



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

**PARTIÇÃO DE MATÉRIA SECA DE FEIJÃO CAUPI EM FUNÇÃO DA
NECESSIDADE TÉRMICA.**

VIVIAN DIELLY DA SILVA FARIAS

BELÉM – PA

2013



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

**PARTIÇÃO DE MATÉRIA SECA DE FEIJÃO CAUPI EM FUNÇÃO DA
NECESSIDADE TÉRMICA.**

VIVIAN DIELLY DA SILVA FARIAS

BELÉM – PA

2013



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

**PARTIÇÃO DE MATÉRIA SECA DE FEIJÃO CAUPI EM FUNÇÃO DA
NECESSIDADE TÉRMICA.**

VIVIAN DIELLY DA SILVA FARIAS

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

BELÉM – PA

2013

Farias, Vivian Dielly da Silva

Partição de matéria seca de Feijão Caupi em função da
necessidade térmica./ Vivian Dielly da Silva Farias. - Belém, 2013.

84 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal
Rural da Amazônia, 2013.

1. *Vigna unguiculata* (L.) Walp. 2. Feijão Caupi - irrigação. I.
Título.

CDD – 631.422



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

VIVIAN DIELLY DA SILVA FARIAS

PARTIÇÃO DE MATÉRIA SECA DE FEIJÃO CAUPI EM FUNÇÃO DA
NECESSIDADE TÉRMICA.

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

BANCA EXAMINADORA

Prof^o Dr. Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza – Presidente
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

Prof^a Dr^a Aparecida Rodrigues Nery – 1^o Examinador
INSTITUO FEDERAL DO PARÁ

Prof^o Dr. Sergio Antonio Lopes de Gusmão – 2^o Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

Pesq^a. Dra^a. Lucieta Guerreiro Martorano – 3^o Examinador
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL.

*Dedico,
Aos meus pais,
Janice da Silva Farias e Reuben Judá da Silva Farias,
pelos ensinamentos, dedicação, carinho e amor durante todos os anos de minha vida.*

*Ao meu marido,
Jonathas de Jesus Navegantes Pereira,
pelo amor, companheirismo, incentivo, paciência e por dispensar os momentos de convívio
para a conquista deste curso.*

*As minhas irmãs e minha sobrinha
Rianny Suzan Farias, Janny Suellen dos Reis e Ana Clara Farias dos Reis,
pelo companheirismo, amor, carinho e amizade.*

*Ofereço,
Ao meu avô,
Waldemar Farias (in memoriam)*

AGRADECIMENTOS

À Deus, Jesus e ao Espírito Santo por serem fonte de minha verdadeira felicidade, paz, paciência, auto controle ...em fim sem eles eu não teria valor algum.

A minha família, que eu amo tanto, pelo apoio, dedicação e carinho.

A Universidade Federal Rural da Amazônia e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela formação acadêmica e oportunidade de realização do curso de mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao meu orientador, professor Dr. Paulo Jorge Souza, pela orientação, ensinamento, respeito, amizade, competência e profissionalismo.

Aos colegas do Laboratório de Agrometeorologia Marcus Lima e Juliana Chagas que foram quase meus co-orientadores, Danilo Santos, Olivar Ribeiro, Rosalva Freitas, Déborah Silva, e os bolsistas do Pibiq/ Cnpq pela amizade e auxílio nas coletas de campo.

Ao professor Dr. Adriano Sousa e ao Programa LBA pelo apoio logístico oferecido durante a condução do experimento e aos colegas do Programa pela amizade e pela ajuda.

Ao Eng. Agr. Raimundo Nonato, pela amizade, convivência e grande apoio nas atividades de campo em todos os momentos que necessitei. -

Aos funcionários do Campus de Castanhal em especial ao Gilson, pela amizade e auxílio nas atividades de campo.

Ao excelente professor Sérgio Gusmão, pela orientação na graduação, que muito contribuíram para a condução desse trabalho, amizade e ensinamentos na vida profissional e secular que levarei para o resto da minha vida.

A banca examinadora pelas sugestões de correção que muito contribuíram para meu trabalho.

Finalmente, a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

Muito obrigada!!!

SUMÁRIO

RESUMO-.....	8
ABSTRACT-.....	9
LISTA DE FIGURA	10
LISTA DE TABELAS	13
1 CONTEXTUALIZAÇÃO	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17
2 TEMPERATURAS BASAIS E NECESSIDADE TÉRMICA PARA O CICLO DE DESENVOLVIMENTO DO FEIJÃO CAUPI	19
RESUMO	19
ABSTRACT	20
2.1 INTRODUÇÃO	21
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	22
2.2.1 Sítio experimental	22
2.2.2 Caracterização física e química do solo	23
2.2.3 Condução.....	24
2.2.4 Instrumentação e coleta de dados agrometeorológicos.....	25
2.2.5 Desenvolvimento fenológico.....	26
2.2.6 Necessidade térmica.....	27
2.3 RESULTADOS.....	29
2.3.1 Condições meteorológicas durante o experimento.....	29
2.3.2 Temperatura basal inferior	30
2.3.3 Temperatura basal superior	34
2.4 CONCLUSÕES.....	40
2.5 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	41
3 MODELAGEM DA PARTIÇÃO DE MATÉRIA SECA EM FEIJÃO CAUPI IRRIGADO.....	45
RESUMO-.....	45
ABSTRACT-.....	46
3.1 INTRODUÇÃO	47
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	48
3.2.1 Sítio experimental do 1º experimento	48
3.2.2 Sítio experimental do 2º experimento	49
3.2.3 Instrumentação e coleta de dados agrometeorológicos.....	51

3.2.4 Desenvolvimento fenológico.....	51
3.2.5 Graus dias e tempo térmico normalizado	52
3.2.6 Partição de matéria seca	53
3.2.7 Dados analisados.....	54
3.2.8 Análises estatísticas e validação do modelo.....	57
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
3.3.1 Condições meteorológicas durante o experimento.....	59
3.3.2 Desenvolvimento fenológico.....	61
3.3.3 Partição de matéria seca	63
3.3.4 Calibração e validação dos modelos	67
3.4 CONCLUSÕES.....	78
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79

RESUMO-

A temperatura do ar é o principal elemento do ambiente condicionante do desenvolvimento e crescimento das plantas, desde que não ocorra deficiência hídrica acentuada. Para avaliar o efeito da temperatura do ar, pode-se utilizar o conceito de soma térmica ou graus-dia, que se baseia na resposta da planta à temperatura do ar, destacando a existência de temperaturas basais que controlam o crescimento e desenvolvimento da cultura. Quando se pretende simular o crescimento das plantas é essencial quantificar a distribuição da matéria seca formada pelos diferentes componentes. Diante dessas questões o principal objetivo foi estimar as temperaturas basais quantificar a soma dos graus dias e modelar a partição de matéria seca do feijão-caupi cv. BR3 Tracuateua em função da necessidade térmica. Foram determinados temperaturas basais e os graus-dias acumulados nos principais subperíodos da cultura por meio do acompanhamento periódico da fenologia do feijão-caupi em função do regime climático da região. Os dados meteorológicos foram coletados de uma estação automática instalada na extremidade da área experimental. A necessidade térmica foi identificada através da teoria do acúmulo de graus-dia. Foi ainda estabelecida a partição de biomassa e a influência da temperatura e da irrigação nesse processo e por fim foram obtidos modelos empíricos. Um segundo experimento foi executado, no mesmo local com as mesmas metodologias de cultivo e medição, porém aproximadamente um ano após o primeiro, o qual forneceu dados para a validação dos modelos. Os valores de partição de biomassa simulados foram confrontados com valores observados em campo, do segundo experimento. Foram aplicados testes estatísticos de validação para avaliar a precisão e a exatidão dos modelos. As temperaturas basais inferior e superior encontradas e consideradas foram 9°C e 38°C respectivamente e os graus-dia acumulados para o período que se estende da germinação até a maturação fisiológica do feijão caupi cv. BR3 Tracuateua foi em média 1052,96. A partir do início da diferenciação dos tratamentos houve diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos irrigados e não irrigados. Os modelos apresentaram os valores de índice de confiança (c) maiores que 0,90, os valores de raiz do erro quadrático medio REQM (10-20), os índices de concordância maiores que 0,90 e a eficiência do modelo valores maior que 0,90. Portanto concluiu-se que os modelos apresentaram bom desempenho e eficiência com as temperaturas basais consideradas e a deficiência de água afeta a biomassa seca do feijão caupi, porém não influencia o deslocamento da fração nas partes da planta.

Palavra chave: *Vigna unguiculata* (L.)Walp, BR3 Tracuateua, modelos, matéria seca, temperatura do ar, irrigação.

ABSTRACT-

The air temperature is a major environmental factor in the development and growth condition of the plants from drought stress does not occur markedly. To assess the effect of air temperature, it may be the concept of thermal or degree-days, that is based on plant response to air temperature, the existence highlighting the basal temperatures that control growth and crop development. When it is desired to simulate the growth of the plants is essential to quantify the distribution of dry matter formed by different components. Faced with these issues the main objective was to estimate the basal temperatures to quantify the sum of degree days and model the partitioning of dry matter of cowpea cv. BR3 Tracueteua due to thermal need. Were measured basal temperatures and degree days accumulated in the main sub-periods of culture through regular monitoring of the phenology of cowpea due to the climatic regime of the region. Meteorological data were collected from a station automatically installed at the end of the experimental area. The need was identified through thermal theory of accumulation of degree-days. It was further established biomass partition and the influence of temperature and irrigation and finally this process were obtained empirical models. A second experiment was performed at the same location with the same methods of cultivation and measurement, but about a year after the first, which provided data for model validation. The values of biomass partitioning were faced with simulated values observed in the field, the second experiment. Tests were used for validation to assess the precision and accuracy of the models. The basal temperatures lower and higher were considered and found 9°C and 38°C respectively and accumulated degree-days for the period extending from germination to physiological maturity of cowpea cv. BR3 Tracueteua averaged 1052.96. From the beginning of differentiation of the treatments were no significant differences ($P < 0.01$) between treatments and without irrigation. The models showed the index values of trust (c) greater than 0.90, the values of average root mean square error RMSE (10-20), the concordance rates greater than 0.90, and model efficiency values greater than 0.90. Therefore conclude that the models showed good performance and efficiency with basal temperatures considered the deficiency of water affects the dry biomass of cowpea, but does not influence the displacement of the fraction in the plant parts.

Keywords: *Vigna unguiculata* (L.)Walp, BR3 Tracueteua, models, dry matter, air temperature, irrigation.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 -Localização do sítio experimental.....	23
Figura 2 - Sensor de temperatura e umidade relativa do ar a 2,0 m (a), a 0,5 m (b) acima do dossel e sensor de chuva(c).....	25
Figura 3 -Fases fenológicas vegetativas, V0(a), V1(b), V2(c), V3(d), V4(e) e reprodutivas R5(f), R6(g), R7(h), R8(i), R9(j) do feijão caupi.....	27
Figura 4 -Variabilidade das chuvas (PP) e das temperaturas máximas (Tmax) e mínimas (Tmin) e médias (T) absolutas ocorridas durante o experimento de feijão caupi cultivar BR3 Tracuateua, Castanhal-Pa, 2011.....	30
Figura 5 -Determinação da temperatura basal inferior dos subperíodos V0-V4 (a), R7-R9(b) e para o ciclo de desenvolvimento (V0-R9) (c) do feijão caupi cv. BR3 Tracuateua pelo método do menor desvio padrão em graus dia.....	32
Figura 6 -Determinação da temperatura basal inferior dos subperíodos R5-R6 (a), R7-R9(b) do feijão caupi cv. BR3 Tracuateua pelo método do menor coeficiente de variação dos graus dias.....	32
Figura 7 -Determinação da temperatura basal inferior dos subperíodo, R7-R9(b) do feijão caupi cv. BR3 Tracuateua pelo método do menor desvio padrão em dias.....	33
Figura 8 -Determinação da temperatura basal inferior dos subperíodo, R7-R9 e do ciclo de desenvolvimento (V0-R9) do feijão caupi cv. BR3 Tracuateua pelo método do Desenvolvimento relativo.....	33
Figura 9 -Coeficiente de Variação (CV%) da duração em dias das fases fenológicas do feijão caupi e dos graus dias acumulados calculados com Tb constante e Tb variadas.....	34
Figura 10 -Determinação da temperatura basal superior dos subperíodos V0-V4(a) e R7-R9 (b) do feijão caupi cv. BR3 Tracuateua pelo método do Coeficiente de variação e Desvio padrão em graus dias constantes.....	35
Figura 11 -Temperaturas máximas (T.Max) e mínimas (T. Min) absolutas com desvio padrão, ocorridas ao longo do experimento com feijão caupi.....	39
Figura 12 -- Área do 2º experimento de feijão-caupi cv. BR3 Tracuateua, Castanhal-Pa-2012.....	50
Figura 13 -Curva de retenção da umidade do solo na área do experimento em Castanhal- PA.....	51
Figura 14 - Repetição (a) e espaçamento entre plantas(b) do experimento com feijão caupi cvBR3 Tracuateua, Castanhal-Pa, 2012.....	52

Figura 15 - Método, estufa e balança de precisão utilizados no procedimento de avaliação da partição de matéria seca do feijão caupi cv.BR3 Tracuateua.....	54
Figura 16 - Regime pluviométrico do município de Castanhal, Pará, referente a uma série histórica de 37 anos (1973 2010), cedido pela Agencia Nacional das Águas, associado as chuvas mensais ocorridas durante os experimentos de 2011 e 2012.	60
Figura 17 -Precipitação pluvial e umidade do solo ocorridos no decorrer do primeiro (A) e do segundo experimento (B) em Castanhal-Pa.	61
Figura 18 -Umidade do solo ocorrido no decorrer do experimento no solo irrigado (—) e no solo não irrigado (—).	61
Figura 19 -Fração de matéria seca das folhas (●), das hastes(○) e dos legumes(*) nos anos de 2011 e 2012 do feijão caupi cv. BR3 Tracuateua em relação ao tempo térmico normalizado (TTN).	63
Figura 20 -Fração de matéria seca das folhas (■), das hastes(○) e dos legumes(*) do feijão caupi nos tratamentos irrigado(azul) e em condições naturais(preto) em relação ao tempo térmico normalizado (TTN)	67
Figura 21 -Ajuste do modelo logístico da massa seca total acumulada (MSt) durante o ciclo do feijão caupi (cv. BR3-Tracuateua) em $g\ m^{-2}$ em função ao tempo térmico normalizado TTN, com seu respectivo modelo ajustado.	68
Figura 22 -Evolução da área foliar específica (AFE) em função do tempo térmico normalizado (TTN) com seu respectivo modelo ajustado.	68
Figura 23 -Evolução do índice de área foliar (IAF) simulado (—) e observado (●) em função do tempo térmico normalizado (TTN), nas condições de solo e clima do Município de Castanhal, Pará, durante a fase de calibração no ano de 2011.	69
Figura 24 -Evolução do índice de área foliar (IAF) simulado e observado em função do tempo térmico normalizado (TTN) (A), e índice de área foliar simulada (IAFSim) versus índice de área foliar observada(IAFObs) (B) nas condições de solo e clima do Município de Castanhal-PA.	70
Figura 25 -Comportamento da fração de matéria seca da folha (FMSf) do feijão caupi cv.BR3 tracuateua , com sua respectiva função ajustada.	71
Figura 26 -Evolução da matéria seca das folhas (MSf) em $g\ m^{-2}$ simulado(—) e observado(●) em função do tempo térmico normalizado (TTN), nas condições de solo e clima do Município de Castanhal, Pará, durante a fase de calibração no ano de 2011.	71
Figura 27 -Evolução da matéria seca das folhas (MSf) simulada(—) e observada (●) em função do tempo térmico normalizado (TTN)(A) e matéria seca da folha observada (MSfObs)	

versus matéria seca da folha simulada(MSfSim)(B) nas condições de solo e clima do Município.	72
Figura 28 -Comportamento da fração de matéria seca das hastes (FMS _h) do feijão caupi cv.BR3 tracueteua , com sua respectiva função ajustada.	73
Figura 29 -Evolução da matéria seca das hastes (MS _h) em g/m ² simulado e observado em função do tempo térmico normalizado (TTN), nas condições de solo e clima do Município de Castanhal, Pará, durante a fase de calibração no ano de 2011.	73
Figura 30 -Evolução da matéria seca das hastes (MS _h) simulada e observada em função do tempo térmico normalizado (TTN) (A) e matéria seca da hastes observada (MSfObs) versus matéria seca da hastes simulada (MSfSim) (B) nas condições de solo e clima do Município de Castanhal.-PA.	74
Figura 31 -Comportamento da fração de matéria seca dos legumes (FMS _l) do feijão caupi cv.BR3 tracueteua, com sua respectiva função ajustada.	75
Figura 32 -Evolução da matéria seca dos legumes (MS _l) em g m ⁻² simulado e observado em função do tempo térmico normalizado (TTN), nas condições de solo e clima do Município de Castanhal, Pará, durante a fase de calibração no ano de 2011.	75
Figura 33 -Evolução da matéria seca dos legumes (MS _l) simulada e observada em função do tempo térmico normalizado (TTN)(A) e matéria seca da hastes observada (MSlObs) versus matéria seca da hastes simulada (MSlSim) (B) nas condições de solo e clima do Município de Castanhal-PA.	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -Análise química e física do Latossolo Amarelo. Unidade da UFRA, Castanhal-PA.	24
Tabela 2 -Variáveis e instrumentos utilizados no experimento, assim como, a disposição dos mesmos em relação ao solo.....	25
Tabela 3 -Escala fenológica do feijão comum adaptada para o caupi. (GEPTS & FERNANDEZ,1982).....	26
Tabela 4 -Valores de temperaturas (°C) máximas, mínimas, médias e chuva (mm) acumulada durante as diferentes épocas de semeio do feijão caupi, cultivar BR3 Tracuateua, Castanhal- Pa.....	30
Tabela 5 -Valores de temperaturas basais inferiores para a cultura do feijão caupi, cultivar BR3 Tracuateua, nos sub períodos (V0-V4), (R5-R6), (R7-R9) e (V0-R9), estimados por meio dos métodos de menor desvio padrão em dias (DPd), em graus dias(DPGd), coeficiente de variação (CV%)e desenvolvimento relativo (DR).	31
Tabela 6 -Necessidade térmica do feijão caupi, cultivar BR3 Tracuateua, nos subperíodos V0- R5 (Germinação-Botão floral), R5-R7 (Botão floral-PrimeiraVagem), R7-R9 (Primeira vagem-Maturação fisiológica) nas diferentes épocas de semeio.	38
Tabela 7 -Análise química e física do Latossolo Amarelo referente ao solo do 1º e o 2º experimento. Unidade da UFRA, Castanhal-PA.....	49
Tabela 8 -Classificação da precisão do modelo de acordo com a raiz do erro quadrado médio (RMSE).	58
Tabela 9 -Interpretação do desempenho do modelo, por meio, do valor do índice de confiança (c).	59
Tabela 10 -Dados referentes a necessidade térmica em grau dia acumulado (GDac) e tempo térmico normalizado (TTN), assim como o tempo de ocorrência em dias após a semeadura (DAS).	62
Tabela 11 -Matéria seca das hastes (MSh) e matéria seca das folhas(MSf) em g/m ² do feijão caupi irrigado e em condições naturais em relação ao tempo térmico normalizado (TTN). ...	64
Tabela 12 -Índice de área foliar (IAF) (m ² /m ⁻²) e matéria seca dos legumes (MSl) em g/m ² do feijão caupi irrigado e em condições naturais em relação ao tempo térmico normalizado (TTN).	65
Tabela 13 -Estatística do desempenho do modelo para a simulação do índice de área foliar(IAF) (m ² /m ⁻²), da matéria seca das folhas (MSf), das hastes (MSh) e dos legumes (MSl) (g m-2), na fase de calibração e validação dos modelos.	77

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O feijão-caupi, também é conhecido nas diversas partes da Amazônia como feijão-de-corda, feijão-de-rama, feijão-da-estrada, feijão-de-praia, ou feijão-macaçar (*Vigna unguiculata* (L.)Walp.). Além de ter grande importância na alimentação básica da população, como afirma Borges et al., (2012), também é uma cultura de importância socioeconômica, política e ecológica no Brasil (MCDONALD e PAULSEN, 1997; CRAUFURD e WHEELER, 1999), especialmente na região Nordeste, onde é mais consumido, devido a forte influência africana.

A alta variabilidade climática, em diferentes tempos e escalas de espaço, exerce efeitos sobre a segurança alimentar e o desenvolvimento econômico da região (SILVA et al., 2010) e existem poucas culturas capazes de experimentar déficit hídrico relativamente forte, suportar elevadas temperaturas e ainda obter razoável produtividade (NASCIMENTO et al. 2011). A elevada variabilidade genética (FREIRE FILHO et al. 2005) e ampla capacidade de adaptação a diversas condições ambientais (NEVES et al. 2009), aliado ao seu elevado nível nutricional (ANYIA e HERZOG, 2004) e baixo custo de produção (FROTA et al. 2008), fazem desta cultura uma excelente “arma” de combate a fome nas regiões mais pobres do mundo.

O requerimento de água desta cultura é variável com o seu estágio de desenvolvimento (LIMA et al., 2006) e aumenta de um valor mínimo na germinação até um valor máximo na floração e formação de vagens, decrescendo a partir do início da maturação (BASTOS et al., 2000). O consumo hídrico diário do feijão caupi raramente excede 3,0 mm, quando a planta está na fase inicial de desenvolvimento e o maior consumo de água ocorre na fase reprodutiva, com valor médio de 3,65 mm dia (NASCIMENTO et al., 2011).

As condições de cultivo da espécie, principalmente no Nordeste brasileiro, em certos locais e épocas do ano, prevalecem condições ambientais adversas de deficiência de água e temperaturas elevadas. No Estado do Pará, apesar de toda relevância do caupi, a produção e produtividade vem caindo desde 2003 devido a vários problemas de ordem técnica, comercial, política e principalmente climática (REBELLO 2011). Segundo este autor apesar da considerada resistência do caupi à seca, existem grandes variações, de acordo com o genótipo, a intensidade e duração do estresse, assim como, a fase em que ele ocorre.

