante em que a umidade no solo atingia o valor anterior ao evento de chuva, esta umidade era monitorada através de sensores TDR (Time Domain Reflectometer) instalados em cada tratamento.

Foi realizado um balanço hídrico climatológico sequencial conforme Carvalho et al. (2001) para quantificação das deficiências impostas pelos tratamentos submetidos a restrição hídrica.

2.2.5 Dados meteorológicos

Para coleta dos dados meteorológicos, uma torre micrometeorológica de 3 m de altura (figura 3a) foi instalada no centro da área experimental. Sendo acoplada a torre uma estação meteorológica automática (figura 3b), que foi programada para coletar dados de precipitação pluviométrica (figura 3c), umidade do solo (figura 3d) em cada tratamento, temperatura e umidade relativa do ar.

Figura 3. Torre micrometeorológica (a), estação meteorológica automática (b), pluviômetro (c) e sensor de umidade do solo (d).



Fonte: Autor

Estes sensores foram conectados a um *datalogger* CR10X (Campbell Scientific, Inc.) e a um multiplexador AM416 (Campbell Scientific, Inc.), com programação de leitura a cada 10 segundos, com gravação das médias e dos totais a cada 10 minutos.

Tabela 3. Variáveis e instrumentos utilizados no experimento e a disposição em relação ao solo.

Variáveis meteorológicas	Instrumento, fabricante, modelo	Disposição no solo
Temperatura do ar	Vaisala thermohygrometer (HMP35A)	2,0 (m)
Umidade relativa do ar	Vaisala thermohygrometer (HMP35A)	2,0 (m)
Umidade do solo	Time Domain Reflectometer	-0 a 0,3 (m)
Chuva	Rain gauge TB4	1,8 (m)

2.2.6. Fenologia do feijão-caupi

Os estádios fenológicos (fases vegetativa e reprodutiva) do feijão-caupi foram determinados após avaliação diária. Para cada tratamento em todos os blocos selecionou-se linhas de 1 metro de comprimento, contendo 10 plantas, as quais foram monitoradas a partir da emergência (tabela 4).

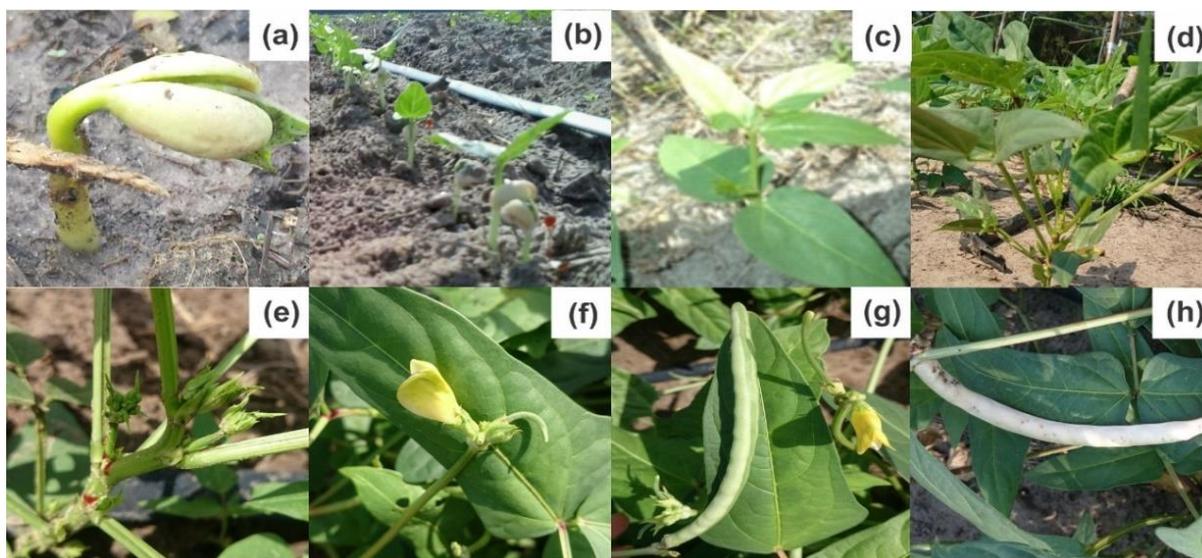
Seguindo a escala de desenvolvimento proposta por Gepts e Fernández (1982), o caupi apresenta ciclo biológico divididos em dez etapas, que são representadas na forma de letra acompanhada de um número. Sendo que a letra indica a fase, V fase vegetativa e R reprodutiva, enquanto que os números indicam a posição da etapa de desenvolvimento da planta dentro da escala.

Para que se concretizasse a mudança de fase fenológica foi determinado que 50% + 1 das plantas da linha apresentaram as características expostas na tabela 4. O principal critério para determinar a evolução fenológica foi à frequência de ocorrência das fases (GIUNTA et al., 2009; LEITE e VIRGENS FILHO, 2004).

Tabela 4. Escala fenológica do feijão comum adaptada para o caupi. (GEPTS e FERNANDEZ ,1982).

Fase	Descrição
V0	Germinação
V1	Cotilédones acima do solo
V2	Folhas cotiledonares expandidas
V3	Primeira folha trifoliolada
V4	Terceira folha trifoliolada
R5	Botão floral
R6	Floração
R7	Formação da vagem
R8	Enchimento do grão
R9	Maturação do grão

Figura 4. Fases fenológicas vegetativas, V1(a), V2(b), V3(c), V4(d) e reprodutivas R5(e), R7(f), R8(g), R9(h) do feijão-caupi.



Fonte: Autor.

2.2.7 Produtividade

A produtividade foi realizada aos 65 DAS em 2015 e aos 68 DAS em 2016, quando 90% das plantas atingiram o estágio fenológico R9. Nos dois anos de experimento a produtividade foi determinada em duas linhas de plantio separadas previamente em cada tratamento, de onde foram coletadas três amostras de 1m² representadas por linhas de dois metros de comprimento. Em ambos anos, após a coleta dos grãos nas áreas demarcadas, os mesmos foram colocados para secar por 72h, posteriormente eles foram pesados e foi feita a estimativa de produção em cada tratamento.

2.2.8 Comportamento fisiológico

2.2.8.1 Curva diurna

Para determinação da janela ideal de medições foi realizado previamente uma coleta de informações com o IRGA (Infra Red Gases Analyser) a fim de se obter o horário de máxima expressão das características fisiológicas (figura 1, em apêndice). Após análise dos dados foi determinado que o intervalo ideal para as medições seria entre 8:00 e 11:00hrs.

2.2.8.2 Trocas gasosas e temperatura foliar

As determinações das taxas de fotossíntese (A), condutância estomática (g_s), transpiração foliar (E), concentração interna de CO₂ (C_i) e Temperatura foliar (T_f) foram

realizadas por meio de um analisador de gás infravermelho portátil (IRGA), de sistema aberto, modelo LICOR 6400XT (Figura 5), conforme descrito por Santos Junior et al. (2006). As respostas das variáveis fotossintéticas à intensidade luminosa foram determinadas para densidade de fluxo de fótons (PPFD) de $1.500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, a câmara foliar foi controlada através de ampolas de CO_2 e fixada para trabalhar com concentração de $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$, temperatura e umidade relativa seguiram as condições ambientais.

Figura 5. Trocas gasosas verificadas com o IRGA.



Fonte: Autor.

Após o início dos tratamentos foram realizadas quatro coletas com periodicidade semanal, 7, 14, 21 e 28 dias após o início dos tratamentos (DAIT), nos estádios fenológicos R5, R7, R8 e R9 respectivamente. Coletando duas amostras por tratamento, nos seis blocos, perfazendo um total de 48 plantas por coleta. As medições foram realizadas entre 8 e 11h, no folíolo central da terceira ou quarta folha contadas a partir do ápice, com bom estado fitossanitário e completamente expandidas.

2.2.8.3 Potencial hídrico foliar

O potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}) foi determinado no mesmo horário das trocas gasosas, utilizando-se uma bomba de pressão tipo Scholander modelo Soil/moisture 3115 (Figura 6). A determinação consistiu na coleta de amostras das folhas que foram realizadas com o IRGA (Infra Red Gases Analyser). Selecionando folhas completamente expandidas, isentas de ataque

de pragas, sintomas de doenças ou deficiências nutricionais, as quais foram colocadas na câmara da bomba de pressão, onde, em seguida, foi aplicada pressão até ocorrer a exsudação pelo corte feito no pecíolo da folha, para a leitura da pressão aplicada (TURNER, 1981).

Figura 6. Determinação do potencial hídrico foliar.



Fonte: Autor

2.2.7 Análises estatísticas

Os resultados experimentais foram submetidos a análise de variância (ANOVA), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e análises de regressão, os cálculos foram realizados utilizando o programa estatístico SAS.

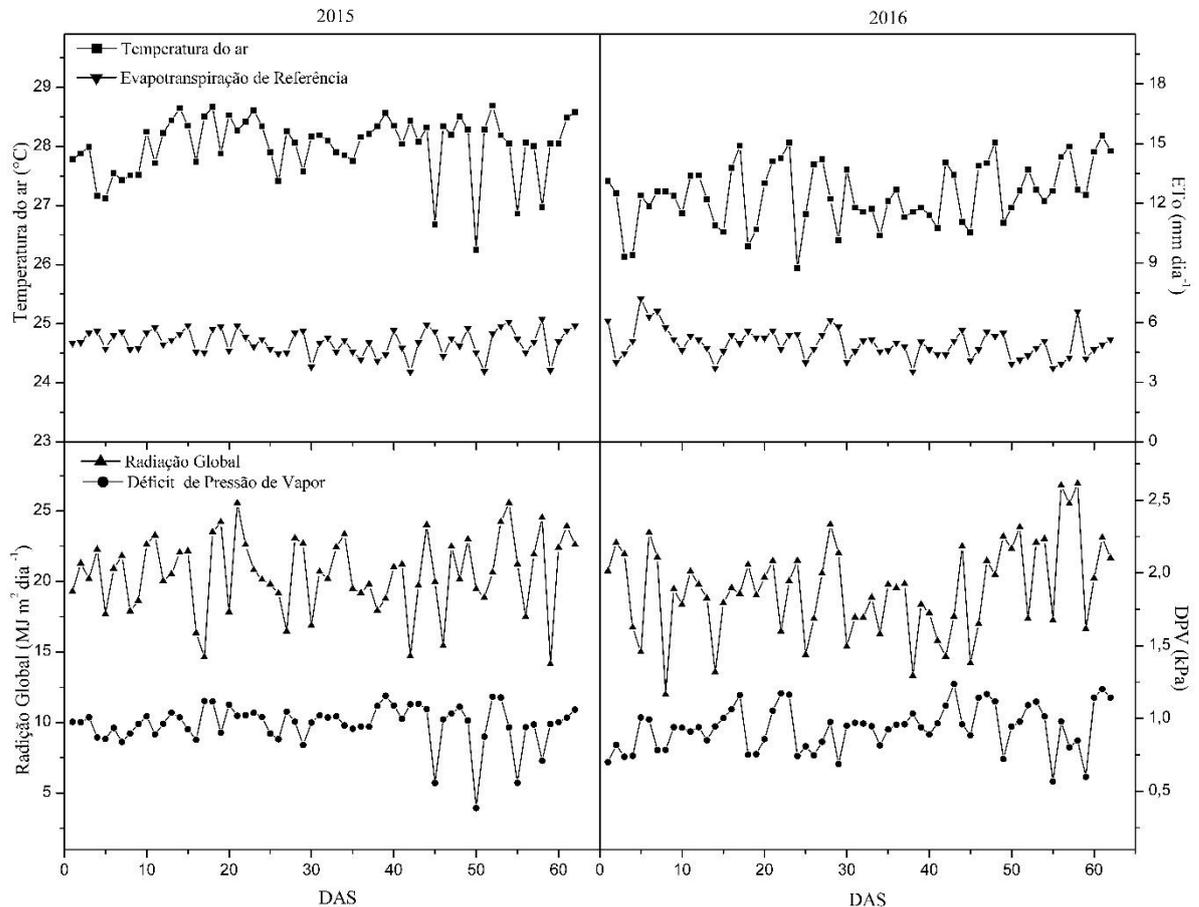
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Condições climáticas durante o período experimento

