



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

DENIS DE PINHO SOUSA

**EFICIÊNCIA DO USO DA RADIAÇÃO SOLAR PELO FEIJÃO-CAUPI SOB
DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO
NORDESTE PARAENSE**

BELÉM - PA
2016



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

DENIS DE PINHO SOUSA

**EFICIÊNCIA DO USO DA RADIAÇÃO SOLAR PELO FEIJÃO-CAUPI SOB
DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO
NORDESTE PARAENSE**

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.

*DISSERTAÇÃO
632.3
5054*

BELÉM - PA
2016

De-Pinho, Denis de Pinho Sousa

Eficiência do uso da radiação solar pelo feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos nas condições climáticas do nordeste paraense. / Denis de Pinho Sousa. – Belém, 2016.

61. f

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2016.

1. Produção vegetal 2. Agrometeorologia 3. Ecofisiologia 4. Irrigação 5. Caupi. Título



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

DENIS DE PINHO SOUSA

**EFICIÊNCIA DO USO DA RADIAÇÃO SOLAR PELO FEIJÃO-CAUPI SOB
DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO
NORDESTE PARAENSE**

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. Alailson Venceslau Santiago – 1º Examinador
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL – EMBRAPA

Dr. Hugo Alves Pinheiro – 2º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA

Dr. Gabriel Brito Costa – 3º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ - UFOPA

Dedico,

Aos meus pais,

Celina de Pinho Sousa & Mario Corrêa de Sousa,

*Por todos os ensinamentos, incentivos para estudar e crescer profissionalmente,
torcida, dedicação, carinho e amor durante todos os anos de minha vida.*

Ao meu irmão, cunhada e sobrinhos,

Diego de Jesus de Pinho Sousa, Renata Soares Sousa, Rayssa Sousa & Derick Sousa,

Por toda torcida, companheirismo, amor, carinho e amizade.

A minha namorada,

Surama Pureza da Costa e Costa,

Por toda a paciência, compreensão, companheirismo, ajuda e amor.

Ofereço,

Ao meu avô e minha avó,

Benedito de Pinho e Lourença Corrêa,

Carinhosamente chamados de “Seu Biluca” e “Dona Guita”,

Por toda sabedoria repassada, amor e carinho.

Ao meu tio e tia,

Isaias Marinho de Pinho e Sandra Helena Marinho de Pinho,

Por todos os ensinamentos, amor e carinho e por serem meus segundos pais.

AGRADECIMENTOS

Em especial a Deus e a Nossa Senhora de Nazaré, pela força e pela fé, que faz brotar dentro de cada um de nós, em cada momento das nossas vidas;

Aos meus pais, Dona Celina e Seu Mario por todo o apoio nessa grande caminhada da vida, ao meu irmão, minha cunhada e meus sobrinhos pela força e torcida em todos os momentos da minha vida;

A minha namorada Surama Costa, que em todos os momentos difíceis esteve ao meu lado, sempre me apoiando e me dando força. Te amo, Flor! Aqui não teria páginas suficientes e tempo para escrever meu agradecimento por tudo o que você fez e faz por mim;

A minha família, em especial à tia Sandra, tio Isaias, tia Alessandra, tio Jorge, tia Kátia, tio Valdir, tio Sabá, tia Esperança e tio Ailson, por todo o incentivo;

Aos irmãos que ganhei na universidade Denilson Pontes, Richard de Nixon e Wagner Lopes Filho, que são fundamentais em minha vida desde o início da graduação, obrigado por toda a força, incentivo e companheirismo durante todos esses anos;

Aos colegas do grupo de pesquisa Interações solo-planta-atmosfera na Amazônia: Marcus, Vivian, Hildo, Denilson, Deborah Pires, Débora Galdino, Amanda, Wylker, Thaynara, Cenneya, Lucas, Thais, Gustavo e Hamilton Neto por toda a ajuda durante os dois anos de elaboração dessa dissertação;

Aos amigos do PPG em Agronomia – UFRA: Ana Carla, Ana Paula, Fabiano Brito, Flávia Araujo, Candido Milton, Fernanda Mendonça e Willian Aviz, pelas discussões científicas, troca de ideias e amizade;

Aos funcionários da Fazenda Escola da UFRA em Castanhal: Tia Neide (mãezona), Ladeira, Renato, Mica, Raimundinho, Maradona, Gilson, Paulo, Tito, Fernando, Maciel e Nairon, pela amizade e apoio nos experimentos de campo;

Ao meu orientador, Professor Dr. Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza, pela confiança depositada em mim e pelo exemplo de ética 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.

Muito Obrigado!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE TAABELAS	9
RESUMO.....	10
ABSTRACT	11
1 CONTEXTUALIZAÇÃO	12
OBJETIVOS.....	14
1.1 Revisão de Literatura	15
1.1.1 Aspectos Gerais da Cultura	15
1.1.2 Efeito do déficit hídrico no crescimento, desenvolvimento e produtividade .	16
1.1.3 Índice de Área Foliar.....	17
1.1.4 Radiação Solar no Dossel Vegetativo	18
1.1.5 Eficiência do Uso da Radiação Solar	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21
2 EFICIÊNCIA DO USO DA RADIAÇÃO SOLAR PELO FEIJÃO-CAUPI SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS NAS CONDIÇÕES CLIMATICAS DO NORDESTE PARAENSE	25
2.1 INTRODUÇÃO.....	25
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS	27
2.2.1 Localização do sítio de pesquisa.....	27
2.2.2 Preparo da área e manejo da cultura	28
2.2.3 Delineamento e manejo de irrigação.....	29
2.2.4. Medidas de crescimento e desenvolvimento do feijão-caupi	33
2.2.5 Instrumentação e coleta de dados agrometeorológicos	36
2.2.6 Radiação no dossel.....	37
2.2.7 Análises estatísticas.....	38
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
2.4 CONCLUSÕES	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área experimental	27
Figura 2 – Croqui da área experimental (A) e do bloco (B).	30
Figura 3 – Fases vegetativas (a – V0, b – V1, c – V2, d – V3 e e – V4) e reprodutivas (f – R5, g – R6, h – R7, i – R8 e j – R9) e seus respectivos estádios fenológicos do feijão caupi.	34
Figura 4 - Torre micrometeorológica (A), estação meteorológica automática (B), sensor de temperatura e umidade relativa do ar a 0,5 m (C) e 2 m (D) acima do dossel.	36
Figura 5 - Sensor sunscan (A) coletando dados de radiação PAR incidente (B) e PAR transmitida (C).....	37
Figura 6 - Valores médios de temperatura e radiação global durante os dois anos de experimento com feijão-caupi.	39
Figura 7 - Valores diários de umidade do solo e precipitação total na área experimental, ao longo do experimento com feijão-caupi, submetido a diferentes disponibilidades hídricas.	41
Figura 8 - Água disponível no solo da área experimental, ao longo do experimento com feijão-caupi, submetido a diferentes disponibilidades hídricas.	42
Figura 9 - Variação da fração de radiação PAR interceptada e evolução do índice de área foliar em função dos dias após a semeadura nos quatro tratamentos submetidos a diferentes disponibilidades de água ao longo do experimento com feijão-caupi.	43
Figura 10 - Variação do coeficiente de extinção da luz (k) em função de quatro diferentes disponibilidades de água ao longo do experimento com feijão-caupi.	46
Figura 11 - Evolução da matéria seca total (MSt) em função dos dias após a semeadura nos quatro tratamentos submetidos a diferentes disponibilidades de água ao longo do experimento com feijão-caupi.	48
Figura 12 – Eficiência do uso da radiação solar do feijão-caupi submetido a diferentes disponibilidades de água.	50
Figura 13 – Produtividade do feijão-caupi submetido a quatro tratamentos com diferentes disponibilidades de água ao longo do ciclo.....	52
Figura 14 – Índice de colheita (IC) do feijão-caupi submetido a quatro tratamentos com diferentes disponibilidades de água durante o ciclo.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características químicas e físicas do solo da área experimental.....	28
Tabela 2 – Coeficiente da cultura (Kc) em função do estágio fenológico do feijão-caupi utilizado durante os dois anos de experimento (Bastos et al., 2008).....	32
Tabela 3 - Escala fenológica do feijão comum adaptada para o caupi. (GEPTS e FERNANDEZ ,1982).....	33
Tabela 4 – Variáveis e instrumentos utilizados no experimento, assim como, a disposição dos mesmos em relação ao solo.	37
Tabela 5 – Resultado da avaliação do CUC, CUD e Ea em %, do sistema de irrigação utilizado no experimento com feijão-caupi.....	40
Tabela 6 – Interceptação de radiação PAR máxima e índice de área foliar máximo do feijão-caupi sob diferentes disponibilidades de água ao longo do ciclo, submetidos ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.	44
Tabela 7 – Coeficiente de extinção da luz (k) do feijão-caupi sob diferentes disponibilidades de água ao longo do experimento.....	45
Tabela 8 – Máxima produção de matéria seca total (MSt) do feijão-caupi nas duas fases de desenvolvimento sob diferentes disponibilidades de água ao longo do ciclo, submetidos ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.	47
Tabela 9 – Eficiência do uso da radiação solar do feijão-caupi sob diferentes disponibilidades de água ao longo do ciclo.....	49

RESUMO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) exerce um papel importante na produção agrícola no Brasil, principalmente para as regiões Norte e Nordeste. O Nordeste do Pará é o polo produtivo de feijão-caupi no estado, onde tem se notado grande investimento dos produtores. Mas, o caupi ainda apresenta uma média de produtividade baixa, com apenas 669 kg ha⁻¹, resultado de diversos fatores, como a deficiência hídrica. Existe uma relação muito forte entre a produção de massa seca e a radiação solar interceptada por uma cultura, conhecida como eficiência do uso da radiação solar. Portanto, o objetivo deste trabalho foi determinar a eficiência do uso da radiação solar pelo feijão-caupi submetido a diferentes condições de disponibilidade hídrica nas condições climáticas do Nordeste paraense. O experimento foi realizado no Município de Castanhal-PA. A semeadura foi realizada utilizando-se a cultivar BR3-Tracuateua. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com seis blocos e quatro tratamentos. Os tratamentos consistiam de diferentes lâminas de irrigação, onde o tratamento T1 consistiu na reposição de 100% da ETc, o tratamento T2 em 50% da ETc, o tratamento T3 em 25% da ETc e o tratamento T4 consistiu de não ser irrigado durante a fase reprodutiva. Para análise da matéria seca total foram coletadas 10 plantas que posteriormente foram colocadas para secar em estufa a 70°C por 72h, o índice de área foliar (IAF) foi determinado pelo método dos discos e para análise de produtividade foi utilizado o método do quadro. Para medir a PAR incidente e transmitida foi utilizado um sensor *sunscan*. O k foi obtido em cada tratamento por meio de regressão não linear entre a fPARinter o IAF, já a EUR foi obtida pela regressão linear entre a MSt e a radiação PARinter acumulada diariamente. Os dados de crescimento e de radiação foram submetidos a análise de variância e ao teste de Tukey a 0,05 de probabilidade e os dados de EUR foram submetidos ao teste das variáveis Dummy. Os resultados de IAF e MSt diferiram significativamente entre si, a medida que o feijão-caupi crescia. O valor de k foi igual a 0,88 para o tratamento sem restrição hídrica e de 0,85, 0,82, 0,79 para os tratamentos com restrição hídrica, T2, T3 e T4, respectivamente. A EUR foi de 2,18 g MJ⁻¹ no tratamento T1 e de 2,01 g MJ⁻¹ no T2, 1,91 g MJ⁻¹ no T3 e 1,83 g MJ⁻¹ no T4. Os tratamentos com as diferentes lâminas de irrigação proporcionaram efeitos significativos nas variáveis morfológicas de índice de área foliar e matéria seca total do feijão-caupi e os valores mais elevados de coeficiente de extinção da luz e de eficiência do uso da radiação foram observados nos tratamentos com maior disponibilidade de água, respondendo positivamente aos tratamentos com diferentes lâminas de irrigação. Os parâmetros de crescimento e desenvolvimento e a produtividade do feijão-caupi são sensíveis tanto a falta como ao excesso de água no solo, bem como o coeficiente de extinção da luz e a EUR.

Palavra chave: *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Radiação PAR interceptada. Déficit hídrico. Coeficiente de extinção da radiação.

ABSTRACT

Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) Plays an important role in agricultural production in Brazil, mainly in the North and Northeast regions. The Para Northeast is the production hub of cowpea in the state where it has been noticed large investment of producers. But the cowpea still has low productivity average, with only 669 kg ha⁻¹, a result of several factors such as water stress. There is a strong relationship between the dry matter production and solar radiation intercepted by a culture known as the efficient use of solar radiation. Therefore, the objective of this study was to determine the efficiency of the use of solar radiation by the bean-Cupi under different water availability conditions in the climatic conditions of Para Northeast. The experiment was conducted in the municipality of Castanhal-PA. Sowing was carried out using the cultivar BR3-Tracueteua. The experimental design was using a randomized block design with six blocks and four treatments. The treatments consisted of different water depths, where T1 treatment consisted of the replacement of 100% in ETC treatment T2 in 50% etc., T3 treatment in 25% of the ETC is T4 treatment consisted not be flooded during reproductive phase. To analyze the total dry matter were collected 10 plants which were then put to dry in an oven at 70 ° C for 72 hours, the leaf area index (LAI) was determined by the method of discs and productivity analysis was used the framework method . To measure the PAR incident and transmitted has been used a sunscan sensor. The k was obtained for each treatment using non-linear regression between the fPARinter LAI, since the EUR was obtained by linear regression between MST and the accumulated radiation PARinter daily. Data growth and radiation were subjected to analysis of variance and Tukey test at 0.05 probability and the EUR data were submitted to the test of variables Dummy. The results of IAF and Mst differ significantly, as the cowpea growing. The value of k was equal to 0.88 for water treatment without restriction, 0.85, 0.82, 0.79 for treatments with water restriction, T2, T3 and T4, respectively. The EUR was 2.18 g MJ⁻¹ in the treatment T1 and 2.01 g MJ⁻¹ in T2, 1.91 g MJ⁻¹ in T3 and 1.83 g MJ⁻¹ in T4. Treatments with different irrigation regimes provided significant effects on morphological variables of leaf area index and total dry matter of cowpea and the highest values of extinction coefficient of light and radiation use efficiency were observed in treatments greater availability of water, responding positively to treatment with different blades irrigation. Growth parameters and development and productivity of cowpea are sensitive to both the lack as the excess water in the soil, and the extinction coefficient of light and the EUR.

Keywords: *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Radiation PAR intercepted. Water deficit. Radiation extinction coefficient.

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] possui um papel importante na produção agrícola no Brasil, principalmente para as regiões Norte e Nordeste, onde é o alimento base de milhões de famílias (LIMA FILHO et al., 2013a). É cultivado principalmente para a produção de grãos que podem ser consumidos na forma desidratada ou em conserva ou *in natura*, podendo também sua matéria seca ser utilizada como feno, forragem verde e farinha na alimentação animal (ANDRADE JUNIOR et al., 2003). O desenvolvimento de cultivares de porte ereto tem despertado o interesse de grandes produtores devido à possibilidade de uso de maquinário durante o cultivo, contribuindo para a expansão do feijão caupi, em especial na região Centro-Oeste do país e Nordeste do Pará (TEIXEIRA et al., 2010).

O Nordeste do Pará é o polo produtivo de feijão-caupi no estado, aonde vem sendo realizado elevado investimento por parte dos produtores para a obtenção de cultivares mais adaptadas às diversas condições edafoclimáticas através do avanço tecnológico nos sistemas de produção (FREIRE FILHO et al., 2009). Ainda assim, o caupi apresenta uma produtividade média baixa, de apenas 669 kg ha⁻¹ (FAPESPA, 2015), muito distante da produtividade potencial da cultura, resultado de diversos fatores como o manejo incorreto das sementes, baixa fertilidade dos solos e adversidade climática, principalmente a deficiência hídrica (MENDES et al., 2007).

A radiação solar é um dos elementos que mais influencia a deficiência hídrica nas plantas, por influenciar as perdas de água no solo pela evaporação e na planta pela transpiração, o que ocasiona redução da matéria seca total, influenciado pela redução na produção de fotoassimilados (DEMETRIADES-SHADH et al., 1992). Segundo Montheith (1977), existe uma relação muito forte entre a produção de massa seca e a radiação solar interceptada por uma cultura, podendo assim estimar sua produtividade a qual é definida como eficiência do uso da radiação solar.