O feijão caupi apresenta cinco fases fenológicas vegetativas e cinco reprodutivas e a temperatura do ar é o principal elemento do ambiente condicionante na determinação da duração dessas fases de desenvolvimento das plantas, desde que não ocorra deficiência hídrica

acentuada (BARBANO et al., 2003). Segundo Gramig e Stoltenberg (2007) a temperatura do ar é o principal elemento meteorológico que afeta o desenvolvimento das culturas.

Para avaliar o efeito da temperatura do ar, pode-se utilizar o conceito de soma térmica ou graus-dia, que se baseia na resposta da planta à temperatura do ar, destacando a existência de temperaturas basais que controlam o crescimento e desenvolvimento da cultura. Um dos problemas no cálculo de graus-dia é o estabelecimento dos limites das temperaturas favoráveis.

O desenvolvimento dos vegetais é limitado pelas temperaturas basais inferior e superior da cultura, ocorrendo o acúmulo diário de energia entre estas temperaturas. Fora desses limites o crescimento é desprezível ou nulo (BRUNINI et al., 1976; OMETTO, 1981; SOUZA et al., 2009). Esse acúmulo energético origina a necessidade térmica da cultura, servindo como mecanismo de auxílio no planejamento de atividades agrícolas, como o plantio, a colheita e os demais tratamentos culturais, além de indicar o potencial climático de uma região para produção (MULLINS et al., 1992; CHAVARRIA et al., 2009; SOUZA et al., 2009).

O crescimento de uma planta é a produção e distribuição de matéria seca ao longo da sua ontogenia (AUMONDE et al., 2011), esse processo também encontra-se condicionado às restrições impostas pelo meio ambiente. Portanto, quando as plantas ficam submetidas à temperatura do ar e as condições hídricas desfavoráveis, são capazes de realizar alterações fisiológicas, morfológicas e anatômicas, que resultam em mudanças no seu metabolismo, visando alcançar uma redução dos efeitos do estresse na sua produtividade.

Quando se pretende simular o crescimento das plantas é essencial quantificar a distribuição da matéria seca formada pelos diferentes componentes, pois a partição de matéria seca permite o conhecimento mais detalhado do desenvolvimento da cultura em função das alterações da relação fonte/dreno, tornando-se um importante instrumento para contribuir na busca do potencial produtivo da cultura na região do nordeste paraense.

A implantação da cultura e as práticas de manejo podem ser melhoradas com auxílio de modelos matemáticos, visto que através desses modelos podem ser gerados cenários para avaliar as estratégias mais adequadas em cada condição, proporcionando resultados rápidos satisfatórios e de baixo custo em relação às técnicas convencionais. (TRENTIN et al., 2008),

Diante do exposto, a hipótese testada neste trabalho é de que os modelos de partição de matéria seca em função da necessidade térmica vão apresentar bom desempenho com as temperaturas basais encontradas e consideradas. Por isso, este estudo tem como principal objetivo estimar as temperaturas basais para quantificar a soma dos graus dias e modelar a

partição de matéria seca do feijão-caupi cv. BR3 Tracuateua em função da necessidade térmica. Especificamente, objetivou-se:

- a) Determinar as temperaturas basais;
- b) Determinar as necessidades térmicas nos principais subperíodos.
- c) Quantificar a partição de matéria seca do feijão caupi irrigado e em condições naturais.
- d) Identificar modelos de melhor desempenho na predição da partição de matéria seca para feijão caupi em áreas irrigadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANYIA, A.O.; HERZOG, H. Water-use efficiency, leaf area and leaf gas exchange of cowpeas under mid-season drought. **European Journal of Agronomy** .v.20, p.327-339, 2004.
- AUMONDE, T.Z., PEDÓ,T., LOPES, N.F, MORAES, D.M., PEIL, R.M.N. Partição de matéria seca em plantas do híbrido de mini melancia Smile® enxertada e não enxertada **Revista brasileira Biociencias.**, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 387-391, jul./set. 2011.
- BARBANO, M.T.; SAWAZAKI, E.; BRUNINI, O.; GALLO, P.B.; PAULO, E.M. Temperatura base e soma térmica para cultivares de milho pipoca (*Zea mays* L.) no subperíodo emergência-florescimento masculino. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, n.1, p.79-84, 2003.
- BASTOS, E.A.; FOLEGATTI, M.V.; FARIA, R.T. de; ANDRADE JÚNIOR, A.S. de; CARDOSO, M.J.; RODRIGUES, B.H.N. **Modelagem em Feijão Caupi** (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) Teresina: Embrapa Meio-Norte. 42p. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 48). 2000.
- BORGES, P.R.S., SABOYA, R.C.C., SABOYA L.M. F, SANTOS E. R., SOUZA S.E.A, Distribuição de massa seca e rendimento de feijão-caupi inoculadas com rizóbio em gurupi, **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 1, p. 37-44, jan.-mar., 2012.
- BRUNINI, O.; LISBÃO, R.S.; BERNARDI, J.B.; FORNASIER, J.B.; PEDRO JUNIOR, M.J. Temperatura-base para alface cultivar “White Boston”, em um sistema de unidades térmicas. **Bragantia**, Campinas, v.35, n.19, p.213-219, 1976.
- CHAVARRIA, G.; SANTOS, H.P. dos; MANDELLI, F.; MARODIN, G.A.B.; BERGAMASHI, H.; CARDOSO, L.S. Caracterização fenológica e requerimento térmico da cultivar Moscato Giallo sob cobertura plástica. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.31, n.1, p.119-126, 2009.
- CRAUFURD, P. Q. and WHEELER, T. R. “Effect of drought and plant density on radiation, interception, radiation-use efficiency and partitioning of dry matter to seeds in cowpea.” **Experimental Agriculture**, pp. 309-325. 1999.
- FREIRE FILHO, F.R., J.A.A. LIMA, and V.Q. RIBEIRO. **Feijão caupi avanços tecnológicos**. Brasília-DF: EMBRAPA Meio-Norte. 2005.
- FROTA, K. d. M. G., R. A. M. SOARES, and J. A. G. ARÊAS. “Composição química do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar BRS-Milênio.” **Ciência Tecnologia de Alimentos**. pp. 470-476. 2008.
- GRAMIG, G.G.; STOLTENBERG, D.E. Leaf appearance base temperature and phyllochron for common grass and broad leaf weed species. **Weed Technology**, n.21, p.249-254, 2007.
- LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; SOARES, W. A.; SILVA, I. F. Estimativa da evapotranspiração do feijão-caupi utilizando o modelo de Penman-Monteith, **Revista brasileira de agrometeorologia** v.11, p.477-491, 2006.

- NASCIMENTO, S.P., BASTOS E.A.; ARAUJO E.C.E.; FREIRE FILHO F.R.; SILVA E.M.; Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Vol. 15, 8, pp. 853–860. 2011.
- NEVES, A.L.R.; LACERDA, C.F.; GUIMARÃES, F.V.A., FERNANDEZ, F.F.F.; SILVA, F.B.; PRISCO, J.T.; GHEYI, H.R. Acumulação de biomassa e extração de nutriente por plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Ciência Rural**. v.39, n:3 maio/junho/ 2009.
- MCDONALD, G.K. and. PALSEN, G.M. “High temperature effects on photosynthesis and water relations of grain legumes.” **Plant and Soil**, pp. 47–58. 1997.
- MULLINS, M.G.; BOUQUET, A.; WILLIAMS, L.E. **Biology of the grapevine**. New York: Cambridge University. 239p. 1992.
- OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 425p. 1981.
- REBELLO, F. K. Conjuntura da produção e comercialização do feijão-caupi no nordeste paraense: safra 2010. Disponível em: <<
http://www.bancoamazonia.com.br/bancoamazonia2/includes%5Cinstitucional%5Carquivos%5Cbiblioteca%5Ccontextoamazonico%5Ccontexto_amazonico_18.pdf>>. Acesso em: 14 agosto. 2012.
- SILVA, C.D., P.A.A. SANTOS, J.M.S. LIRA, V SANTANA, and C.D. SILVA JÚNIOR.. “Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas a deficiência hídrica.” **Revista Caatinga**, pp. 7-13. 2010.
- SOUZA, A.P. de; SILVA, A.C. da; LEONEL, S.; ESCOBEDO, J.F. Temperaturas basais e soma térmica para a figueira podada em diferentes épocas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.31, n.2, p.314-322, 2009.
- TRENTIN, R.; SCHREIBER F.; STREACH, N.A.; BURIOL G.A. Soma térmica de subperíodos do desenvolvimento da planta de melancia. **Ciência Rural**, v. 38, n. 09, p. 2464-2470, 2008.

2 TEMPERATURAS BASAIS E NECESSIDADE TÉRMICA PARA O CICLO DE DESENVOLVIMENTO DO FEIJÃO CAUPI.

RESUMO

O desenvolvimento das culturas depende fortemente da temperatura do ar. O efeito da temperatura sobre o desenvolvimento das plantas pode ser representado usando-se o método dos graus dia. Para o cálculo da soma térmica é necessário conhecer as temperaturas basais. Diante dessas considerações o objetivo deste trabalho foi estimar as temperaturas basais para o feijão caupi cv. BR3 Tracuateua e posteriormente quantificar a soma dos graus dias. Foram realizados plantios em seis épocas diferentes: 10 de agosto, 30 de agosto, 18 de setembro, 10 de outubro, 2 de novembro e 23 de novembro de 2011, 13-15 sementes por metro linear, em uma área de 1,5 ha. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado com seis repetições. Foram estimadas temperaturas basais inferiores pelos métodos do menor desvio padrão em dias e graus dias, menor coeficiente de variação e pelo método da regressão linear. A temperatura basal superior estimada pelo método do desvio-padrão em graus dias e coeficiente de variação constante. A temperatura basal inferior e superior consideradas foram respectivamente 9°C e 38°C. A necessidade térmica para o ciclo de desenvolvimento da cultura entre semeadura e maturação fisiológica considerando as temperaturas basais encontradas, foi em média 1052,96°C dias. As temperaturas basais encontradas estão próximas dos valores citados pelas literaturas, porém a necessidade térmica apresentou valores diferenciados, demonstrando que a pequena diversidade de temperaturas basais pode ter influenciado na variação da soma térmica.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata* (L.) Walp, graus dias, temperaturas cardinais, fenologia.

ABSTRACT

The development of crops strongly depends on air temperature. The temperature effect over the development of plants may be represented using the degree-days method. To calculate the thermal sum, it is necessary to know the basal temperatures, below and above which the development does not occur, or occurs at an insignificant rate. The objective of this paper was to estimate the basal temperatures for cowpea cv.BR3 Tracuateua, and eventually quantify the addition of the degree-days. Plantation was done during six different periods: 10 of August, 30 of August, 18 of September, 10 of October, 2 of November and 23 of November in 2011 in a 1.5 hectare , using entirely randomized delineation with six repetitions. Lower basal temperatures were estimated using methods of smaller standard deviation for days and degree-days, smaller coefficient of variation and linear regression method. The higher basal temperature estimated through standard deviation in degree-days and constant coefficient of variation. The considered lower and higher basal temperature were 8.55°C and 38°C respectively. The thermal need for the crop development between sowing and physiological maturation, considering the found basal temperatures were 1052.96°C days in average. The basal temperatures are found close to the figures cited by the literature, but the need thermal values were different, demonstrating that the diversity of small basal temperatures may have influenced the change in the thermal.

Keywords : *Vigna unguiculata* (L.) Walp, Degree-days, Cardinal temperatures, Phenology.

2.1 INTRODUÇÃO

No Brasil o feijão-caupi é cultivado predominantemente, por agricultores familiares, nas regiões Norte e Nordeste (BARBOSA et al., 2010; SILVA et al., 2010). O rendimento médio, no Brasil, é de aproximadamente 400 kg por hectare, sendo que uma das principais causas desse baixo rendimento são as condições de ordem técnica (SABOYA, et al., 2013) e principalmente climática (REBELLO, 2011).

A temperatura do ar é o principal elemento meteorológico que afeta o desenvolvimento das culturas (GRAMIG e STOLTENBERG, 2007) interferindo em aspectos fisiológicos e bioquímicos das espécies vegetais (WAHID et al., 2007).

Apesar do feijão caupi possuir características adaptativas, inerente à região Nordeste, como suportar altas temperaturas e locais com limitações hídricas (NASCIMENTO et al., 2011), temperaturas muito altas prejudicam a fotossíntese líquida e, conseqüentemente, o crescimento e o desenvolvimento do feijão caupi, influenciando o abortamento de flores e o vingamento e a retenção final das vagens (CRAUFURD et al., 1996).

Um dos índices mais utilizado para relacionar o grau de desenvolvimento de uma cultura com a temperatura do ar é graus-dia (GD). O conceito de graus dia considera que para completar uma determinada fase fenológica ou seu ciclo total, a planta necessita acumular energia diariamente, a partir de uma temperatura base favorável ao desenvolvimento, que por sua vez é variável com a espécie vegetal (SCHÖFFEL e VOLPE, 2002).

Um dos problemas no cálculo do GD é o estabelecimento das temperaturas favoráveis (INFELD et al., 1998), pois normalmente a soma térmica é estimada utilizando-se temperaturas basais estabelecidas para várias culturas, o que não é recomendado.

Para a utilização deste método torna-se necessário o conhecimento das temperaturas basais inferior e superior da cultivar, que rege a mudança de fase fenológica de determinada espécie, sendo estas, os limites para o desenvolvimento de vegetais (LUCAS et al., 2012; SOUZA et al., 2009;).

Normalmente, a temperatura basal inferior (T_b) é determinada por métodos estatísticos, como menor desvio-padrão em dias (DPd), em graus dias (DPGd), coeficiente de variação (CV) e método da regressão linear com base em observações fenológicas e da temperatura do ar (YANG et al., 1995). A temperatura basal superior (TB) também pode ser determinada de modo similar, através do método do desvio-padrão em graus dias confirmado matematicamente pelo coeficiente de variação dada no valor de temperatura do ar. A escolha da temperatura basal superior é confirmada quando o desvio padrão ou o coeficiente de variação se tornam constantes (SOUZA et al., 2009).

Vários autores estudaram o uso do GD para determinar o desenvolvimento de culturas, como feijão caupi (MOURA et al., 2012), feijão (MIRANDA e CAMPELO JÚNIOR, 2010), arroz (STRECK et al., 2008) e milho (WAGNER et al., 2011). Porém estes trabalhos estimaram a soma térmica utilizando-se temperaturas basais estabelecidas pela literatura. Neste sentido, partindo-se da hipótese de que há variações de temperaturas basais para diferentes espécies (MARTINS, 2007) o objetivo deste estudo é estimar as temperaturas basais e quantificar a soma de graus-dia para subperíodos de feijão caupi, cultivar BR3 Tracueteua.

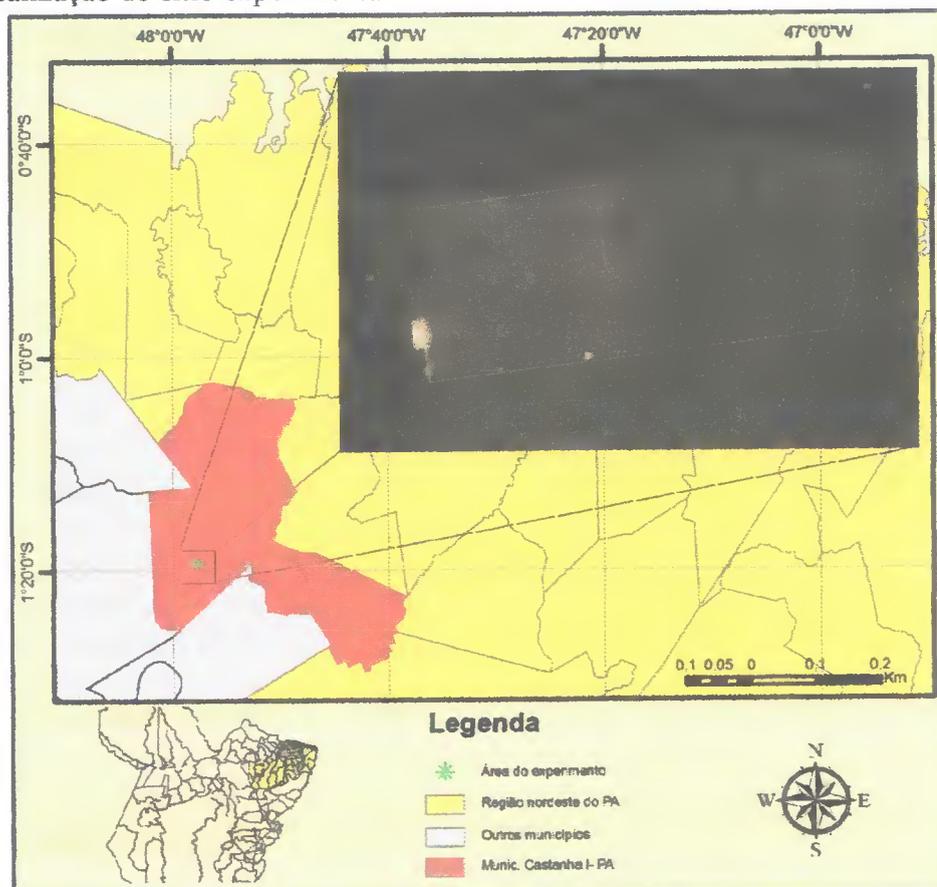
2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Sítio experimental

O experimento foi realizado na região nordeste do estado do Pará, na Fazenda Escola da Universidade Federal Rural da Amazônia no município de Castanhal, distante aproximadamente 75 km da cidade de Belém. O solo foi classificado como latossolo amarelo distrófico (TENÓRIO, 1999) de textura franco arenosa com 12% de argila. O campo experimental ficou localizado em uma área com 1,5 ha de plantio de feijão caupi, onde as coordenadas geográficas são latitude 1°19'24.48"S longitude 47°57'38.20"W (Figura 1).

O clima da região segundo a classificação de Koppen é Af, (PEEL et al., 2007), com temperatura média anual de 26 °C: máximas e mínimas de 35 e 18 °C e umidade relativa média de 80% (TENÓRIO, 1999) e a precipitação média anual em torno de 2.571,6 mm (ANA, 2010).

Figura 1-Localização do sítio experimental



Fonte: imagem Google Earth, 2001.

2.2.2 Caracterização físico-química e hídrica do solo

Para a caracterização física e química do solo em estudo, foram coletadas amostras em toda a área experimental, nas profundidades de 0 a 20 cm. Posteriormente, as amostras foram conduzidas ao Laboratório de Análise de Solos do Departamento de Solo da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). Dados obtidos de capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e análise química do solo estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1-Análise química e física do Latossolo Amarelo. Unidade da UFRA, Castanhal-PA.

Características	Unidades	Amostras (0 a 20 cm)
Ph(H ₂ O)		5,90
pH(KCL)		4,45
P	mg.dm ⁻³	31,56
K ⁺		0,14
Ca ⁺		1,43
Mg	cmol _c dm ⁻³	0,67
Al ⁺		0,24
H+Al		4,56
M.O		2,82
Areia		76
Silte	Dag Kg ⁻¹	11
Argila		12
Densidade	g cm ⁻³	1,55
Capacidade de campo (CC)		0,19
Ponto de murcha permanente(PMP)	m ³ m ⁻³	0,085

2.2.3 Condução

O solo foi convencionalmente preparado no final da estação chuvosa e posteriormente semeado com auxílio de uma semeadeira tipo tico-tico com espaçamento de 0,5m entre linha e cinco covas por metro linear, com duas plantas por cova, gerando uma densidade de 200.000 plantas por ha. Antes da semeadura, as sementes foram preparadas adequadamente com fungicida e inseticida.

A primeira semeadura foi realizada em 10 de agosto de 2011 e, a segunda 30 de agosto, a terceira 18 de setembro, a quarta 10 de outubro, a quinta 2 de novembro e a sexta 23 de novembro, todas a uma taxa de 13-15 sementes m² baseada em testes de germinação. Durante as semeaduras realizou-se fertilização do solo fundamentada no resultado da análise química do solo com 20-40-30 a 350 kg ha⁻¹ de fertilizante químico.

Durante o experimento, herbicidas e inseticidas foram utilizados quando necessário e foi disponibilizada irrigação complementar. A lâmina média de irrigação foi determinada a partir do cálculo da evapotranspiração de referência pelo método empírico de Penman Monteith que posteriormente foi multiplicado pelo coeficiente da cultura (Kc) da cultura.

A cultivar utilizada foi a BR3 Tracuateua, que apresenta hábito de crescimento indeterminado, porte prostrado, ciclo de 60 - 70 dias, sendo a mais recomendada para as

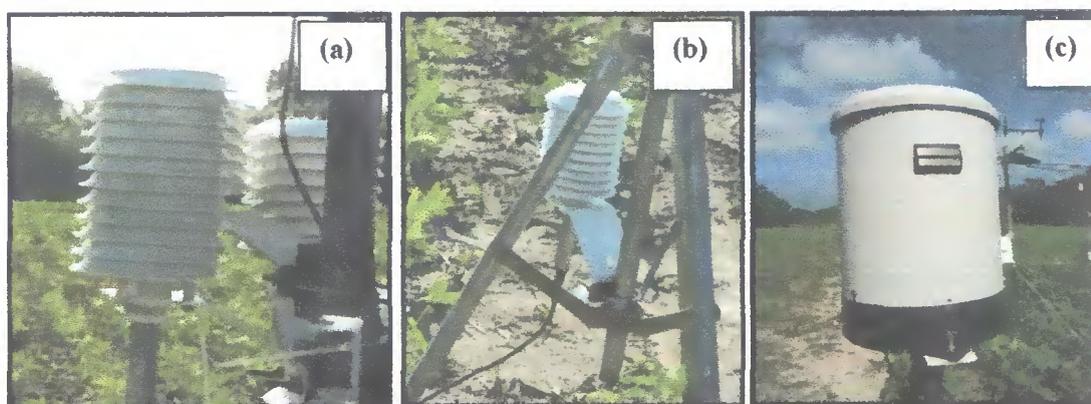
condições do nordeste paraense (FREIRE FILHO et al, 2009), além de apresentar moderada tolerância a altas temperaturas e déficit hídrico (NASCIMENTO et al. 2011).