Os dados meteorológicos registrados durante o período experimental nos anos de 2015 e 2016, temperatura do ar (T_{ar}), evapotranspiração de referência (ET_0), radiação solar global (R_n) e déficit de pressão de vapor (DPV), são apresentados na Figura 7, através das médias diárias. A temperatura do ar média foi de $28,03^{\circ}\text{C}$ e $27,20^{\circ}\text{C}$, para o período experimental de 2015 e 2016, respectivamente. A evapotranspiração de referência teve média em 2015 de $5,03 \text{ mm dia}^{-1}$ e em 2016 de $4,95 \text{ mm dia}^{-1}$. A radiação solar global, em média, apresentou $20,56 \text{ MJ}$

$\text{m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ $19,50 \text{ MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$, para o ciclo do caupi em 2015 e 2016, respectivamente, e o déficit de pressão de vapor para 2015 teve média de $0,96 \text{ kPa}$ em 2016 de $0,93 \text{ kPa}$.

Figura 7. Valores médios diários de temperatura do ar (T_{ar}), evapotranspiração de referência (ET_0), radiação solar global (R_n) e déficit de pressão de vapor (DPV) para os experimentos de 2015 e 2016.



No ano de 2015 foi registrado o fenômeno climático do El Niño (GRIMM, 2015). Que segundo Cirino et al., (2015) é caracterizado como alterações na temperatura das águas do oceano pacífico, que tem com consequência para nossa região, diminuição de chuvas e aumento na temperatura do ar. Porém, mesmo em decorrência do fenômeno climático as temperaturas máxima e mínima não alcançaram o limite para a cultura, que segundo Farias et al., (2015) está no intervalo de $8,55 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $38 \text{ }^{\circ}\text{C}$ para o cultivo do feijão-caupi (BR3-Tracueteua) nas condições climáticas da região nordeste paraense.

2.3.2 Disponibilidade hídrica

Os resultados do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e eficiência de aplicação da irrigação (E_a) (Tabela 1, em apêndice), determinados para os dois anos (2015/2016) experimentais com feijão-caupi., mostrou que o CUD foi classificado como bom

(MERRIAM e KELLER, 1978), mantendo-se entre 80 e 90%, e a eficiência de aplicação média da irrigação foi de 80% classificada como o mínimo aceitável para um sistema de irrigação localizado (BERNARDO et al., 2006). Um dos fatores que pode ter levado a uma menor eficiência de aplicação, foi a constatação visual de elevada concentração de ferro na água utilizada na irrigação, ocasionando em alguns casos o entupimento de emissores. Segundo Cordeiro (2002) o alto teor de ferro na água pode ocasionar problemas de entupimento dos gotejadores, principalmente se estiver na forma Fe^{+2} , o que proporciona o desenvolvimento de ferrobactérias.

As lâminas de água aplicadas antes (fase vegetativa) e após a diferenciação dos tratamentos (fase reprodutiva), assim como as precipitações, os totais de água fornecidos para a cultura até a suspensão dos tratamentos (Total), número de irrigações (NI) e a ETc Total para o período experimental nos anos de 2015 e 2016, são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Lâminas aplicadas antes da diferenciação dos tratamentos (Irrigação fase vegetativa + Precipitação fase vegetativa), lâminas aplicadas após a diferenciação dos tratamentos (Irrigação fase Reprodutiva + Precipitação fase Reprodutiva), lâminas totais de água durante o experimento (Total) e número de irrigações (NI), para o período experimental dos anos de 2015 e 2016.

2015							
Tratamentos	Lâmina (mm)						
	Fase Vegetativa		Fase Reprodutiva		Total	NI	ETc Total
	Irrigação	Precipitação	Irrigação	Precipitação			
T1	173,83	0	113,45	30,47	317,75	58	308,23
T2	173,83	0	56,73	30,47	261,03	58	241,03
T3	173,83	0	28,36	30,47	232,66	58	207,45
T4	173,83	0	0	0	173,83	35	173,83
2016							
Tratamentos	Lâmina (mm)						
	Fase Vegetativa		Fase Reprodutiva		Total	NI	ETc Total
	Irrigação	Precipitação	Irrigação	Precipitação			
T1	87,64	141,18	113,81	12,19	354,82	40	304,98
T2	87,64	141,18	56,09	12,19	297,10	40	241,05
T3	87,64	141,18	28,45	12,19	269,46	40	209,09
T4	87,64	141,18	0	0	228,82	17	177,12

Observou-se que as lâminas totais aplicadas no período experimental de 2016 em todos os tratamentos foram superiores em comparação aos de 2015, isso se deve porque na fase vegetativa do caupi no ano de 2016 ocorreu precipitação de 141,18 mm, enquanto que no mesmo período em 2015 não houve precipitação, o que influenciou diretamente no número total de irrigações durante todo o ciclo. Contudo, ao comparar somente a fase reprodutiva (diferenciação dos tratamentos), em 2015 a lâmina foi maior que 2016, pois a precipitação neste intervalo foi de 30,47 mm e 12,19 mm, respectivamente. Para ambos os anos, a lâmina de água total aplicada em T1, tratamento com 100% de reposição da Evapotranspiração da Cultura, foi o suficiente para suprir a demanda hídrica do feijão-caupi, com 317,75 e 354,82 mm para 2015 e 2016, respectivamente, que segundo Nogueira et al. (2001), o consumo hídrico da cultura durante seu ciclo varia de 300 a 450 mm.

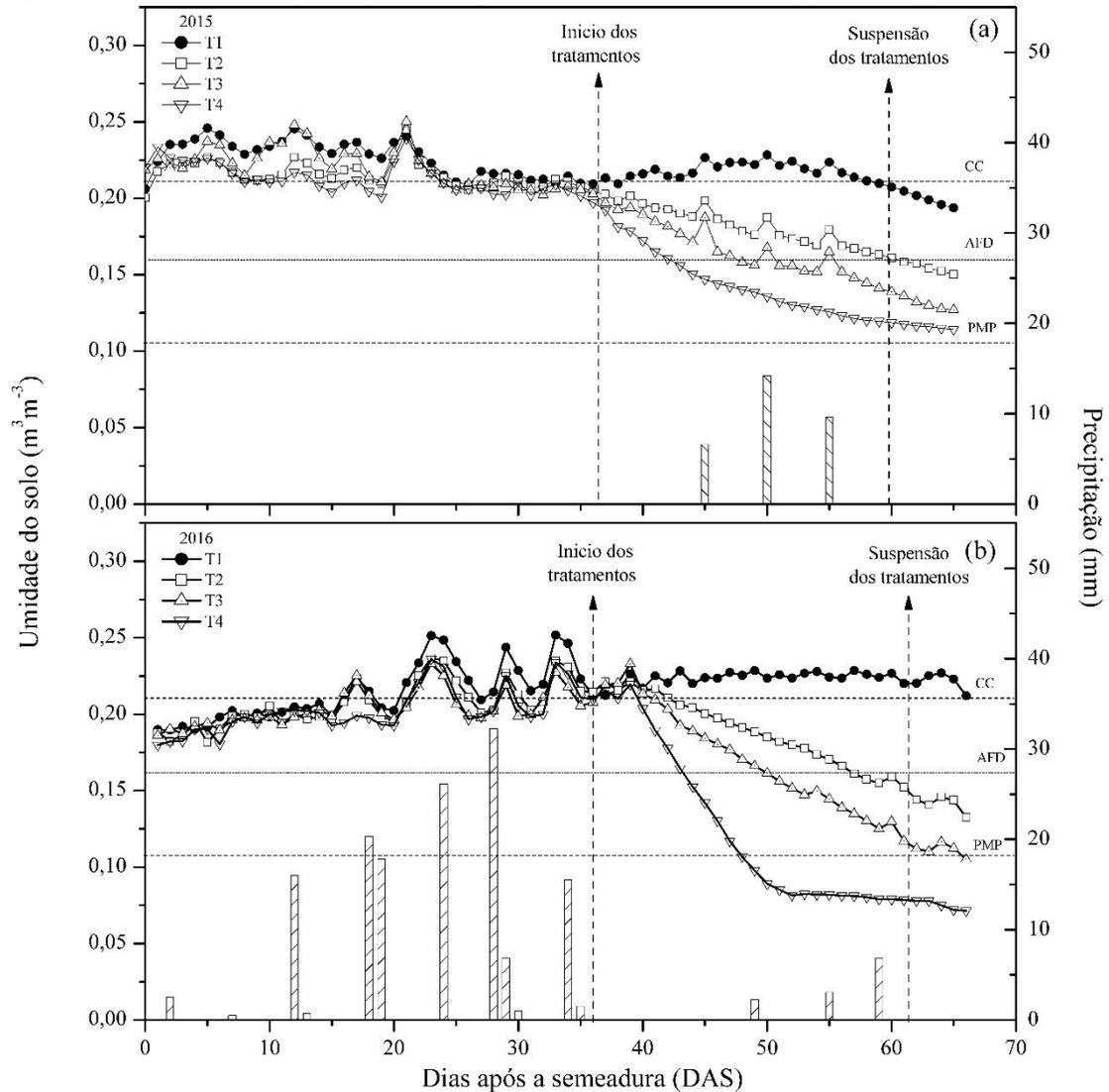
Os dados de umidade do solo, assim como a precipitação do ciclo do feijão-caupi para os anos de 2015 e 2016, são apresentados na Figura 8. No período vegetativo, para ambos os anos, a umidade do solo foi controlada para que todos os tratamentos obtivessem a mesma disponibilidade hídrica. A partir da fase reprodutiva o conteúdo de água no solo variou entre os tratamentos, exibindo um padrão esperado, com o tratamento T1 apresentando o maior conteúdo volumétrico de água no solo com média de $0,21 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, seguido pelos tratamentos T2 com $0,18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, T3 $0,16 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e T4 com $0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, em 2015, em 2016 os resultados foram de $0,22 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, $0,18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, $0,16 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,12 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, para T1, T2, T3 e T4, respectivamente.