A eficiência do uso da radiação (EUR) sofre influência de diversas condições climáticas, dentre as quais se destaca o déficit hídrico, que ocasiona redução no índice de área foliar, acarretando diminuição na quantidade de radiação interceptada, refletindo em menor conversão dessa radiação em matéria seca total (KUNZ et al., 2007). San Jose et al. (2004) estudando as cultivares de feijão-caupi TC-9-6 e M-28-6-6 durante duas estações distintas, verificaram que os valores da EUR da estação seca reduziram em 28% e 26% para as cultivares, respectivamente, quando comparados aos resultados obtidos durante a estação chuvosa, corroborando Craufurd e Wheeler (1999) que

observaram redução de 22% na EUR do feijão-caupi em duas épocas distintas de semeadura, correspondentes a safra das águas e as condições de sequeiro.

O feijão-caupi apesar de apresentar elevada eficiência na interceptação da radiação em função de característica como folhas glabras e de coloração verde-escura (PHOGAT et al., 1984), responde negativamente quando submetido à limitação hídrica diminuindo significativamente sua EUR (SAN JOSE et al., 2004, TESFAYE et al., 2006). Por outro lado, quando as condições edafoclimáticas e pragas e doenças deixam de ser um fator limitante, a cultura passa a depender principalmente da taxa de interceptação de luz e da assimilação de dióxido de carbono para a sua produção (LOOMIS e WILLIAMS, 1963).

Baixos valores na EUR pelas culturas, na maioria das vezes estão relacionados ao ataque de pragas e doenças, à concorrência com plantas daninhas, à cobertura parcial do solo pela cultura em análise e por deficiências em água e nutrientes no solo (MONTEITH e UNSWORTH, 1990). Estudos que levem em conta as variáveis de crescimento, desenvolvimento e produtividade do feijão-caupi, considerando as variações com que a planta usa a radiação de forma eficiente, bem como, os efeitos do clima em seu cultivo, visando auxiliar no planejamento agrícola, contribuindo para o manejo mais adequado, possibilitando a obtenção de maiores produtividades, são extremamente importantes para o desenvolvimento e expansão da cultura no estado. Baseado nisso, do ponto de vista científico, foi testada a seguinte hipótese:

1. A quantidade de água disponível no solo afeta a eficiência com que o feijão-caupi utiliza a radiação solar nas condições climáticas do Nordeste paraense.

OBJETIVOS

➤ Objetivo geral:

- ✓ Determinar a eficiência do uso da radiação solar pelo feijão-cupi submetido a diferentes condições de disponibilidade hídrica nas condições climáticas do Nordeste paraense.

➤ Objetivos específicos:

- ✓ Determinar o coeficiente de extinção da luz e a eficiência do feijão-caupi em interceptar e usar a radiação solar sob distintas lâminas de irrigação nas condições climáticas do Nordeste paraense.
- ✓ Determinar os parâmetros de crescimento do feijão-caupi, como índice de área foliar e produção de matéria seca total, produtividade e índice de colheita sob diferentes lâminas de irrigação.

1.1 Revisão de Literatura

1.1.1 Aspectos Gerais da Cultura

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) é uma planta dicotiledônea, que pertence à ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolinae, gênero *Vigna*, subgênero *Vigna*, seção Catiang, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. e subespécie *unguiculata* (FREIRE FILHO et al., 2005).

Comumente chamado de feijão de corda ou feijão macassar, a cultura de origem africana, foi introduzida no Brasil na segunda metade do século XVI pelos colonizadores portugueses no estado da Bahia (FREIRE FILHO, 1988). É uma das culturas mais adaptadas às diversas condições edafoclimáticas, podendo ser encontrado nas savanas tropicais e subtropicais da África, Ásia e América do Sul (NECHET e VIEIRA, 2006).

De crescimento rápido, a espécie é uma leguminosa anual, herbácea que possibilita boa cobertura ao solo. Suas flores são hermafroditas e autoférteis, produz frutos do tipo vagem, se desenvolvendo bem em condições de alta temperatura, solos arenosos ou de textura média, com boa drenagem. A propagação é feita exclusivamente por sementes e a semeadura é direta no campo (FREIRE FILHO, 2005).

Mundialmente, os principais produtores do feijão-caupi são a Nigéria, Níger, Brasil, Mali e Tanzânia (FREIRE FILHO, 2011). No Brasil, a produção concentra-se nas regiões Nordeste e Norte, sendo amplamente cultivado pelos pequenos produtores, tornando-se um dos principais componentes da dieta alimentar (Lima Filho et al., 2013a), por possuir elevadas taxas de proteínas (23-25% em média) e apresentando todos os aminoácidos essenciais, carboidratos (62%, em média), vitaminas e minerais, além de possuir grande quantidade de fibras dietéticas, baixa quantidade de gordura (ANDRADE JUNIOR et al., 2003). Nos últimos anos 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).

1.1.1.1 Cultivar de Feijão-caupi - BR3 Tracuateua

Recomendada para o cultivo de sequeiro na região Bragantina do estado do Pará, a cultivar BR3 – Tracuateua, foi lançada em 1984 pelo Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (CPATU) - atual Embrapa Amazônia Oriental - e tem sido amplamente difundida no estado. A cultura do feijão-caupi ganha destaque devido

à crescente incorporação de alta tecnologia ao seu processo produtivo, o que tem exigido o uso de cultivares com porte, ciclo e grãos mais uniformes. Justamente para atender essa demanda, foi feita uma purificação na população original da cultivar BR3 - Tracuateua, a qual é rerepresentada para o Estado do Pará como BR3 - Tracuateua purificada.

Apresentando 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 varia de 60 a 75 dias. Seu plantio ocorre principalmente entre os meses de dezembro a março, que é quando se tem água prontamente disponível sem que seja necessário o uso de irrigação. Além de atender a demanda local, o caupi é comercializado para outros estados, como Maranhão, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte (EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 2005).

1.1.2 Efeito do déficit hídrico no crescimento, desenvolvimento e produtividade

A produção agrícola pode ser afetada por diversos fatores. Dentre eles, o déficit hídrico no solo é o que ocorre com maior frequência e intensidade (KERBAUY, 2009). Santos et al. (2009) e Peixoto (2011) afirmam que quanto menor é a disponibilidade de água no solo, mais negativo deve ser o potencial de água na folha desenvolvido pelos vegetais, afetando a bioquímica, morfologia e os processos de desenvolvimento das plantas, reduzindo a fotossíntese, o que acarreta em prejuízos na produção agrícola. As respostas das culturas a condições de déficit hídrico dependem da sua intensidade, duração e época de ocorrência (BEZERRA et al., 2003; MEDICI et al., 2007).

O feijão-caupi apresenta consumo hídrico variável com o seu estágio de desenvolvimento (LIMA et al., 2006), sendo mínimo durante a fase vegetativa e máximo na fase reprodutiva, decrescendo na maturação dos grãos (BASTOS et al., 2008). Nóbrega et al. (2001) verificou que o consumo hídrico no caupi pode variar de 300 a 450 mm por ciclo, dependendo da cultivar e das condições edafoclimáticas locais, sendo que na fase inicial de desenvolvimento (fase vegetativa) esse consumo dificilmente excede os 3,0 mm por dia.

De acordo com Boyer (1978), o feijão-caupi é classificado como moderadamente tolerante tanto à deficiência hídrica quanto ao excesso de água no solo. Bezerra et al. (2003), estudando o efeito do déficit hídrico nas diferentes fases fenológicas do feijão-caupi, observaram que quanto menor o suprimento hídrico na

planta, maior são os efeitos negativos do déficit hídrico nos parâmetros de crescimento da cultura, acarretando em menor produção de matéria seca e conseqüentemente em menor produtividade.

Os três estádios mais sensíveis ao déficit hídrico são a germinação, florescimento e enchimento de grãos (SORATTO et al., 2003). Souza e Lima (2010) observaram que há redução na altura de plantas de feijoeiro quando submetidas ao déficit hídrico durante a fase vegetativa; Correia e Nogueira (2004), afirmam que o déficit hídrico reduz o número de folhas, com diferença significativa entre as plantas irrigadas e as cultivadas sob suspensão total de rega; e Pereira (2002) enfatiza que o déficit hídrico influencia negativamente os processos fotossintéticos e conseqüentemente a produção de fotoassimilados.

1.1.3 Índice de Área Foliar

O índice de área foliar (IAF) foi denominado por Watson (1947) como a razão entre a área foliar do dossel e a unidade de superfície projetada no solo ($m^2 m^{-2}$), sendo uma variável biofísica que possibilita estimar a produtividade das culturas agrícolas antes da colheita, através do monitoramento de seu crescimento (GONZÁLEZ-SANPEDRO et al., 2008).

Existem dois métodos de se determinar o IAF que são classificados como diretos ou destrutivos e indiretos ou não destrutivos (COELHO FILHO et al., 2012). O primeiro método é mais trabalhoso, em razão das amostras analisadas aumentarem progressivamente com o aumento do dossel, porém, quando esse método é bem aplicado, ele apresenta maior precisão e é utilizado para validar os métodos indiretos (FERREIRA JUNIOR, 2013). Os métodos indiretos apresentam a vantagem de não serem destrutivos, acarretando numa maior frequência de leituras e rapidez na mensuração dos dados quando comparado ao método direto, o que possibilita várias medições durante o ciclo da cultura em uma mesma planta, diminuindo os erros de uma amostragem aleatória (COELHO FILHO et al., 2012).

O IAF permite analisar e comparar as diferenças entre o crescimento e desenvolvimento de cultivos irrigados ou sob déficit hídrico (BASTOS et al., 2013), haja vista que a disponibilidade hídrica afeta principalmente o desenvolvimento das folhas e a diminuição da área foliar (INMAM-BAMBER 2004), acarretando numa menor capacidade da planta em interceptar a radiação solar e utilizar nos processos

fisio-metabólicos, acelerando o processo de senescência das folhas (ANDRADE e ABREU 2007).

Bastos et al. (2012) estudando as cultivares de feijão-caupi BRS Paraguaçu e BRS Guariba sob déficit hídrico, observaram um intenso decréscimo no IAF, a medida que a quantidade de água no solo reduzia, comprovando o efeito negativo do déficit hídrico sobre o IAF nas duas cultivares. Essa redução na área foliar é uma estratégia de defesa da planta para diminuir a superfície de transpiração e conseqüentemente a perda de água (CORREIA e NOGUEIRA, 2004).

1.1.4 Radiação Solar no Dossel Vegetativo

Um fator determinante para o crescimento e desenvolvimento das plantas é a radiação solar (CASAROLI et al., 2007), pois ela é a energia propulsora dos processos de transformação do CO₂ da atmosfera em energia metabólica e compostos orgânicos que vão compor a estrutura da planta, a qual é formada em mais de 90% por compostos de carbono e em menos de 10% por elementos minerais (TAIZ e ZIEGER, 2004).

A planta, quando não sofre deficiência hídrica e nutricional, tem sua produção de biomassa seca controlada pela radiação solar (MONTEITH, 1965), todavia, uma pequena parcela da radiação que chega a Terra é interceptada e utilizada pelas plantas, sendo completamente dependente de parâmetros biológicos, físicos e geométricos (SHIBLES e WEBER, 1965).

A interceptação de luz ocorre com a atenuação da radiação solar transmitida no dossel da planta (FAGUNDES et al., 2001), o que é regulado por diversos fatores como índice de área foliar, ângulo e disposição das folhas, composição morfológica da planta e hábito de crescimento, fatores que oscilam a quantidade de luz incidente ao longo do perfil do dossel da planta (RUIZ e BERTERO, 2008).

O coeficiente de extinção da luz demonstra a fração de radiação extinta ao longo do dossel vegetativo, devido à menor transmissividade luminosa e varia de acordo com as alterações no ambiente (TESFAYE et al., 2006), tais como ocorrência de deficiência hídrica, densidade de plantio e época de semeadura (KUNZ et al., 2007).

Procópio et al. (2003) estudando a cultivar de feijão Pérola obtiveram um coeficiente de extinção da luz médio de 0,69; Schoffel e Volpe (2001) e Pereira (2002) perceberam que a soja ao interceptar 95% da radiação incidente obtinha um valor de IAF igual a 3,9 com coeficiente de extinção da luz em torno de 0,72, demonstrando o desenvolvimento máximo do dossel e o completo fechamento das entrelinhas de plantio.

Casaroli et al. (2007) observaram que plantas do tipo C3 como o feijão-caupi sofrem uma grande desvantagem quando comparadas a invasoras do tipo C4 no que se refere à utilização da radiação solar e da água, pois existe uma intensa competição por esses recursos durante a fase vegetativa, entretanto, quanto maior for o coeficiente de extinção da luz de uma cultura, maior será a interceptação da radiação solar na parte superior do dossel vegetal, limitando o crescimento e desenvolvimento de plantas invasoras.

1.1.5 Eficiência do Uso da Radiação Solar

O crescimento e acúmulo de biomassa em diferentes espécies sob distintas condições ambientais, podem ser analisados em relação à quantidade de radiação solar interceptada e a eficiência com que a planta utiliza na produção de biomassa, denominado eficiência do uso da radiação (EUR) (MONTEITH, 1977).

Ferreira Junior (2013) descreve a EUR como uma análise de crescimento, que não se baseia em função do tempo (cronológico), mas sim na radiação solar interceptada por uma cultura em função da matéria seca total acumulada no decorrer do tempo de cultivo, podendo ser possível comparar e avaliar o crescimento em ambientes e níveis de radiação solar diferentes.

A EUR é máxima quando a cultura é submetida a condições ótimas de clima, solo e quando pragas e doenças não afetam o crescimento e desenvolvimento da cultura (SOLTANI e SINCLAIR, 2012). A EUR avalia se a planta está ou não expressando o seu potencial produtivo em determinado ambiente quando as condições ambientais não são limitantes (BONHOMME, 2000), entretanto, a maneira na qual são definidas as amostragens e coletas dos dados de biomassa seca e de radiação solar incidente, transmitida e interceptada, podem influenciar de maneira positiva ou negativa nos resultados de eficiência do uso da radiação (FERREIRA JUNIOR, 2013).

Quando o fluxo de radiação solar ultrapassa o limite considerado ótimo para as plantas, a eficiência de conversão da energia solar em biomassa diminui gradativamente, à medida que as folhas da parte superior do dossel se saturam, particularmente sob condições adversas do meio ambiente (BRANT et al., 2011). Já as folhas no interior do dossel precisam receber um nível mais elevado de radiação para saturar, devido a incidência de radiação ser menor, o que acarreta da não saturação de diversas folhas dentro do dossel, evitando a fotoinibição (TAIZ e ZEIGER, 2009)

A eficiência do uso da radiação por sofrer alteração em respostas as diferentes condições ambientais, principalmente nos mecanismos que a planta envolve para captar e utilizar a radiação solar, evidenciando uma grande consistência fisiológica (ARKEBAUER et al., 1994).

Quando submetidas à falta de água, as plantas, utilizam a estratégia de diminuir a área disponível para transpiração, modificando o ângulo de exposição da folha aos raios solares e a duração máxima da área foliar (FERRARI et al., 2015), e quando submetidas a déficit hídrico severo, as plantas reduzem a eficiência de utilização da radiação solar, acarretando em complexas variações em inúmeros processos fisiológicos e metabólicos da planta, tais como a diminuição na absorção de CO₂, redução na taxa de expansão celular, aumento da resistência estomática e redução no processo de fotossíntese (GONÇALVES, 2013).

Uma das estratégias para elevar a EUR pelas culturas durante a fase vegetativa é submetê-las a moderada restrição hídrica, pois nessas condições os estômatos se fecham parcialmente reduzindo a transpiração, compensando a menor perda de água em condições de estresse em maior EUR (CASAROLI et al., 2007). Porém, na fase reprodutiva onde a necessidade de água e nutrientes requerida pela planta é maior, essa compensação é insuficiente para manter as taxas fotossintéticas vitais para a planta, de modo a atender as exigências necessárias dos drenos, grãos e vagens da planta (PEREIRA, 2002).

As pesquisas acerca da EUR por integralizar diversas interações complexas de forma compacta indicam esse importante modelo para explicar a produtividade das culturas (ARKEBAUER et al., 1994; SINCLAIR et al., 1992).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_____. Melhoramento genético. In: FREIRE FILHO, F. R. et al. (Org.) **Feijão caupi: avanços tecnológicos**. Brasília-DF, Embrapa Meio-Norte, 2005. p. 25-104.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SANTOS, A. A. dos; SOBRINHOS, C. A.; BASTOS, E. A.; MELO, F. de B.; VIANA, F. M. P.; FREIRE FILHO, F. R.; CARNEIRO, J. da S.; ROCHA, M. de M.; CARDOSO, M. J.; SILVA, P. H. S. da; RIBEIRO, V. Q. **Cultivo de Feijão Caupi**. Embrapa Meio-Norte, Ano 2003.