2.2.4 Instrumentação e coleta de dados agrometeorológicos.

Uma estação micrometeorológica com 3 m de altura foi instalada na extremidade da área experimental para medir as variáveis climáticas (Tabela 2), a qual foi equipada com sensores de temperatura e umidade do ar, em dois níveis (2,0m acima do solo e 0,5m acima do dossel da cultura) e precipitação pluviométrica (Figura 2). Todos os sensores foram conectados a um *datalogger* CR10X (Campbell Scientific, Inc.) e a um multiplexador AM416 (Campbell Scientific, Inc.). Ambos programados para efetuar a leitura dos sensores a cada 10 segundos, com gravação das médias e dos totais a cada 10 minutos.

Os sensores foram mantidos por energia solar coletada por placas solares instaladas na porção superior da torre. Semanalmente os dados foram coletados através do software PC208. Alterou-se frequentemente o nível dos sensores com o crescimento da cultura, mantendo-se sempre o mesmo intervalo do perfil (0,5-2m) garantindo que os mesmos permanecessem dentro da camada limite de equilíbrio (ROSEMBERG et al., 1983).

Figura 2- Sensor de temperatura e umidade relativa do ar a 2,0 m (a), a 0,5 m (b) acima do dossel e sensor de chuva(c).



Fonte: Vivian Farias

Tabela 2-Variáveis e instrumentos utilizados no experimento, assim como, a disposição dos mesmos em relação ao solo.

Variáveis meteorológicas	Instrumento, fabricante, modelo	Disposição
Temperatura do ar	Vaisala thermohygrometer (HMP 35A)	0,5 – 2,0 (m)
Umidade relativa do ar	Vaisala thermohygrometer (HMP35A),	0,5 – 2,0 (m)
Chuva	Rain gauge TB4	1,8 (m)

2.2.5 Desenvolvimento fenológico.

O desenvolvimento fenológico foi avaliado diariamente usando a escala proposta por Gepts & Fernández (1982) (Tabela 3). Nesta escala o ciclo biológico do caupi é constituído de dez etapas de desenvolvimento, sendo que a designação de cada etapa é representada por um código que consta de uma letra e um número. A letra significa a fase dentro do ciclo, ou seja, a letra "V" refere-se à fase vegetativa e a letra R, à reprodutiva e os números indicam a posição da etapa de desenvolvimento da planta dentro da escala.

Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado com seis repetições. Cada repetição consistiu de linhas de 1 metro de comprimento, contendo em média 10 plantas, as quais foram monitoradas continuamente a partir da emergência. Definiu-se como o início de um determinado estágio fenológico, o instante em que 50% das plantas ou mais plantas da linha atingiram o estágio em questão (Figura 3). Assim, a frequência de ocorrência das fases era o principal critério para determinar a evolução fonológica (LEITE e FILHO, 2004; GIUNTA et al. 2009).

Tabela 3-Escala fenológica do feijão comum adaptada para o caupi. (GEPTS & FERNANDEZ, 1982).

Estádio fenológico	Descrição
V0	Germinação
V1	Cotilédones acima do solo
V2	Folhas cotiledonares expandidas
V3	Primeira folha trifoliolada
V4	Terceira folha trifoliolada
R5	Botão floral
R6	Antese da primeira flor
R7	Primeira vagem tipo canivete
R8	Enchimento dos grãos
R9	Maturação fisiológica mudança de cor da vagem

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



Fonte: Vivian Farias

2.2.6 Necessidade térmica

A temperatura basal inferior (T_b) foi calculada pelo método do menor desvio- padrão em dias (DPd) e em graus-dia (DPGd) (ARNOLD, 1959) representado pela equação (1), confirmado matematicamente pelo coeficiente de variação (CV) conforme Barros et al. (2010). Pedro Junior et al. (2004) verificaram que este método não diferiu dos valores T_b determinados por outros métodos, mostrando sua viabilidade no cálculo de somas térmicas.

As temperaturas escolhidas, *a priori*, e utilizadas para a determinação da temperatura base variaram de 1 a 20 °C, em intervalos de 1°C em 1°C. A equação utilizada para o cálculo dos graus-dia segue abaixo:

$$GD_{acum} = \sum \left[\frac{T_{max} - T_{min}}{2} - T_b \right] \quad (1)$$

em que GD_{acum} são os graus-dia acumulados (°C dia), T_{max} é a temperatura máxima absoluta do ar (°C) e T_{min} é a temperatura mínima absoluta do ar (°C).

O método da regressão linear também foi utilizado para determinar a T_b , que relaciona a temperatura média do ar do período com o desenvolvimento relativo da cultura (SENTELHAS et al., 1994). O desenvolvimento relativo (DR) foi determinado como segue:

$$DR = 100/N$$

sendo, N o número de dias do período do ciclo da cultura.

Por meio de regressão linear simples foi obtida a relação entre o desenvolvimento relativo da cultura e a temperatura média do ar. A T_b foi obtida considerando-a igual à temperatura média, quando o desenvolvimento relativo era igual à zero.

A temperatura basal superior (TB) foi determinada após a obtenção da T_b , de modo similar, porém, considerou-se a TB o valor de temperatura do ar, em que DP e CV se tornou constante de acordo com Souza et al. (2009). Foram utilizadas para esta estimativa as temperaturas de uma variação de 2 em 2 graus, compreendidos de 20 a 40 °C.

Tanto para os cálculos para obter a TB, quanto para a caracterização da necessidade térmica foram utilizadas os casos 1 e 4 descritos por Ometto (1981) conforme as Equações (2) e (5), pois foram os que abrangeram as condições térmicas no período do experimento. Os casos descritos por Ometto (1981) são apresentados abaixo:

Caso 1: $T_b < T_{min}$; $T_{max} < TB$

$$GD = \left[\frac{T_{max} - T_{min}}{2} \right] + (T_{min} - T_b) \quad (2)$$

Caso 2: $T_{min} < T_b$; $T_{max} < TB$

$$GD = \frac{(T_{max} - T_b)^2}{2 * (T_{max} - T_b)} \quad (3)$$

Caso 3: $T_{min} < T_{max} < T_b < TB$

$$GD = 0 \quad (4)$$

Caso 4: $T_b < T_{min}$; $TB < T_{max}$

$$GD = \frac{2 * (T_{max} - T_{min}) * (T_{min} - T_b) + (T_{max} - T_b)^2 - (T_{max} - TB)}{2 * (T_{max} - T_{min})} \quad (5)$$

Caso 5: $T_{min} < T_b$; $TB < T_{max}$

$$GD = \frac{1}{2} * \left\{ (T_{\max} - T_b)^2 - (T_{\max} - T_B)^2 \right\} / (T_{\max} - T_{\min}) \quad (6)$$

Onde T_{\max} é a temperatura máxima, T_{\min} temperatura mínima, T_B temperatura basal superior, T_b temperatura basal inferior e GD são os graus-dia ($^{\circ}\text{C}$ dia).

Os cálculos de graus dias acumulados foram efetuados para todos os estádios fenológicos, da germinação a exposição do cotilédone acima do solo (V0-V1); da germinação a expansão das folhas cotiledonais (V0-V2); da germinação a expansão da primeira folha trifoliolada (V0-V3); da germinação a expansão da terceira folha trifoliolada (V0-V4); da germinação ao aparecimento do primeiro botão floral (V0-R5); da germinação a antese da flor (V0-R6), da germinação ao aparecimento da primeira vagem (V0-R7); da germinação ao enchimento dos grãos (V0-R8); da germinação a maturação (V0-R9).

O acúmulo dos graus dias das fases citadas acima foi calculado com temperaturas basais inferiores variáveis de acordo com a fase fenológica, com temperatura basal inferior constante e também medido em dias do calendário civil, para comparação dos métodos. A estatística utilizada para comparar a eficiência da soma térmica como descritor de tempo em comparação com os dias do calendário civil foi o coeficiente de variação (CV %) entre as épocas de semeadura (PAULA et al., 2005). Quanto menor o CV melhor o descritor de tempo.

Posteriormente foi calculada a necessidade térmica para os principais subperíodos V0-V4, R5-R6, R7-R9 através das temperaturas basais que apresentaram maior coerência.

As variáveis de duração em dias e graus-dia dos subperíodos fenológicos foram submetidas à análise de variância, e as médias comparadas pelo Teste de Tukey, a 5% de significância, além da utilização de estatística descritiva através do uso de médias, desvios e erros padrão.

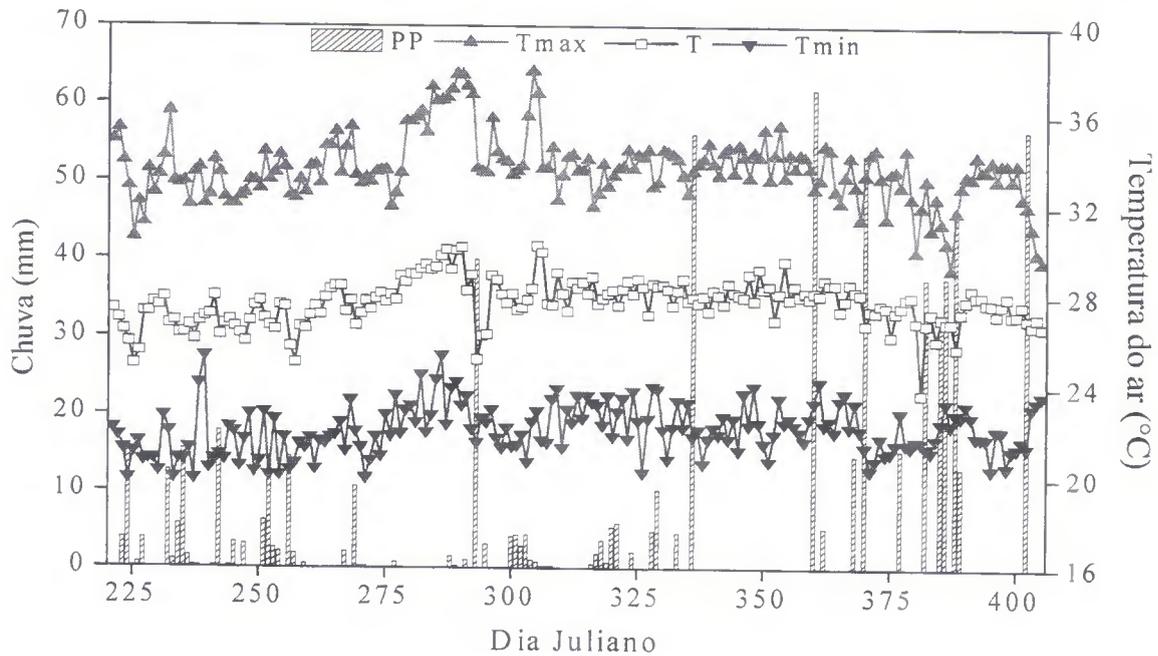
2.3 RESULTADOS e DISCUSSÕES

2.3.1 Condições meteorológicas durante o experimento

As temperaturas máximas mais elevadas ocorreram no mês de outubro com média de $35,11^{\circ}\text{C}$, porém o dia mais quente durante o experimento ocorreu no dia juliano 305, que corresponde ao dia 1 de novembro de 2011, com 38°C (Figura 4). Com relação às temperaturas mínimas, a menor registrada foi $20,01^{\circ}\text{C}$ no dia 15 de agosto de 2011.

Apesar das datas extremas de semeadura estarem separadas em 105 dias, as variações climáticas durante o experimento não foram tão expressivas que pudessem ocasionar grandes variações no acúmulo de soma térmica e maior aceleração do ciclo da cultura.

Figura 4-Variabilidade das chuvas (PP) e das temperaturas máximas (Tmax) e mínimas (Tmin) e médias (T) absolutas ocorridas durante o experimento de feijão caupi cultivar BR3 Tracuateua, Castanhal-Pa, 2011.



Durante o experimento choveu 869,44 mm e as três últimas épocas de semeio foram mais beneficiadas com a água da chuva, sendo a irrigação complementar mais necessária para as três primeiras épocas (Tabela 4).

A temperatura máxima de 38°C esteve presente durante as épocas 2, 3 e 4. Durante a época 2 essa temperatura ocorreu no meio da fase V4 próximo do florescimento, contudo, durante a época 3 e 4 ela ocorreu nas fases R8 e R9 respectivamente, ou seja as legumes já estavam formadas.

Tabela 4-Valores de temperaturas (°C) máximas, mínimas, médias e chuva (mm) acumulada durante as diferentes épocas de semeio do feijão caupi, cultivar BR3 Tracuateua, Castanhal-Pa.

Épocas	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura média (°C)	Chuva(mm)
E1	37,29	20,01	27,74	142,78
E2	38,00	20,04	28,24	125,48
E3	38,00	20,75	28,57	97,54
E4	38,00	20,30	28,55	221,81
E5	35,60	20,30	28,19	231,15
E6	35,60	20,41	27,82	392,37

2.3.2 Temperatura basal inferior (Tb)

As Tb foram obtidas através dos métodos de menor desvio padrão em dias (DPd), em graus dias (DPGd)(Figura 5), menor coeficiente de variação (CV%)(Figura 6) e pelo método

do desenvolvimento relativo para as fases V0-V4, R5-R6, R7-R9, V0-R9 (Tabela 5). Porém apenas o subperíodo R7-R9 apresentou resultados consistentes em todos os métodos.

Tabela 5-Valores de temperaturas basais inferiores para a cultura do feijão caupi, cultivar BR3 Tracueteua, nos sub períodos (V0-V4), (R5-R6), (R7-R9) e (V0-R9), estimados por meio dos métodos de menor desvio padrão em dias (DPd), em graus dias(DPGd), coeficiente de variação (CV%)e desenvolvimento relativo (DR).

Sub período	MÉTODOS			
	DPd	DPGd	CV%	DR
V0-V4	-	10	-	-
R5-R6	-	-	6	-
R7-R9	6	9	7	6,17
V0-R9	-	6	-	8,55

Um dos motivos causadores da dificuldade na obtenção da Tb pode estar ligado a pouca variabilidade na temperatura em algumas subfases, pois a reduzida amplitude térmica leva a obtenção de valores de CV muito próximos cuja variabilidade é crescente ou decrescente, ficando estes impossibilitados de gerar a curva característica da Tb, além de originar valores absurdos, totalmente incoerentes com aqueles apresentados pela literatura, sendo assim, para minimizar erros é aconselhável testar todos os métodos disponíveis para calcular a Tb.

Fatores como temperatura do solo, radiação solar e fotoperíodo também podem interferir na estimativa da Tb por métodos estatísticos (YANG et al. 1995; LAGO, 2009).

O uso de diferentes métodos associado a dados inconsistentes de fenologia levam a diferentes estimativas da temperatura base, devido à mesma ser definida através de critérios estatísticos ao invés de fisiológicos (YANG et al., 1995), além disso, a teoria dos graus-dia assume uma relação linear entre a taxa de desenvolvimento e a temperatura do ar e assume ainda que tanto as temperaturas diurnas quanto as noturnas afetam, igualmente, o crescimento e desenvolvimento da planta.

Figura 5-Determinação da temperatura basal inferior dos subperíodos V0-V4 (a), R7-R9(b) e para o ciclo de desenvolvimento (V0-R9) (c) do feijão caupi cv. BR3 Tracuateua pelo método do menor desvio padrão em graus dia.

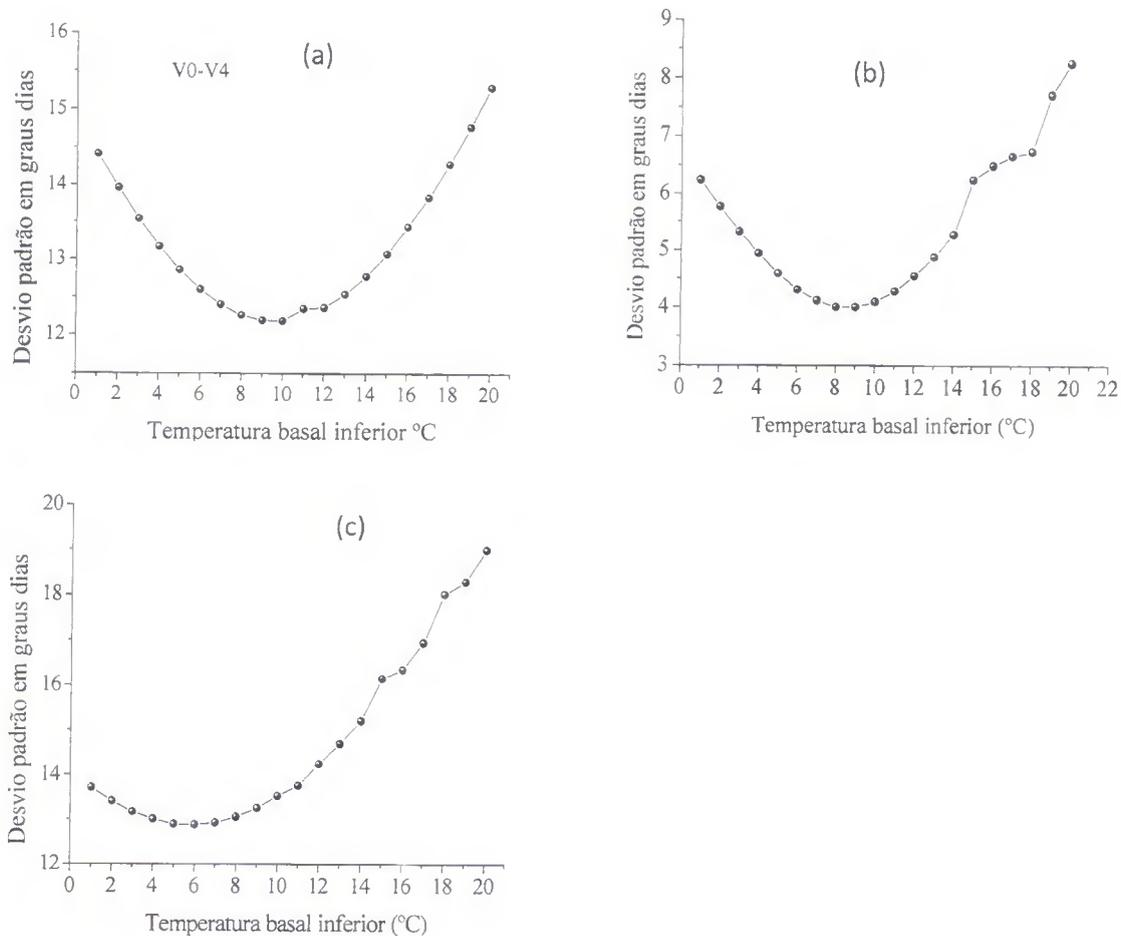


Figura 6-Determinação da temperatura basal inferior dos subperíodos R5-R6 (a), R7-R9(b) do feijão caupi cv. BR3 Tracuateua pelo método do menor coeficiente de variação dos graus dias.

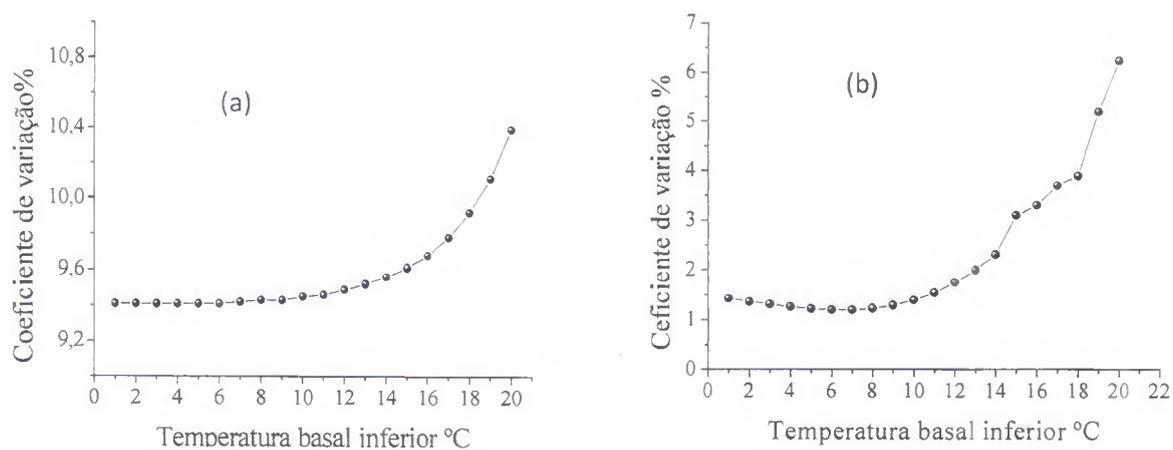


Figura 7-Determinação da temperatura basal inferior dos subperíodo, R7-R9(b) do feijão caupi cv. BR3 Tracuateua pelo método do menor desvio padrão em dias.