No momento da suspensão da irrigação, logo que planta atingiu o estágio R9, quando as vagens começaram a secar mudando sua cor, com o intuito de diminuir a umidade contida nas mesmas, acelerando o processo de maturação dos grãos. Neste momento verificou-se que o teor de água disponível em 2015 e 2016 era de 108%, 54%, 33% e 3% e 122%, 47%, 8% e 0% para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente. No estudo com a cultivar de feijão-caupi IPA 206 sob distintos regimes hídricos no solo, Nascimento et al, (2004), constataram que as plantas diminuíram de forma significativa sua produção ao nível de 40% a 60% de água disponível, ocasionando alterações consideráveis nos componentes de produção, em função da disponibilidade hídrica atribuídas pelos tratamentos.

Com a utilização das coberturas móveis, foi possível obter adequado controle da entrada de água no solo no tratamento T4, o qual proporcionou uma maior alteração na umidade do solo em todos os tratamentos. O tratamento T4 no ano de 2016 atingiu o valor de umidade do solo de $0,117 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ aos 47 DAS, que é considerado insuficiente para o crescimento e desenvolvimento

das plantas, ponto de murcha permanente (PMP), pois nesse momento a quantidade de água disponível no solo era de 0%. Reichardt e Timm (2004), relatam que cada espécie difere na sua resposta a umidade do solo, e que o fenômeno de PMP, por si só, não é um critério adequado para definir disponibilidade de água para a planta.

Figura 8. Umidade do solo para o período experimental nos anos de 2015 (a) e 2016 (b).



2.3.3 Potencial hídrico foliar, trocas gasosas e temperatura foliar

Os resultados médios de potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}), para os anos de 2015 e 2016 (Tabela 6), demonstram que os maiores valores foram encontrados no tratamento T1 que em média apresentou resultados próximos a -0,6 MPa, para ambos os anos. O tratamento T4 que sofreu a maior ação da deficiência hídrica dentre os tratamentos com a suspensão da irrigação a partir da fase reprodutiva, exibiu valores mais negativos, alcançando no final do experimento

média de -1,21 MPa em 2015 e -1,22 MPa em 2016. Os demais tratamentos seguiram uma tendência natural para a disponibilidade hídrica do solo, com T2 chegando a valores médios de -1,01 MPa e -1,03 MPa, e T3 com -1,16 MPa e -1,18 MPa, para o ciclo do caupi em 2015 e 2016, respectivamente. Ao se comparar os mesmos tratamentos e com a mesma fenologia entre anos, foi verificado que não houve diferença estatística significativa em nenhuma das datas de medição (Tabela 2, em apêndice).

Tabela 6. Valores médios de Potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}), para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa.

Ψ_{wf} (MPa)								
2015					2016			
	R5	R7	R8	R9	R5	R7	R8	R9
T1	-0,60 ^a	-0,65 ^a	-0,60 ^a	-0,61 ^a	-0,58 ^a	-0,66 ^a	-0,65 ^a	-0,65 ^a
T2	-0,74 ^{ab}	-0,74 ^{ab}	-0,72 ^{ab}	-1,01 ^{ab}	-0,72 ^b	-0,77 ^{ab}	-0,78 ^{ab}	-1,03 ^{ab}
T3	-0,85 ^b	-0,82 ^{bc}	-0,88 ^{bc}	-1,16 ^b	-0,82 ^b	-0,86 ^{bc}	-0,90 ^{bc}	-1,18 ^b
T4	-0,91 ^b	-0,95 ^c	-0,99 ^{bc}	-1,21 ^b	-0,96 ^c	-0,97 ^c	-1,00 ^{bc}	-1,22 ^b

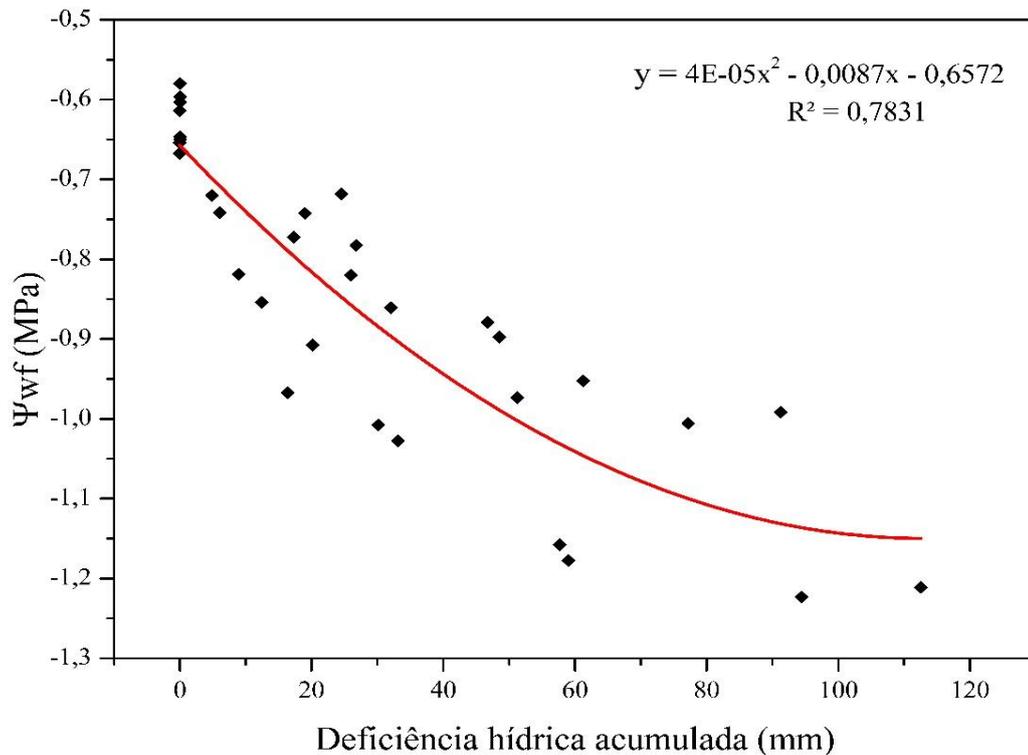
Letra na coluna: compara os tratamentos no mesmo dia; médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Esses resultados se assemelham aos de Guimarães et al, (2006), que verificaram potencial hídrico foliar máximos e mínimos de -0,3 e -1,07 MPa, respectivamente, com déficit hídrico imposto na fase reprodutiva, e que se diferem dos obtidos por Souza et al, (2004) e Micheletto et al, (2007), que encontraram valores de potencial hídrico foliar de -2,30 e -2,57 MPa, respectivamente, para feijão comum. Ressalta-se, entretanto, que os valores de potencial hídrico foliar podem variar em razão do estágio fenológico da cultura, da cultivar, da disponibilidade hídrica do solo, do déficit de pressão de vapor do ar, do horário e local em que são registrados (NOGUEIRA et al., 1998).

Como esperado o potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}) mostrou ter relação direta com a umidade do solo, diminuído à medida que a deficiência hídrica do solo aumentava (Figura 9). Em um estudo com plantas de feijão-caupi submetidas à deficiência hídrica, também foi observado reduções no potencial hídrico foliar, condutância estomática e transpiração, com aumento na resistência difusiva ao vapor de água, mediante o fechamento dos estômatos, reduzindo a transpiração e, em consequência, o suprimento de CO₂ para a fotossíntese (SILVA et al., 2010). O que é afirmado por Taiz e Zeiger (2013), onde relatam que durante períodos de estiagem, plantas que sofrem deficiência hídrica ocorre à inibição do crescimento e da

fotossíntese, afirmando que a sensibilidade de determinados processos fisiológicos a deficiência hídrica é reflexo de estratégia da planta para lidar com a faixa de variação na disponibilidade de água.

Figura 9. Valores médios de Potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}), em função da deficiência hídrica acumulada no solo para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa.



Nos resultados para condutância estomática (g_s) observou-se menores valores médios no tratamento T4 como previsto (Tabela 7), chegando ao final do ciclo do feijão-caupi com média de $78,95 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em 2015 e $82,79 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em 2016. O tratamento T2 obteve como resultado na última data de medição $380,57$ e $394,24 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e T3 $153,74$ e $168,31 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$, em 2015 e 2016, respectivamente.

O tratamento T1 que sempre foi mantido em próximo a capacidade de campo em todo ciclo do caupi, apresentou como consequência a manutenção de um maior grau de abertura estomática que os tratamentos restantes, alcançando valor médio de até $716,17 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em 2015 e $712,20 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em 2016. Na comparação do valor médio final de g_s , ocorreu redução de 31% para o T2, de 72% para T3 e de 86% para o T4, em 2015 e de 28% para o T2, de 69% para T3 e de 85% para o T4 em 2016. Ao se comparar os mesmos tratamentos

e com a mesma fenologia entre anos, foi verificado que não houve diferença estatística significativa em nenhuma das datas de medição (Tabela 1, em apêndice).

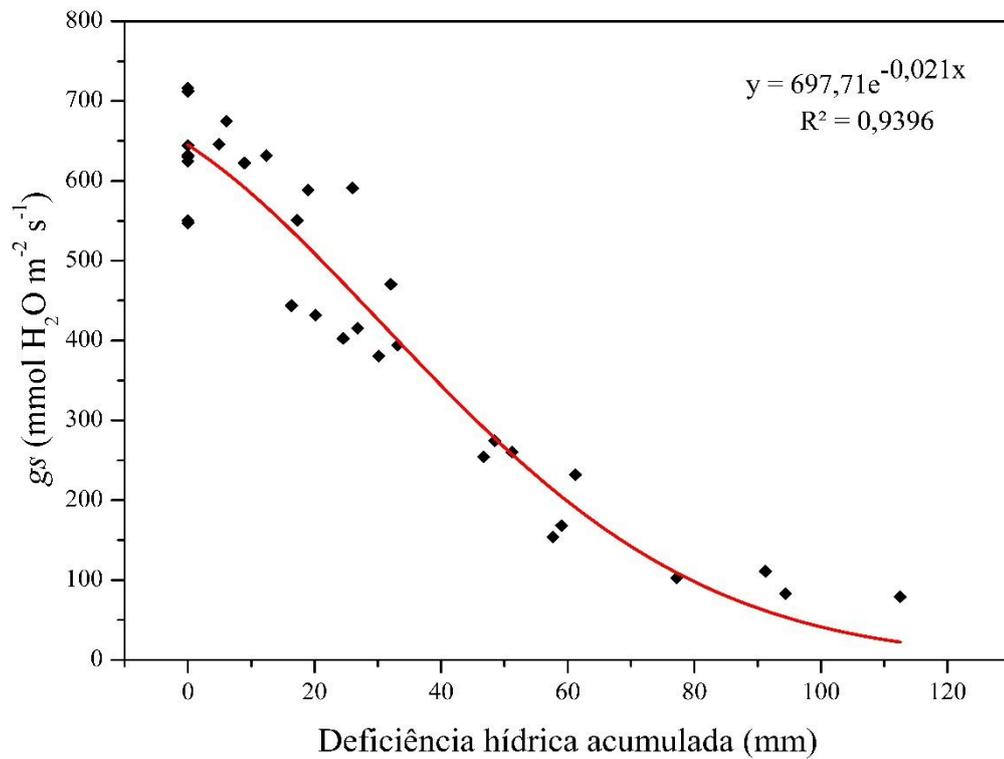
TABELA 7. Valores médios de condutância estomática (gs), para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa.