ANDRADE, J. A.; ABREU, F. G. Influência da temperatura e do teor de umidade do solo na área foliar e acumulação de matéria seca durante o estabelecimento da ervilha, do milho e do girassol. **Revista de Ciências Agrárias**, v.30, p.27-37, 2007.

ARKEBAUER, T.J.; WEISS, A.; SINCLAIR, T.R.; BLUM, A. In defense of radiation use efficiency: a response to Demetriades-Shah et al. (1992). **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 68, p. 221-227, 1994.

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.

BASTOS, E. A.; RAMOS, H. M. R.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; NASCIMENTO, F. N.; CARDOSO, M. J. Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico. **Rev Water Resources and Irrigation Management**. v.1, n.1, p.31-37. Ano 2012.

BASTOS, E. A.; RAMOS, H. M. R.; CARDOSO, M. J.; NASCIMENTO, F. N.; BRITO, R. R. **Índice de área foliar e rendimento de grãos verdes do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos**. In: III congresso nacional do feijão-caupi. Recife - PE. Ano 2013.

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.

BONHOMME, R. Beware of comparing RUE values calculated from PAR vs solar radiation or absorbed vs intercepted radiation. **Field Crop Research**, Amsterdam, v. 68, p.247-252, 2000.

BOYER, J. S. **Water deficits and photosynthesis**. In: KOZLOWSKI, T. T. (Ed.) **Water deficits and plant growth**. New York, Academic Press.,v. 4, p.154-191, Ano 1978.

BRANT, R.S. PINTO, J.E.B.P.; ROSAL, L.F.; ALVES, C.; OLIVEIRA, C.; ALBUQUERQUE, C.J.B. Adaptações fisiológicas e anatômicas de *Melissa officinalis* L. (Lamiaceae) cultivadas sob malhas termorrefletoras em diferentes intensidades luminosas. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 13, n. 4, p. 467-474, 2011.

CASAROLI, D.; FAGAN, E. B.; SIMON, J.; MEDEIROS, S. P.; MANFRON, P. A.; DOURADO NETO, D.; LIER, Q. de J. van; MÜLLER, L.; MARTIN, T. N. Radiação

solar e aspectos fisiológicos na cultura de soja - uma revisão. **Rev. da FZVA. Uruguaiana**, v.14, n.2, p. 102-120. Ano 2007.

COELHO FILHO, M. A.; VILLA-NOVA, N. A.; ANGELOCCI, L. R.; MARIN, F. R.; RIGHI, C. A. Método para estimativa do IAF de árvores isoladas ou de plantações com dossel fechado. **Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.16, n.5, p.529–538. Ano 2012.

CORREIA, K. G.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetido a déficit hídrico. **Rev. de Biologia e Ciência da Terra**, v.4, n.2, Ano 2004.

EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. **Cultivar de Feijão Caupi: BR3 – Tracuateura purificada para o estado do Pará**. Ano 2005. Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/br3-tracuateua_000fljvhfns02wyiv80lcx0a9xtkboga.pdf> Acessado em 15 mar 2015.

FAGUNDES, J. L.; SILVA, S. C.; PEDREIRA, C. G. S.; SBRISSIA, A. F.; CARNEVALLI, R. A.; CARVALHO, C. A. B.; PINTO, L. F. M. Índice de área foliar, coeficiente de extinção luminosa e acúmulo de forragem em pastagens de *Cynodon* spp. sob lotação contínua. **Rev Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 36, n. 1, p. 187-195, Ano 2001.

FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C. Déficit hídrico no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas no mato grosso. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v. 03, n. 01, p. 67-77, 2015.

FERREIRA JUNIOR, R. A. Crescimento, eficiência no uso da radiação e energia de biomassa em cana-de-açúcar irrigada. (**Tese de Doutorado**) - Universidade Estadual Paulista “Julio De Mesquita Filho”, Campus De Botucatu. Ano 2013.

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-CNPAP/ Ibadan: IITA, p.25-46. Ano 1988.

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.

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.

GONÇALVES, J. G. R. Identificação de linhagens de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes à seca. 2013. 82f. (**Tese de Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical**) – Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2013.

GONZÁLEZ-SANPEDRO, M. C.; LE TOAN, T.; MORENO, J.; KERGOAT, L.; RUBIO, E. Seasonal variations of leaf area index of agricultural fields retrieved from Landsat data. **Rev Remote S. of Environment**, v. 112, n. 3, p. 810- 824, Ano 2008.

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Rev Field Crops Research**, 89: 107-122. Ano 2004.

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

KUNZ, J.H.; BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; HECKLER, B.M.M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **P. A. B.**, v.42, p.1511-1520, 2007.

LIMA, J. R. S.; ANTONIO, A. C. D.; SOARES, W. A.; SILVA, I. F. Estimativa da evapotranspiração do feijão-caupi utilizando o modelo de Penman-Monteith, **Irriga**, Botucatu, v.11, p.477-491, 2006.

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.

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.

MONTEITH, J. L. Climate and the efficiency of crop production en Britain. **Rev Proceedings of the Royal Society of London**, v.281, n.980, p.277-294, Ano 1977.

MONTEITH, J. L. Light distribution and photosynthesis in field crops. **Rev Annals of Botany**, v.29, p.17- 37, Ano 1965.

NECHET, K. L.; VIEIRA, B. A. H. Doenças do feijão-caupi em Roraima. Boa Vista – RR: EMBRAPA RORAIMA, 16 p. (**Circular Técnica**, 2). Ano 2006.

NÓBREGA, J. Q.; RAO, T. V. R.; BELTRÃO, N. E. de M.; FIDELIS FILHO, J. Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo. **Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 437- 443, Ano 2001.

PEIXOTO, C. P. **Curso de Fisiologia Vegetal**. Cruz das Almas: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2011. 177 p.

PEREIRA, C.R. Análise do crescimento e desenvolvimento da cultura de soja sob diferentes condições ambientais - (**Tese de Doutorado**), Universidade Federal de Viçosa, 282p. Ano 2002.

PROCÓPIO, S. O. *et al.* Desenvolvimento foliar das culturas da soja e do feijão e de plantas daninhas. **Rev Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 207- 211, Ano 2003.

RUIZ, R. A.; BERTERO, H. D. Light interception and radiation use efficiency in temperate quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. **European Journal Agronomy**, Copenhagen, v.29, n. 1, p.144–152, 2008.

- SANTOS, M. G., RIBEIRO, R. V., MACHADO, E. C., & PIMENTEL, C. (2009). Photosynthetic parameters and leaf water potential of five common bean genotypes under mild water deficit. **Biologia Plantarum**, 53, 229-236.
- SCHÖFFEL, E. R.; VOLPE, C. A. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela soja para produção de fitomassa. **Rev Brasileira de Agrometeorologia**, n.2, v.9, p.241-249, Ano 2001.
- SHIBLES, R. M.; WEBER, C. R. Leaf area, solar radiation interception, and dry matter production by various soybean planting patterns. **Rev Crop Science**, v.6, p.575-577, Ano 1965.
- SINCLAIR, T.R.; SHIRAIWA, T.; HAMMER, G.L. Variation in crop radiation-use efficiency with increased diffuse radiation. **Crop Science**, v.32, p.1281-1284, 1992.
- SOLTANI, A.; SINCLAIR, T. R. Modeling physiology of crop development, growth and yield. **Wallingford, CABI**, 2012. 322p.
- SORATTO, R. P.; ORIVALDO, A. R. F.; RODRIGUES, R. A. F.; BUZETTI, S.; SILVA, T. R. B. Resposta do feijoeiro ao preparo do solo, manejo de água e parcelamento do nitrogênio. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 89-96, 2003.
- SOUSA, M. A. & LIMA, M. D. B. Influência da supressão da irrigação em estádios de desenvolvimento do feijoeiro cv. Carioca comum. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 4, p. 550- 557, 2010.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, (2009). 819p.
- TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia vegetal**. Trad. SANTARÉM, E. R. et al., 3° ed., Porto Alegre: Artemed, 719p. Ano 2004.
- TEIXEIRA, I. R.; SILVA, G. C.; RIBEIRA-OLIVEIRA, J. P.; SILVA, A. G.; PELÁ, A. Desempenho agrônômico e qualidade de sementes de cultivares de feijão-caupi na região do cerrado. **Rev Ciência Agronômica**, v. 41, p. 300- 307, Ano 2010.
- TESFAYE, K; WALKER, S.; TSUBO, M. Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi-arid environment. **Rev European Journal Agronomy**, Copenhagen, v.25, n. 1, p.60-70, Ano 2006.
- WATSON D. J. Comparative physiological studies in the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Rev Annals of Botany**, v. 11, p. 41±76. Ano 1947.

2 EFICIÊNCIA DO USO DA RADIAÇÃO SOLAR PELO FEIJÃO-CAUPI SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS NAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO NORDESTE PARAENSE

2.1 INTRODUÇÃO

No Brasil, apesar do feijão-caupi não apresentar uma produção significativa, quando comparado ao feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) devido à utilização de baixo nível tecnológico na atividade associado ao uso de cultivares tradicionais com baixo potencial produtivo (CARDOSO e RIBEIRO, 2006), ele se destaca por sua importância socioeconômica, principalmente para as famílias das regiões Norte e Nordeste devido o seu elevado valor nutritivo (FREIRE FILHO et al., 2008).

Acredita-se que o feijão-caupi foi introduzido no Pará por migrantes do Nordeste do Brasil (SANTOS et al., 2009) e atualmente o gênero *Vigna* corresponde a 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 micro região 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).

Entretanto, a oscilação da produção anual do caupi é muito influenciada por fatores de origem biótica, como pragas e doenças e principalmente por fatores de origem abiótica como as condições físico-química do solo e alterações climáticas, em especial as variáveis de radiação solar e precipitação (TEIXEIRA et al., 2015). Fatores estes que foram decisivos para que na década de 2004 a 2013, a produção de grãos no estado declinasse em 33 mil toneladas e a área ocupada pelo feijão reduzisse de 76 mil hectares em 2004 para 43 mil hectares em 2013, com produtividade média de 669 kg/ha⁻¹ (FAPESPA, 2015).

O principal fator abiótico quando se busca a produtividade potencial das culturas agrícolas e quando as exigências por água, nutrição e fitossanidade são satisfeitas, é a radiação solar, pois é fonte básica de energia nos processos fisiológicos e bioquímicos

das plantas (KUNZ et al., 2007), atuando de forma direta no crescimento e desenvolvimento por está relacionada diretamente com a taxa fotossintética (PROCÓPIO et al., 2003). Logo, a radiação solar é um dos elementos que mais influenciam na determinação das perdas de água e no acúmulo de matéria seca vegetal. A relação entre a matéria seca acumulada durante o ciclo de uma cultura e a quantidade de radiação solar interceptada neste mesmo período pela vegetação é denominada de eficiência no uso da radiação solar (EUR) (MONTEITH, 1977).

A produção total de biomassa seca é dependente da radiação fotossinteticamente ativa que a planta intercepta e da eficiência com que ela utiliza essa energia no processo fotossintético (SANQUETTA et al., 2014). Entretanto, essa eficiência no uso da radiação solar reduz à medida que a planta absorve elevadas intensidades de radiação ao ponto de causar-lhe a saturação luminosa (JIANG et al., 2004), ainda mais quando influenciado pelo déficit hídrico, que reduz a área foliar disponível para interceptar a radiação, refletindo-se em menor conversão dessa radiação em matéria seca total (KUNZ et al., 2007). Baixos valores de EUR pelas culturas, também estão relacionados ao ataque de pragas e doenças, à concorrência com plantas daninhas, à cobertura parcial do solo pela cultura em análise e por deficiências em nutrientes no solo (MONTEITH e UNSWORTH, 1990).

Portanto, ressalta-se a importância de estudos que levam em conta as variáveis de crescimento, desenvolvimento e produtividade do feijão-caupi, considerando as variações com que a planta usa a radiação de forma eficiente, bem como, os efeitos do clima em seu cultivo.

Desta forma, tendo em vista a carência de informações técnicas e científicas sobre a produção de feijão-caupi e visando contribuir para o desenvolvimento da cultura no estado, o objetivo deste trabalho foi determinar a eficiência do feijão-caupi em interceptar e usar a radiação solar quando submetido a diferentes lâminas de irrigação nas condições de climáticas do Nordeste Paraense.

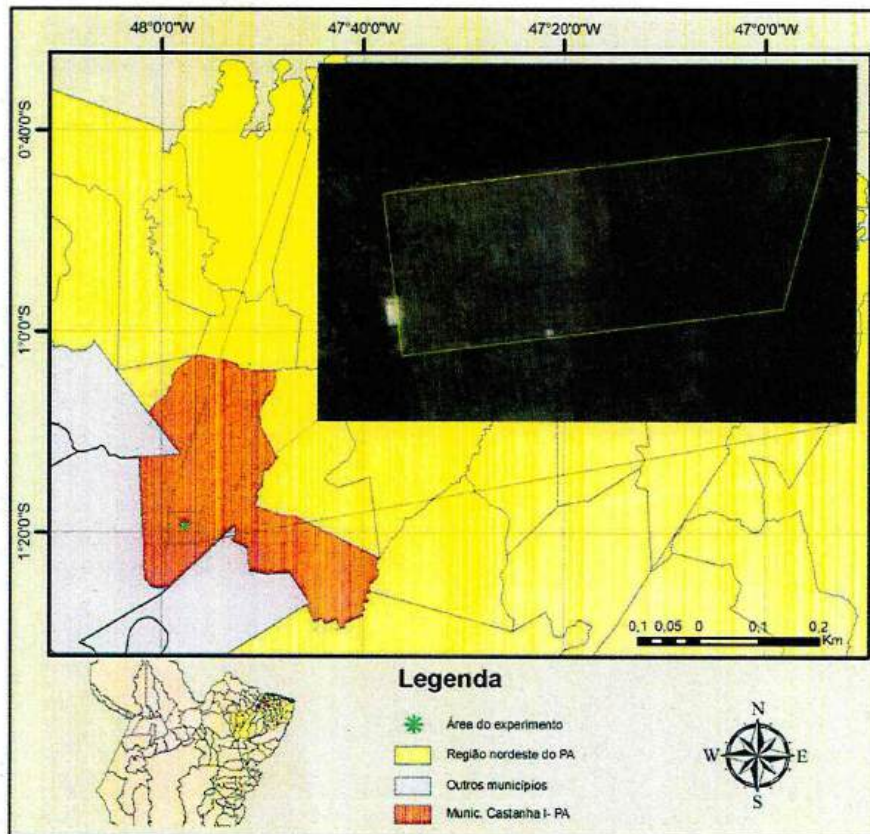
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1 Localização do sítio de pesquisa

O experimento foi realizado na região Nordeste do estado do Pará, no município de Castanhal, no ano de 2014 em uma área de 1,5 hectares (figura 1), localizada nas dependências da Fazenda Experimental da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), cujas coordenadas geográficas são 1°19'24.48"S latitude, 47°57'38.20"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).

De acordo com a classificação climática de Köppen o local é caracterizado como Am, clima tropical, apresentando moderada estação seca com precipitação pluvial média anual de 2000 a 2500 mm. O período mais seco do ano ocorre entre os meses de junho a novembro, enquanto de dezembro a maio ocorre o período de maior pluviosidade. A temperatura média anual é de 26 °C, com máximas e mínimas de 35 e 18 °C, respectivamente e umidade relativa média de 80% (TENÓRIO et al., 1999).

Figura 1 – Localização da área experimental



Fonte: Vivian Farias, 2013.

2.2.2 Preparo da área e manejo da cultura

Antes do início do experimento com feijão-caupi, foram realizadas duas coletas de amostras de solo indeformada para a caracterização física e deformada para análise química, na profundidade de 0 a 20 cm que corresponde à profundidade efetiva de suas raízes. As amostras foram encaminhadas e posteriormente analisadas pelo Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental, Belém-PA. Os dados obtidos de densidade do solo, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, granulometria e os resultados da análise química do solo na área experimental estão presentes na tabela 1.

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

Características	Profundidade (0-20 cm)
	2014
pH em H ₂ O	5,4
N (%)	0,06
P (mg/dm ³)	18
K ⁺ (mg/dm ³)	11
Na ²⁺ (mg/dm ³)	2
Ca ²⁺ (cmol _c /dm ³)	1
Ca ²⁺ +Mg ²⁺ (cmol _c /dm ³)	1,5
Al ³⁺ (cmol _c /dm ³)	0,3
Areia (g/kg)	804
Silte (g/kg)	116
Argila (g/kg)	80
Densidade do solo (g/cm ³)	1,41
Capacidade de campo (m ³ m ³)	0,22
Ponto de Murcha Permanente (m ³ m ³)	0,07

Fonte: Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental (2014).