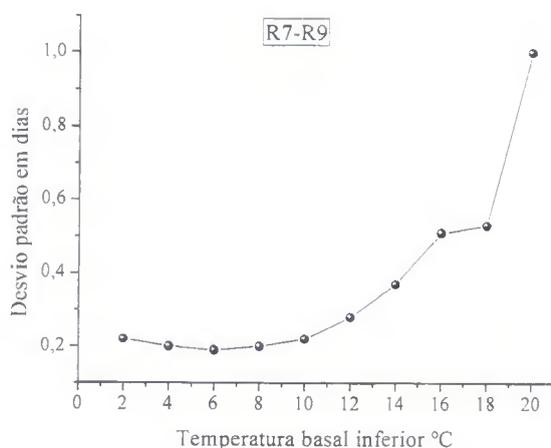
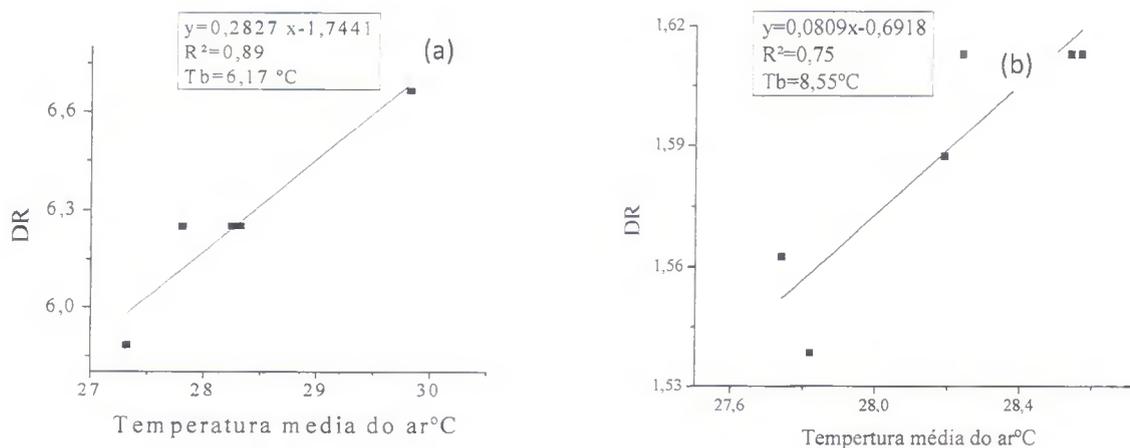


Figura 8-Determinação da temperatura basal inferior dos subperíodo, R7-R9 e do ciclo de desenvolvimento (V0-R9) do feijão caupi cv. BR3 Tracuateua pelo método do Desenvolvimento relativo.



A necessidade térmica foi calculada com temperatura basal inferior constante e variada de acordo com o ciclo da cultura. Como T_b constante considerou-se $8,55^{\circ}\text{C}$ (Figura 8b) arredondando esse valor para 9°C , esse valor foi obtido pelo método do desenvolvimento relativo para o ciclo de desenvolvimento (V0-R9) do feijão caupi e as T_b variadas foram 10°C , 6°C e 7°C para os sub períodos V0-V4, R5-R6, R7-R9 respectivamente.

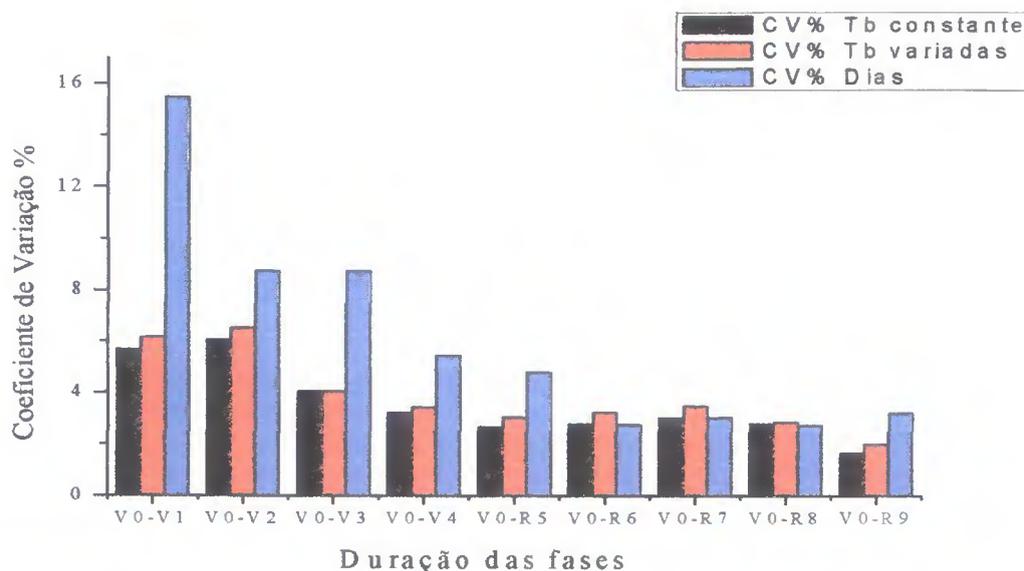
Esses valores de T_b para a cultivar BR3 Tracuateua encontra-se próximo dos valores obtidos por Craufurd et al (1996a) e Craufurd et al., (1996b) em experimentos conduzido na Nigéria para verificar a influencia da temperatura e do fotoperíodo no desenvolvimento de 22 genótipos de feijão caupi onde encontraram para o sub período de germinação a emergência, temperatura basal inferior variando de 6°C a 13°C (CRAUFURD et al., 1996a), enquanto para o período de floração de $7,2^{\circ}\text{C}$ a $10,8^{\circ}\text{C}$ (CRAUFURD et al., 1996b).

Segundo Dourado Neto e Fanselli (2001) a temperatura basal inferior necessária para o completo desenvolvimento da maioria das cultivares do feijão comum é 10°C. Brunini (1998) verificou que no subperíodo emergência-florescimento e florescimento-colheita da cultura do feijão, a variação de temperatura base de 6,5°C a 10°C e 6,5°C a 8°C respectivamente.

Os coeficientes de variação (CV%) da duração das fases em dias do calendário civil e em graus dias calculado com T_b constante e variada ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura estão apresentados na Figura 9. Quando se consideram a T_b constante, o CV foi ligeiramente menor do que com a T_b variada e ambos menores do que a duração em dias. Embora exista pequena diferença de CV entre os métodos de duração das fases, esses resultados confirmam o efeito da temperatura sobre o desenvolvimento do vegetal e mostram os graus dias mais eficiente que os dias do calendário civil para determinar o desenvolvimento de culturas.

Mediante esses resultados a necessidade térmica da cultura apresentada na Tabela 5 foi calculada considerando como T_b constante 9°C. É comum adotar uma única temperatura basal para todo o ciclo da planta por ser mais fácil a sua aplicação (CARMAGO et al., 1987).

Figura 9-Coeficiente de Variação (CV%) da duração em dias das fases fenológicas do feijão caupi e dos graus dias acumulados calculados com T_b constante e T_b variadas.



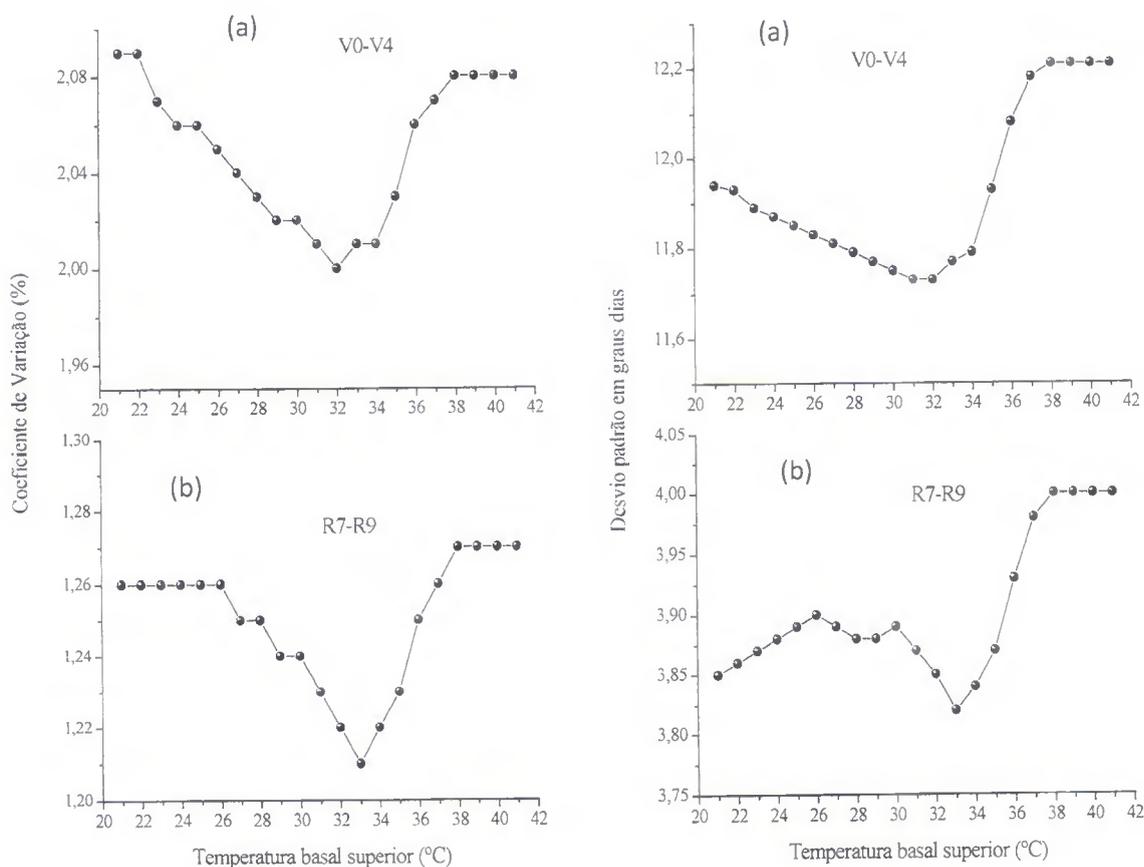
2.3.3 Temperatura basal superior (TB)

Baseado na metodologia proposta, a TB foi encontrada para o intervalo de V0-V4 e R7-R9 ambas apresentaram valor de 38 °C (Figura 10). Devido a não consistência dos

resultados obtidos para os demais subperíodos, este valor foi utilizado em todos os cálculos, estando muito próximo do encontrado por Craufurd et al., (1996b) na Nigéria, no período de floração, onde a TB variou de 34,2°C a 40,4 °C .

Craufurd et al., (1996a) encontraram valores de TB para o período de germinação e emergência que variaram de 40°C a 44°C, porém afirmaram que 100% das sementes germinaram em temperatura abaixo de 40°C e que esse valor caiu para 60% em temperatura de 43°C.

Figura 10-Determinação da temperatura basal superior dos subperíodos V0-V4(a) e R7-R9 (b) do feijão caupi cv. BR3 Tracueteua pelo método do Coeficiente de variação e Desvio padrão em graus dias constantes.



2.3.4 Necessidade térmica

Os graus-dia acumulados durante e no final de cada subperíodo estão apresentados na Tabela 5. Para o cálculo da necessidade térmica foi considerado T_b 9°C e TB 38°C estimadas anteriormente, pois como visto foram os valores mais coerentes.

A duração do ciclo fenológico do feijão caupi variou entre 52,85 e 56,73 dias, onde demorou em média 37,33 dias para que, mais de 50% das plantas observadas atingissem o estágio R6 (floração plena) e mais 16,22 dias para chegarem a maturação fisiológica (R9) o que corresponde em média 724,31 e 1052,96 graus- dia (GD) respectivamente, mostrando-se um pouco mais precoce que a descrição feita por Freire Filho et al. (2005) que citaram 40 dias para a floração plena.

A planta necessitou de maior período durante a fase vegetativa, alcançando um valor médio de 31,33 dias e 584,50 graus- dia, do que na fase reprodutiva onde precisou 24,28 dias e 468,46 graus-dia para concluir essa fase. Devido esta cultivar apresentar hábito de crescimento indeterminado, ao longo da fase fenológica reprodutiva, há uma sobreposição da fase vegetativa, ou seja, após o início do florescimento a planta continua vegetando. Porém, a fase vegetativa foi considerada somente até o momento em que a planta não entrava na fase R5.

Os graus-dia acumulados para o período que se estende da germinação até a maturação fisiológica variou entre 1036,28°C dia e 1085,56°C dia, sendo que as médias necessárias para o início de cada subperíodo são 19,39°C dia, para V0-V4; 584,50 °C dia, para R5-R6 e 740,26 °C dia, para R7-R9.

Moura et al.,(2012) trabalhando com feijão caupi cv. BR 17–Gurguéia nas condições do estado de Piauí observou que da semeadura até o início da fase reprodutiva foram necessários 637,11 graus–dia, que correspondeu a 35,27 dias após o plantio. Um dos motivos para esses valores estarem um pouco acima dos valores encontrados neste trabalho pode estar relacionado com a disponibilidade de água, já que o experimento citado foi conduzido sob regime sequeiro.

Também foi inferior ao obtido por Miranda e Campelo Júnior (2010), quando comparado ao período de entressafra irrigada, que foi de 1.261,90 °C dia⁻¹, e superior quando confrontado ao período de safra normal irrigada, que foi de 977,60 °C dia⁻¹, ambos utilizaram a $T_b=10$ °C, em Colorado do Oeste, Rondônia. Os mesmos autores também encontraram durações de ciclo superiores aos obtidos neste trabalho, 81 e 87 dias, para o período de safra normal e entressafra, ambos em condições irrigadas.

Os valores apresentados na literatura são variados, pois pode existir diversidade das condições edafoclimáticas das regiões estudadas, temperatura base utilizadas, manejo da cultura, e a utilização ou não da irrigação nos cultivos. Embora tenha sido encontrada diferença nos valores de exigência térmica da cultura entre os diversos experimentos apresentados, só há coerência ao se comparar experimentos com condições térmicas similares

devido o empirismo existente na obtenção das temperaturas basais e a forte dependência desta teoria com o regime térmico ao qual a planta é submetida (BONHOMME, 2000).

Houve pouca variação entre a duração dos subperíodos em graus dias e dias (Tabela 6). Como as condições meteorológicas apresentaram estabilidade durante o experimento, essa pequena variação pode estar relacionada com fotoperíodo, pois o mesmo pode modificar a soma térmica em espécies responsivas (STRECK et al., 2003b). É possível que o feijão caupi seja sensível ao fotoperíodo, mas esta possibilidade deve ser estudada com mais detalhes em trabalhos futuros.

Tabela 6-Necessidade térmica do feijão caupi, cultivar BR3 Tracueteua, nos subperíodos V0-R5 (Germinação-Botão floral), R5-R7 (Botão floral-Primeira Vagem), R7-R9 (Primeira vagem-Maturação fisiológica) nas diferentes épocas de semente.

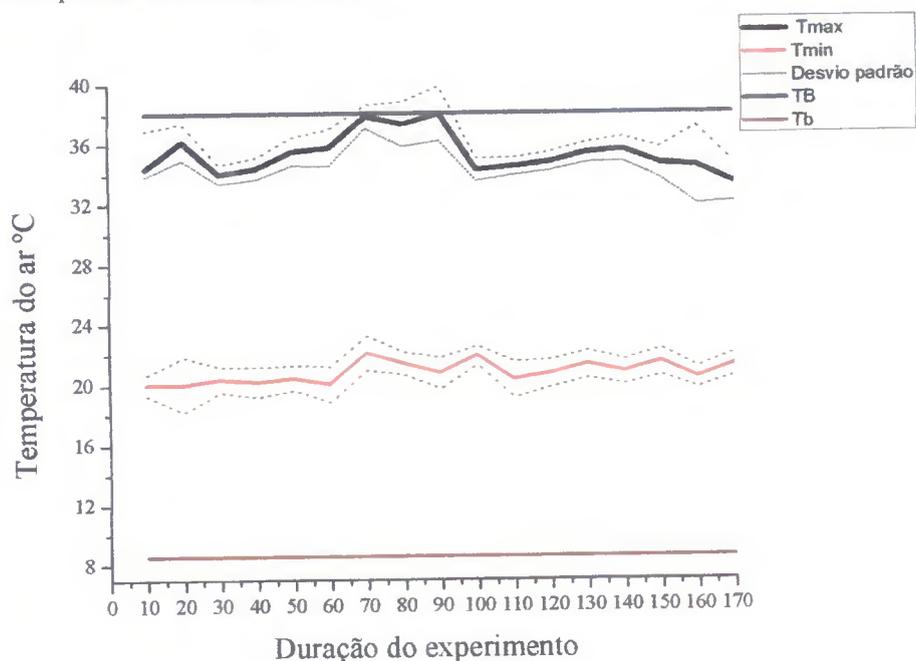
Épocas	V0-R5			R5-R7			R7-R9			TOTAL	
	Duração	GD por fase	GD acumulado	Duração	GD por fase	GD acumulado	Duração	GD por fase	GD acumulado	Duração	Graus dias
E1	32,27 a	579,12ab	579,12	8,22b	149,00b	726,12	16,24b	308,18b	1.036,27	56,73	1.036,28
E2	31,25b	588,06a	588,06	7,30c	135,71b	723,83	15,21c	319,08a	1.042,88	53,76	1.042,88
E3	31,19b	606,88a	606,88	7,11c	141,60b	748,54	16,17b	316,34ab	1.064,88	54,47	1.064,88
E4	28,35d	571,90b	571,80	8,20b	158,15a	729,95	16,30b	315,45ab	1.045,50	52,85	1.045,50
E5	30,17c	590,11a	590,11	8,22b	155,70ab	765,36	15,17c	296,85b	1.042,66	53,56	1.042,66
E6	28,32d	570,95b	570,95	9,29a	176,80a	747,75	18,24a	337,81a	1.085,56	55,85	1.085,56
Média	30,26	584,50	584,50	8,06	152,85	740,26	16,22	315,61	1052,96	54,54	1052,96
CV(%)	5,39	2,32	2,32	9,72	9,44	2,20	6,87	4,28	1,77		

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, para duração e GD por fase, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Normalmente os trabalhos de estimativa de temperaturas basais para diversas culturas, calculam apenas a T_b , pois são conduzidos em regiões onde raramente se atinge a TB, fato este diferente das condições climáticas da região onde foi conduzido esse experimento, pois é possível observar na Figura 11 que aproximadamente 90 dias após o semeio, ou seja, no dia 1º de novembro a temperatura máxima alcançou o valor estimado para a TB de 38°C.

No período de 70 a 95 dias após a semeadura a linha que determina o desvio padrão das temperaturas máximas absolutas apresenta valores fora do limite da TB. Possivelmente o desenvolvimento da cultura na região poderá ser mais frequentemente afetado por temperaturas acima da TB do que abaixo da T_b .

Figura 11-Temperaturas máximas (T.Max) e mínimas (T. Min) absolutas com desvio padrão, ocorridas ao longo do experimento com feijão caupi.



2.4 CONCLUSÕES

Considerando as condições de tempo e clima ocorridas no período do experimento, concluiu-se que:

As temperaturas basais encontradas estão próximas dos valores citados pelas literaturas, porém a necessidade térmica apresentou valores diferenciados, demonstrando que a pequena diversidade de temperaturas basais pode ter influenciado na variação da soma térmica.

2.5 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ANA-Agência Nacional de Águas. Precipitação média anual (Série de 1973 – 2010) Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/default.aspx>. Acesso em 21 de dezembro de 2012.
- ARNOLD, C.Y. The determination and significance of the base temperature in a linear hear unit system. **Proceedings of the American Society for Horticultura Science**, Alexandria, v.74, p.430-445, 1959.
- BARBOSA, M. S.; SANTOS, M.A.S.; SANTANA, A.C. Análise socioeconômica e tecnológica da produção de feijão-caupi no município de Tracuateua, Nordeste Paraense. **Amazônia: Ciência e Desenvolvimento**, Belém, v. 5, n. 10, p. 7-25, 2010.
- BARROS, M.P. de; ZANETTI, V.B.; FRAGA, C.I. de M.; NINCE, P.C. do C.; CAMPELO JÚNIOR, J.H.; LOBO, F. de A. Unidades fototérmicas e temperatura-base inferior de frutos de mangueira Alfa, na baixada cuiabana. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.32, n.2, p.479-485, 2010.
- BONHOMME, R. Bases and limits to using 'degree.day' units. *European Journal of Agronomy*, Amsterdam, v.13, p.1-10, 2000.
- BRUNINI, O. **Elementos Meteorológicos e comportamento vegetal** . Campinas: Instituto Agrônomo, 1998. 46 p. (Boletim Técnico).
- CAMARGO, M. B. P.de.; BRUNINI, O.; MIRANDA, M.A.C. de.Temperatura base para cálculo dos graus-dias de soja em São Paulo. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília,v.22,n. 2 p. 115-121, 1987.
- CRAUFURD R.J; SUMMERFIELD, P. Q.; ELLIS, R.H.; ROBERTS, E.H. Development in cowpea (*Vigna unguiculata*). III. Effect of temperature and photoperiod on time to flowering in photoperiod- sensitive genotypes and screening for photothermal responses. **Experimental Agriculture**, London,Inglaterra, v.32,n.1,p.29-40.1996.
- CRAUFURD, R.J; ELLIS, R.H.; SUMMERFIELD, P. Q.; MENIN, L.Desenvolviment in cowpea (*Vigna Unguiculata*). I. The influence of temperature on seed germination and seedling emergence. **Experimental Agriculture**, London,Inglaterra, v.32,n.1,p.1-12.1996.
- DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L. Produção de feijão. Guaíba: Agropecuária, cap. 1: Ecofisiologia e fenologia, p. 23-48 FANCELLI, A.L. **Tecnologia para a produção do feijoeiro**. Piracicaba: SEBRAE, 1994. 154 p. 2001.
- 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, 2009, Fortaleza. Anais: O melhoramento genético no contexto atual. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical/UFC. p. 25-59.
- FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J.A.A.; RIBEIRO, V.Q. (Org.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 519 p., 2005.