gs (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)								
	2015				2016			
	R5	R7	R8	R9	R5	R7	R8	R9
T1	716,17 ^a	644,43 ^a	629,94 ^a	550,30 ^a	712,20 ^a	631,68 ^a	624,68 ^a	547,38 ^a
T2	674,78 ^{ab}	588,33 ^a	402,47 ^b	380,57 ^b	645,93 ^b	550,76 ^b	415,32 ^b	394,24 ^b
T3	631,88 ^b	616,38 ^a	254,15 ^c	153,74 ^c	622,43 ^b	470,59 ^c	274,53 ^c	168,31 ^c
T4	431,62 ^c	232,05 ^b	111,05 ^d	78,95 ^c	443,69 ^c	260,05 ^d	102,58 ^d	82,79 ^d

Letra na coluna: compara os tratamentos no mesmo dia; médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Esses resultados mostram uma relação direta entre a gs com o conteúdo de água disponível, ou seja, quanto menor o conteúdo de água na planta, menor será a abertura estomática (Figura 10). A redução da condutância estomática é explicada por Kerbauy (2009) que relata, que quando a planta se mantém em estresse hídrico, manterá seus estômatos fechados para não perder água, em algumas espécies elas mantêm um certo turgor (maior potencial de água), o que é importante características de tolerância a seca. O que foi observado em estudos com feijão-caupi por Pimentel e Hébert (1999), Oliveira et al, (2005), Mendes et al, (2007) e Filgueiras (2012). Segundo Taiz e Zeiger (2013), a condutância estomática é reconhecida como maior influência devido ser administrada pela abertura e fechamento dos estômatos em função, principalmente, das condições ambientais, tais como déficit de pressão de vapor, umidade relativa do ar, irradiação solar global. É possível observar que vários fatores podem atuar sobre os estômatos, mas fica evidente o efeito do estresse causado pela seca sobre este parâmetro, o que pode ser relatado que o mesmo pode ser utilizado como indicativo de deficiência hídrica.

Figura 10. Valores médios de condutância estomática (g_s), em função da deficiência hídrica acumulada no solo para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa.



Em ambos os anos ocorreu declínio na taxa fotossintética das plantas de feijão-caupi de acordo com a disponibilidade hídrica no solo. Tanto em 2015 quanto em 2016 todos os tratamentos passaram a se diferir estatisticamente na segunda medição (R7), o tratamento T1 obteve os melhores resultados durante o período experimental, alcançando na leitura final, média de $31,91 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $32,75 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, e T4, chegando $7,57 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $8,49 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ao final do ciclo, em 2015 e 2016, respectivamente. A taxa fotossintética exibiu quedas expressivas ao longo do experimento, na última medição ocorreu uma redução em 2015 de 24%, 53% e 76% para os tratamentos T2, T3 e T4, respectivamente, e em 2016 de 32% para T2, 57% para T3 e de 74% para T4, em comparação ao tratamento T1. Ao se comparar os mesmos tratamentos e com a mesma fenologia entre anos, foi verificado que não houve diferença estatística significativa em nenhuma das datas de medição (Tabela 1, em apêndice).

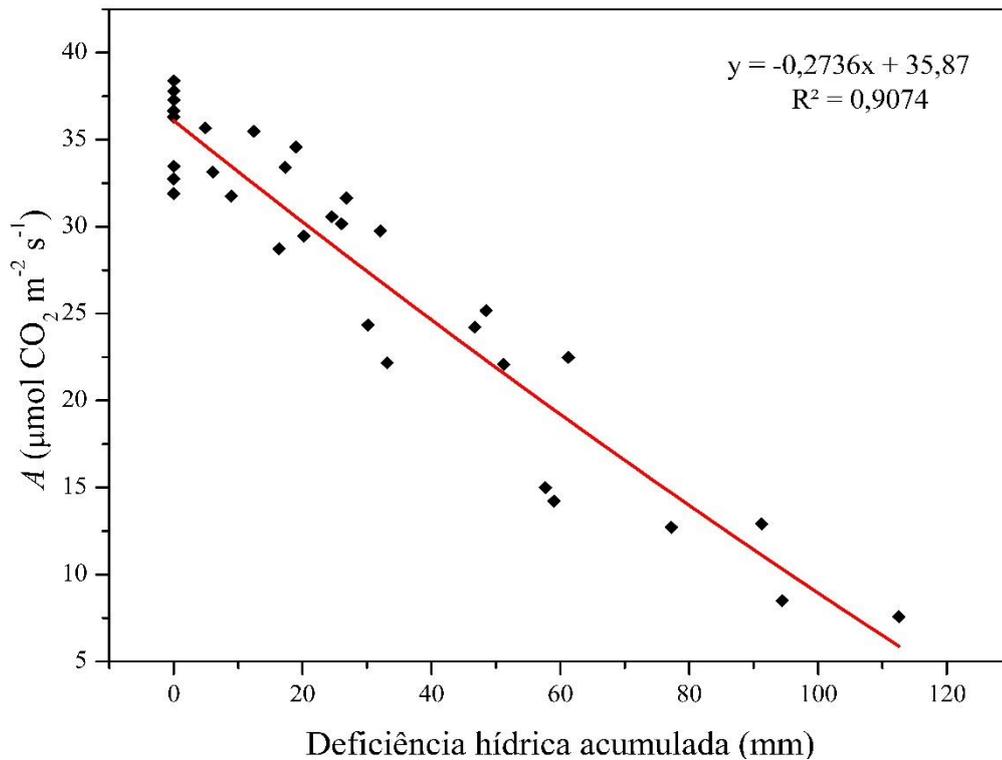
TABELA 8. Valores médios de Fotossíntese (A), para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa.

A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)								
2015					2016			
	R5	R7	R8	R9	R5	R7	R8	R9
T1	33,47 ^a	37,80 ^a	36,67 ^a	31,91 ^a	36,31 ^a	37,29 ^a	38,39 ^a	32,75 ^a
T2	33,14 ^a	34,59 ^b	30,57 ^b	24,35 ^b	35,68 ^{ab}	33,41 ^b	31,66 ^b	22,17 ^b
T3	35,49 ^a	36,20 ^b	24,23 ^c	15,00 ^c	31,76 ^{bc}	29,77 ^c	25,18 ^c	14,22 ^c
T4	29,47 ^a	22,48 ^c	12,92 ^d	7,57 ^d	28,74 ^c	22,08 ^d	12,72 ^d	8,49 ^d

Letra na coluna: compara os tratamentos no mesmo dia; médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Essa resposta de decréscimo da taxa fotossintética (Figura 11), ocorreu possivelmente em decorrência ao declínio da condutância estomática (g_s), uma vez que a abertura estomática é a principal responsável pela entrada e saída de gases na planta, afeta o processo de ganho fotossintético ao controlar o influxo de CO_2 nos vegetais (LARCHER, 2006). A redução na atividade fotossintética pela redução na assimilação do CO_2 é um indicador do efeito da deficiência hídrica de uma cultura (FAVER et al., 1996). Segundo Kerbauy (2009), quanto maior a falta de água na planta, menor será o grau de abertura dos ostíolos e, conseqüentemente, maior será a resistência à entrada do CO_2 atmosférico, assim as concentrações intrafoliares de CO_2 tendem a diminuir drasticamente. François (2012), ao avaliar as relações hídricas e as trocas gasosas de plantas de feijão-caupi submetidas a diferentes manejos de irrigação, verificaram que a redução da irrigação ocasionou reduções lineares nos valores de taxa fotossintética das plantas.

Figura 11. Valores médios de Fotossíntese (A), em função da deficiência hídrica acumulada no solo, para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa.



Nos dois anos de experimento (2015/2016) em todas as avaliações os valores da concentração interna de CO_2 (C_i), seguiram a oferta de água no solo, ou seja, quanto maior a disponibilidade hídrica no solo, maior foi o C_i nas plantas (Tabela 9). Assim, o tratamento T4 sempre apresentou os menores valores, acompanhado de perto pelo T3, em comparação aos demais tratamentos, obtendo como resultado final $207,52$ e $206,92 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para T4, $209,72$ e $211,6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para T3, em 2015 e 2016, respectivamente. Os tratamentos T1 e T2 também exibiram tendências similares em 2015 e 2016, mas, com os maiores valores de $267,08$ e $256,95 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, e $249,32$ e $245,98 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente. Ao se comparar os mesmos tratamentos e com a mesma fenologia entre anos, foi verificado que não houve diferença estatística significativa em nenhuma das datas de medição (Tabela 1, em apêndice).

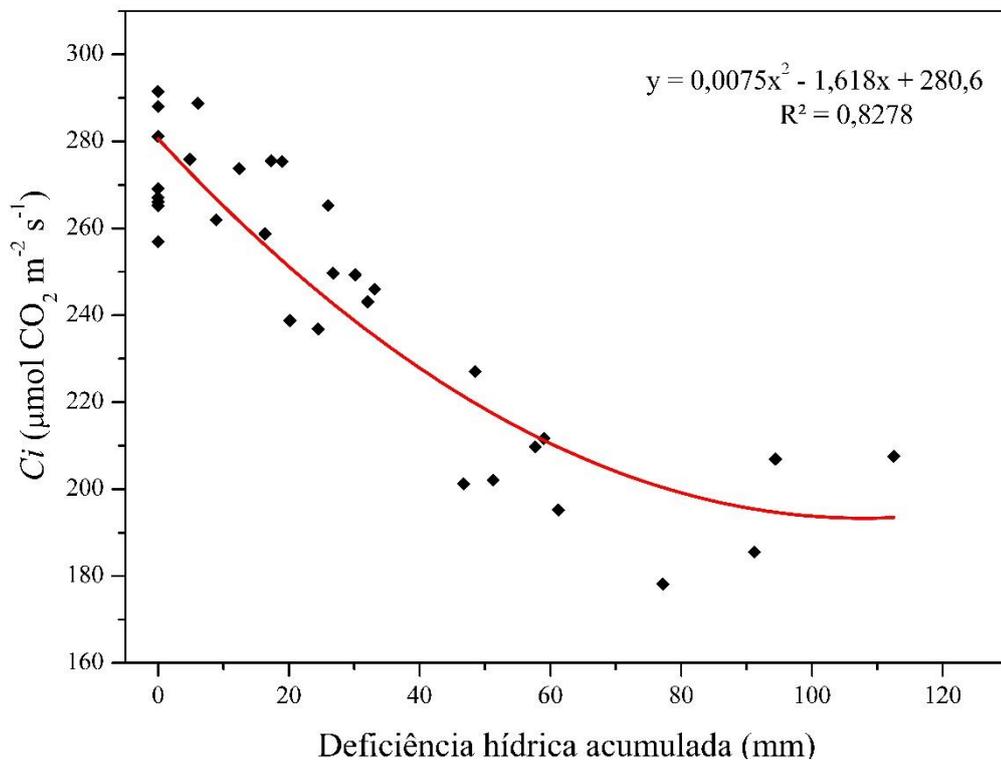
Tabela 9. Valores médios da concentração interna de CO₂ (*C_i*), para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa.