Para a preparação do solo foi utilizado o sistema convencional, onde foram realizadas aragem e gradagem, a fim de controlar plantas daninhas, descompactar o solo e propiciar condições satisfatórias ao plantio, à germinação das sementes, e ao desenvolvimento da cultura. Uma semana antes da semeadura as sementes foram tratadas com fungicida Carbomax 500 SC, na proporção de 100 ml do produto diluído em 400 ml de água pra 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 09 de setembro, com o auxílio de uma semeadeira tipo tico-tico. O espaçamento utilizado foi de 0,5 m entre linhas de plantio e 0,1 m entre plantas, totalizando uma densidade de 200.000 plantas por hectare. Utilizou-

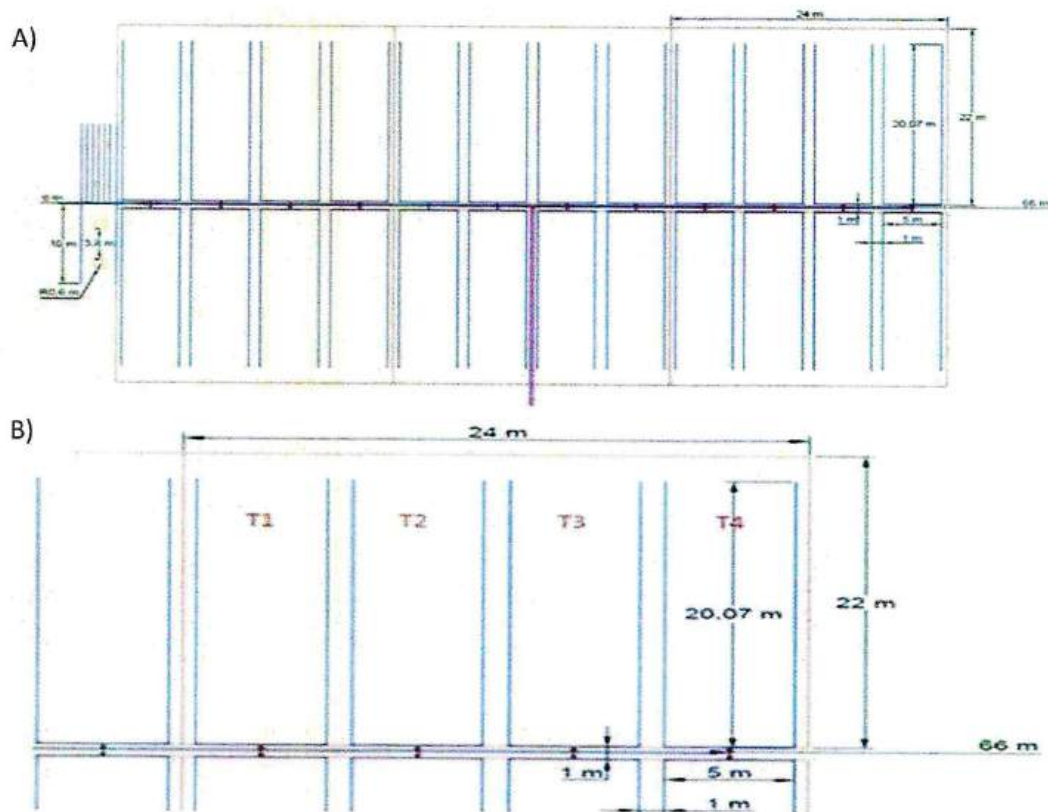
se a cultivar BR3-Tracueteua por ser uma das mais recomendadas para a região (FREIRE FILHO et al, 2009).

Foram realizadas duas adubações em sulcos distanciados 5 cm da linha de plantio. A primeira adubação foi feita durante a semeadura e há segunda 30 dias após a germinação, sendo que na segunda aplicação foi utilizado apenas o cloreto de potássio (KCl), que foi fracionado em 50% para a primeira e 50% para a segunda adubação. Conforme os resultados da análise química do solo utilizou-se 195 kg ha⁻¹ de fertilizante químico (Uréia, super fosfato triplo e cloreto de potássio) da formulação 6-18-15, seguindo as recomendações de adubação da Embrapa Amazônia Oriental. Os tratamentos culturais de monda e amontoa foram conduzidos conforme as recomendações técnicas da Embrapa para a cultura na região (EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 2005).

2.2.3 Delineamento e manejo de irrigação

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com seis blocos e quatro tratamentos (figura 2-A), que consistiram de diferentes níveis de disponibilidade de água no solo durante a fase reprodutiva do feijão-caupi. As unidades experimentais consistiram de blocos medindo 22 x 24 m, separados por uma bordadura de 1 metro, todos contendo os quatro tratamentos (figura 2-B).

Figura 2 – Croqui da área experimental (A) e do bloco (B).



O tratamento T1 consistiu da reposição de 100% da água (irrigação + chuva) perdida pela evapotranspiração da cultura (ET_c), o tratamento T2 em 50% de reposição da água (irrigação + chuva) perdida pela ET_c , o tratamento T3 em 25% de reposição (irrigação + chuva) da ET_c e no tratamento T4 não houve reposição da ET_c por meio da irrigação na fase reprodutiva, mantendo-se exposto apenas à chuva.

O tratamento T4 foi considerado como tratamento controle, devido à produção de feijão-caupi no estado ser realizada durante o período no qual não há necessidade de se fazer o suprimento hídrico por meio de irrigação, o que limita a produção ao primeiro semestre do ano, quando a água encontra-se prontamente disponível. Já o tratamento T1 foi conduzido a fim de se manter o solo na capacidade de campo durante todo o ciclo da cultura.

A lâmina de água aplicada diariamente foi distribuída por meio de um sistema de irrigação por gotejamento, com vazão de $1,03 \text{ L h}^{-1}$ sob pressão de serviço de 5 mca e emissores espaçados 20 cm entre si. As fitas gotejadoras utilizadas eram de Polietileno Aditivado, com diâmetro nominal de 16 mm e com emissores do tipo pastilha integrado. As fitas gotejadoras ficaram posicionadas na superfície do solo, de forma que cada fita atendesse uma linha de plantio de 20 metros, totalizando 100 emissores/linha. Estas

foram conectadas nas linhas de derivação que estavam conectados a linha principal (ambas de tubos de PVC com DN 50) com registros de esfera. Foi utilizada para o sistema de irrigação uma bomba elétrica submersa de 2 cv, que puxava água diretamente de um poço artesiano de 40 metros profundidade. Um filtro de disco foi inserido no final da tubulação de recalque.

Após a instalação do sistema de irrigação, foram realizadas avaliações hidráulicas para a determinação do desempenho do mesmo, através do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen – CUC (equação 1), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição – CUD (equação 2) e Eficiência de Aplicação da irrigação - Ea (equação 3).

$$CUC = 100 \times \left[1 - \sum_{i=1}^n \frac{|q_i - \bar{q}|}{n_g \times \bar{q}} \right] \quad (1)$$

Em que:

CUC: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, %;

q_i : vazão de cada gotejador, L h⁻¹;

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

n_g : número de gotejadores.

$$CUD = \left(\frac{q_{25}}{\bar{q}} \right) \times 100 \quad (2)$$

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;

$$Ea = 0,9 \times CUD \quad (3)$$

Em que:

Ea: eficiência de aplicação, em %;

CUD: Coeficiente de Uniformidade de Distribuição, %.

A análise de uniformidade foi realizada em todos os quatro tratamentos e nos seis blocos utilizando recipientes coletores de 1000 ml abaixo de três emissores localizados no início, meio e final das linhas de irrigação, fazendo a coleta de água por um período de 20 minutos, com duas repetições.

Os valores do CUC foram interpretados de acordo com os critérios da Asae (1997), que determina os valores do CUC acima de 90% como “excelente”, entre 80 e 90% como “bons”, entre 70 e 80% como razoáveis, entre 60 e 70% como “ruins” e

abaixo de 60% é considerado inaceitável. Os valores do CUD foram avaliados seguindo o critério de Merriam e Keller (1978), que determinam o CUD superior a 90% como “excelente”, entre 80 e 90% como “bom”, entre 70 e 80% como regular e abaixo de 70% e como “ruins”.

Tanto Asae (1997) quanto Merriam e Keller (1978), utilizam esses critérios para sistemas que estejam por um ou mais anos em operação. O sistema em questão completou quatro anos de operação no ano de 2015. A eficiência de aplicação (Ea) foi avaliada pelo critério de Bernardo et. al (2006) que considera “aceitável” a Ea acima de 80% e inaceitável para valores menores que 80%.

A lâmina líquida de água foi obtida considerando 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. Posteriormente 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.

Tabela 2 – Coeficiente da cultura (K_c) em função do estágio fenológico do feijão-caupi utilizado durante os dois anos de experimento (Bastos et al., 2008).

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

As lâminas brutas de água, aplicadas na diferenciação dos tratamentos do sistema de irrigação foram calculados de acordo com a equação 4, considerando-se a razão entre a lâmina líquida de água e a eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação por gotejamento.

$$LB = \frac{LL}{Ea} \quad (4)$$

Em que:

LB: lâmina bruta de irrigação, mm;

LL: lâmina líquida de irrigação, mm;

Ea: eficiência do sistema de irrigação, decimal.

Diariamente durante toda a fase vegetativa, todos os tratamentos receberam a mesma lâmina de água, correspondente a 100% de reposição da ETc (Irrigação + chuva), afim de manter os mesmos na capacidade de campo. Os tratamentos de irrigação iniciaram-se somente no 36º dia após a semeadura, quando a cultura atingiu a fase reprodutiva, que é a fase mais sensível ao déficit hídrico (BEZERRA et al., 2003; CARVALHO et al., 2000) e estenderam-se até o 57º dia após a semeadura, quando se atingiu o início da fase de maturação dos grãos ('R9).

A lâmina de irrigação não dependia somente da demanda hídrica diária da cultura, mas também da quantidade de chuva, pois quando a precipitação era maior que a ETc a irrigação era suspensa, afim de não elevar a umidade do solo acima da capacidade de campo.

2.2.4. Medidas de crescimento e desenvolvimento do feijão-caupi

2.2.4.1 Desenvolvimentos fenológico

Utilizando a escala proposta por Gepts e Fernández (1982), o desenvolvimento fenológico do caupi foi avaliado diariamente, selecionando-se linhas de 1 metro de comprimento, contendo 10 plantas, as quais foram monitoradas continuamente a partir da emergência (tabela 3).

Tabela 3 - 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

Nesta escala o feijão caupi apresenta o ciclo biológico constituído de dez etapas de desenvolvimento (figura 4), onde a designação de cada fase é representada por uma

letra e um número. A letra representa o estágio dentro do ciclo, sendo designada a letra “V” à fase vegetativa e R à reprodutiva, já os números indicam a posição da etapa de desenvolvimento da planta dentro da escala.

Figura 3 – Fases vegetativas (a – V0, b – V1, c – V2, d – V3 e e – V4) e reprodutivas (f – R5, g – R6, h – R7, i – R8 e j – R9) e seus respectivos estádios fenológicos do feijão caupi.

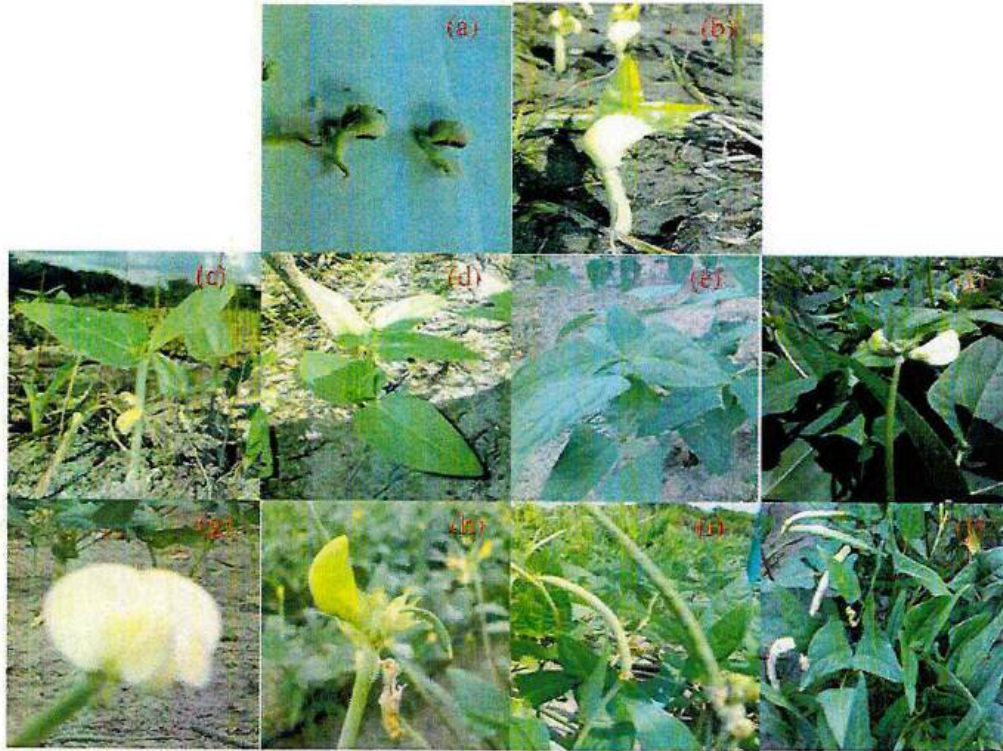


Imagem: Vivian Farias, 2013.

O início de uma fase fenológica foi definido no momento em que 50% + 1 das plantas da linha apresentaram as características expostas na tabela 2. O principal critério para determinar a evolução fenológica foi à frequência de ocorrência das fases (GIUNTA et al., 2009; LEITE e FILHO, 2004).

2.2.4.2 Análise de crescimento, Produção e Índice de colheita.

Dados para a análise de crescimento da cultura foram coletados a partir do 9º dia após a semeadura (DAS) em escala semanal, onde foram selecionadas duas linhas de 20 metros cada, de onde eram retiradas 5 plantas em meio metro linear, seguindo o delineamento de blocos ao acaso, com 6 repetições cada.

Cada amostra teve seus órgãos separados em caule, pecíolo, folha, pedúnculo, flor, vagem e grão (quando presentes). Posteriormente, as amostras foram colocadas

para secar em estufa aerada a 70 °C por 72 h para obter o peso constante da matéria seca total acima do solo (MSt).

O índice de área foliar (IAF) foi determinado pelo método dos discos descrito por Benincasa (2003) utilizando as mesmas amostras da MSt. Foram retirados três discos foliares de 1 cm de raio de cada planta, totalizando 30 discos por amostra, os quais foram colocados para secar em estufa à 70°C até atingir o peso constante, estimando-se a área dos discos (Ad) pela Equação 5. A área foliar (Af) foi obtida conforme Equação 6 e o índice de área foliar (IAF) estimado por meio da Equação 7.

$$Ad = (\pi r^2) \times nd \quad (5)$$

Em que:

Ad : área do disco, (cm²);

π : pi (3,14159265);

r : raio do disco, (cm);

Nd : número de discos.

$$Af = \frac{[Ad \times (Md + Mf)]}{Md} \quad (6)$$

No qual:

Af : área foliar, (cm²);

Ad : área do disco, (cm²);

Md : massa dos discos, (g);

Mf : massa das folhas de onde foram retirados os discos (g).

$$IAF = \frac{Af}{(Dp \times Dl)} \quad (7)$$

Onde:

IAF: índice de área foliar;

Af : área foliar, (cm²);

Dp : distancia entre as plantas, (cm);

Dl : distancia entre linhas, (cm).

A análise de produtividade foi realizada aos 63 DAS, quando 90% das plantas encontravam-se no estágio fenológico R9. A produtividade foi obtida pelo método do quadrado, onde em cada tratamento de todos os blocos foram demarcadas as três linhas centrais de plantio exclusivas para análise de produção, no qual foram lançados, ao acaso, três quadrados de 1 x 1 m. Nos dois anos, após a coleta dos grãos nas áreas demarcadas, os mesmos foram colocados pra secar por 72h, posteriormente eles foram pesados e foi feita a estimativa de produção em cada tratamento.