- GEPTS, P.; FERNÁNDEZ, F. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol común** (*Phaseolus vulgaris* L.). Cali: CIAT, 10 p. (Mimeografado) HAAG, H.P.; 1982.
- GIUNTA, P., PRUNEDDU, G. MOTZO. R. "Radiation interception and biomass and nitrogen accumulation in different cereal and grain legume species." **Field Crops Research**, pp. 76-84. 2009.
- GRAMIG, G.G.; STOLTENBERG, D.E. Leaf appearance base temperature and phyllochron for common grass and broad leaf weed species. **Weed Technology**, n.21, p.249-254, 2007.
- INFELD, J. A.; SILVA, J. B.; ASSIS, F. N. Temperatura base e graus-dia durante o período vegetativo de três grupos de cultivares de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 187-191, 1998.
- LAGO A.B. Estimativa da temperatura base do subperíodo emergência-diferenciação da panícula em arroz cultivado e arroz vermelho. **Revista Ceres**, v.56, p. 288-295, 2009.
- LEITE, M.L. & Filho. J. S. V. "Produção de matéria seca em plantas de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a déficits hídricos." **Ciencia Agricola e Engenharia**, pp. 43-51. 2004.
- LUCAS D.D.P.; STRECK N.A.; BORTOLUZZI M.P., TRENTIN R.; MALDANER I.C. Temperatura base para emissão de nós e plastocrono de plantas de melancia. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 288-292, abr-jun, 2012.
- MARTINS, F. B. Estimativa da temperatura base para emissão de folhas e do filocrono em duas espécies de Eucalipto na fase de muda. **Revista Árvore**, v. 31, n. 02, p. 373-381, 2007.
- MIRANDA M.N., CAMPELO JÚNIOR J. H. Soma térmica para o subperíodo semeadura-maturação de feijão cv. carioca em colorado do oeste, Rondônia. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 180-185, abr./jun. 2010.
- MOURA J.Z.; PÁDUA L.E.M., MOURA S.G., TORRES J.S., SILVA P.R.R. Escala de desenvolvimento fenológico e exigência térmica associada a graus-dia do feijão-caupi. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 3, p. 66-71, jul-set., 2012.
- NASCIMENTO, S.P., E.A. BASTOS, ARAÚJO E.C.E, F.R. FREIRE FILHO, and E.M. SILVA. "Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi." **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, pp. 853-860. 2011.
- OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 425p.
- PAULA, F.L.M.; STRECK, N.A.; HELDWEIN, A.B.; BISOGNIN, D.A; PAULA, A.L; DELLA, J. Soma térmica de algumas fases do ciclo de desenvolvimento da batata (*Solanum tuberosum* L.) **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 35, n.5, p. 1034-1042, 2005.
- PEDRO JÚNIOR, M. J.; CAMARGO, M. B. P.; MORAES, A. V. C.; FELÍCIO, J. C.; CASTRO, J. L. Temperatura-base, graus-dia e duração do ciclo para cultivares de triticale. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 3, p. 447-453, 2004.

PEEL, M.C.; FINLAYSON, B.L. and MCMAHON, T.A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, ***Hydrol. Earth Syst. Sci.***, 11, 1633–1644, 2007

REBELLO, F. K. Conjuntura da produção e comercialização do feijão-caupi no nordeste paraense: safra 2010. Disponível em: http://www.bancoamazonia.com.br/bancoamazonia2/includes%5Cinstitucional%5Carquivos%5Cbiblioteca%5Ccontextoamazonico%5Ccontexto_amazonico_18.pdf. Acesso em: 14 agosto. 2012.

ROSENBERG, N. J.; BLAD, B. L.; VERMA, S. B. **Microclimate: the biological environment**. 2nd ed. New York: John Wiley, 495p. 1983.

SABOYA, R.C.C.; BORGES, P.R.S.; SABOYA L.M.I.; MONTEIRO F.P.R.; SOUZA S.E.A.; SANTOS A. F.; SANTOS E. R. Response of cowpea to inoculation with nitrogen-fixing strains in Gurupi-Tocantins State. ***Journal of Biotechnology and Biodiversity***. v. 4, N.1: pp. 40-48, Feb. 2013.

SCHÖFFEL, E. R.; VOLPE, C. A. Relação entre a soma térmica efetiva e o crescimento da soja. ***Revista Brasileira de Agrometeorologia***, Santa Maria, v. 10n. 1, p. 89-96, 2002.

SENTELHAS, P.C. NOGUEIRA, S. dos S.S., PEDRO JÚNIOR, M.J. Temperatura base e graus-dia para cultivares de girassol, ***Revista Brasileira de Agrometeorologia***, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 43- 49, 1994.

SILVA, A. J.; UCHÔ, S.C.P.; ALVES, J.M.A.; LIMA A.C.S., SANTOS, C.S.V.; OLIVEIRA, J.M.F.; MELO V.F. Resposta do feijão-caupi à doses e formas de aplicação de fósforo em Latossolo Amarelo do Estado de Roraima . ***Acta Amazonica***, Manaus, v. 40. n. 1, p. 31-36, 2010.

SOUZA, A.P. de; SILVA, A.C. da; LEONEL, S.; ESCOBEDO, J.F. Temperaturas basais e soma térmica para a figueira podada em diferentes épocas. ***Revista Brasileira de Fruticultura***, Jaboticabal, v.31, n.2, p.314-322, 2009.

STRECK, N.A.; BOSCO, L.C.; LUCAS, D.D.P; LAGO, I. Modelagem da emissão de folhas em arroz cultivado e em arroz-vermelho. ***Pesquisa Agropecuária Brasileira***. vol.43 nº5 Brasília Maio. 2008.

STRECK, N.A.; WEISS, A.; BAENZIGER, P.S.; XUE, Q. Incorporating a chronology response function into the prediction of leaf appearance rate in winter wheat. ***Annals of Botany***, v.92, p.181-190, 2003a.

STRECK, N.A.; WEISS, A.; XUE, Q.; BAENZIGER, P.S. Improving predictions of developmental stages in winter wheat: a modified Wang and Engel model. ***Agricultural and Forest Meteorology***, v.115, p.139-150, 2003b.

TENÓRIO, A.R.M. “Serviço de documentação e informação.” in ***Mapeamento dos solos da Estação de Piscicultura de Castanhal***. Belém: FCAP.1999.

WAGNER M.V; JADOSKI S.O.; LIMA A.S. MAGGI M.F. C.A.POTT ;SUCHORONCZEK A. Avaliação do ciclo fenológico da cultura do milho em função da soma térmica em

Guarapuava, Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v.4, n.1, p.135-149, 2011.

WAHID, A.; GELANI, S.; ASHRAF, M ; FOOLAD, M.R. Heat tolerance in plants: An overview. **Environmental and Experimental Botany**, v.61, p.199-223. 2007.

YANG, S.; LOGAN, J.; COFFEY, D.L. Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.74, p.61-74, 1995.

3 MODELAGEM DA PARTIÇÃO DE MATÉRIA SECA EM FEIJÃO CAUPI IRRIGADO.

RESUMO-

No meio agrônômico, os modelos matemáticos mais difundidos são os empíricos, identificados por equações matemáticas capazes de representar os dados experimentais de forma aceitável. Quando se pretende simular o crescimento das plantas é essencial quantificar a distribuição da matéria seca formada pelos diferentes componentes. Diante dessas questões o principal objetivo foi gerar modelos empíricos para modelar a partição de matéria seca do feijão em função da necessidade térmica e comparar a partição da matéria seca no feijão caupi irrigado e em condições naturais. Para isso a necessidade térmica foi identificada através da teoria do acúmulo de graus-dia. Os dados para análise de crescimento foram coletados durante a fase vegetativa e na fase reprodutiva e uma torre meteorológica de 3 m de altura foi instalada no centro da área experimental para medir as variáveis climáticas. Os modelos desenvolvidos foram ajustados avaliando o maior r^2 , teste F e a significância dos coeficientes de regressão pelo teste t, ao nível de 5% de probabilidade. Um segundo experimento foi executado, no mesmo local, porém um ano após o primeiro, usando irrigação e em condições naturais, sendo o delineamento em blocos ao acaso, o qual forneceu dados para a validação dos modelos. Os valores de partição de biomassa simulados foram confrontados com valores observados em campo, do segundo experimento. A avaliação da precisão, exatidão, desempenho e eficiência do modelo se deram por meio de testes estatísticos de validação como: raiz do erro quadrático médio (REQM); índice de concordância (d); índice de confiança, c; índice de eficiência do modelo (EM). Os dados coletados no 2º experimento do tratamento irrigado foram comparados com os do tratamento em condições naturais para avaliar a influencia da irrigação na partição de biomassa. Para isso as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey, a 5% de significância. Os modelos apresentaram os valores de índice de confiança (c) maiores que 0,90, os valores de raiz do erro quadrático médio REQM (10-20), os índices de concordância maiores que 0,90 e a eficiência do modelo valores maior que 0,90. Portanto concluiu-se que os modelos apresentaram bom desempenho e eficiência com as temperaturas basais encontradas e consideradas no capítulo anterior; a deficiência de água afeta a massa seca do feijão caupi, porém não influencia o deslocamento da fração nas partes da planta.

Palavra chave: *Vigna unguiculata* (L.) Walp, biomassa seca, BR3 tracueteua.

ABSTRACT-

In agronomy, the most widespread mathematical models are the empirical ones, identified by mathematical equations capable of representing the experimental data in an acceptable manner. When one intends to simulate the growth of plants, it is essential to quantify the dry matter formed by the different components. Faced with these issues we aim to generate empirical models to model the partition of irrigated cowpea dry matter, as well as of those under natural conditions due to its thermal needs. The thermal need was identified through the degree-days accumulation. The data for growth analysis were collected during the vegetative and reproductive phase, meanwhile a 3 meters high micro-meteorological tower was installed in the experimental area to measure climatic variables. The models developed were adjusted assessing the higher r^2 , F test and the significance of the regression coefficients by t-test, at the 5% level of probability. A year later, a second experiment was done, at the same place, with randomized blocks under irrigation and natural conditions, to provide data for the validation of the models. The simulated biomass partition values will be compared with those observed in the field in the second experiment. Statistical tests of model validation will be used to assess the precision and accuracy of the models, among them: determination coefficient (r^2), root mean square error, Wilmott concordance index et al. (1985). The collected data from the 2nd experiment with irrigated treatment will be compared with those under natural conditions to evaluate the influence of irrigation in the biomass partition. Finally, the means will be compared using Tukey test at a 5% significance level. The models showed the index values of trust (c) greater than 0.90, the values of the root mean square error RMSE (10-20), the concordance rates greater than 0.90, and model efficiency values greater than 0.90. The model results provide good and efficient, water deficiency affects the dry biomass of cowpea, but does not influence the displacement of the fraction in the plant parts.

Keyword: *Vigna unguiculata* (L.) Walp, dry biomass, BR3 tracueteua.

3.1 INTRODUÇÃO

A alta variabilidade climática, em diferentes tempos e escalas de espaço, exerce efeitos sobre a segurança alimentar e o desenvolvimento econômico da região (SILVA et al., 2010). O feijão-caupi adapta-se razoavelmente bem às condições de solo, clima e sistemas de cultivo em relação a outras leguminosas, porém, nem sempre com bons níveis de rendimento (SILVA e NEVES, 2011), pois o rendimento pode ser influenciado pela distribuição de matéria seca, e esta por sua vez, pode ser afetada por fatores ambientais.

O processo de crescimento da planta também encontra-se condicionado às restrições impostas pelo meio ambiente. Conforme Hall (1992), alterações na partição de fotoassimilados são reflexos observados em caupi, quando cultivado sob temperaturas elevadas.

A escassez ou o excesso de água também afetam o crescimento das plantas, pois interferem diretamente no desenvolvimento das folhas (MAGALHÃES, 1979). Portanto, quando as plantas ficam submetidas à temperatura do ar e as condições hídricas desfavoráveis, são capazes de realizar alterações fisiológicas, morfológicas e anatômicas, que resultam em mudanças no seu metabolismo, visando alcançar uma redução dos efeitos do estresse na sua produtividade.

Para avaliar o efeito da temperatura do ar, pode-se utilizar o conceito de soma térmica ou graus-dia, que se baseia na resposta da planta à temperatura do ar. A soma térmica tem sido utilizada desde 1730 em substituição à contagem cronológica (WANG, 1960). Este conceito foi introduzido para superar inadequações no calendário para prever eventos fenológicos, bem como para o zoneamento agroclimático das culturas, uma vez que esses independem da época e local do cultivo da planta.

Diversos modelos vêm sendo desenvolvidos para simular o crescimento de inúmeras culturas (WANG et al., 2012, CRUZ et al., 2011, WIECHERS et al., 2011). A implantação da cultura e as práticas de manejo podem ser melhoradas com auxílio de modelos matemáticos (TRENTIN et al., 2008).

Modelos mecanísticos são complexos e necessitam de conhecimentos sobre diversos processos fisiológicos da planta e sobre como cada variável ambiental influencia esses processos (BOOTE et al., 2002; PEDREIRA et al., 2011). Assim, a aplicação desses modelos em grande escala é difícil, pela dificuldade de desenvolvimento de modelos que integrem todos os processos fisiológicos e pela falta de conhecimento dos processos fisiológicos que ocorrem na planta.

Sendo assim, a utilização de modelos empíricos torna-se uma ferramenta viável, capaz de representar, de forma simplificada, as relações entre a resposta fisiológica das plantas e as variáveis ambientais, durante os diferentes estádios fenológicos de uma cultura (FONSECA et al., 2007; TONATO et al., 2010).

Os modelos empíricos são utilizados, na sua maioria, nas previsões operativas dos rendimentos das colheitas para os cultivos anuais de cereais. Tem-se também utilizado, com êxito, esses modelos de previsão para soja, linho, beterraba-açucareira, cana-de-açúcar e outras culturas de caráter nacional ou regional (FERREIRA et al. 2007). No entanto, estes modelos são limitados ao local de experimentação, sem possibilidades de generalização no tempo e no espaço.

É considerável a importância da temperatura e da água no crescimento das plantas e a eficiência da modelagem para simular o crescimento e desenvolvimento (MARQUES e FRIZZONE, 2005; ALBERTO et al. 2009). Neste contexto temos como objetivo ajustar modelos empíricos para modelar a partição de matéria seca do feijão caupi em função da necessidade térmica com as temperaturas basais encontradas e consideradas no capítulo anterior e comparar a partição de matéria seca do tratamento irrigado com o tratamento em condições naturais.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos o primeiro no período de agosto de 2011 a outubro de 2011 e o segundo foi executado no período de setembro de 2012 a novembro do mesmo ano, o qual forneceu dados para a validação dos modelos criados no primeiro e para criação de modelos de crescimento do feijão caupi irrigado.

Os dados coletados no 2º experimento do tratamento não irrigado foram comparados com os do tratamento irrigado para avaliar a influência hídrica na partição de biomassa.

3.2.1 Sítio experimental do 1º experimento

O 1º experimento foi na Fazenda Escola da Universidade Federal Rural da Amazônia no município de Castanhal. O campo experimental ficou localizado em uma área com 1,5 ha de plantio de feijão caupi (latitude 1°19'24.48"S longitude 47°57'38.20"W). As condições de tempo durante o experimento foram registradas pela estação meteorológica instalada na área.

O solo foi preparado convencionalmente e a semeadura tenha foi feita de forma manual (tico-tico) com espaçamento de 0,5m entre linha e cinco covas, no dia 10 de agosto de 2011 com duas plantas por cova, gerando uma densidade de 200.000 plantas por ha. A semeadura foi baseada em teste de germinação e as plantas daninhas e pragas foram controladas de acordo com a necessidade. A cultivar utilizada foi a BR3-Tracuateua.

As plantas ficaram submetidas às condições naturais sem sistema de irrigação e a aplicação de fertilizante foi feita junto com sementeira de acordo com a análise química de solo conforme o manual de recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará. Dados de capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e análise química do solo do 1º e do 2º experimentos estão na Tabela 7.

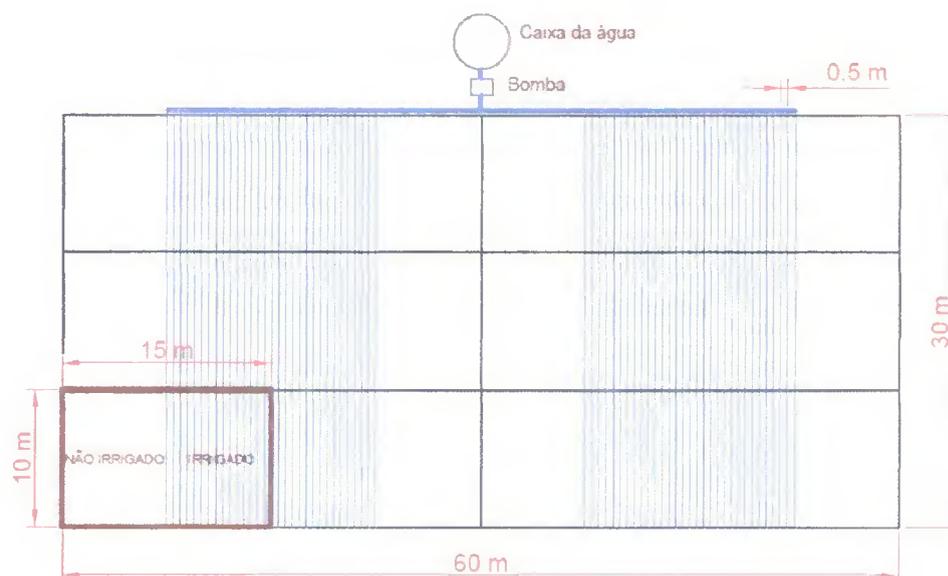
Tabela 7-Análise química e física do Latossolo Amarelo referente ao solo do 1º e o 2º experimento. Unidade da UFRA, Castanhal-PA.

Características	Unidades	Amostras (0 a 20 cm)	
		1º experimento	2º experimento
Ph (H ₂ O)		5,90	4,7
pH (KCL)		4,45	-
P	mg.dm ⁻³	31,56	1
K ⁺		0,14	0,05
Ca ⁺		1,43	1,00
Mg	cmol _c .dm ⁻³	0,67	0,50
Al ⁺		0,24	0,50
H+Al		4,56	3,85
M.O		2,82	9,11
Areia		76	77
Silte	dag Kg ⁻¹	11	12
Argila		12	11
Densidade	g cm ⁻³	1,55	1,46
Capacidade de campo (CC)		0,19	0,21
Ponto de murcha permanente (PMP)	m ³ .m ⁻³	0,085	0,11

3.2.2 Sitio experimental do 2º experimento

O 2º experimento também foi conduzido na região nordeste do estado do Pará, na Fazenda Escola da Universidade Federal Rural da Amazônia no município de Castanhal. Porém o campo experimental ficou localizado em uma área (Figura 12) com 1 ha de plantio de feijão caupi no período de 25 de setembro a 25 de novembro de 2012.

Figura 12-Área do 2º experimento de feijão-caupi cv. BR3 Tracuateua, Castanhal-Pa-2012.



A área era ocupada por uma área de pousio que após ser derrubada e limpa sem queima, teve o solo foi convencionalmente preparado após o final da estação chuvosa e posteriormente semeado mecanicamente com a cultivar BR3 Tracuateua. A densidade de plantas foi aproximadamente dez plantas por metro linear a um espaçamento entre linhas de 0,50 m.

Antes da semeadura, as sementes foram preparadas adequadamente com fungicida e inseticida. As pragas foram controladas de acordo com a necessidade. Aplicação de fertilizante foi feita na semeadura. Os dados de capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e análise química do solo do 1º e do 2º experimento estão na Tabela 7.

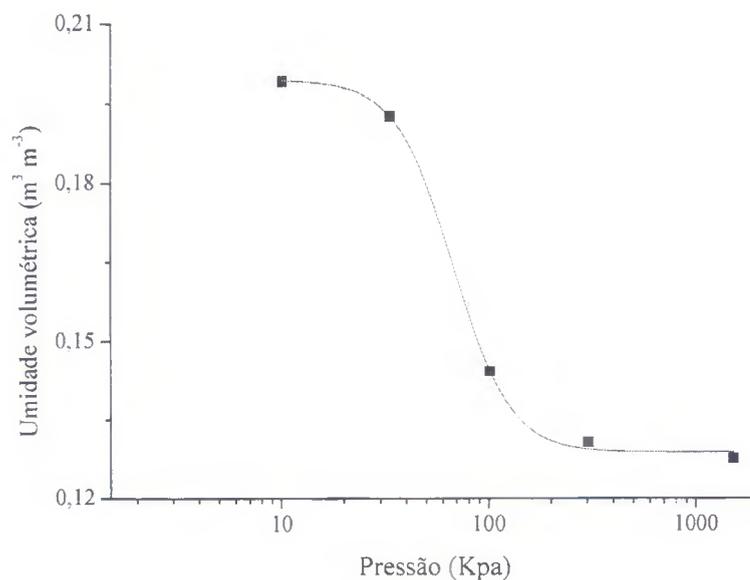
Ambos os tratamentos foram submetidos a sistema de irrigação até a fase V4, para estabelecimento e uniformização da cultura, (NASCIMENTO et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2011; BEZERRA et al., 2003) já que a época do plantio ocorreu no fim da época chuvosa. Essa irrigação inicial foi feita por um sistema de aspersão convencional fixo, com aspersores espaçados 12 x 12m, com bocais de 3,4 x 2,6 mm de diâmetro e vazão de $1,07 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ a uma pressão de serviço de 20 mca.

A lamina média de irrigação foi determinada a partir do cálculo da evapotranspiração de referência pelo método empírico de Penman Monteith que posteriormente foi multiplicado pelo Kc da cultura. Coletores foram colocados em toda a área distanciados 4 m, 8m e 12m dos aspersores e imediatamente após a primeira irrigação foi observado que o volume aplicado foi aproximadamente 8 mm em 1 hora e que a evapotranspiração da cultura era aproximadamente

4mm/dia, portanto foram aplicados meia hora de irrigação diária, quando necessário. Para saber a necessidade de aplicação de irrigação foi analisada a curva de retenção (Figura 13) e acompanhamento diário de tensiômetros.

Posteriormente, quando as plantas estavam próximo a fase reprodutiva, considerada a fase de maior necessidade hídrica (NASCIMENTO et al., 2011) o sistema de irrigação foi substituído por gotejamento e abrangeu somente o tratamento irrigado. Para estimar a lâmina de irrigação utilizou-se a leitura diária de tensiômetros na área irrigada, e na área não irrigada.