<i>C_i</i> (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)								
2015					2016			
	R5	R7	R8	R9	R5	R7	R8	R9
T1	291,51 ^a	269,09 ^a	265,23 ^a	267,08 ^a	288,05 ^a	281,14 ^a	266,07 ^a	256,95 ^a
T2	288,78 ^a	275,39 ^a	236,84 ^b	249,32 ^a	275,89 ^{ab}	275,56 ^a	249,71 ^b	245,98 ^a
T3	273,74 ^a	265,26 ^a	201,22 ^c	209,72 ^b	261,95 ^b	243,09 ^b	227,08 ^c	211,66 ^b
T4	238,77 ^b	195,20 ^b	185,52 ^c	207,53 ^b	258,73 ^b	202,05 ^c	178,14 ^d	206,92 ^b

Letra na coluna: compara os tratamentos no mesmo dia; médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O comportamento de concentração interna de CO₂ (*C_i*) em função da deficiência hídrica acumulada no solo (Figura 12), demonstra que ocorre a redução *C_i* com diminuição disponibilidade de água para a planta. Segundo Nascimento (2009), habitualmente, o aumento nos valores de *C_i* é acompanhado de acréscimos na *g_s*, assim, a limitação estomática seria o principal fator da limitação do desempenho fotossintético, pois quanto maior a abertura estomática maior a difusão de CO₂ para a câmara subestomática. Nessas condições ocorre o aumento da atividade da ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase-oxigenase (rubisco) aumentando com isso o consumo de CO₂ (MACHADO et al., 2005). Quando plantas são submetidas ao estresse hídrico, normalmente ocorre redução na abertura estomática como medida de proteção, e por consequência há redução no influxo de CO₂ na câmara subestomática (SILVA, 2016).

Figura 12. Valores médios da concentração interna de CO₂ (C_i), em função da deficiência hídrica acumulada no solo, para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa.



O tratamento T1 sempre manteve as maiores médias de taxas para transpiração, apresentando variação de 8,74 a 9,78 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em 2015 e de 8,68 a 9,53 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em 2016. Os outros tratamentos se comportaram de maneira esperada, quando ao final do ciclo, apresentaram os seguintes resultados, T2 7,36 e 7,17 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$, T3 4,63 e 4,78 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e T4 2,78 e 2,96 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em 2015 e 2016, respectivamente. Com diminuição da oferta de água para planta, a transpiração foliar apresentou declínio nas suas respostas em função dos tratamentos, na última medição ocorreu uma redução em 2015 de 18%, 48% e 69% para os tratamentos T2, T3 e T4, respectivamente, e em 2016 de 19% para T2, 46% para T3 e de 67% para T4, em comparação ao tratamento T1. Ao se comparar os mesmos tratamentos e com a mesma fenologia entre anos, foi verificado que não houve diferença estatística significativa em nenhuma das datas de medição (Tabela 1, em apêndice).

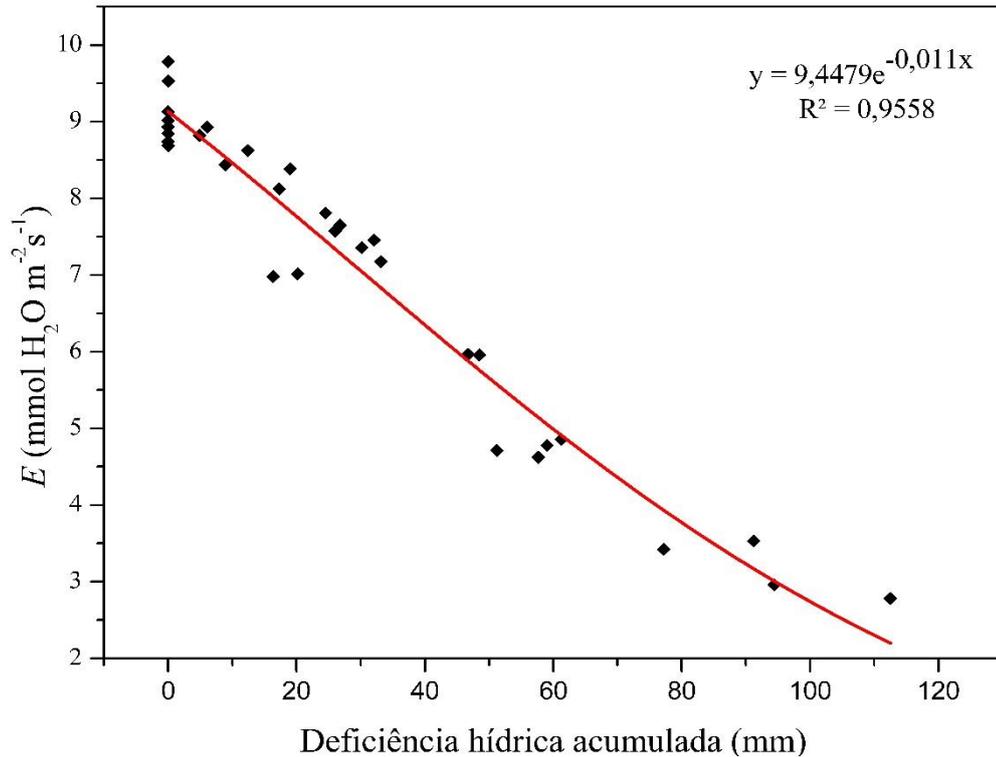
Tabela 10. Valores médios de Transpiração (E), para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa.

E (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)								
2015					2016			
	R5	R7	R8	R9	R5	R7	R8	R9
T1	9,13 ^a	8,74 ^a	9,78 ^a	8,93 ^a	9,01 ^a	8,68 ^a	9,53 ^a	8,84 ^a
T2	8,93 ^a	8,38 ^a	7,81 ^b	7,36 ^a	8,82 ^a	8,12 ^b	7,65 ^b	7,17 ^b
T3	8,62 ^a	7,58 ^a	5,96 ^c	4,62 ^b	8,44 ^b	7,45 ^c	5,96 ^c	4,78 ^c
T4	7,01 ^b	4,86 ^b	3,53 ^d	2,78 ^c	6,98 ^c	4,71 ^d	3,42 ^d	2,96 ^d

Letra na coluna: compara os tratamentos no mesmo dia; médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Como as demais variáveis analisadas no presente trabalho, com o aumento da restrição hídrica no solo, os níveis de transpiração diminuíram (Figura 13). O que pode ser explicado por Taiz e Zeiger (2013), onde relatam, que quando a água do solo é menos abundante, os estômatos reduzem sua abertura, ou até mesmo permanecem fechados mesmo em uma manhã ensolarada, tal mecanismo é usado pela planta para evitar a desidratação através da transpiração. O controle estomático da transpiração é um mecanismo utilizado por muitas espécies para restringir a perda de água e superar os períodos de estiagem (SILVA et al., 2003). Segundo Oliveira et al. (2005), relatam que a manutenção da temperatura igual ou ligeiramente inferior à do ambiente, comprova a capacidade de refrigeração das plantas, via transpiração por meio da manutenção da condutância estomática, com o intuito de manter a planta protegida das faixas térmicas muito elevadas. Segundo Milburn (1979), a transpiração exerce efeitos importantes na agricultura tropical, como o resfriamento da folha visto que, para evaporar na folha, a água retira sua energia térmica, reduzindo a temperatura foliar de 2 a 3 °C. Mendes et al. (2007) verificaram reduções significativas na transpiração foliar em plantas de feijão-caupi submetidas à deficiência hídrica nas fases vegetativa e reprodutiva. Oliveira (2013), também constatou que o feijão-caupi sob diferentes níveis de irrigação, apresentou reduções significativas nas taxas de transpiração nas menores lâminas.

Figura 13. Valores médios de Transpiração (E), em função da deficiência hídrica acumulada no solo, para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa.



Com o fechamento dos estômatos para evitar a perda de água através de transpiração (E), resultando no aumento da temperatura foliar (T_f) o que por sua vez reduziu a capacidade fotossintética, devido a diminuição no influxo de CO₂ pela redução da g_s . No presente estudo a elevação da temperatura foliar entre os tratamentos alcançou diferença de até 4°C, com T4 obtendo a maior média na T_f com 37,77°C em 2015 e 37,38°C em 2016, enquanto que no tratamento T1 nos dois anos apresentou pouca variação, cerca 2°C durante todo período experimental. Os demais tratamentos seguiram uma tendência natural para a disponibilidade hídrica do solo, com T2 chegando a valores médios finais de 34,23°C e 34,02°C, e T3 com 36,54°C e 36,06°C, para o ciclo do caupi em 2015 e 2016, respectivamente. Ao se comparar os mesmos tratamentos e com a mesma fenologia entre anos, foi verificado que não houve diferença estatística significativa em nenhuma das datas de medição (Tabela 1, em apêndice).

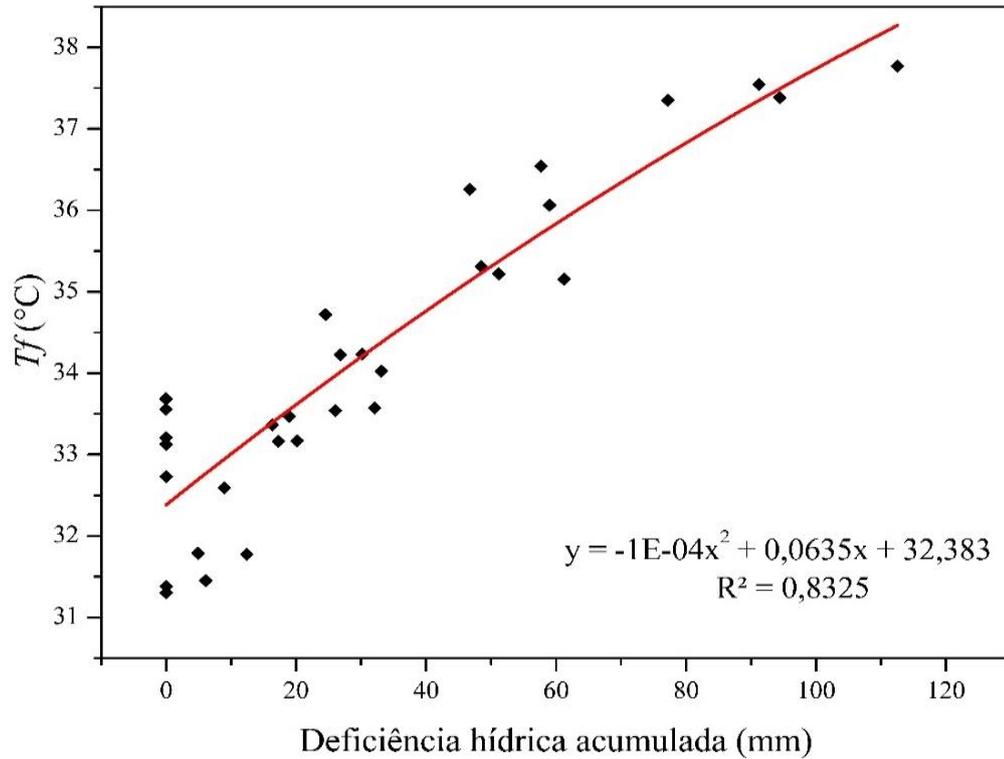
TABELA 11. Valores médios de temperatura foliar (T_f), para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa.