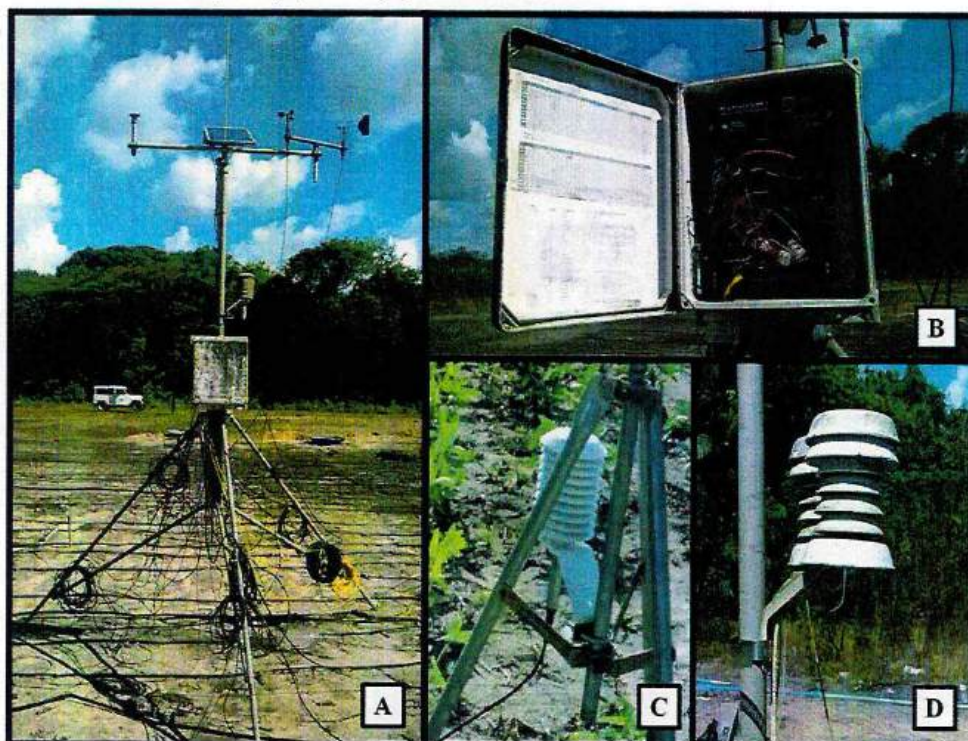
O índice de colheita (IC) foi determinado dividindo a produção de grãos pela produção de biomassa total acima do solo, conforme a equação 8:

$$IC (\%) = \left(\frac{\text{Produção de grãos (g)}}{\text{Produção de biomassa total (g)}} \right) \times 100 \quad (8)$$

2.2.5 Instrumentação e coleta de dados agrometeorológicos

No centro da área experimental foi instalada uma torre micrometeorológica de 3 m de altura (figura 5 - A). Nesta torre foi instalada uma estação meteorológica automática (figura 5 - B), que foi programada para coletar dados de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) incidente (figura 6 - A), refletida (figura 6 - B) e transmitida ao solo (figura 6 - C), temperatura, umidade relativa do ar a 0,5 m (figura 5-C) e 2,0 m (figura 5 - D) acima da copa do plantio e precipitação pluviométrica.

Figura 4- Torre micrometeorológica (A), estação meteorológica automática (B), sensor de temperatura e umidade relativa do ar a 0,5 m (C) e 2 m (D) acima do dossel.



Todos os sensores (tabela 4) foram conectados a um *datalogger* CR10X (Campbell Scientific, Inc.) (figura 5-B) 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 4 – Variáveis e instrumentos utilizados no experimento, assim como, a disposição dos mesmos em relação ao solo.

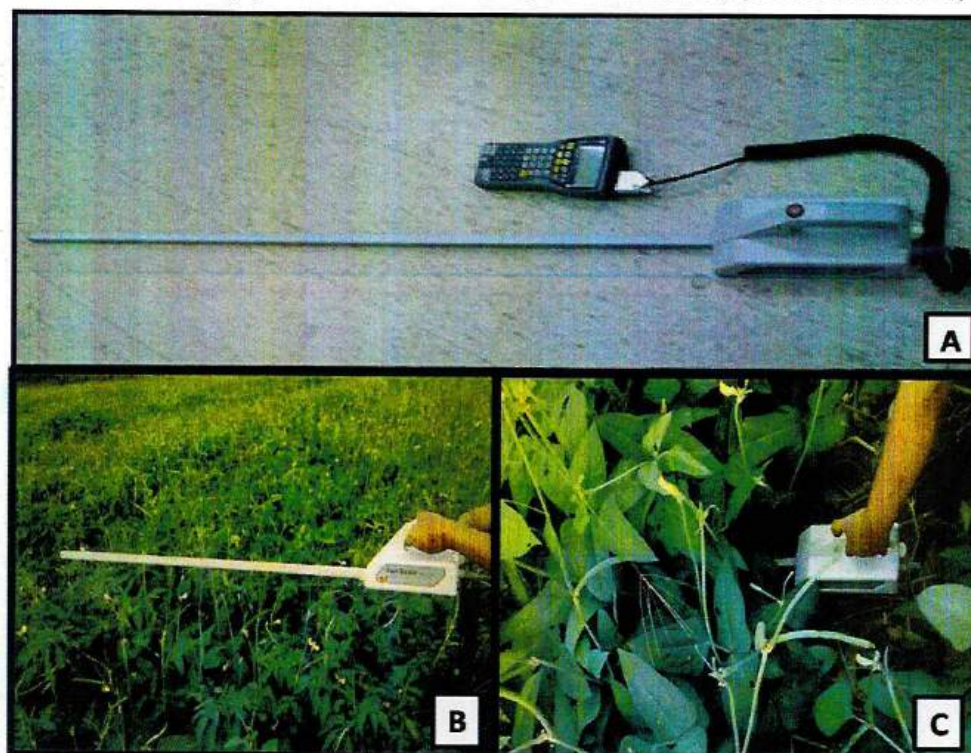
Variáveis meteorológicas	Instrumento, fabricante, modelo	Disposição no solo
Temperatura do ar	Vaisala thermohygrometer (HMP35A)	2,0 (m)
Umidade relativa do ar	Vaisala thermohygrometer (HMP35A)	2,0 (m)
Umidade do solo	Time Domain Reflectometer	- 0,3(m)
Chuva	Rain gauge TB4	1,8 (m)
Radiação PAR incidente e refletida	Quantum sensor LI-COR (LI-190)	1,8 (m)
Radiação PAR transmitida	Quantum sensor-linear	Superfície do solo

2.2.6 Radiação no dossel

2.2.6.1 Radiação solar interceptada

A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) foi medida diariamente em cada tratamento entre às 11 horas e 13 horas, com um sensor *sunscan* Delta T – Devices (figura 6-A). Foram realizadas dez medições por cada amostragem, em diferentes pontos centrais de cada tratamento em todos os blocos. Acima do dossel da planta foi obtida a radiação PAR incidente (PARinc) (figura 6-B) e abaixo do dossel da planta foi obtida a radiação PAR transmitida (PARtrans) (figura 6-C).

Figura 5- Sensor *sunscan* (A) coletando dados de radiação PAR incidente (B) e PAR transmitida (C).



A fração de radiação PAR interceptada pelo feijão caupi a cada dia, foi determinada pela diferença entre a PAR incidente e a PAR transmitida e posteriormente dividida pela PAR incidente, conforme mostra a equação abaixo:

$$fPAR_{inter} = \left(\frac{PAR_{inc} - PAR_{trans}}{PAR_{inc}} \right) \quad (9)$$

Onde:

$fPAR_{inter}$: fração de radiação fotossinteticamente ativa interceptada

PAR_{inc} : radiação fotossinteticamente ativa incidente

PAR_{trans} : radiação fotossinteticamente ativa transmitida

O coeficiente de extinção da radiação (k) foi obtido em cada tratamento através da metodologia proposta por Pengelly et al. (1999), onde foi realizada a regressão não linear entre a fração de radiação fotossinteticamente ativa interceptada ($fPAR_{inter}$) e o índice de área foliar (IAF) (Equação 5). O coeficiente da função exponencial representa o valor da extinção da luz no dossel, de acordo com Monsi e Saeki (1953).

$$fPAR_{inter} = 1 - \exp(-k \times IAF) \quad (10)$$

2.2.6.2 Eficiência de utilização da radiação

Para estimar a eficiência do uso da radiação solar pelo feijão caupi, foi utilizada a relação entre matéria seca acumulada e radiação solar interceptada pela cultura proposta por (MONTEITH, 1977).

Essa relação foi utilizada em todos os tratamentos, por meio da análise de regressão linear entre a massa seca acumulada na planta ($g\ m^{-2}$), obtida semanalmente, e a radiação PAR interceptada acumulada diariamente ($MJ\ m^{-2}$), conforme Sinclair e Muchow (1999). O coeficiente angular da equação representa a eficiência do uso da PAR interceptada.

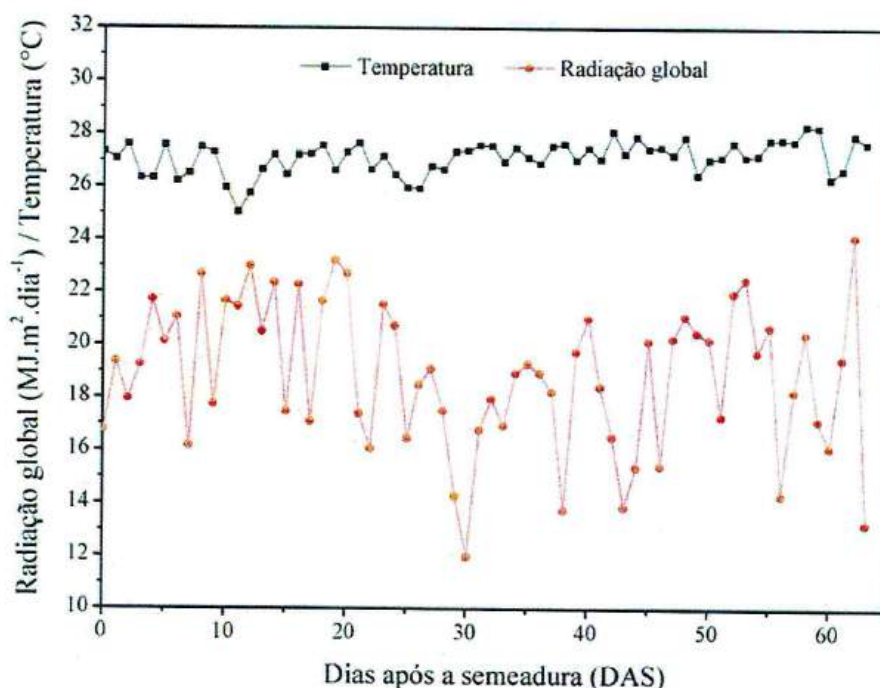
2.2.7 Análises estatísticas

Os dados de crescimento (IAF e MST) e de produtividade foram submetidos a análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade, utilizando o programa estatístico Assistat. Para comparação estatística entre os modelos de regressão lineares de EUR, foi utilizado o programa estatístico SAS, versão 9.2 para realização do teste das variáveis Dummy, que apresenta menor percentual de erros do tipo I e tipo II de acordo com Magalhães e Andrade (2009).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A média diária da temperatura do ar (Tar) e da radiação solar global (Rg) ao longo do ciclo da cultura são apresentados na figura 6. A temperatura média durante o experimento foi de 27,14°C com máxima de 34,64°C e mínima de 22,14°C, registradas nos meses de outubro e novembro, respectivamente. As temperaturas extremas não ultrapassaram o limite térmico considerado ótimo para o feijão-caupi (BR3 Tracuateua) nas condições climáticas da região nordeste paraense, que são de 8,55 °C e 38 °C, para a temperatura basal inferior e superior, respectivamente (FARIAS et al., 2015). A radiação global média durante o experimento foi de 18,89 MJ.m⁻².dia⁻¹ com mínima de 11,98 MJ.m⁻².dia⁻¹ e máxima de 24,12 MJ.m⁻².dia⁻¹

Figura 6- Valores médios de temperatura e radiação global durante os dois anos de experimento com feijão-caupi.



O total de chuva observado durante o experimento foi de 162 mm (figura 7), sendo que 126 mm ocorreram na fase vegetativa entre o 1° e o 32° DAS (onde todos os tratamentos recebiam a mesma quantidade de água) e os 36 mm restantes ocorreram durante o 33° e o 47° DAS na fase reprodutiva. O maior evento chuvoso ocorreu no 29° DAS, ou seja, no dia 7 de outubro, correspondente a uma lâmina de 29,97mm.

A tabela 5 apresenta os resultados do coeficiente de Christiansen (CUC), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e eficiência de aplicação da irrigação (Ea), determinados para o experimento com feijão-caupi. Os coeficientes de distribuição de Christiansen classificaram-se como excelente, conforme Asae (1997) que propõe o mínimo de 60% no CUC para aceitação dos sistemas de irrigação localizados.

O coeficiente de uniformidade de distribuição foi classificado como bom (MERRIAM e KELLER, 1978), mantendo-se entre 80 e 90%. A eficiência de aplicação da irrigação foi de 80% classificada como o mínimo aceitável para um sistema de irrigação localizado (BERNARDO et al., 2006).

Tabela 5 – Resultado da avaliação do CUC, CUD e Ea em %, do sistema de irrigação utilizado no experimento com feijão-caupi.

Ano	CUC	CUD	Ea	Classificação		
				CUC	CUD	Ea
2014	94	90	81	Excelente	Bom	Aceitável

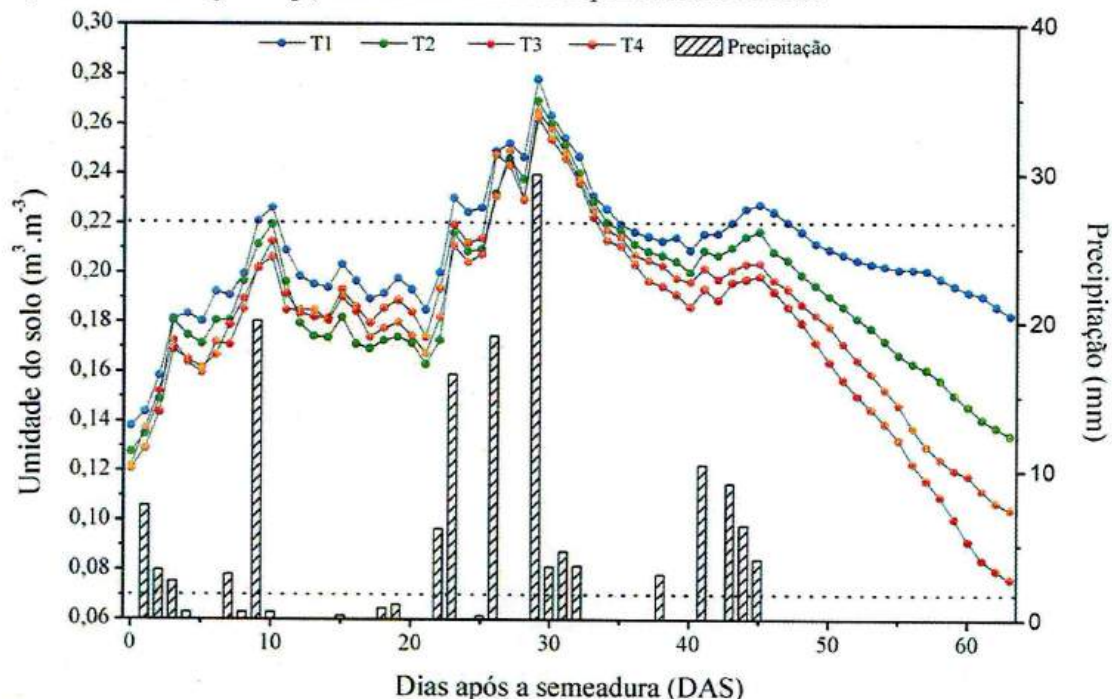
A baixa Ea observada ocorreu principalmente por vazamentos na junção entre os bicos que conectam as fitas gotejadoras e a tubulação de recalque. Outro fator que pode ter contribuído para a redução no rendimento do sistema de irrigação foi à constatação visual de elevada concentração de ferro na água captada para irrigação, o que proporcionava a ruptura da tubulação, caso o filtro não estivesse sendo limpo diariamente, o que ocasionava também o entupimento de alguns emissores. Cordeiro (2002) ratifica que o elevado teor de ferro total pode provocar graves problemas de entupimento dos gotejadores, principalmente se o elemento estiver na forma reduzida (Fe^{+2}), pois propicia o desenvolvimento de ferrobacterias.