Figura 13 -Curva de retenção da umidade do solo na área do experimento em Castanhal- PA.



3.2.3 Instrumentação e coleta de dados agrometeorológicos.

Os dados de temperatura e umidade do ar, em dois níveis (2,0m acima do solo e 0,5m acima do dossel da cultura), precipitação pluviométrica, velocidade do vento, radiação solar global, refletida e transmitida, termômetros de solo, em 5 níveis de profundidade (10, 20, 30, 40 e 50 cm), sensores de fluxo de calor e umidade no solo foram medidos por sensores de uma estação meteorológica instalada na área experimental. Para este trabalho os elementos agrometeorológicos utilizados foram a precipitação pluvial, umidade do solo e temperatura do ar.

3.2.4 Desenvolvimento fenológico.

Durante o primeiro experimento foi feito o acompanhamento das fases utilizando um delineamento inteiramente casualizado com dez repetições (figura 14). O delineamento experimental utilizados no experimento posterior foi em blocos ao acaso com 12 repetições, cada um contendo o tratamento irrigado e não irrigado. Em ambos experimentos cada

repetição consistiu de linhas de 1 metro de comprimento, contendo em média 10 plantas, as quais foram monitoradas continuamente a partir da germinação.

Figura 14- Repetição (a) e espaçamento entre plantas (b) do experimento com feijão cupi cvBR3 Tracuateua, Castanhal-Pa, 2012



Fonte: Vivian Farias

O desenvolvimento fenológico e a altura da cultura foram acompanhadas diariamente seguindo a metodologia de identificação das fases da cultura proposta por Gepts & Fernandez et al. (1982).

3.2.5 Graus dias e tempo térmico normalizado

A necessidade térmica foi calculada para cada fase fenológica da cultura, seguindo a teoria dos graus dias ou tempo térmico (GD). Os valores diários de GD, foram calculados pela equação 7 descrita por Ometto (1981), pois foi a que abrangeu as condições térmicas no período do experimento.

$$T_b < T_{min}; T_{max} < T_B$$

$$GD = \left[\frac{T_{max} - T_{min}}{2} \right] + (T_{min} - T_b) \quad (7)$$

em que GD é a soma térmica em graus dias; T_{max} e T_{min} são as temperatura do ar, máxima e mínima respectivamente em escala diária ($^{\circ}\text{C}$); T_b é a temperatura basal inferior da cultura abaixo da qual o desenvolvimento é bastante reduzido.

Neste estudo considerou-se a $T_b = 9^{\circ}\text{C}$ e $T_B = 38^{\circ}\text{C}$, valores estes encontrados no capítulo anterior.

A escala fenológica ficou em função do tempo térmico normalizado (TTN). Assim a exigência térmica foi normalizada para algumas fases específicas como: R5 (início do florescimento) (TTN = 1); R7 (Vagem canivete) (TTN = 2); R8 (Início do enchimento de grão) (TTN = 3), R9 (Maturação fisiológica) (TTN = 4) e Colheita (TTN = 5). Os TTNs

foram calculados pelas Equações (8, 9, 10, 11) abaixo, seguindo a metodologia proposta Ferreira et al. (1997).

Para TTN = 1 início do florescimento:

$$TTN = \frac{GDac}{GDif} \quad (8)$$

Para TTN = 2 Vagem canivete:

$$TTN = 2 + \frac{GDac - GDif}{GDvc - GDif} \quad (9)$$

Para TTN = 3 Início do enchimento de grão.

$$TTN = 3 + \frac{GDac - GDvc}{GDg - GDvc} \quad (10)$$

Para TTN = 4 Maturação fisiológica.

$$TTN = 4 + \frac{GDac - GDg}{GDmf - GDg} \quad (11)$$

Para TTN = 5 ($\theta = 5$) Colheita.

$$TTN = 5 + \frac{GDac - GDmf}{GDcl - GDmf} \quad (12)$$

Em que TTN é o tempo térmico normalizado; GDac, graus dia acumulado; GDif graus dia necessário para o início do florescimento; GDvc Graus dia necessário para formação da vagem canivete; GDg graus dia necessários para iniciar o enchimento de grão, GDmf graus dia necessário para alcançar a maturação fisiológica e GDcl graus dias necessário para a colheita.

3.2.6 Partição de matéria seca da parte aérea.

No primeiro experimento os dados para análise de crescimento foram coletados semanalmente durante a fase vegetativa e duas vezes por semana na fase reprodutiva. A amostragem das plantas consistiu de escolhas aleatórias de linhas de 1 metro de comprimento com seis repetições. No experimento posterior a coleta foi feita duas vezes por semana em um delineamento em blocos ao acaso com 12 repetições contendo os tratamentos irrigados e em condições naturais. Em todos os experimentos a coleta foi feita a partir dos 10 dias após a semeadura (DAS) quando a planta apresentava a primeira folha trifoliolada.

Todas as amostras foram mantidas em saco de papel após terem sido coletadas até o processamento final no laboratório. As amostras foram então separadas em folhas, hastes (pecíolo, pedúnculo e caule) e legumes (Grãos e vagem) e foram posteriormente colocadas para secar em estufa aerada a 70°C até peso constante (em média 48 horas) e pesado em balança digital com precisão de 0,01 g, como demonstrado na Figura 15.

Figura 15 - Método, estufa e balança de precisão utilizados no procedimento de avaliação da partição de matéria seca do feijão caupi cv.BR3 Tracueteua.



Fonte: Vivian Farias

3.2.7 Dados analisados

Materia seca total da parte aérea

O acúmulo de matéria seca (*Mst*) foi monitorado através da soma das partes aéreas da planta, descrita posteriormente. A partição de biomassa foi determinada pela razão do peso dos órgãos em questão (folha, hastes e legume) e o peso total da planta (BENINCASA, 2003). A massa seca total foi representada por uma equação logística (13):

$$Mst = \left(\frac{560,46}{1 + (TTN/1,59)^{-2,45}} \right) \quad (13)$$

Área foliar

A área foliar foi estimada através do método dos discos (BENINCASA, 2003). O método consiste em fazer uma relação entre um disco foliar de área e peso conhecido e o peso total do restante das folhas (MS). Para retirada dos discos foi utilizado um vazador de 2cm de diâmetro (3,14 cm²), sendo três discos de cada planta (30 discos por amostra) os quais foram secas em estufa junto com o resto do material. A área foliar foi estimada através das Equações 14 e 15.

$$Af = \frac{Ad * (Pd + Pf)}{Pd} \quad (14)$$

$$Ad = (\pi r^2) * nd \quad (15)$$

Em que Af é a área foliar; Ad , área dos discos; Pd , peso seco dos discos; Pf , peso seco do resto das folhas; e nd , número de discos, r o raio e $\pi = 3,1416$

A área foliar específica (AFE) foi estimada através da razão entre área foliar e o peso seco das folhas (Equação 16).

$$AFE = \frac{Af}{(Pd + Pf)} \quad (16)$$

em que Af é a área foliar; Pd , peso seco dos discos; Pf , peso seco do resto das folhas.

Índice de área foliar

O índice de área foliar (IAF) foi estimado considerando a MSf e a AFE, conforme a Equação 17.

$$IAF = MSf * AFE \quad (17)$$

em que MSf é a matéria seca da folha e AFE é a área foliar específica.

O IAF foi simulado através da equação de De Melo-Abreu et al. (1994) (Equação 18):

$$d\Delta_F = \left(\frac{dFMSf}{dTTN} \right) * MSf * dTTN + FMSf * dMSf \quad (18)$$

Em que $d\Delta_F$ é o incremento de biomassa seca das folhas, $FMSf$ a Equação 20 que descreve a fração de matéria seca das folhas, $dFMSf$ a derivada da equação que descreve a fração de matéria seca das folhas, MSf a função logística que descreve a matéria seca total e $dMSf$ a diferença dos valores de MSf calculados pela função logística.

Fração de matéria seca nas folhas

A fração de matéria seca nas folhas ($FMSf$) é a razão entre a massa das folhas e a biomassa total da planta (equação 19), e é representada pela equação 20.

$$FMSf = \frac{MSf}{MSf} \quad (19)$$

$$FMSf = 0,75 - 0,14 * TTN \quad (20)$$

A $FMSf$ foi derivada ($dFMSf$) para ser usada na equação (21) proposta por De Melo-Abreu et al. (1994) para simular a quantidade de matéria seca alocada para as folhas ($d\Delta_F$).

$$d\Delta_F = \left(\frac{dFMSf}{dTTN} \right) * MSt * dTTN + FMSf * dMSt \quad (21)$$

Fração de matéria seca nos legumes

A fração de matéria seca nos legumes (*FMSI*) é a razão entre a massa do legume e a biomassa total da planta (equação 22).

$$FMSI = \frac{Mg}{MSt} \quad (22)$$

A *FMSI* é descrita pela equação (23),

$$FMSI = \frac{0,56}{1 + \text{EXP}(-2,96 * (TTN - 3,89))} \quad (23)$$

A *FMSI* foi derivada (*dFMSI*) para ser usada na equação 24 proposta por De Melo-Abreu et al. (1994) para simular a quantidade de matéria seca alocada para os legumes (*dΔ_L*), onde os valores referentes a biomassa das folhas foram substituído pela biomassa dos legumes.

$$d\Delta_L = \left(\frac{dFMSI}{dTTN} \right) * MSt * dTTN + FMSI * dMSt \quad (24)$$

Em que *dΔ_L* é o incremento de biomassa seca nos legumes, *FMSI* a equação que descreve a fração de matéria seca dos legumes, *dFMSI* a derivada da equação que descreve a fração de matéria seca dos legumes, *MSt* a função logística que descreve a matéria seca total e *dMSt* a diferença dos valores de *MSt* calculados pela função logística.

Fração de matéria seca nas hastes

O caule, pecíolos e pedúnculo formaram as hastes (VIEIRA et al., 2009). A fração de matéria das hastes é a razão entre a massa das hastes e a biomassa total da planta (equação 25).

$$FMSH = \frac{MSh}{MSt} \quad (25)$$

A *FMSH* é descrita pela equação 26,

$$FMSH = 0,29 + \left(\frac{0,93}{\left(2,06 * \sqrt{\frac{3,14}{2}} \right)} \right) * \exp\left(-2 * \left(\frac{TTN - 2,79}{2,06} \right)^2\right) \quad (26)$$

A FMS_h foi derivada ($dFMS_h$) para posteriormente ser usada na equação de De Melo-Abreu et al. (1994) (equação 27) para simular a matéria seca alocada para as hastes, onde os valores referentes a biomassa das folhas foram substituído pela biomassa das hastes:

$$d\Delta_H = \left(\frac{dFMS_h}{dTTN} \right) * MS_t * dTTN + FMS_h * dMS_t \quad (27)$$

Em que $d\Delta_H$ é o incremento de biomassa seca das hastes, $dFMS_h$ a derivada da equação que descreve a fração de matéria seca das demais estruturas, MS_t a função logística que descreve a matéria seca total e dMS_t a diferença dos valores de MS_t calculados pela função logística.

3.2.8 Análises estatísticas e validação do modelo.

Os dados foram analisados por meio de estatística descritiva das amostras, baseado nos valores médios, dos desvios, do erro padrão de estimativa e do coeficiente de variação. Posteriormente os dados coletados no 2º experimento do tratamento não irrigado foram comparados com os do tratamento irrigado para avaliar a influencia da irrigação na partição de biomassa. Para isso as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey, a 5% de significância.

Os modelos foram ajustados avaliando o maior r^2 , teste F e a significância dos coeficientes de regressão pelo teste t, ao nível de 5% de probabilidade. A avaliação da precisão, exatidão, desempenho e eficiência do modelo se deram por meio de testes estatísticos de validação como: quadrado médio do erro (RMSE) (LOAGUE e GREEN, 1991); índice de concordância (d) (WILLMOTT et al., 1985); índice de confiança (c) (CAMARGO; SENTELHAS, 1997); índice de eficiência do modelo (EM) (JANSEN e HEUBERGER, 1995). As equações dos respectivos testes estão dispostas na Tabela 8.

Tabela 8 - Equações dos parâmetros estatísticos de desempenho do modelo, onde, P, O e Mo representam os valores predito, observado e média do observado, respectivamente, sendo N o número de dados.

Testes	Equação
Coeficiente de correlação	$r_{Pi, Oi} = \frac{Cov(Pi \cdot Oi)}{S_{Pi} \cdot S_{Oi}}$
Índice de concordância	$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Pi - Oi)^2}{\sum_{i=1}^N (P'i + O'i)^2} \right]$
Índice de confiança	$c = r * d$
Erro quadrático médio	$REQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Pi - Oi)^2}{N}} * \frac{100}{Mo}$
Índice de eficiência do modelo	$EM = 1 - \frac{\sum (Pi - Oi)^2}{\sum (Oi - Mo)^2}$

O maior valor de r^2 , c e EM deve ser desejado, uma vez que eles indicam o melhor desempenho do modelo utilizado na estimativa. Baixo valor de RMSE deve ser esperado, pois, evidencia a precisão da modelagem. O critério adotado para interpretar o desempenho das estimativas do modelo pelo RMSE, segundo Jamieson et al. (1991) é apresentado na Tabela 9.

Tabela 9-Classificação da precisão do modelo de acordo com a raiz do erro quadrado médio (RMSE).

Quadrado médio do erro %	Precisão do modelo
<10	Alta precisão
10-20	Boa precisão
20-30	Aceitável
>30	Baixa precisão

Fonte: JAMIESON et al. (1991)

O índice de concordância "d" descrito por Willmott et al. (1985) também conhecido como índice de exatidão indica o afastamento dos valores estimados em relação aos observados, cujos valores variam de zero (para nenhuma concordância) a 1(para a concordância perfeita).

A eficiência do modelo (EM) é um índice relativo que representa a capacidade do modelo em descrever o sistema real. O valor unitário corresponde ao ajustamento perfeito enquanto que zero, significa que a capacidade do modelo em descrever o sistema real é semelhante à utilização da média dos valores observados. Valores negativos significam um modelo com reduzido poder de descrição da realidade (JANSEN e HEUBERGER, 1995).

O índice de confiança “c” de Camargo e Sentelhas (1997) indica o desempenho do método e é dado pelo produto do coeficiente de correlação “r” e do índice de concordância de Willmott et al. (1985) “d”. O critério adotado para interpretar o desempenho das estimativas do modelo pelo índice “c” está apresentado na Tabela 11.

Tabela 10- Interpretação do desempenho do modelo, por meio, do valor do índice de confiança (c).

Valor de “c”	Correlação
>0,90	Ótimo
0,81 a 0,90	Muito bom
0,71 a 0,80	Bom
0,51 a 0,70	Mediano
0,41 a 0,50	Sofrível
0,31 a 0,40	Mau
< 0,30	Péssimo

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Condições meteorológicas durante o experimento

Durante o 1º experimento foram registradas temperaturas máxima e mínima de 37,29°C e 20,01 °C com média de 27,3 °C.

A precipitação média anual do município de Castanhal-PA é de 2571,2 mm, e atinge os menores valores entre setembro a novembro com médias de 80 mm nesse período. Durante o 1º experimento (10/agosto a 10/outubro de 2011) choveu 198,2 mm, houve boa distribuição da chuva durante todo o ciclo do caupi e foi suficiente para o caupi completar seu ciclo.

A cultura do feijão-caupi necessita um mínimo de 300 mm de precipitação anual para que produza satisfatoriamente, sem a necessidade de utilização da prática da irrigação (ANDRADE JÚNIOR et al., 2003). O consumo hídrico diário do feijão caupi raramente excede 3,0 mm, quando a planta está na fase inicial de desenvolvimento e o maior consumo de água ocorre na fase reprodutiva, com valor médio de 3,65 mm dia (NASCIMENTO et al., 2011), este consumo é dependente da cultivar, do solo e das condições climáticas locais (NASCIMENTO, 2009).

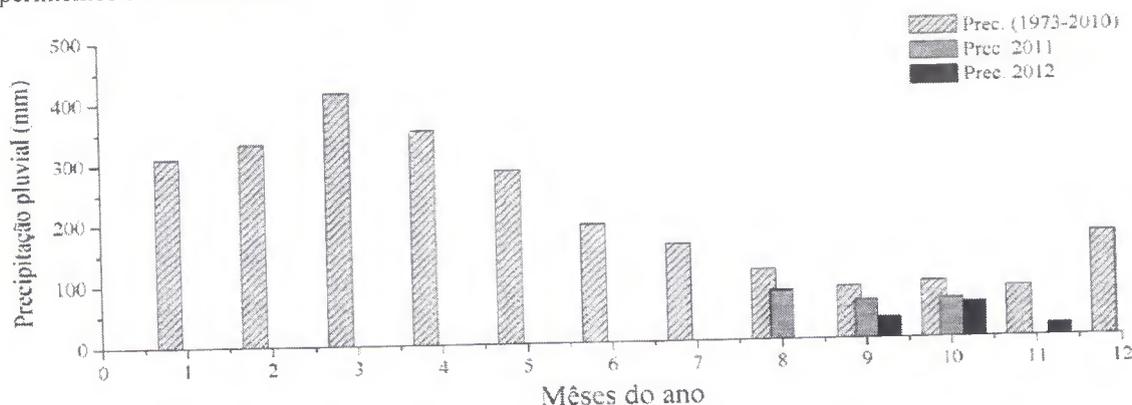
No 1º experimento, durante o crescimento vegetativo (0 – 31 DAS) o caupi experimentou boas condições hídricas, por ocasião das chuvas, que nesse período forneceram 107,5 mm, o que representa 3,47 mm por dia, enquanto que na fase de enchimento de grãos até a maturação fisiológica (32 – 56 DAS) choveu 32,3 mm, representado 1,30 mm dia⁻¹, ou seja, abaixo do consumo médio exigido pela planta nesta fase.

O período foi marcado por frequentes chuvas de baixa intensidade, o que potencializou o fornecimento de água, considerando que, a limitação em termos hídricos encontra-se mais diretamente condicionada à distribuição do que à quantidade total de chuvas ocorridas no período (ANDRADE JÚNIOR et al., 2003).

A umidade relativa (UR) média durante todo o ciclo do caupi foi de 83,42 % apresentando uma ligeira diminuição ao longo do ciclo da cultura, devido à redução das chuvas.

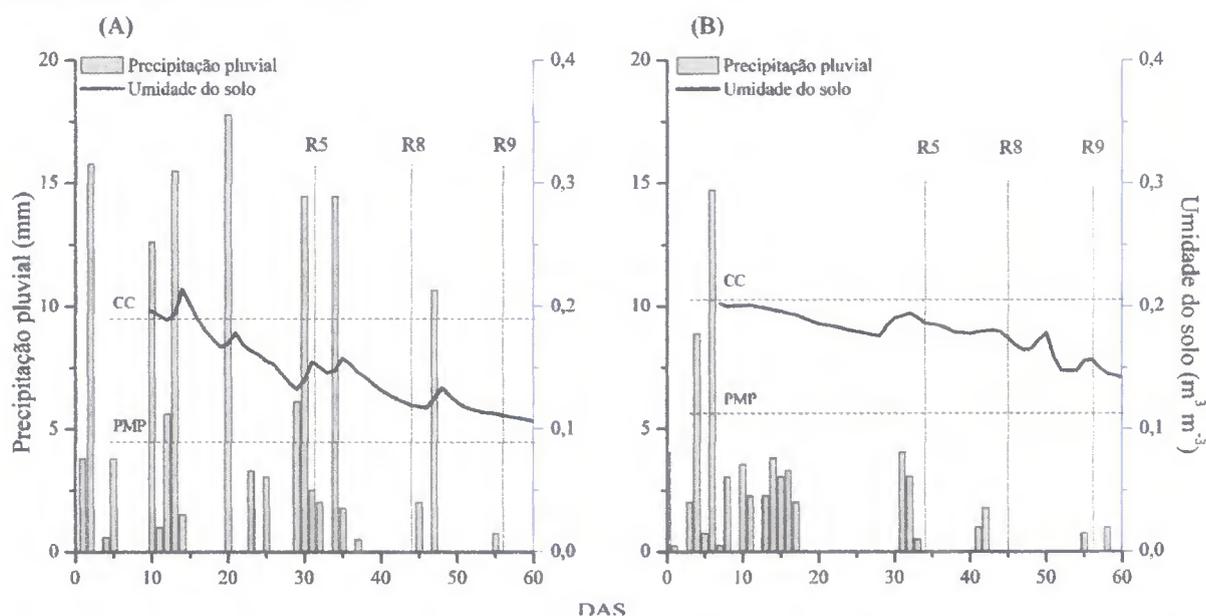
No 2º experimento (26/setembro a 02/dezembro de 2012) a temperatura mínima foi de 20,50 °C e a média de 27,2 °C. A máxima alcançou 39,92 °C, maior do que a observada em 2011, o que pode ser associado a maior disponibilidade de energia neste período e reduzida precipitação. Neste período as chuvas foram menores em relação à média histórica e ao ano de 2011, pois, com o atraso da semeadura o ciclo da cultura adentrou no período mais seco da região (Figura 15), onde foi percebido precipitações de somente 66,6 mm durante todo o ciclo da cultura.

Figura 16 - Regime pluviométrico do município de Castanhal, Pará, referente a uma série histórica de 37 anos (1973-2010), cedido pela Agência Nacional das Águas, associado as chuvas mensais ocorridas durante os experimentos de 2011 e 2012.