T_f (°C)								
2015					2016			
	R5	R7	R8	R9	R5	R7	R8	R9
T1	31,30 ^a	33,13 ^a	33,69 ^a	33,68 ^a	31,38 ^a	32,73 ^a	33,55 ^a	33,20 ^a
T2	31,45 ^a	33,47 ^{ab}	34,72 ^{ab}	34,23 ^a	31,79 ^a	33,16 ^{ab}	34,23 ^a	34,02 ^b
T3	31,77 ^a	33,54 ^{ab}	36,26 ^{bc}	36,54 ^{ab}	32,59 ^b	33,57 ^b	35,31 ^b	36,06 ^c
T4	33,17 ^a	35,15 ^b	37,55 ^c	37,77 ^b	33,36 ^b	35,22 ^c	37,35 ^c	37,38 ^d

Letra na coluna: compara os tratamentos no mesmo dia; médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

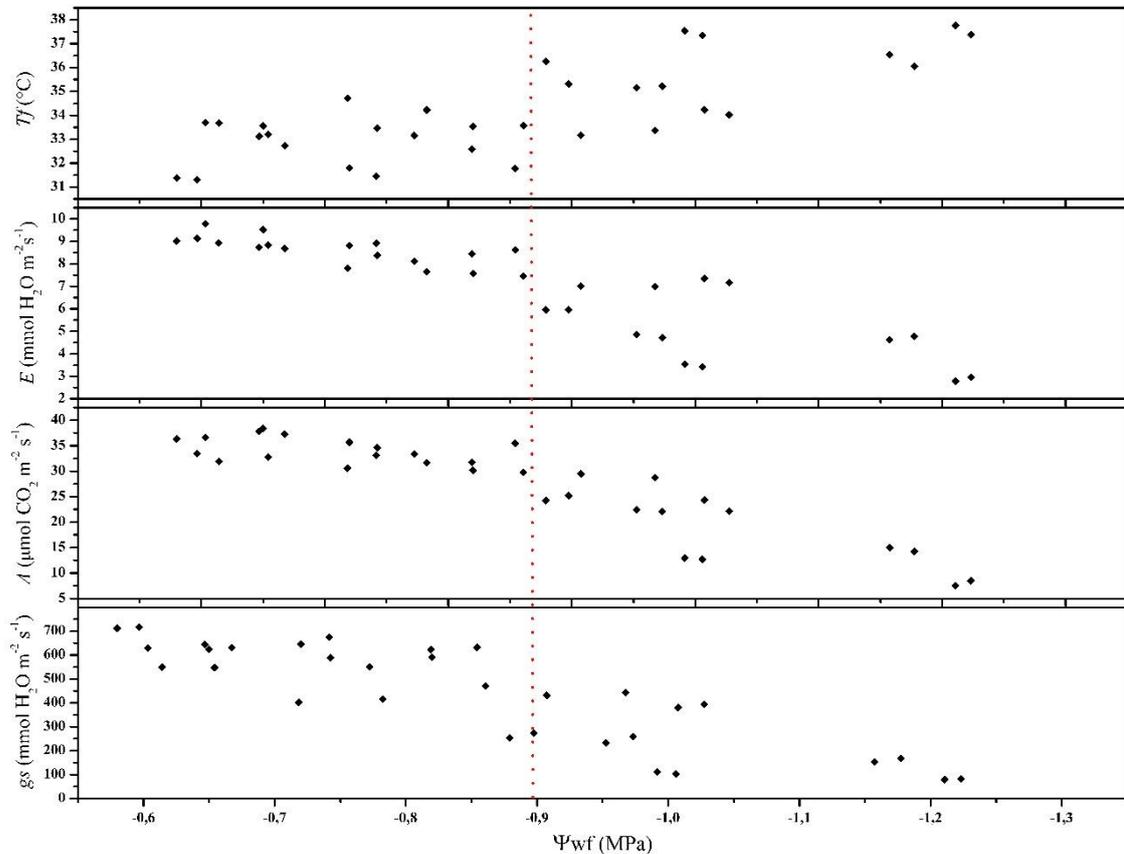
O aumento da temperatura foliar mostrou ter relação direta com a disponibilidade hídrica no solo (Figura 14), ou seja, quanto maior a deficiência hídrica imposta a planta, maior será a T_f . Segundo Rocha (2013), a elevação da temperatura foliar em resposta ao estresse hídrico pode ser explicada pela redução na perda de calor latente através da transpiração que normalmente sofre redução nestas condições. Garrido (1998) relata que sob condição de estresse hídrico da planta, ocorre diminuição da condutância estomática e, deste modo também, na transpiração, e como consequência, há um aumento da temperatura foliar. Dados na literatura mostram que, sob condições de seca, a temperatura foliar se apresenta, habitualmente, mais elevada do que a temperatura do ar, resultando em aumento na relação temperatura foliar/ambiente (MENDES et al., 2007).

Figura 14. Valores médios de Temperatura foliar (T_f), em função da deficiência hídrica acumulada no solo, para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa.



Os Resultados das variáveis, Condutância estomática (g_s), Fotossíntese (A), Transpiração (E) e Temperatura foliar (T_f), analisadas no presente trabalho foram relacionados em função do Potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}) (Figura 15), com o intuito de determinar o limiar da deficiência hídrica para o feijão-caupi (cultivar BR3-Tracuateua) nas condições climáticas do nordeste paraense, Castanhal-Pa.

Figura 15. Valores médios de Condutância estomática (g_s), Fotossíntese (A), Transpiração (E) e Temperatura foliar (T_f) em função do Potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}), para os experimentos de 2015 e 2016 com feijão-caupi, Castanhal-Pa.

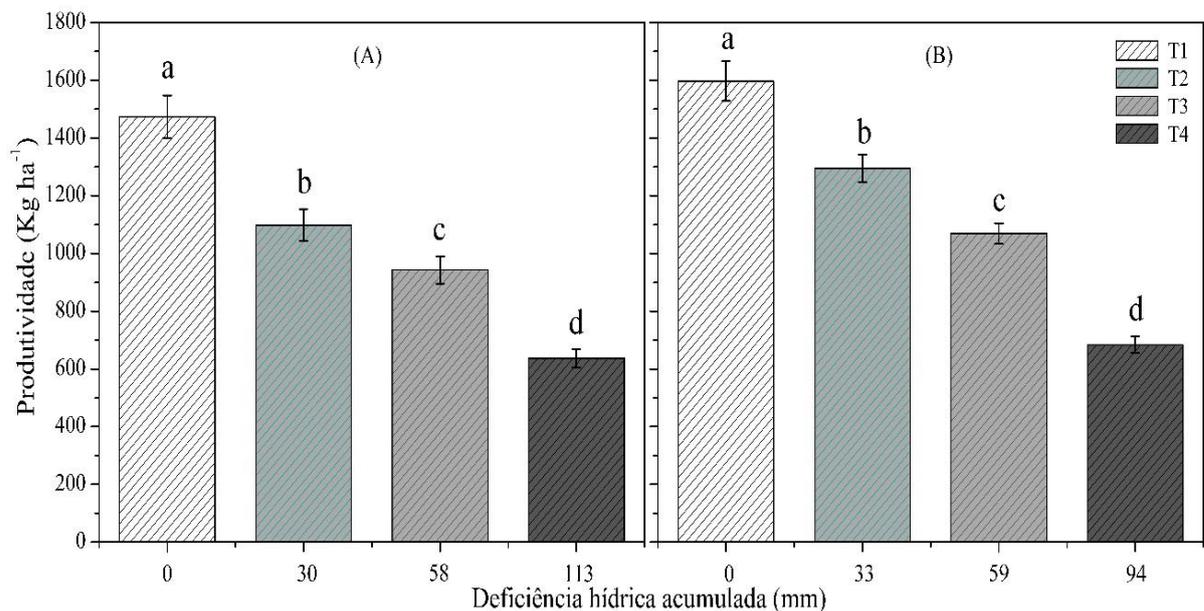


Foi observado que quando o potencial hídrico foliar atingiu valor de $-0,88$ MPa, houve um decréscimo significativo nos valores, de 60% para condutância estomática, 34% para fotossíntese e 39% para transpiração, e aumento na temperatura foliar de 3°C no mesmo período. Definindo assim com esse valor de Ψ_{wf} , o limiar para o estresse hídrico do feijão-caupi nas condições climáticas do nordeste paraense. Resultados semelhantes foram encontrados por Nascimento et al. (2011), com estudos feitos com caupi a tolerância ao déficit hídrico, onde ao se reduzir a lâmina de irrigação, houve redução de 62% no potencial hídrico foliar, 72% na condutância estomática, 60% na produtividade de grãos e um aumento de 11,7% na temperatura foliar, corroborando também com os resultados obtidos por Gomes Filho e Tahin (2002), Oliveira et al. (2005), Guimarães et al. (2006), Mendes et al. (2007) e Sousa et al. (2009).

2.3.4 Produtividade

A produtividade de grãos do feijão-caupi em ambos os anos, comprovou que as distintas disponibilidades hídricas no solo influenciaram diretamente na produção, pois quanto maior foram as deficiências impostas pelos tratamentos, menores foram os valores em kg ha^{-1} do grão (Figura 16). A média de produção dos tratamentos de 2015 foi de 1474 kg ha^{-1} (T1), 1098 kg ha^{-1} (T2), 943 kg ha^{-1} (T3), e 638 kg ha^{-1} (T4), em 2016 foi de 1597 kg ha^{-1} (T1), 1295 kg ha^{-1} (T2), 1069 kg ha^{-1} (T3), e 684 kg ha^{-1} (T4). Larcher (2006) relata que plantas submetidas à deficiência hídrica, resulta em menor abertura estomática e redução no intervalo que os estômatos permanecem abertos. Segundo Paiva et al, (2005) a g_s por ter função de regular as trocas gasosas, possui grande afinidade com o processo fotossintético, participando diretamente no crescimento e desenvolvimento das plantas. Nesse sentido, a planta sofre redução da condutância e da transpiração foliar e, como consequência, há um aumento da temperatura foliar e redução na produção de fotoassimilados, causando redução nos componentes de produção e na produtividade final (TAIZ e ZEIGER, 2013).

Figura 16. Produtividade em 2015 (A) e em 2016 (B) para o experimento com feijão-caupi, Castanhal-Pa.



Em 2015 o decréscimo na produtividade nos tratamentos foi de 25% para o T2, 36% para T3 e 57% no T4, no ano de 2016 foi de 19%, 33% e 57%, para T2, T3 e T4, respectivamente. Os piores resultados na produtividade ocorreram em função do estresse hídrico imposto pelos tratamentos com menores lâminas de irrigação que reduziram a oferta de água no solo. Nascimento et al, (2011), observaram no estudo realizado com feijão-caupi sob

deficiência hídrica uma redução média na produtividade de 60%, entre os tratamentos sob deficiência hídrica com os que foram irrigados adequadamente. Resultados similares foram encontrados nos trabalhos de Bezerra et al. (2003) e Sousa et al. (2009) que alcançaram redução de 59%, 60% e 68,6% ao contrastar os tratamentos com irrigações adequada com os tratamentos submetidos a restrição.