Com o início dos tratamentos de irrigação aos 36 DAS, a quantidade de água no solo variou entre os tratamentos, com a manutenção de umidade do solo elevada nos tratamentos com maiores lâminas quando comparado com o tratamento que não era irrigado.

Durante a fase vegetativa, a umidade do solo foi controlada para que todos os tratamentos obtivessem a mesma quantidade de água disponível (AD), enquanto que durante a fase reprodutiva foi iniciada a diferenciação das lâminas de irrigação. Nessa fase a umidade do solo apresentou um padrão esperado, com o tratamento T1

apresentando o maior conteúdo volumétrico de água no solo com média de $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, seguido pelos tratamentos T2 com $0,18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, T3 com $0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e T4 com $0,16 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (figura 9).

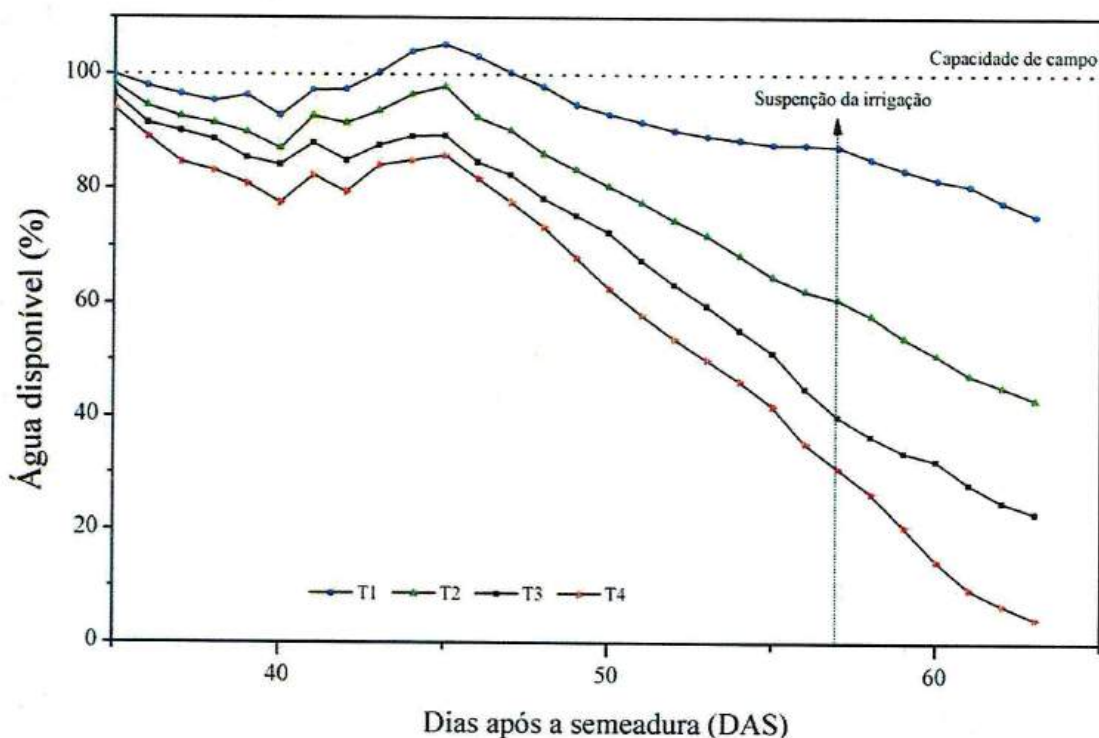
Figura 7 - Valores diários de umidade do solo e precipitação total na área experimental, ao longo do experimento com feijão-caupi, submetido a diferentes disponibilidades hídricas.



A irrigação foi suspensa aos 56 DAS, logo que o caupi 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. Nesse momento verificou-se o teor de água disponível no solo (AD) nos quatro tratamentos, que foi de 88% de AD para o tratamento T1, 62% para o tratamento T2, 45% para o tratamento e de 35% de AD para o tratamento T4. (figura 8).

Nascimento et al. (2004) estudando a cultivar de feijão caupi IPA 206 sob diferentes níveis de água disponível (AD) no solo, verificaram que ao nível de 40% e 60% de AD a planta diminui significativamente sua produção, apresentando maior variação nos componentes de produção desta cultivar em função das maiores deficiências hídricas impostas pelos tratamentos de irrigação.

Figura 8 - Água disponível no solo da área experimental, ao longo do experimento com feijão-caupi, submetido a diferentes disponibilidades hídricas.



Em decorrência da grande frequência de eventos chuvosos ocorridos até o 45º DAS, a água disponível nos quatro tratamentos foi pouco alterada, pois não havia um controle de entrada de água no solo. Durante a fase de crescimento (estádio vegetativo) do feijão caupi, verificou-se pouca diferença na radiação interceptada de todos os tratamentos, observando-se um aumento médio na interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) entre o 8º e o 28º DAS de aproximadamente $8,04 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em todos os tratamentos, variando de 1,09 para $9,13 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, comprovando a elevada taxa de crescimento absoluto da cultura quando submetida a condições ótimas de água no solo.

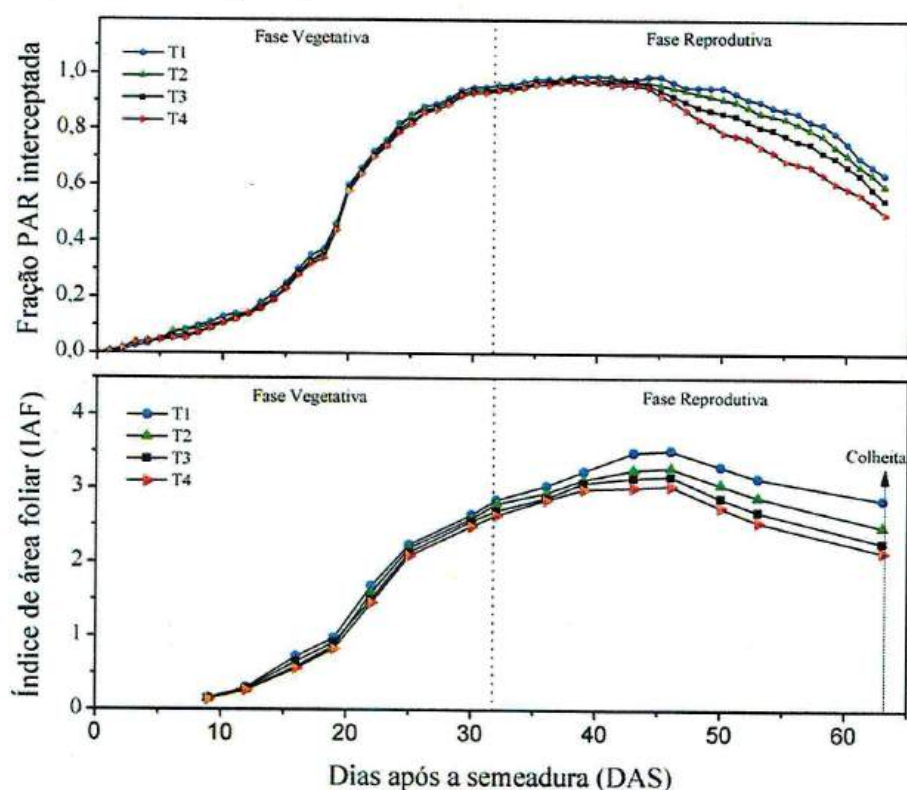
A máxima interceptação da PAR foi atingida durante o estágio de floração, em todos os tratamentos, com duração variável em função da disponibilidade hídrica (figura 9). Nota-se que a oferta de água durante a fase vegetativa possibilitou um padrão similar de interceptação que permaneceu até determinado período da fase reprodutiva, em função da precipitação que ocorreu entre o 29º e o 44º DAS.

Durante a fase reprodutiva, com a diferenciação das lâminas de irrigação, verificou-se imediatamente diferentes respostas na sua interceptação entre os quatro tratamentos, pois quanto maior eram as deficiências impostas pelos tratamentos, menor era a taxa de interceptação. O tratamento T1 em 2014 apresentou o maior pico de

interceptação da radiação, interceptando com a eficiência máxima 99% da radiação entre o 38 - 45 DAS, seguido pelo tratamento T2 com 98% de interceptação entre o 37 - 43 DAS, tratamento T3 interceptaram 97% entre o 39 - 45 DAS, e o tratamento T4 apresentou o menor valor de interceptação, chegando a 97% entre o 36 - 42 DAS e 67%.

Após a floração, a partir do 45º DAS, a interceptação de radiação decresceu até o final do ciclo (figura 9). Essa diminuição na interceptação da radiação, se dá em função do processo natural de senescência das folhas, que ocasiona a redução da área foliar verde, reduzindo o índice de área foliar e, conseqüentemente, a área disponível para interceptar a radiação (BERNARDES et al., 2014).

Figura 9- Variação da fração de radiação PAR interceptada e evolução do índice de área foliar em função dos dias após a semeadura nos quatro tratamentos submetidos a diferentes disponibilidades de água ao longo do experimento com feijão-caupi.



Na tabela 6 são mostrados os dados máximos de interceptação da radiação e índice de área foliar (IAF) durante o experimento, com diferenças significativas ao teste de Tukey a 5% de probabilidade, a partir do início dos tratamentos com as diferentes disponibilidades de água.

Tabela 6 – Intercepção de radiação PAR máxima e índice de área foliar máximo do feijão-caupi sob diferentes disponibilidades de água ao longo do ciclo, submetidos ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tratamentos	2014	
	$fPAR_{interceptada}$	IAF _{máximo}
T1	99,2 %	3,52 a
T2	98,3 %	3,28 ab
T3	97,4 %	3,16 b
T4	97,2 %	3,03 c

Os valores máximos de índice de área foliar foram observados durante a fase reprodutiva, aos 45 DAS para todos os tratamentos (figura 9 e tabela 6). Os resultados corroboram os encontrados por Bastos et al. (2002) que obtiveram valores máximos do IAF variando entre 3,0 e 4,3 para a cultivar de feijão-caupi BR 14 Mulato aos 47 DAS, indicando que o feijão-caupi ao atingir o IAF acima de 3 em condições de campo, demonstra seu pleno desenvolvimento e representa a máxima intercepção da radiação, quando não existem fatores limitantes.

Com o início dos tratamentos de irrigação aos 36 DAS, observou-se um baixo desenvolvimento no IAF do tratamento T4 em função de ter submetido à limitação hídrica. Ressalta-se que antes do início dos tratamentos, todo o experimento estava recebendo a mesma quantidade de água (figura 7) e, portanto, o caupi ainda possuía reservas de água no solo mesmo com a suspensão da irrigação (figura 8). Percebe-se também que o aumento no valor máximo do IAF no tratamento T4 (figura 9), se deu em função da precipitação pluvial que ocorreu entre o 38° e o 45° DAS.

Estes resultados confirmam o efeito negativo que a limitação hídrica possui sobre o IAF, pois quanto menor os valores das laminas de irrigação nos tratamentos, menor foram os IAFs máximos. Observou-se uma redução média no IAF do tratamento T4 de 15% quando comparado ao tratamento T1 (figura 9). Resultado similar foi encontrado por Nascimento et al. (2011), que obteve uma redução de 20% no IAF médio estudando genótipos de feijão-caupi sob déficit hídrico. De acordo com Correia e Nogueira (2004) esta resposta é uma estratégia de sobrevivência das plantas submetidas a déficit hídrico, que reduzem sua área foliar, com o objetivo de diminuir sua área disponível a transpiração.

O suprimento hídrico adequado nas diferentes fases de desenvolvimento do feijão-caupi é um dos principais fatores para garantir um alto valor de IAF,

proporcionando boa cobertura ao solo, uma vez que escassez ou excesso de água afeta diretamente o desenvolvimento das folhas (FREIRE FILHO et al., 2005).

Segundo Freire Filho et al. (2005b) o intenso desenvolvimento vegetativo do feijão-caupi e conseqüentemente, valores excessivamente elevados de IAF podem ser favorecidos por altos teores de água no solo, principalmente durante a fase reprodutiva, ocasionando, porém, menor disponibilidade de luz para a planta em virtude das folhas superiores do dossel sombrearem as inferiores, diminuindo sua eficiência fotossintética e conseqüentemente sua produtividade.

Na tabela 7 são apresentados os valores médios do coeficiente de extinção da luz (k) no feijão-caupi, bem como os seus coeficientes de determinação (R^2) e o erro padrão de cada estimativa.

Tabela 7 – Coeficiente de extinção da luz (k) do feijão-caupi sob diferentes disponibilidades de água ao longo do experimento.

Tratamentos	2014		
	$K_{\text{médio}}$	R^2	Erro padrão
T1	0,83	0,98	± 0,04
T2	0,80	0,98	± 0,04
T3	0,77	0,98	± 0,04
T4	0,74	0,97	± 0,04

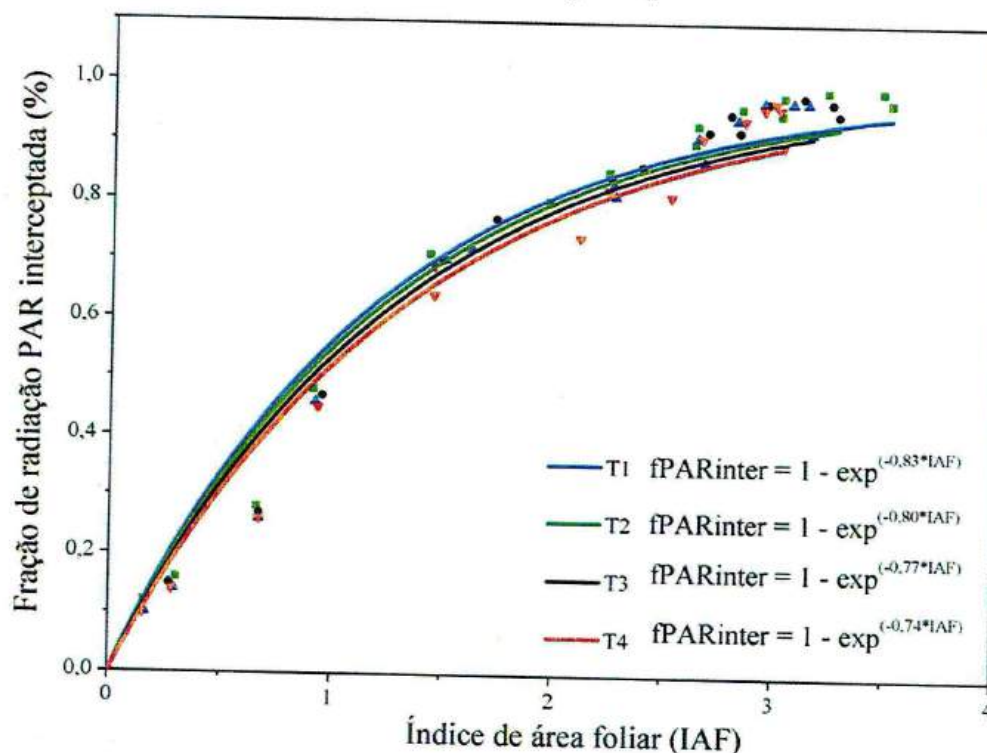
O coeficiente de extinção da luz no feijão-caupi se mostrou sensível em relação à quantidade de água no solo, pois quanto menores os teores de água no solo, menor foram os valores de k, seguindo um padrão decrescente em relação à redução na umidade do solo. O tratamento T1 apresentou o maior valor médio de k correspondente a 0,83 com R^2 de 0,98, enquanto que o menor valor foi observado no tratamento T4 com k igual a 0,74 e R^2 de 0,97.

De maneira geral, as propriedades ópticas e a arquitetura do dossel foram influenciadas pelos diferentes regimes hídricos ao qual cada tratamento foi submetido, implicando na redução da quantidade de radiação incidente no solo, diminuindo a evaporação e conseqüentemente a evapotranspiração, mantendo a umidade do solo elevada principalmente no tratamento T1.

A figura 10, apresenta a relação entre a fração de radiação fotossinteticamente ativa interceptada (fPARint) e o IAF durante o ciclo do feijão-caupi submetido a diferentes lâminas de água. Os coeficientes angulares da análise de regressão

estabelecida entre as amostras extraídas ao longo do ciclo da cultura representam os valores médios do coeficiente de extinção da luz (k) para os quatro tratamentos.

Figura 10 - Variação do coeficiente de extinção da luz (k) em função de quatro diferentes disponibilidades de água ao longo do experimento com feijão-caupi.