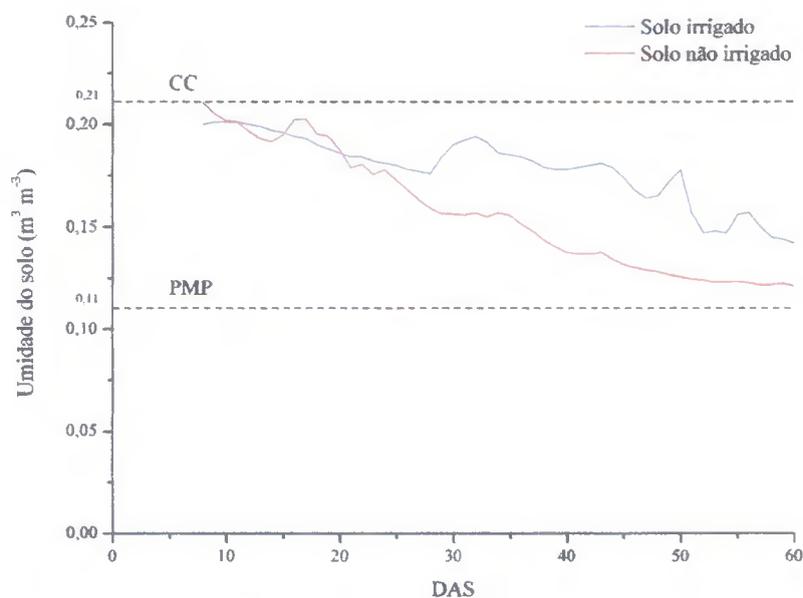
Ao comparar as Figuras 16(A) e 16(B) é possível notar a melhor distribuição pluvial em 2011, em relação a 2012, fato que contribuiu para manutenção da água no solo, não permitindo que a mesma chegasse a níveis críticos, durante todo o ciclo da cultura. Por outro lado, em 2012 a umidade do solo foi mantida via irrigação por gotejamento, o que manteve certa similaridade das condições de umidade do solo entre os experimentos.

Figura 17-Precipitação pluvial e umidade do solo ocorridos no decorrer do primeiro (A) e do segundo experimento (B) em Castanhal-Pa.



Como a diferenciação do tratamento de irrigação foi imposta somente a partir dos 24 DAS, observou-se que não houve variações sensíveis no teor de água no solo, nesse período, os quais oscilaram próximo, portanto, do limite superior de disponibilidade de água no solo (Figura 17).

Figura 18-Umidade do solo ocorrido no decorrer do experimento no solo irrigado (—) e no solo não irrigado (—).



3.3.2 Desenvolvimento fenológico

Apesar de alguns trabalhos (WOLSCHICK et al., 2007, SOUZA et al., 2007) apresentarem bons ajustes obtidos por modelos utilizando a variável independente dias após a

semeadura (DAS) ou dias após o plantio (DAP), nos modelos apresentados a seguir foi utilizada a variável TTN, uma vez que esta se utiliza dos registros de temperatura, fator que influencia diretamente na taxa de crescimento da cultura. Assim, pode descrever de forma mais precisa a influência dos processos bioclimáticos no desenvolvimento do vegetal, o que pode não ser constatado com o emprego da variável DAS, para a qual sua utilização é limitada às condições climáticas do local do experimento (LYRA et al., 2003).

A Tabela 12 faz referência a necessidade térmica em graus-dia acumulado (GDac) e em tempo térmico normalizado (TTN) das principais fases fenológicas do feijão-caupi, assim como, o dia após a semeadura (DAS) em que elas iniciam. Desta forma foi percebido que o feijão-caupi semeado em 10 de agosto de 2011 em regime de sequeiro, sob as condições do município de Castanhal-PA, levou 31 DAS, para que, mais de 50% plantas observadas atingissem o estágio R5, (início do florescimento) e mais 12 dias para concluir a fase R7 (vagem canivete) acumulando 766,52 GDac. O início de enchimento de legume, fase R8, se deu quando a cultura acumulou GDac, enquanto que a maturação fisiológica ocorreu aos 55 DAS, acumulando 1.016,66 GDac, mostrando-se mais precoce que a descrição feita por Freire Filho et al., (2005).

Tabela 11-Dados referentes a necessidade térmica em grau dia acumulado (GDac) e tempo térmico normalizado (TTN), assim como o tempo de ocorrência em dias após a semeadura (DAS).

Necessidade térmica do feijão caupi				
Fases fenológicas	Descrição das fases	DAS	GDac	TTN
R5	Primórdios do botão floral	31	559,58	1
R7	Vagem canivete	42	766,52	2
R8	Enchimento dos grãos	46	845,20	3
R9	Maturação fisiológica	55	1.016,66	4
Colheita	Colheita	66	1.247,14	5

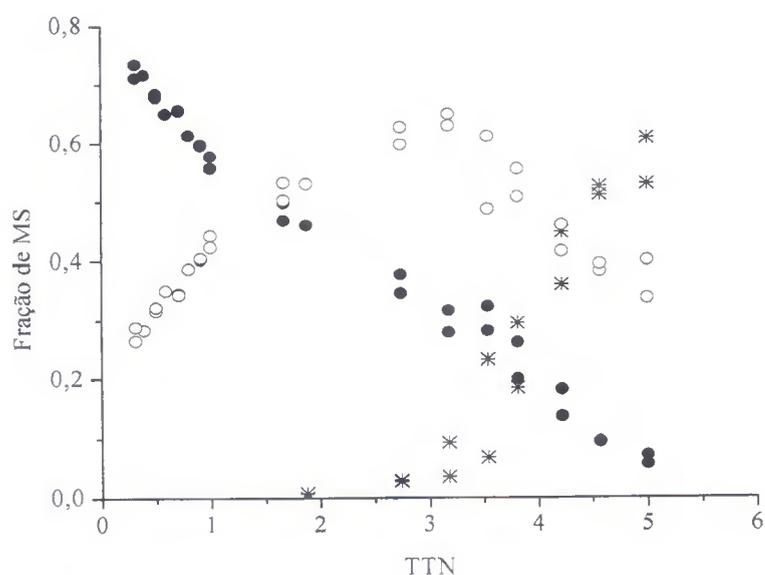
Existe grande dificuldade em se comparar a necessidade térmica do caupi, devido a cultura não ter uma escala fenológica padrão. Desta forma, muitos pesquisadores fazem adaptações análogas à escala do feijoeiro e da soja e ainda alteram os critérios de mudança de fase. Além disso, existem diversas cultivares de ciclo precoce, médio e tardio (FREIRE FILHO et al., 2005) dificultando o processo. Contudo, neste trabalho a cultivar BR3 Traquateua necessitou de 709,52 GDac para o florescimento pleno e Moura et al. (2012),

estudando a cultivar BR17-Gurguéia, que possui o mesmo ciclo do BR3-Tracuateua, (60 a 70 dias) obtiveram para o florescimento 726,9 GD em 40 DAS, 950 GD para o início de enchimento de legume em 52 DAS e para a maturação 1103,5 GD aos 60 DAS. Bastos et al., (2002) estudando a mesma cultivar no estado do Piauí obtiveram 750 GD para o florescimento cujo a duração variou entre 43 a 47 DAS.

3.3.3 Partição de matéria seca

A fração de matéria seca alocada para as folhas (FMSf), hastes (FMS_h) e legumes (FMSl) em relação ao TTN está representada na Figura 18. Durante os dois anos a fração de matéria seca seguiu a mesma tendência, onde o crescimento das folhas foi o mais afetado, pois verifica-se que inicialmente após 10 dias da emergência, aproximadamente 71% da matéria seca produzida foi direcionada para as folhas, porém ocorre um decréscimo nesse valor no decorrer do ciclo da cultura. Borges et al. (2012) estudando a distribuição da matéria seca em feijão caupi inoculados com rizóbio, também observou que aproximadamente 71% da razão do peso foi direcionada para as folhas após 15 dias da emergência na cultivar BR3267.

Figura 19-Fração de matéria seca das folhas (●), das hastes(○) e dos legumes(*) nos anos de 2011 e 2012 do feijão caupi cv. BR3 Tracuateua em relação ao tempo térmico normalizado (TTN).



Um decréscimo mais acentuado na FMSf ocorre a partir do $TTN \approx 2$ devido a translocação de fotoassimilados para as hastes, pois inicia-se o período de desenvolvimento da planta, onde ocorre forte concorrência por assimilados.

Após o $TTN \approx 2$ as hastes passaram a reter o maior percentual de matéria seca, pois este período de maior acúmulo de matéria seca nas hastes foi devido ao surgimento de pedúnculos, que são estruturas anexas ao caule. Segundo Subbarao et al (1995) os

fotoassimilados produzidos em leguminosas são acumulados intermediariamente nos ramos, sendo posteriormente translocado para a vagem.

A produção de matéria seca é o resultado do desempenho do sistema assimilatório da planta em sintetizar (fonte) e alocar a matéria orgânica nos diversos órgãos (drenos) que dependem da fotossíntese, durante certo período de tempo. Este desempenho é influenciado pelos fatores bióticos e abióticos (LARCHER, 2004).

A partir do início da diferenciação dos tratamentos houve diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos para todos os componentes avaliados na partição de matéria seca, indicando que o nível de deficiência hídrica aplicado no solo influenciou significativamente o desempenho do crescimento de plantas e de produção de feijão caupi, cv. BR3 tracueteua (Tabela 13). Leite & Vingens Filho (2004) estudando a produção de matéria seca do feijão caupi submetido em déficits hídricos também constataram um acentuado decréscimo nos valores da matéria seca das diversas partes da planta com o aumento da duração do déficit hídrico.

Tabela 12-Matéria seca das hastes (MSh) e matéria seca das folhas(MSf) em g/m^2 do feijão caupi irrigado e em condições naturais em relação ao tempo térmico normalizado (TTN).

TTN	MSh(g/m^2)			MSf(g/m^2)		
	irrigado	Condição natural	CV%	Irrigado	Condição natural	CV%
0,31	2,08 a*	1,92 a*	14,43	5,41 a	5,66 a	10,80
0,39	3,33 a	3,41 a	13,25	10,08a	9,37a	7,99
0,5	6,83 a	6,66 a	13,32	17,54 a	18,12 a	15,12
0,59	20,94 a	21,94 a	15,12	33,16 a	34,13 a	13,20
0,71	45,94 a	39,69 b	18,30	62,47 a	57,64 b	12,05
0,8	99,83 a	65,13 b	11,49	126,80 a	88,22 b	11,67
0,91	103,58 a	80,02 b	11,99	103,64 a	86,52 b	13,82
1	108,55 a	83,91 b	15,54	104,77 a	80,83 b	14,64
1,67	182,08 a	117,83b	11,84	114,92a	87,66 b	12,81
1,88	214,11 a	116,55b	19,59	151,74 a	78,19 b	17,18
2,74	275,50 a	146,33b	13,20	137,00a	91,80 b	14,28
3,18	138,33 a	82,75 b	10,18	116,97a	54,74 b	16,46
3,54	242,63 a	104,33 b	24,77	96,34a	41,22b	18,38

*Médias seguidas pela mesma letra na linha, para MSh e MSf dos tratamentos irrigado e em condições naturais, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

A produção de matéria seca das folhas (MSf) foi influenciada pela diminuição do teor de água no solo. As folhas são os centros de produção da fotossíntese e o resto da planta depende da exportação de material assimilado da folha para outros órgãos da planta de feijão

caupi. O estresse hídrico na cultura do caupi, compromete tal exportação, contribuindo para os decréscimos de seu crescimento e produção (LEITE et al., 2000). Mendes et al., (2007) verificaram que quando ocorreu estresse hídrico na fase reprodutiva houve maior abscisão foliar em comparação à testemunha e que, ao final do ciclo, devido à retomada da irrigação, o tratamento controle apresentou maior abscisão em comparação com o estressado.

Segundo Resende et al. (1981), quando as plantas são submetidas a restrições hídricas, reduzem a turgescência e, conseqüentemente, a expansão celular, o que provoca redução no alongamento da folha e do caule. Neste caso, o comportamento verificado na matéria seca das hastes (MSh) coincide com o comportamento da MSf, pois também foi reduzida com a deficiência hídrica.

Outra consequência do déficit hídrico é a redução no índice de área foliar (IAF) das plantas (Tabela 14), fato que ocorre como mecanismo de defesa da planta contra a deficiência hídrica; com a área foliar menor, a transpiração é reduzida, conservando o suprimento de água limitado no solo, por um período maior. No entanto, esta redução limita a produtividade em virtude da queda na absorção de CO₂ e na interceptação de luz (MATTOS et al., 2005).

A matéria seca das folhas do caupi em relação ao TTN, coincide com o comportamento verificado para o índice de área foliar desta cultura (LEITE et al., 2000), indicando que a redução da MSf, apesar de variável em função dos tratamentos, também pode ser atribuída ao decréscimo na área foliar, resultando em uma menor transpiração, redução na matéria seca total e porte da planta, permitindo considerar este comportamento importante mecanismo de resistência à seca.

Tabela 13—Índice de área foliar (IAF) (m²/m²) e matéria seca dos legumes (MSI) em g/m² do feijão caupi irrigado e em condições naturais em relação ao tempo térmico normalizado (TTN).

TTN	IAF (m ² /m ²)			MSI (g/m ²)		
	Irrigado	Condição natural	CV%	Irrigado	Condição natural	CV%
0,31	0,14 a*	0,13 a*	12,58	-	-	-
0,39	0,34 a	0,33 a	11,62	-	-	-
0,5	0,43 a	0,42 a	11,45	-	-	-
0,59	0,75 a	0,77 a	20,68	-	-	-
0,71	1,28 a	1,10 b	11,25	-	-	-
0,8	1,71 a	1,43 b	24,34	-	-	-
0,91	1,69 a	1,39 b	20,82	-	-	-
1	1,95 a	1,52 b	19,39	-	-	-
1,67	2,31 a	1,54 b	18,04	-	-	-
1,88	3,14 a	1,34 b	17,31	12,19 a	8,0 b	16,91
2,74	3,61 a	1,70 b	21,71	43,93 a	22,50 b	19,61
3,18	3,23 a	0,90 b	27,19	72,59 a	27,58 b	14,71
3,54	2,22 a	0,92 b	20,93	143,88 a	88,33 b	21,30

*Médias seguidas pela mesma letra na linha, para MSh e MSf dos tratamentos irrigado e em condições naturais, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

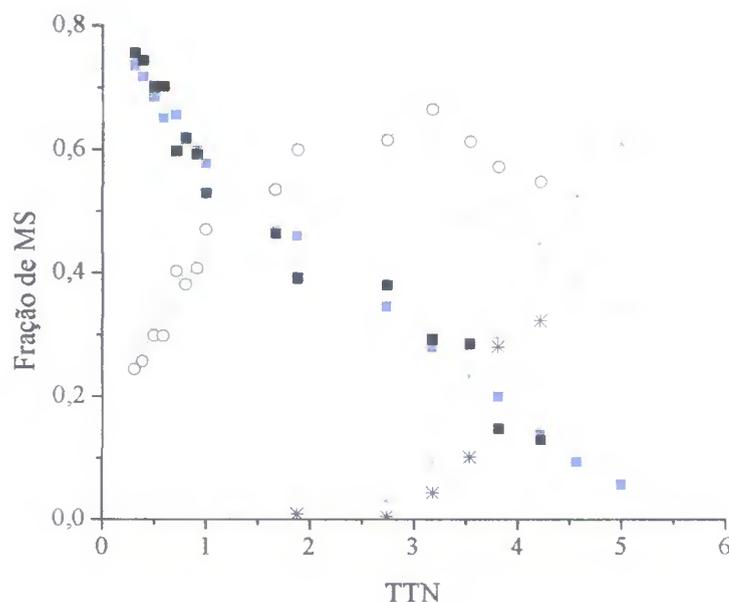
A deficiência hídrica resultou em menor produção de matéria seca para os legumes, provavelmente pela redução na matéria seca das folhas e índice de área foliar, já que a folha é considerada o centro de captação de luz para a produção de fotoassimilados, devido um efeito de retardamento na floração (TURK et al., 1980; BERGAMASCHI et al., 1988) ou ainda devido ao abortamento de flores provocado pelo estresse hídrico (LEITE e VIRGENS FILHO 2004), apesar de Mendes et al. (2007) terem observados que o regime hídrico não teve efeito significativo sobre a relação vagem/flor.

De acordo com Taiz e Zeiger (2004), uma das explicações para a redução da produtividade de grãos em decorrência do déficit hídrico, é que, nesta condição, a planta sofre redução da condutância e da transpiração foliar e, como consequência, há um aumento da temperatura foliar e redução na produção de fotoassimilados, causando redução na produtividade de grãos.

Endres et al., (2010) também constataram que o déficit hídrico causa redução no rendimento de grãos, independentemente do estágio fenológico em que este é aplicado; entretanto, os mesmos ressaltam que o estresse ocorrido na fase reprodutiva tem efeitos mais desastrosos para a planta. Nascimento et al., (2004) observaram que, quando submetido ao estresse hídrico, o caupi apresentou uma redução da matéria seca da vagem de 30%. Freitas (2012) observou que para os sistemas submetidos ao veranico, inicialmente, houve um acúmulo de biomassa das vagens bem menor do que o verificado para os demais tratamentos.

Apesar da deficiência de água influenciar na produção de matéria seca do feijão caupi, a fração de matéria seca seguiu o mesmo percurso nos tratamentos (Irrigado e condições naturais) (Figura 19), mostrando que a deficiência de água não influenciou na alocação de fotoassimilados das folhas (fonte) para os outros órgãos (dreno) do feijão.

Figura 20-Fração de matéria seca das folhas (■), das hastes(○) e dos legumes(*) do feijão caupi nos tratamentos irrigado(azul) e em condições naturais(preto) em relação ao tempo térmico normalizado (TTN) .



De maneira geral, melhores produções em grandes culturas são obtidas através do sucesso da regulação nas relações fonte-dreno, ou seja, na produção e utilização dos fotoassimilados (ZAMSKI & SCAFFER, 1996). O aumento da razão fonte-dreno pode reduzir o efeito do estresse hídrico sobre o tamanho da semente (SOUZA et al., 1997).

O conhecimento mais detalhado do desenvolvimento da cultura, em função das alterações da relação fonte/dreno torna-se um importante instrumento para contribuir na busca de explicação para o baixo potencial produtivo da cultura em regiões do nordeste paraense.

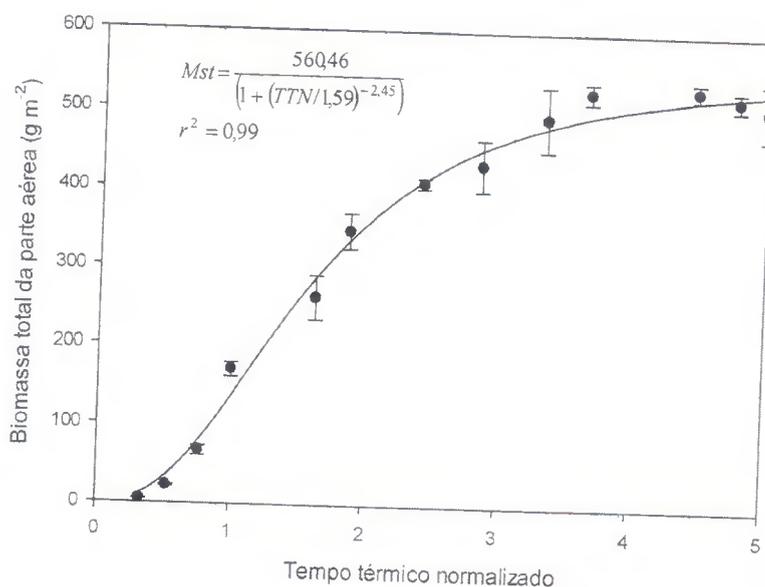
3.3.4 Calibração e validação dos modelos

Materia seca total (MSt)

Para ajuste dos dados de matéria seca total MSt observou-se que a equação logística foi a que apresentou melhor desempenho(Figura 20). O máximo acúmulo de biomassa seca (MSt) do feijão caupi, cultivar BR3-Tracueteua, obtida neste ensaio de calibração foi de 530,1 g m⁻².

Resultados semelhantes foram obtidos por Sampaio e Brasil (2009), que, analisaram a produção de MSt, em experimento, de campo, para várias cultivares utilizadas no nordeste paraense, chegando a uma variação de 404,9 a 745,3 g m⁻² com média de 606,7 g m⁻², assim como, Leite e Virgens Filho (2004), que, conduziram experimento com plantas de caupi sob condições hídricas controladas e divulgaram um valor médio de 519,80 g m⁻². Estes resultados indicam que a MSt obtida, está dentro da faixa esperada para região.

Figura 21-Ajuste do modelo logístico da massa seca total acumulada (MSt) durante o ciclo do feijão caupi (cv. BR3-Tracueteua) em g m^{-2} em função ao tempo térmico normalizado TTN, com seu respectivo modelo ajustado.

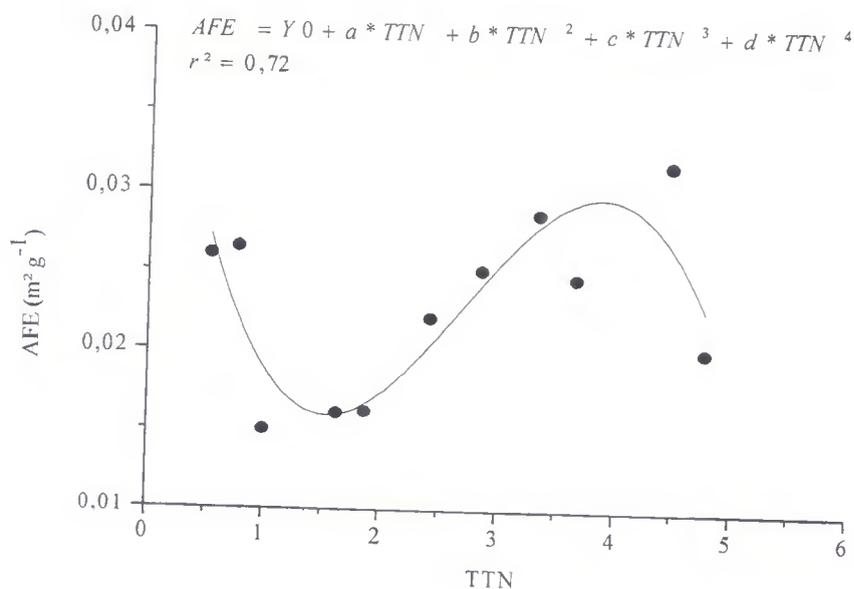


Área foliar específica (AFE)

A AFE do feijão caupi (Figura 21) foi descrita por uma função polinomial de quarta ordem.

$$AFE = 0,08 - 0,07 * TTN + 0,03 * TTN^2 - 0,003 * TTN^3 + 0,00004 * TTN^4 \quad (22)$$

Figura 22-Evolução da área foliar específica (AFE) em função do tempo térmico normalizado (TTN) com seu respectivo modelo ajustado.