Segundo Lima (2008) a deficiência hídrica inviabiliza nas plantas diversos processos fisiológicos e metabólicos, ocasionando diminuição da produtividade, haja vista, que a água é um dos principais responsáveis pela regulação dos estômatos. Para Leite et al. (2000), tal comportamento pode ser explicado como um dos mecanismos de resistência a seca utilizado por esta planta, no sentido de buscar melhores condições para superar a falta de água, produzindo menor quantidade de vagens. Mattos et al. (2005) relatam que a redução na área foliar das plantas, limita a produtividade em virtude da queda na absorção de CO₂ e na interceptação de luz. Com isso, Coelho (2003), infere que é de extrema importância suprir de forma adequada a demanda hídrica do feijão-caupi, pois acarreta na manutenção do fluxo de água e nutrientes do solo para as folhas, proporcionando boas condições para o crescimento e desenvolvimento da cultura, possibilitando altas produtividades.

2.4 CONCLUSÃO

1. A redução do conteúdo de água no solo reduz o potencial hídrico da planta e trocas gasosas, diminuindo sua produtividade;
2. A lâmina de irrigação do tratamento T1 apresentou os melhores valores para todas as variáveis estudadas, sendo assim a mais indicada para o feijão-caupi (BR3-Tracuateua) nas condições climáticas do nordeste paraense;
3. O valor de -0,88 MPa foi definido como limiar para a deficiência hídrica do feijão-caupi (BR3-Tracuateua) nas condições climáticas do nordeste paraense.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 299p. 1998.

ASAE - American Society of Agricultural Engineers. **Field evaluation of microirrigation systems**: ASAE EP458. ASAE Standards 1997. ed.44. St. Joseph, p.908-914, Ano 1997.

BASTOS, E. A.; FERREIRA, V. M.; SILVA, C. R.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi no vale do Gurguéia, PI. **Rev Irriga**, v.13, p.182-190, Ano 2008.

BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: Ed. UFV, p. 625. Ano 2006.

BEZERRA, F. M. L. et al. Feijão caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n. 01, p. 13-18, 2003.

BEZERRA, F. M. L., ARARIPE, M. A. E., TEÓFILO, E. M.; CORDEIRO, L. G.; SANTOS, J. J. A. Feijão caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Rev Ciência Agronômica**, v. 34, n.1. Ano 2003.

CARVALHO, H. P.; DOURADO NETO, D.; TEODORO, R. E. F. E MELO, B. **Balanço hídrico climatológico, armazenamento efetivo da água no solo e transpiração na cultura de café**. Bioscience Journal, 27, 221-229, 2011

CIRINO, P. H.; FÉRES, J. G.; BRAGA, M. J.; REIS, E. Assessing the Impacts of ENSO-related Weather Effects on the Brazilian Agriculture. **Procedia Economics and Finance**, v. 24, p. 146-155, 2015.

COELHO, A. M. Fertirrigação em culturas anuais produtoras de grãos. **Rev Trimestral da Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem - ABID**. 2003.n.58, p. 44-54. Ano 2003.

COSTA, R.C.L. **Assimilação de Nitrogênio e Ajustamento Osmótico em Plantas Noduladas de Feijão-de-corda [Vigna unguiculata (L.) Walp]** Submetidas ao Estresse Hídrico. Tese de doutorado. UFC/DBBM, março. 1999.

DE CARVALHO, C. J. R. RESPOSTAS DE PLANTAS DE *Schizolobium amazonicum* [S. parahyba var. amazonicum] E *Schizolobium parahyba* [*Schizolobium parahybum*] À DEFICIÊNCIA HÍDRICA. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 907-914, 2005.

EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. **Cultivar de Feijão Caupi: BR3 – Tracuateura purificada para o estado do Pará**. 2005. Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/br3tracuateua_000fljvhfns02wyiv80lcx0a9xtkboga.pdf> Acessado em 15 mar 2015.

- FARIAS, V. D. da S.; COSTA, D. L. P.; SOUZA, P. J. de O. P. de; TAKAKI, A. Y.; LIMA, M. J. A. de. Temperaturas basais e necessidade térmica para o ciclo de desenvolvimento do feijão-caupi. **Rev Enciclopédia Biosfera**. Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.21; p. 1781. Ano 2015.
- FAVER, K. L.; GERIK, T. J.; THAXTON, P. M. ELZIK, K. M. Late season water stress in cotton: Leaf gas exchange and assimilation capacity. **Crop Science**, Madison, v.36, p. 922-928, 1996.
- FILGUEIRAS, L. M. B. Trocas gasosas em genótipos de feijão-caupi com e sem sombreamento. **Monografia** (Graduação em Ciências Agrárias), 2013.
- FRANÇOIS, T. Relações hídricas e trocas gasosas em plantas de feijão submetidas à irrigação deficitária. **Dissertação**. (Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2012.
- FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. de M.; SILVA, K. J. D.; RIBEIRO, V. Q.; NOGUEIRA, M. do S. da R. Feijão-Caupi: Melhoramento genético, resultados e perspectivas. In: simpósio nordestino de genética e melhoramento de plantas, Fortaleza. O melhoramento genético no contexto atual. **Anais...** Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical/UFC. p. 25-59. Ano 2009.
- GARRIDO, M.A.T. Respostas do feijoeiro às lâminas de água e adubação nitrogenada. 1998. 205 f. **Tese** (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.
- GEPTS, P.; FERNÁNDEZ, F. Etapas de desarrollo de la planta de fríjol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Cali: CIAT, 1982. 10 p. **fisiológicos das culturas**. Brasília: EMBRAPA-DPU, 423 p. p. 397 409. Ano 1989.
- GIUNTA, P.; PRUNEDDU, G.; OTZO, R. Radiation interception and biomass and nitrogen accumulation in different cereal and grain legume species. **Rev Field Crops Research**, pp. 76–84. Ano 2009.
- GOMES FILHO, R. R.; TAHIN, J. F. Respostas fisiológicas de cultivares de caupi (*Vigna unguiculata*) eretos e decumbentes a diferentes níveis de irrigação. **Engenharia na Agricultura**, v.10, p.56-60, 2002.
- GUIMARÃES, C. M.; Stone, L. F.; Brunini, O. Adaptação do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.70-75, 2006.
- GRIMM, A. M. El niño, novamente!. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 4, 351 - 357, 2015.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Cidades: Produção Agrícola Municipal. Lavoras Temporárias e Permanentes**, 2010. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>> Acesso em 26 de jun/2016.

- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**, São Carlos, SP: Rima artes, 2006.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 531p., 2000.
- LEITE, M.L.; RODRIGUES, J.D.; MISCHAN, M.M.; VIRGENS FILHO, J.S. Efeitos do déficit hídrico sobre a cultura do caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp], cv. EMAPA-821. II - Análise de Crescimento. **Rev. de Agricultura**. Piracicaba, v.74, n.3, p.351-370, 1999.
- LEITE, M.L.; RODRIGUES, J.D.; VIRGENS FILHO, J.S. Efeitos do déficit hídrico sobre a cultura do caupi, cv. EMAPA-821. III - Produção. **Rev. de Agricultura**. Piracicaba, v.75, n.1, p.9-20, 2000.
- LIMA, A. A. F. Respostas fisiológicas de cultivares de feijão [*Phaseolus vulgaris* L. e *Vigna unguiculata* (L.) Walph.] submetidas à deficiência hídrica: uma alternativa para a agricultura familiar do semi-árido sergipano. **Dissertação** - Sergipe. Ano 2008.
- MENDES, R. M. S.; Távora, F. J. A. F.; Pinho, J. L. N.; Pitombeira, J. B. Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Ciência Agrônômica**, v.38, p.95-103, 2007.
- MACHADO, E. C., et al. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientes. **Pesquisa agropecuária brasileira**, V. 40, n. 12, p. 1161-1170, 2005.
- MATTOS, J. L. S.; GOMIDE, J. A.; HUAMAN, C. A. M. Crescimento de espécies do gênero *Brachiaria*, sob déficit hídrico, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, p.746-754, 2005.
- MERRIAN, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation. Engineering Department**, Utah State University. Ano 1978.
- MICHELETTO, S.; RODRIGUEZ-URIBE, L.; HERNANDEZ, R.; RICHINS, R.D.; CURY, J.; O'Connell, M. A. Comparative transcript profiling in roots of *Phaseolus acutifolus* and *P. vulgaris* under water deficit stress. **Plant Science**, v.173, p.510-520, 2007.
- MILBURN, J. Water flow in plants. London: **Longman**, p.225. 197
- NASCIMENTO, S. P do. Efeito do déficit hídrico em feijão caupi para identificação de genótipos com tolerância à seca. **Dissertação**. (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2009.
- NASCIMENTO, S. P.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, E. C. E.; FRANCISCO R. FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, E. M. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.8, p.853–860, 2011.

- NASCIMENTO, J. T.; PEDROSA, M. B.; TAVARES, S. J. Efeito da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção de feijão caupi, vagens e grãos verdes. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 2, p. 174-177, 2004.
- NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V; BURITY, H. A.; BEZERRA NETO, E. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, p.75-87, 2001.
- NOGUEIRA, R. J. M. C.; Santos, R. C.; Bezerra Neto, E; Santos, V. F. dos. Comportamento fisiológico de dois cultivares de amendoim submetidos a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.1963-1969, 1998.
- OLIVEIRA, A. D.; Fernandes, E. J.; Rodrigues, T. J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em Feijão. **Engenharia Agrícola**, v.25, p.86-95, 2005.
- OLIVEIRA, Simone Raquel Mendes de. Densidade populacional do feijão-caupi sob níveis de irrigação. **Tese**. (Doutorado em Agronomia). 2013.
- OSBERT, J.S., GEOFFREY, B., WHITEHEAD, D.S., BUCHAN, D. Physiological response to water stress and water logging in *Nothofagus* species. **Tree Physiology**, v.15, p.629–638, 1995.
- PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D.; TURCO, J. E. P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 161-169, 2005.
- PIMENTEL, C. e HÉBERT, G. Potencial fotossintético e condutância estomática em espécies de feijão caupi sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.11, n.1, p.7-11, 1999.
- ROCHA, D. G. F. e TÁVORA, F. J. F. Relações hídricas de plantas de feijão de corda submetidas a deficiência hídrica na fase vegetativa, **Enciclopédia Biosfera**. Goiânia, 2013.
- SANTOS JUNIOR, U.M.; GONÇALVES, J.F.C.; FELDPAUSCH, T.R. Growth, leaf nutrient concentration and photosynthetic nutrient use efficiency in tropical tree species planted in degraded areas in central Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v.226, p.299-309, 2006.
- SANTOS, M. A. S.; REBELLO, F. K.; HOMMA, A. K.O. Fontes de crescimento da produção de feijão-caupi no Estado do Pará, no período de 1998-2008. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Feijão-Caupi**. Belém, Embrapa Amazônia Oriental, 24 a 28 de agosto de 2009.
- SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA DO PARÁ – SAGRI - PA. **Banco de dados**. Belém, Ano 2010.

SILVA, W. C. Respostas do Feijão-caupi à Diferentes lâminas de Irrigação com Água salina e doses de Biofertilizante. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

SILVA, C. D. S. et al. Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas a deficiência hídrica, **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 4, p. 7-13, 2010.

SILVA, E. C.; Nogueira, R. J.M.C.; AZEVEDO NETO, A. D.; SANTOS, V. F. Comportamento estomático e potencial da água na folga em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. **Acta Botânica Brasilica**, São Paulo, v.17, p. 231-246, 2003.