Os valores encontrados durante o experimento, são próximos aos obtidos por Tesfaye et al. (2006) ao estudarem a cultivar Roba-1 na ausência de déficit hídrico, em Dire Dawa na Etiópia, cujo valor médio foi igual a 0,86. Teixeira et al. (2015) estudando as cultivares de feijão Perola e Radiante, obtiveram em seus estudos coeficientes médios de 0,79 e 0,74 já San José et al. (2004) estudando a cultivar M-28-6-6 obtiveram coeficiente de extinção da luz médio de 0,66 ambos sob boas condições hídricas.

Os valores de k podem variar de acordo com a espécie cultivada, sendo que valores maiores são obtidos quando o arranjo espacial do dossel é mais uniforme com maior número de folhas posicionadas horizontalmente, além de variar em função da disponibilidade de água no solo nas diferentes fases de crescimento do feijão-caupi (JONES, 1992). Tesfaye et al. (2006) sugerem que o coeficiente de extinção da luz (K) poderia ser usado como um critério de seleção em leguminosas para grão, afim de identificar cultivares que são capazes de ajustar a sua copa em resposta ao déficit hídrico em diferentes fases de crescimento.

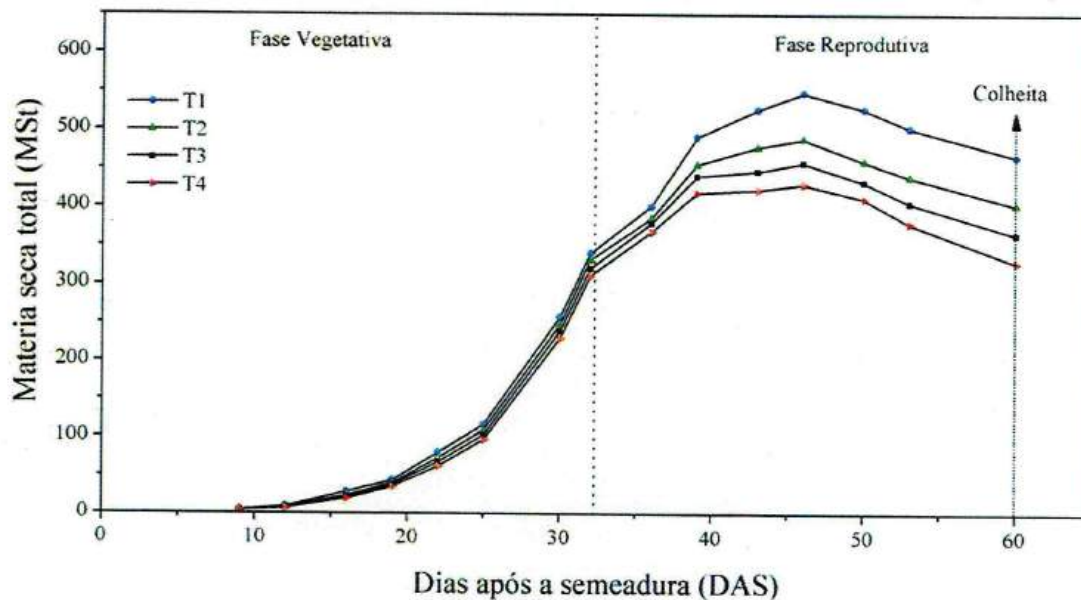
A tabela 8 apresenta a máxima biomassa seca total acumulada durante as fases vegetativas e reprodutivas do feijão caupi. Durante a fase vegetativa não houve diferença significativa entre os tratamentos, pois foram mantidos sempre com a mesma quantidade de água no solo. Com o início dos tratamentos de irrigação na fase reprodutiva, observou-se diferença significativa, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 8 – Máxima produção de matéria seca total (MSt) do feijão-caupi nas duas fases de desenvolvimento sob diferentes disponibilidades de água ao longo do ciclo, submetidos ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tratamentos	Fases de desenvolvimento	
	2014	
	Vegetativa	Reprodutiva
T1	400,40 a	548,63 a
T2	401,85 a	488,45 b
T3	403,87 a	457,70 bc
T4	398,86 a	429,63 c

A massa seca total da parte aérea (MSt) produzida pelo feijão caupi apresentou uma resposta crescente em função do acúmulo da *PARint* (*PARint_acum*), com o pico de produção para todos os tratamentos aos 45 DAS (Figura 11). O tratamento T1 apresentou o maior valor de Mst, produzindo 548,63 g m⁻², seguido pelo tratamento T2 com 488,45 g m⁻², T3 com 457,70 g m⁻² e T4 que obteve o menor resultado de MSt com 429,63 g m⁻².

Figura 11 - Evolução da matéria seca total (MSt) em função dos dias após a semeadura nos quatro tratamentos submetidos a diferentes disponibilidades de água ao longo do experimento com feijão-caupi.



O tratamento T4 teve a produção de MSt penalizada em 22% quando comparado ao tratamento que recebia o suprimento hídrico adequado e os tratamentos T2 e T3 apesar de terem sido expostos às condições ambientais, ambos sofreram redução na produção de MSt, a qual correspondeu a 11% e a 17%. Freitas et al. (2014) estudando o crescimento do feijão-caupi submetido ao déficit hídrico, verificaram que a MSt apresentou resultados tendendo à estabilização após os 40 DAS, devido à redução da massa seca das folhas ter sido compensada pelo investimento em estruturas reprodutivas. A deficiência hídrica no feijão-caupi, constitui um dos fatores que mais afetam a produção agrícola, influenciando praticamente todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento vegetal (DAMATTA, 2007), independente da fase em que ocorre o déficit hídrico, os efeitos são prejudiciais ao crescimento resultando em progressiva redução da MSt (LEITE e FILHO, 2004), sendo essa uma das características mais importantes para o aumento da produção (YAMADA e ABDALLA, 2003).

Os resultados demonstram que quanto menor foram as lâminas de irrigação, menor foi a produção de MSt, uma vez que a planta ao perceber a limitação de água no solo, adota técnicas para reduzir as perdas de água, induzindo os estômatos a se fecharem, evitando a desidratação e assim sendo o colapso dos tecidos, proporcionando uma menor troca gasosa, reduzindo a assimilação de CO_2 e conseqüentemente diminuindo a produção de MSt (NASCIMENTO et al., 2011).

Na tabela 9 são mostrados os dados de eficiência do uso da radiação (EUR) solar do feijão-caupi, com seus coeficientes de determinação (R^2) e erros padrões de estimativa, submetidos a diferentes níveis de disponibilidades de água no solo.

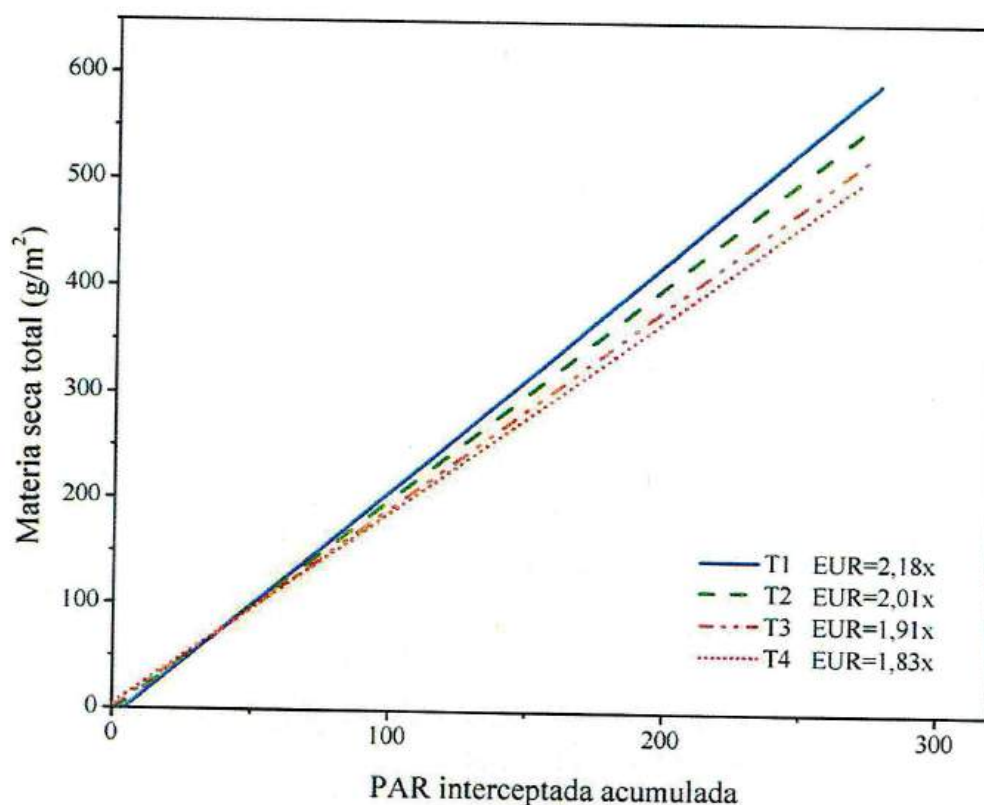
Tabela 9 – Eficiência do uso da radiação solar do feijão-caupi sob diferentes disponibilidades de água ao longo do ciclo.

Tratamentos	2014		
	EUR	R^2	Erro padrão
T1	2,18 a	0,98	$\pm 0,09$
T2	2,01 ab	0,97	$\pm 0,11$
T3	1,91 ab	0,95	$\pm 0,13$
T4	1,83 b	0,94	$\pm 0,15$

Diversas culturas anuais possuem uma forte correlação linear entre a produção de massa seca e a radiação PAR interceptada (MONTEITH, 1977), onde a eficiência do uso da radiação solar é dada pela derivada da equação da reta, que neste estudo apresenta os seguintes valores de 2,18 g/MJ.m² para o tratamento T1, 2,01 g/MJ.m² para o tratamento T2, 1,91 g/MJ.m² para o tratamento T3 e de 1,83 g/MJ.m² para o tratamento T4 (figura 12).

Os valores de EUR para os tratamentos T1 e T2, estão dentro da faixa esperada de EUR que é entre 2,0 g MJ⁻¹ a 4,5 g MJ⁻¹ para plantas C3, crescendo sob condições ótimas de água e radiação (COSTA, 1994; ROSENTHAL e GERIK, 1991). Apesar de o tratamento T2 ter sofrido redução na lâmina de água irrigada aos 36 DAS, a precipitação pluvial que ocorreu até o 47º DAS (fase de reprodutiva), possibilitou com que a cultura continuasse interceptando elevados níveis de radiação e conseqüentemente, transformando-a em MSt.

Figura 12 – Eficiência do uso da radiação solar do feijão-caupi submetido a diferentes disponibilidades de água.



Os tratamentos T3 e T4 obtiveram os menores resultados de EUR, interceptando 13% e 17% a menos de radiação, quando comparados ao tratamento T1. A superioridade da eficiência do uso da radiação apresentada pelo tratamento T1, possivelmente, não se deve somente a diferenças no índice de área foliar, em relação aos tratamentos T2, T3 e T4, já que esse índice pouco afeta a eficiência do uso da radiação (SINCLAIR e MUCHOW 1999), mas sim as características do arranjo foliar e da inclinação das folhas para a captação da radiação incidente (RUIZ e BERTERO, 2008).

O feijão-caupi apresenta movimento foliar heliotrópico, no qual controla a absorção de luz ajustando o ângulo de inclinação das folhas de tal forma que elas fiquem perpendiculares aos raios solares mantendo a elevada taxa fotossintética ao longo do dia (PASTENES et al., 2005), durante a fase vegetativa quando todos os tratamentos receberam a mesma quantidade de água as folhas do caupi apresentaram-se como diaheliotrópicas, entretanto, à medida que foram impostas as deficiências hídricas, os tratamentos T2, T3 e T4 reduziram a absorção de radiação passando a apresentar o paraheliotropismo, a fim de reduzir as perdas de água pela transpiração.

Santos et al. (2006) observaram em seus estudos que plantas com folhas heliotrópicas submetidas a uma baixa disponibilidade hídrica apresentaram maior grau

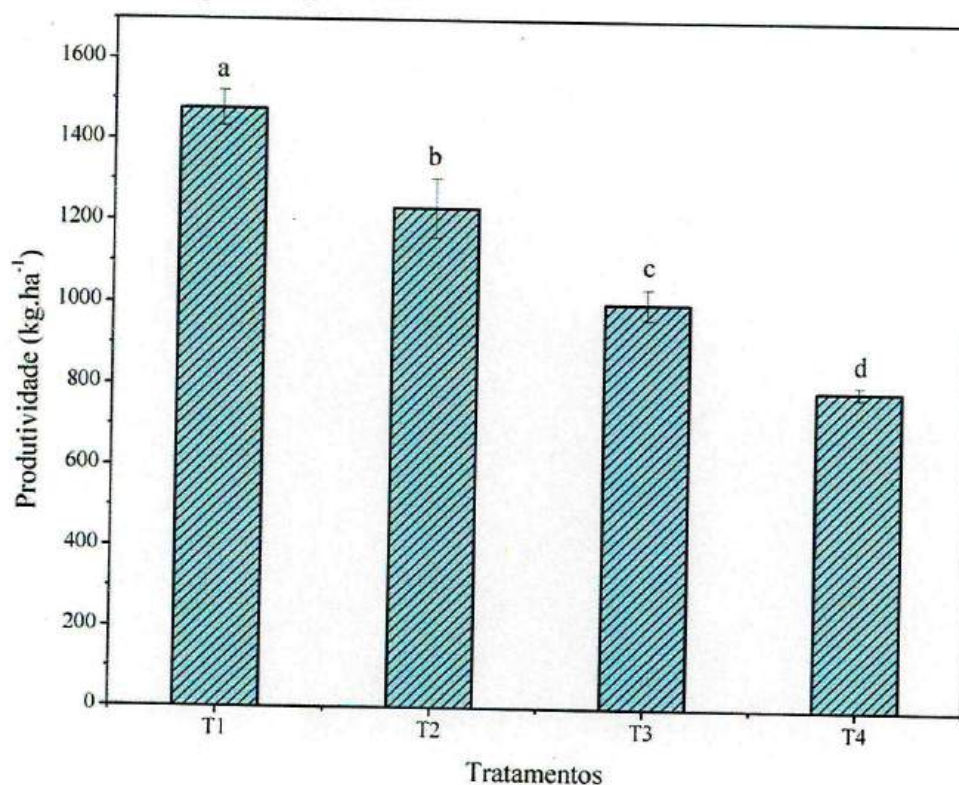
de escape da radiação solar direta nos horários de maior demanda evaporativa em relação às plantas submetidas a uma boa disponibilidade hídrica. Portanto, a mudança de movimento heliotropístico na fase reprodutiva, colaborou para menor eficiência de utilização da radiação pelos tratamentos submetidos ao déficit hídrico, pois estes reduziram a absorção de radiação e conseqüentemente a produção de fotoassimilados.

O maior número de eventos chuvosos e, conseqüentemente, condições atmosféricas mais nubladas proporcionaram o aumento na radiação difusa, que favorece a interceptação da radiação por parte das folhas sombreadas no interior do dossel (CARON et al., 2014). Portanto, a maior EUR do tratamento T1 em relação aos demais pode ter se dado pela maior contribuição das folhas do interior do dossel na utilização da radiação para a produção de biomassa, que incrementa com o aumento da radiação difusa (RADIN et al., 2003).

O valor de EUR do tratamento T1 corroboram Tesfaye et al. (2006) que obtiveram valores de EUR para *Vigna unguiculata* próximos daqueles apresentados neste estudo, o qual chegaram a 2,16 g MJ⁻¹ obtidos em experimentos de campo na Etiópia. Portanto, o valor de EUR de 2,18 g MJ⁻¹ obtido no tratamento T1 para o caupi, está coerente com os maiores valores encontrado na literatura, sob condições hídricas não estressantes.

Em relação a produtividade de grãos do feijão-caupi, verificou-se que os diferentes níveis de água no solo influenciaram negativamente na produção, pois quanto maior foram as deficiências impostas pelos tratamentos, menores foram os valores em kg/ha do grão (figura 13). A média de produção dos tratamentos foram de 1569 kg.ha⁻¹ para o tratamento T1, 1234 kg.ha⁻¹ para o tratamento T2, 1002 kg.ha⁻¹ para o tratamento T3, e 792 kg.ha⁻¹ para o tratamento T4, com redução de 21% no T2, 36% no T3 e 50% T4, quando comparados ao tratamento T1 que obteve suprimento hídrico adequado.

Figura 13 – Produtividade do feijão-caupi submetido a quatro tratamentos com diferentes disponibilidades de água ao longo do ciclo.



Resultados similares foram encontrados por Nascimento et al. (2011), estudando o efeito do deficit hídrico no feijão-caupi, observou uma redução média de 60% na produtividade ao comparar os tratamentos submetidos a deficiência hídrica com os que recebiam suprimento hídrico adequado. Corroborando também os estudos de Bezerra et al. (2003), Nascimento et al. (2011) e Sousa et al. (2009) que obtiveram redução de 59%, 60% e 68,6 % ao contrastar os tratamentos com irrigações durante todo o ciclo com os tratamentos expostos a deficiência hídrica, logo os resultados encontrados neste trabalho estão próximos daqueles encontrados na literatura.

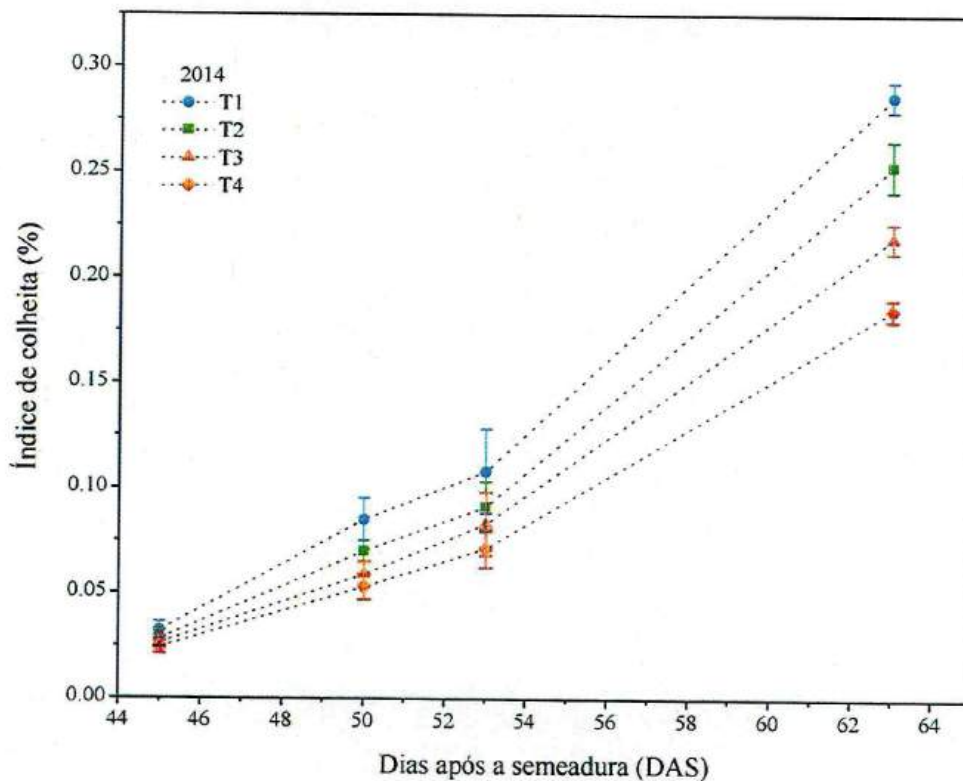
De acordo com Lima (2008) o déficit hídrico inviabiliza os processos fisiometabólicos da planta, provocando redução na produtividade, uma vez que a água é encarregada pela abertura dos estômatos e manutenção da transpiração. Portanto, suprir adequadamente a necessidade hídrica do feijão-caupi acarreta na manutenção do fluxo de água e nutrientes do solo para as folhas, o que propicia o seu crescimento e desenvolvimento, acarretando no aumento da produtividade (COELHO, 2003).

A razão entre a produção de grãos (parte economicamente comercializada) e o rendimento biológico (produção total de biomassa acima do solo) de uma cultura é

conhecida como índice de colheita (IC), que pode avaliar o desempenho de diferentes cultivares submetidas a distintas condições climáticas (SOUZA et al., 2014).

Na figura 14 são mostrados os valores de índice de colheita (IC) ao longo do ciclo do feijão-caupi para os quatro tratamentos. Os tratamentos T1 e T4 apresentaram os maiores e menores valores de IC, respectivamente, sendo 0,29 para o tratamento sem restrição hídrica e 0,19 o tratamento com restrição hídrica na fase reprodutiva, apresentando redução de 35% no IC. Os tratamentos T2 e T3 obtiveram IC igual a 0,25 e 0,22 com redução de 12% e 23%, respectivamente. O IC mostrou-se sensível a disponibilidade hídrica, pois quanto maior foram os teores de água no solo, melhores foram os resultados obtidos.

Figura 14 – Índice de colheita (IC) do feijão-caupi submetido a quatro tratamentos com diferentes disponibilidades de água durante o ciclo.



A deficiência hídrica promoveu a redução na produtividade, pois ocasionou o não vingamento das flores e conseqüentemente o abortamento de óvulos, produzindo vagens chochas (AIDAR et al., 2002), ou ainda pelo fato da restrição hídrica proporcionar redução nas taxas fotossintéticas (SANTOS et al., 2009), acarretando em menor produção de matéria seca para os grãos, pois reduz a matéria seca das folhas que

são o centro de interceptação de radiação para produção de fotoassimilados (FERNANDES et al., 2015).

Fancelli (2003) afirma que o IC pode identificar se uma cultivar apresenta a aptidão de adequar à elevada capacidade de produção total quando submetidos a diferentes condições ambientais e de destinar a matéria seca acumulada aos componentes de interesse econômico, portanto, IC obtido em um determinado local não deverá ser extrapolado para outras regiões, pois tal parâmetro está intimamente correlacionado com a interação genótipo-ambiente.

2.4 CONCLUSÕES

1. Os parâmetros de crescimento e desenvolvimento do feijão caupi são sensíveis ao déficit hídrico, demonstrando queda significativa no IAF, na MSt e na produtividade quando submetido a adversidades hídricas.
2. O tratamento com maior nível de água no solo demonstrou um coeficiente de extinção de luz (k) de 0,83 e no tratamento não irrigado, sob estresse hídrico, verificou-se redução no valor de k em 11% .
3. A EUR no feijão-caupi respondeu positivamente aos tratamentos com diferentes lamina de irrigação, onde interceptou-se 251,67 MJ.m⁻² de PAR, produzindo 2,18 g.m⁻² de matéria seca total para cada MJ de PAR interceptada no tratamento T1. Sob estresse hídrico no tratamento T4, verificou-se redução na EUR de 16%.
4. O índice de colheita (HI) com base na massa seca para o tratamento sem restrição hídrica foi de 0,29, contrastando com o tratamento não irrigado observou redução de 35% no HI.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_____. Melhoramento genético. In: FREIRE FILHO, F. R. et al. (Org.) **Feijão caupi: avanços tecnológicos**. Brasília-DF, Embrapa Meio-Norte, 2005. p. 25-104.

AIDAR, H.; SILVA, S. C.; KLUTHCOUSKI, J.; THUNG, M. **Sistema de produção do feijoeiro comum em várzeas tropicais: época de plantio**. Santo Antonio de Goiás EMBRAPA, 2002. (circular técnica, 55). Ano 2002.

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.

BASTOS, E. A.; RODRIGUES, B. H. N.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; CARDOSO, M. J. Parâmetros de crescimento do feijão caupi sob diferentes regimes hídricos. **Rev Engenharia Agrícola**, v. 22, n. 1, p. 43-50, Ano 2002.

BENINCASA, M. P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. Jaboticabal: Funep, 41 p. Ano 2003.

BERNARDES, T. G.; SILVEIRA, P. M.; MESQUITA, M. A. M.; CUNHA, P. C. R. Resposta do feijoeiro de outono-inverno a fontes e doses de nitrogênio em cobertura. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 2, p. 458-468, 2014.

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

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.

CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q. Desempenho agrônômico do feijão-caupi, cv. Rouxinol, em função de espaçamentos entre linhas e densidades de plantas sob regime de sequeiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 01, p. 102-105, 2006.

CARON, B. O.; SCHIMIDT, D.; MANFRON, P. A.; BEHLING, A.; ELOY, E.; BUSANELLO, C. Eficiência do uso da radiação solar por plantas *Ilex paraguariensis* a. cultivadas sob sombreamento e a pleno sol. **Rev Ci. Fl.**, v. 24, n. 2, Santa Maria. Ano 2014.

CARVALHO, J. A. *et al.* Efeito do déficit hídrico sobre o rendimento do feijão caupi (*Vigna inguiculata* (L) Walp). **Rev Ciência e Agrotecnologia**, v. 24, n. 03, p. 710-717, Ano 2000.

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.

CORDEIRO, E. A. Influência do tratamento de água ferruginosa no desempenho de sistema de irrigação por gotejamento. **Dissertação Mestrado** - Viçosa: UFV, 92p. Ano 2002.

CORREIA, K. G.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetido a déficit hídrico. **Rev. de Biologia e Ciência da Terra**, v.4, n.2, Ano 2004.

COSTA, L. C. Respiration, photosynthesis and growth of faba bean (*Vicia faba* L.) under different environmental conditions. (**Ph.D. Thesis**) - Reading, (UK): University of Reading. 223 p. Ano 1994.

DAMATTA, F. M. Ecophysiology of tropical tree crops: an introduction. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 19, n. 4, p. 239-244, 2007.

EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. **Cultivar de Feijão Caupi: BR3 – Tracueteira purificada para o estado do Pará**. Ano 2005. Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/br3-tracueteua_000fljvhfns02wyiv80lcx0a9xtkboga.pdf> Acessado em 15 mar 2015.

FANCELLI, A. L. **Fisiologia, nutrição e adubação do milho para alto rendimento**. Piracicaba, São Paulo. Departamento de Produção Vegetal. São Paulo: ESALQ/USP, 2003, p 9. Ano 2003.

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.

FERNANDES, F. B. P.; LACERDA, C. F. de; ANDRADE, E. M. de; NEVES, A. L. R.; SOUSA, C. H. C. de. Efeito de manejos do solo no déficit hídrico, trocas gasosas e rendimento do feijão-de-corda no semiárido. **Rev. Ciênc. Agron.**, v. 46, n. 3, p. 506-515, Fortaleza, CE. Ano 2015.

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.; ROCHA, M. de M.; RIBEIRO, V. Q.; SITTO LIN, I. N. **Avanços e perspectivas da cultura do feijão-caupi**. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. (Ed.) Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 235-250, Ano 2008.

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.

FREITAS, R. M. O.; DOMBROSKI, J. L. D.; FREITAS, F.C.L.; Narjara Walessa NOGUEIRA, N. W.; PINTO, J. R. S. Crescimento de feijão-caupi sob efeito de veranico nos sistemas de plantio direto e convencional. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 30, n. 2, p. 393-401, 2014.

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.

GEPTS, P.; FERNÁNDEZ, F. Etapas de desarrollo de la planta de frijol 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.

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 jul/2015.

JIANG, A. C. D.; GAOB, H. Y.; ZOUB, Q.; JIANGA, G. M.; LIA, L. H. Leaf orientation, photorespiration and xanthophyll cycle protect young soybean leaves against high irradiance in field. **Rev Environmental and Experimental Botany**, p.1-10, Ano 2004.

JONES, H. G. **Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology**. New York: Cambridge University, 428 p. Ano 1992.

KUNZ, J. H.; BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; HECKLER, B. M. M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Rev Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1511-1520, Ano 2007.

- LEITE, M. L.; FILHO, J. S. V. Produção de matéria seca em plantas de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a déficits hídricos. **Rev Ciencia Agricola e Engenharia**, pp. 43-51. Ano 2004.
- 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 de Mestrado - Sergipe**. Ano 2008.
- MAGALHAES, S. R.; ANDRADE, E. A. de. Teste para verificar a igualdade de modelos de regressão e uma aplicação na área médica. **Rev E-xacta**. v. 2, n. 1, Belo Horizonte. Ano 2009.
- MERRIAN, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation**. Engineering Department, Utah State University. Ano 1978.
- MONSI, M.; SAEKI, T. Über der Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. **Rev Japanese Journal of Botany**, v.14, p.22-52, Ano 1953.
- MONTEITH J. L.; UNSWORTH M. H. **Principles of environmental physics**, 2nd edn. London: Edward Arnold. Ano 1990.
- MONTEITH, J. L. Climate and the efficiency of crop production en Britain. **Rev Proceedings of the Royal Society of London**, v.281, n.980, p.277-294, Ano 1977.
- NASCIMENTO, J. T. et al. Efeito da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção de feijão caupi, vagens e grãos verdes. **Rev Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 22, n. 2, p. 174-177. Ano: 2004.
- 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.
- PASTENES, C.; PIMENTEL, P.; LILLO, J. Leaf movements and photoinhibition in relation to water stress in field-grown beans. **Journal of Experimental Botany**, v.56, p. 425-433. 2005.
- PENGELLY, B.C.; BLAMEY, F.P.C.; MUCHOW, R.C. Radiation interception and the accumulation of biomass and nitrogen by soybean and three tropical annual forage legumes. **Rev Field Crops Research**, v.63, p.99- 112, Ano 1999.
- PROCÓPIO, S. O. *et al.* **Desenvolvimento foliar das culturas da soja e do feijão e de plantas daninhas**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 207- 211, Ano 2003.

- RADIN, B. et al. Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do tomateiro em diferentes ambientes. **Rev Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.9, p.1017-1023. Ano 2003.
- ROSENTHAL, W. D.; GERIK, T. J. Radiation use among cotton cultivars. **Rev Agronomy Journal**, v.83, p.655-658, Ano 1991.
- RUIZ, R. A.; BERTERO, H. D. Light interception and radiation use efficiency in temperate quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) cultivars. **Rev European Journal Agronomy**, Copenhagen, v.29, n. 1, p.144-152, Ano 2008.
- SAN JOSÉ, J. J.; MONTES, R.; NIKONOVA, N.; VALLADARES, N.; BUENDIA, C.; MALAVE, V.; BRACHO, R.; Dry-matter partitioning and radiation-use efficiency in cowpea cultivars (*Vigna unguiculata (L.) Walp.* cvs TC-9-6 and M-28-6-6) during consecutive seasonal courses in the Orinoco llanos. **Rev Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.142, p. 163-175. Ano 2004.
- SANQUETTA, C. R.; BEHLING, A.; CORTE, A. P. D.; CADORI, G. C.; COSTA-JUNIOR, S.; MACEDO, J. H. P. Eficiência de conversão da radiação fotossintética interceptada em Fitomassa de mudas de *Eucalyptus dunii* Maiden em função da densidade de plantas e do ambiente de cultivo. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 42, n. 104, p. 573-580, dez. Ano: 2014.
- SANTOS, A. M.; ROSA, L. M. G.; NABINGER, C.; FRANKE, L. B.; ABREU, J. B. R. Influência da orientação foliar e da disponibilidade hídrica na interceptação da radiação solar e no teor de clorofila da folha em *Macroptilum lathyroides* (L.) Urban. **Rev. Univ. Rural, Sér. Ci. da Vida**, RJ, EDUR. v. 26, n. 2, p. 01-12, 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. CD-ROM.
- SANTOS, M. G. et al. Photosynthetic parameters and leaf water potential of five common beans genotypes under mild water deficit. **Biologic Plantarum**, v. 53, n. 2, p. 229-236, 2009.
- SAS-Statistical Analyses System. **Statistical Analysis System user's guide. Version 9.2**. Cary: Statistical Analyses System Institute. Ano 2008.
- SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA DO PARÁ – SAGRI - PA. **Banco de dados**. Belém, Ano 2010.
- SINCLAIR, T.R., AND R.C. MUCHOW. **Radiation use efficiency**. Adv Agron. 65:215-265. Ano 1999.

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, L. H. B. de; PEIXOTO, C. P.; SILVEIRA, P. S. da; LEDO, C. A. da S.; LIMA, V. P.; SANTOS, A. P. S.G. dos. Características agronômicas e rendimento de girassol em diferentes épocas de semeadura e populações de plantas no recôncavo da bahia. **Rev Biosci. J.**, Uberlandia, v. 30, supplement 1, p. 90-10. Ano 2014.

TEIXEIRA, G. C. S.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B. Eficiência do uso da radiação solar e índices morfofisiológicos em cultivares de feijoeiro. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 45, n. 1, p. 9-17, 2015.

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 Psicicultura de Castanhal. FCAP, Belém, **Informe Técnico**, 25:5-26. Ano 1999.

TESFAYE, K; WALKER, S.; TSUBO, M. Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi-arid environment. **Rev European Journal Agronomy**, Copenhagen, v.25, n. 1, p.60-70, Ano 2006.

YAMADA, T; ABDALLA, S. R. S. Simpósio destaca a essencialidade do fósforo na agricultura brasileira. **Informações agronômicas**, n. 102, p. 1-9, 2003.