SOUSA, M. A.; LIMA, M. D. B.; SILVA, M. V. V.; ANDRADE, J. W. S. **Estresse hídrico e profundidade de incorporação do adubo afetando os componentes de rendimento do feijoeiro**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.39, p.175-182, 2009.

SOUZA, R. P.; MACHADO, E. C.; SILVA, J. A. B.; LAGO, A. M. M. A.; SILVEIRA, J. A. G. Photosynthetic gas Exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. **Environmental and Experimental Botany**, v.51, p.45-56, 2004.

SUBBARAO, G.V.; CHAUHAN, Y.S.; JOHANSEN, C. Patterns of osmotic adjustment in pigeonpea — its importance as a mechanism of drought resistance. **European Journal of Agronomy**, v. 12, p. 239–249, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TENÓRIO, A. R. M.; GRAÇA, J. J.; GÓES, J. E. M.; MENDEZ, J. G. R.; GAMA, J. R. N. F.; SILVA, P. R. O.; CHAGAS, P. S. M.; SILVA, R. N. P.; AMÉRICO, R. R. A.; PEREIRA, W. L. M. **Mapeamento dos solos da Estação de Psicultura de Castanhal**. FCAP, Belém, Informe Técnico, 25:5-26. Ano 1999.

TURNER, N.C. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. **Plant and Soil**, v.58, p.339-366, 1981.

XAVIER, Gustavo Ribeiro et al. **Variabilidade genética em acessos de caupi analisada por meio de marcadores RAPD**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 40, n. 4, p. 353-359, 2005

APÊNDICE

Figura 1. Croqui da área experimental em 2015 e 2016 para o feijão-caupi, Castanhal-Pa.

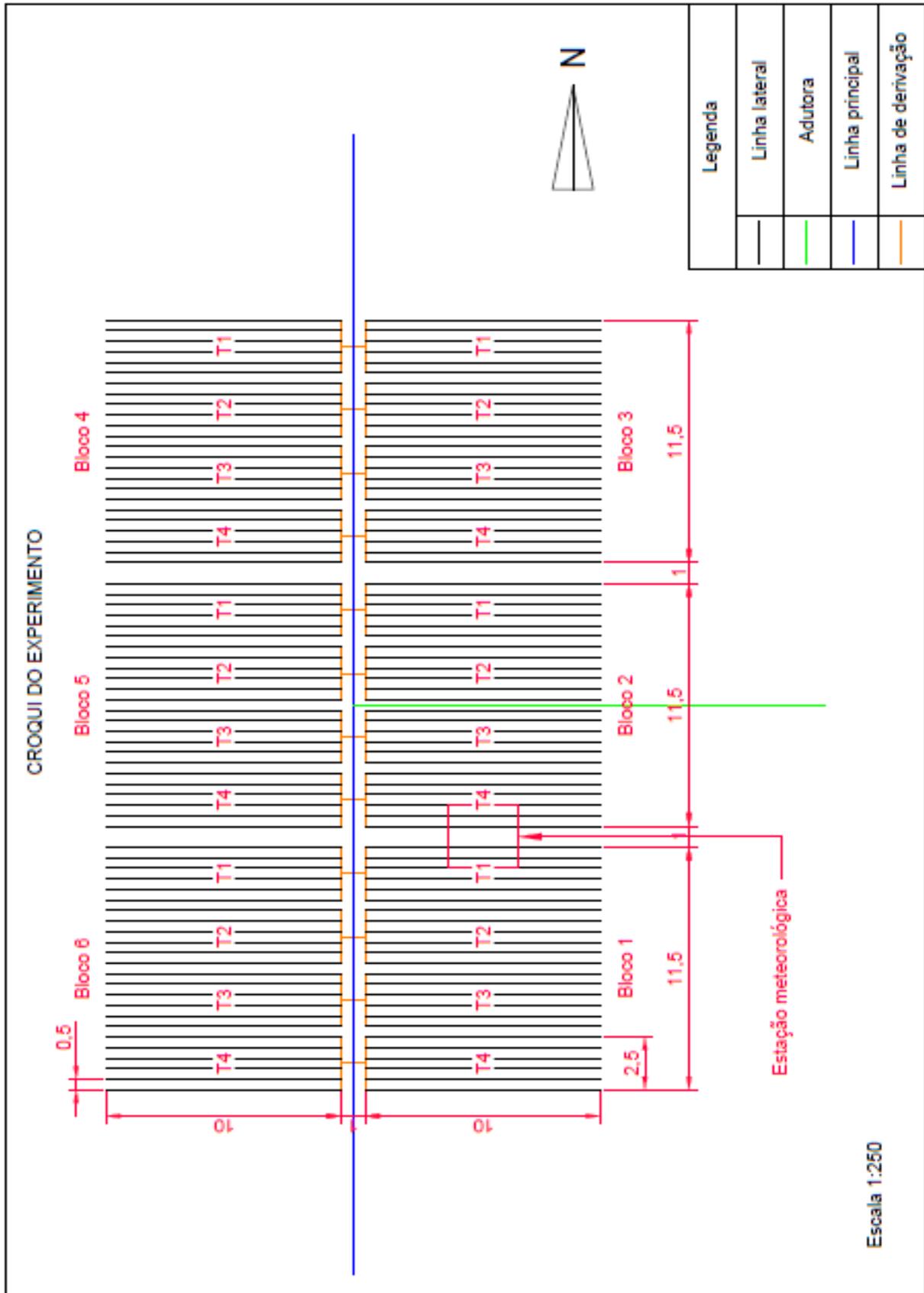


Figura 2. Resumo da curva diurna com radiação fotossinteticamente ativa (PAR), condutância estomática (g_s) e Fotossíntese (A), para o experimento com o feijão-caupi, Castanhal-Pa.

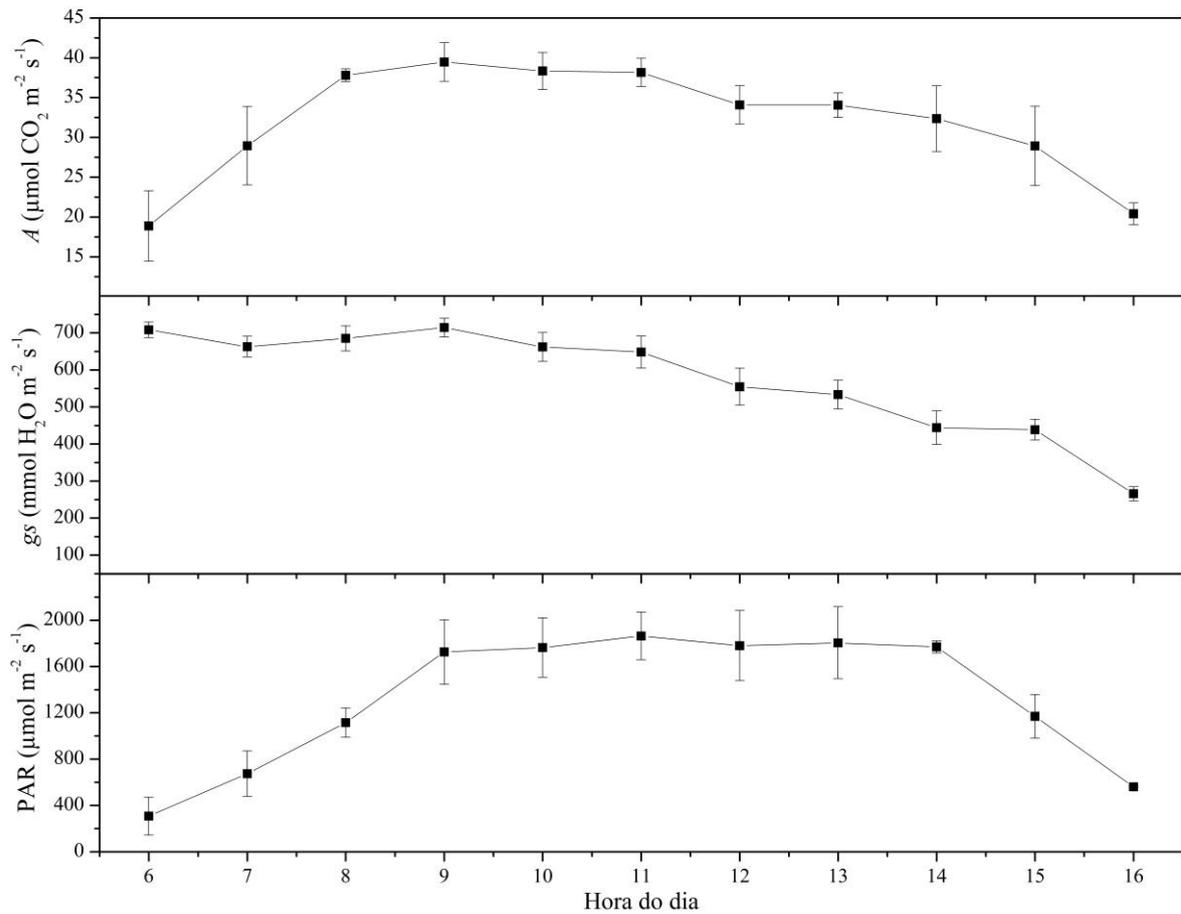


Tabela 1. Resultado médio da avaliação do CUC e Ea em %, do sistema de irrigação utilizado nos dois anos de experimento com feijão-caupi, Castanhal-Pa.

Safr	CUC	Ea	Classificação	
			CUC	Ea
2015/2016	88	80	Bom	Aceitável

Tabela 2. Resumo da análise de variância (ANOVA), para as variáveis Potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}), Condutância estomática (gs), Fotossíntese (A), Transpiração (E), Temperatura foliar (Tf) e Concentração Intercelular de CO₂ (Ci), entre os anos experimentais de 2015 e 2016 para o feijão-caupi, Castanhal-Pa.

Potencial Hídrico Foliar (Ψ_{wf}) 15 – 16				
	T1	T2	T3	T4
p - valor	0,580 ^{NS}	0,531 ^{NS}	0,762 ^{NS}	0,334 ^{NS}
Condutância estomática (gs) 15 – 16				
	T1	T2	T3	T4
p - valor	0,486 ^{NS}	0,538 ^{NS}	0,069 ^{NS}	0,264 ^{NS}
Fotossíntese (A) 15 – 16				
	T1	T2	T3	T4
p - valor	0,095 ^{NS}	0,924 ^{NS}	0,219 ^{NS}	0,903 ^{NS}
Transpiração (E) 15 – 16				
	T1	T2	T3	T4
p - valor	0,423 ^{NS}	0,389 ^{NS}	0,841 ^{NS}	0,880 ^{NS}
Temperatura foliar (Tf) 15 – 16				
	T1	T2	T3	T4
p - valor	0,255 ^{NS}	0,491 ^{NS}	0,590 ^{NS}	0,787 ^{NS}
Concentração Intercelular de CO ₂ (Ci) 15 – 16				
	T1	T2	T3	T4
p - valor	0,953 ^{NS}	0,792 ^{NS}	0,725 ^{NS}	0,257 ^{NS}

NS: Não Significativo;

*: Significativo a 5% de probabilidade;

**: Significativo a 1% de probabilidade.