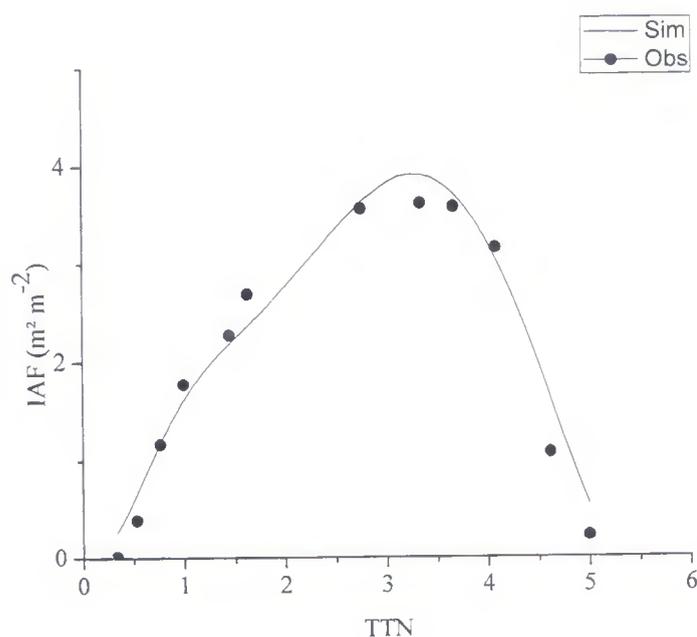


A AFE mostrou um padrão cíclico de evolução ao longo do ciclo cultural. Os valores de AFE decresceram desde o início do ciclo cultural até a antese da primeira flor. Posteriormente verificou-se um acréscimo notório desses valores até cerca do estado de desenvolvimento normalizado próximo de quatro, seguido de um novo decréscimo. Esse comportamento foi semelhante à área foliar específica encontrado por Martorano (2007) na cultura da soja (*Glycine max*) e por Vieira et al (2009) na cultura do pimentão (*Capsicum annuum* L.), onde obtiveram um $r^2=0,58$ na fase de calibração.

Índice de área foliar (IAF)

Os valores simulados através da equação proposta por De Melo Abreu (1994) na fase de calibração do modelo (figura 22), apresentou ótimo desempenho do modelo em simular a dinâmica do IAF, esta afirmação pode ser confirmada através do índice de confiança (c) de 0,98, a raiz do erro quadrático médio (REQM) de 13,20% e a eficiência do modelo (EM) de 0,97 corrobora esta afirmação.

Figura 23-Evolução do índice de área foliar (IAF) simulado (—) e observado (●) em função do tempo térmico normalizado (TTN), nas condições de solo e clima do Município de Castanhal, Pará, durante a fase de calibração no ano de 2011.

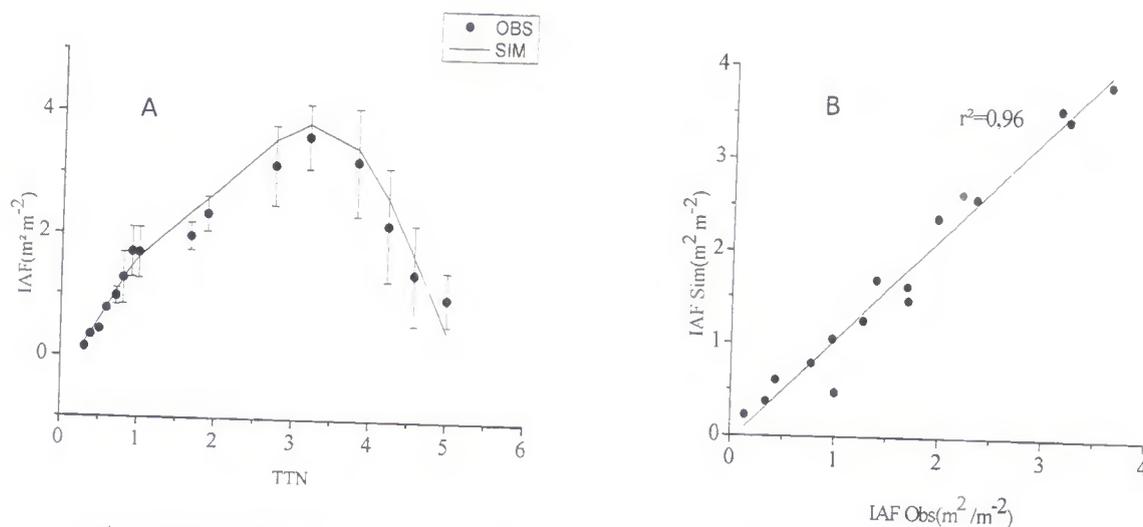


O IAF máximo ocorreu próximo ao enchimento de grãos representado pelo TTN=3. Os valores reportados por Bastos et al (2002) para as cultivares Gurguéia e Mulato nas condições do semiárido do Piauí oscilam em torno de $3,0\text{m}^2\text{ m}^{-2}$ entre 43 e 47 DAS. Souza (2011) apresentou valores de IAF máximos superiores para plantas em cultivo exclusivo em um experimento no semiárido brasileiro. Em plantas C3, como é o caso do feijão caupi, um

IAF igual ou superior a 3 indica que a planta tem uma cobertura foliar suficiente para uma máxima interceptação de luz (BASTOS et al, 2002).

A evolução do IAF observado e simulado para os dois anos de estudo (2011 e 2012) está referenciada na Figura 23, onde é possível visualizar claramente um excelente desempenho na estimativa do IAF durante o crescimento vegetativo e na curva de senescência foliar, porém houve uma pequena superestimativa dos valores simulados em relação aos observados na estimativa do IAF durante a fase reprodutiva, mais precisamente, entre o TTN 1,67 ao 3,18, contudo, apenas um valor estimado ficou fora do desvio padrão dos valores observado.

Figura 24-Evolução do índice de área foliar (IAF) simulado e observado em função do tempo térmico normalizado (TTN) (A), e índice de área foliar simulada (IAFSim) versus índice de área foliar observada (IAFObs) (B) nas condições de solo e clima do Município de Castanhal-PA.



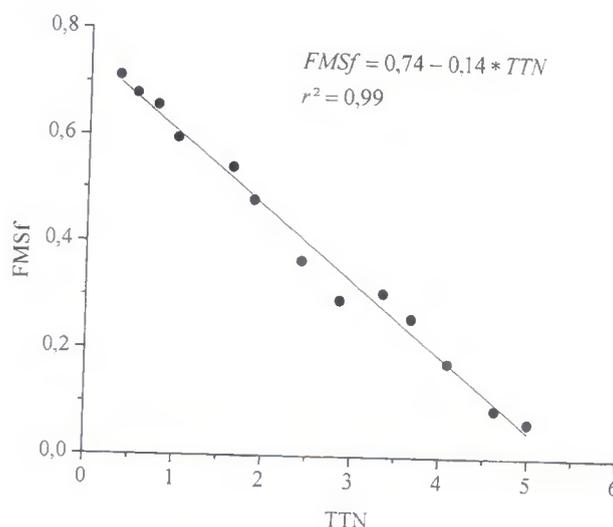
A curva estimada comporta-se de forma semelhante à observada, fato que contribuiu para o bom desempenho do modelo, determinado pelos valores do índice de confiança (c) de 0,96. O modelo atinge boa precisão e elevada exatidão, onde o RMSE foi de 14,58%, elevada concordância dos dados, alta capacidade de descrição da realidade, evidenciado pelos valores de $d=0,98$ e $EM=0,95$.

Matéria seca folha (MSf)

Para a simulação de biomassa nas folhas foi necessário ajustar e derivar a função para a fração de matéria seca das mesmas (Figura 24), a qual demonstra que a variação da fração de massa seca alocada nas folhas (FMSf) foi descrita por uma função linear negativa, pois, no início a biomassa é direcionada a formação do aparelho fotossintetizante e posteriormente com o aparecimento dos outros órgãos há redução da FMSf até o fim do ciclo. Padrões

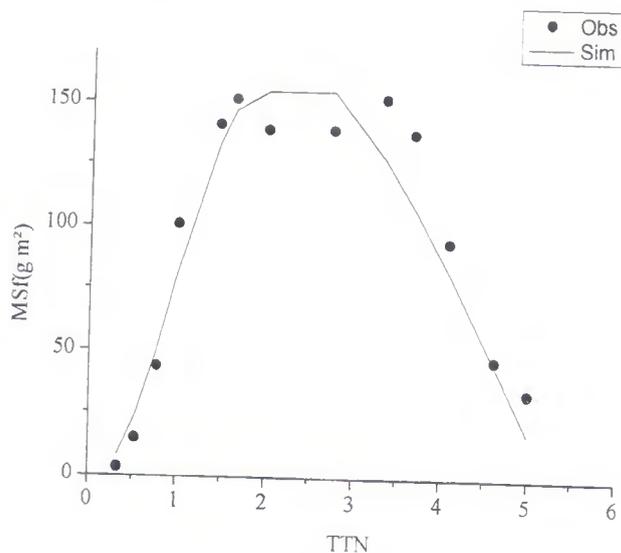
semelhantes foram obtidos por Leite e Virgens Filho (2004) experimentalmente em casa de vegetação.

Figura 25-Comportamento da fração de matéria seca da folha (FMSf) do feijão caupi cv.BR3 tracuateua , com sua respectiva função ajustada.



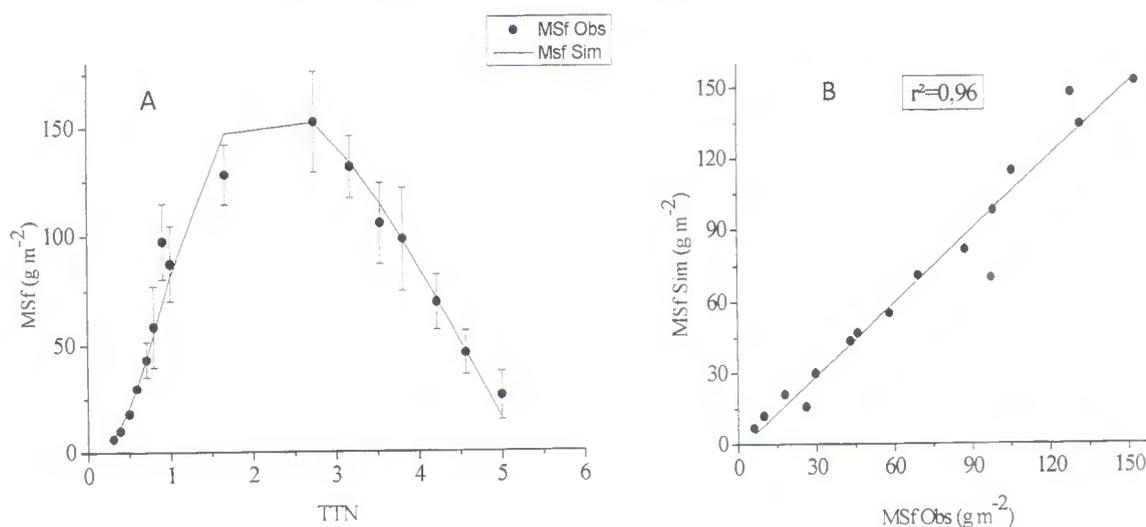
A evolução da matéria seca foliar na fase de calibração, ao longo do ciclo de cultivo (Figura 25), seguiu tendência exponencial com elevado índice de confiança (c) de 0,98 , raiz do erro quadrático médio (REQM) de 11,02 % e a eficiência do modelo (EM) de 0,98. O acúmulo de MSf foi intensificado a partir do TTN=0,50, sendo crescente até o TTN=3. Desse modo, o referido período é caracterizado como de rápido crescimento foliar, onde assimilados são translocados e alocados para as folhas de maneira intensa.

Figura 26-Evolução da matéria seca das folhas (MSf) em $g\ m^{-2}$ simulado(—) e observado(●) em função do tempo térmico normalizado (TTN), nas condições de solo e clima do Município de Castanhal, Pará, durante a fase de calibração no ano de 2011.



Na Figura 26 estão apresentados os valores observados e estimados de matéria seca de folhas, onde notou-se bom ajuste entre os valores com boa precisão ótima exatidão ($EM=0,96$, $RMSE=13,40\%$, $c=0,98$). De forma geral os valores estimados ficaram dentro do desvio padrão dos valores observados, com exceção de dois pontos no período entre o $TTN=0,91$ e 3. Esta variação pode ser explicada pelo fato da determinação de matéria seca ser um processo destrutivo, ou seja, a cada coleta são selecionadas novas plantas. Segundo Zhang et al. (2002), a determinação de matéria seca com amostras destrutivas pode originar erro de amostragem ou inconsistência nas mudanças da matéria seca.

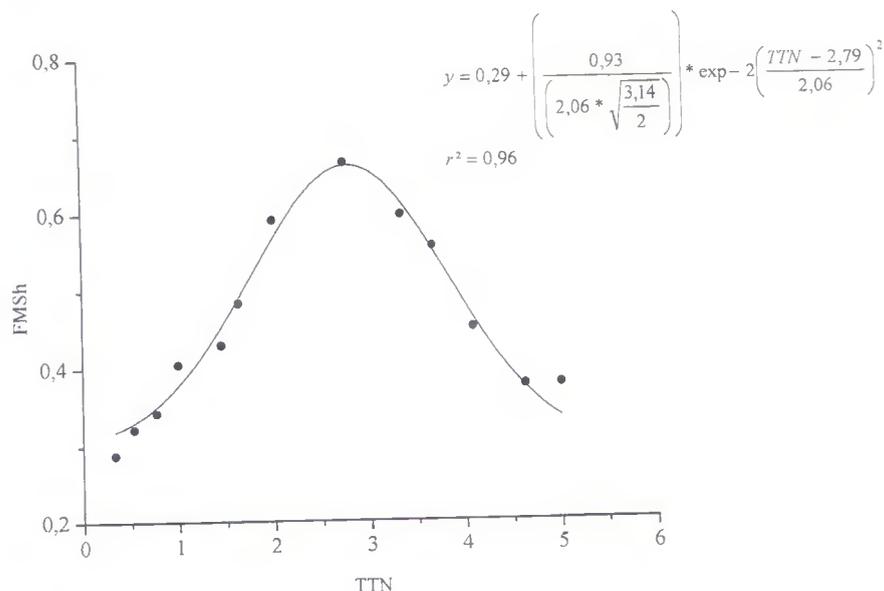
Figura 27-Evolução da matéria seca das folhas (MSf) simulada(—) e observada (●) em função do tempo térmico normalizado (TTN)(A) e matéria seca da folha observada (MSfObs) versus matéria seca da folha simulada(MSfSim)(B) nas condições de solo e clima do Município.



Matéria seca das hastes (MSh)

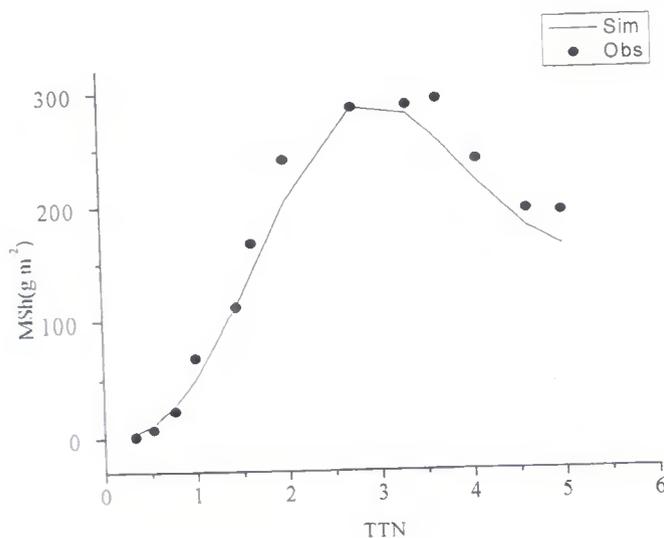
A fração de matéria seca das hastes foi descrita por uma função exponencial a qual foi derivada para a simulação de biomassa nas hastes. Houve maior translocação de fotoassimilados (63%) para as hastes até o $TTN=2,74$ (Figura 27), pois, posteriormente inicia-se o período de enchimento de grãos, onde ocorre forte concorrência por assimilados.

Figura 28-Comportamento da fração de matéria seca das hastes (FMS_h) do feijão caupi cv.BR3 tracuateua , com sua respectiva função ajustada.



A Figura 28 representa o comportamento da biomassa das hastes, dos dados observados e simulados pelo modelo de De Melo Abreu na fase de calibração, onde foi possível perceber que a produção de matéria seca das hastes teve maior acúmulo após o TTN=1 (Botão floral), pois durante essa fase à formação de estruturas de sustentação anexas ao caule, como hastes florais, que fizeram com que a mesma atingisse seu pico perto do TTN=3,54 (enchimento dos grãos), onde posteriormente ocorreu um declínio na produção, principalmente porque o caupi passou a investir os fotoassimilados na produção de matéria seca de vagem, que passa a ser o dreno.

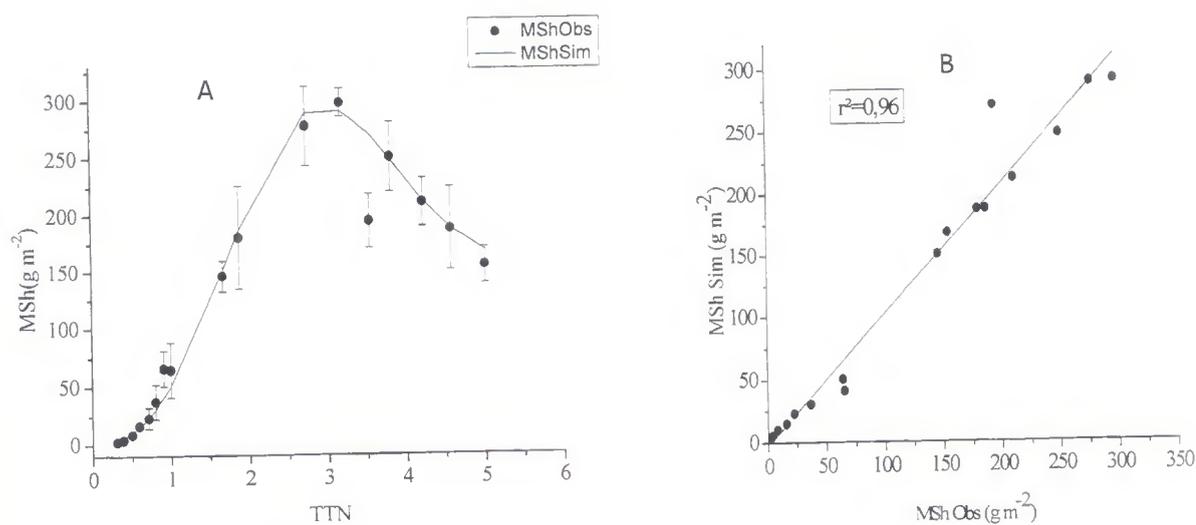
Figura 29-Evolução da matéria seca das hastes (MSh) em g/m² simulado e observado em função do tempo térmico normalizado (TTN), nas condições de solo e clima do Município de Castanhal, Pará, durante a fase de calibração no ano de 2011.



De forma geral, o acúmulo de matéria seca das hastes estimada pelo modelo concordou bem com os resultados observados nas coletas realizadas e ficaram dentro do desvio padrão dos dados observados; com exceção de dois pontos no período do TTN=0,91 e 3,5, no entanto, verifica-se, um desvio padrão relativamente pequeno entre as repetições nestes dias (Figura 29), indicando pequena possibilidade de ocorrência de erro nas suas determinações; contudo, estes valores podem ser decorrentes de erro na amostragem (ZHANG et al., 2002).

Os valores do índice de confiança (c) foi de 0,98, o RMSE de 11,60%, o $d=0,98$ e o $EM=0,95$ indicam bom ajuste entre os valores observados e os estimados de matéria seca das hastes.

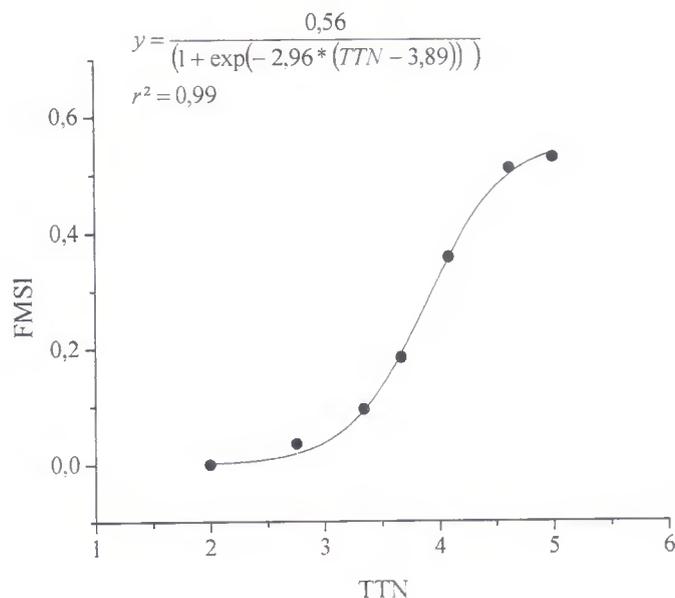
Figura 30-Evolução da matéria seca das hastes (MSh) simulada e observada em função do tempo térmico normalizado (TTN) (A) e matéria seca da hastes observada (MSfObs) versus matéria seca da hastes simulada (MSfSim) (B) nas condições de solo e clima do Município de Castanhal.-PA.



Matéria seca dos legumes

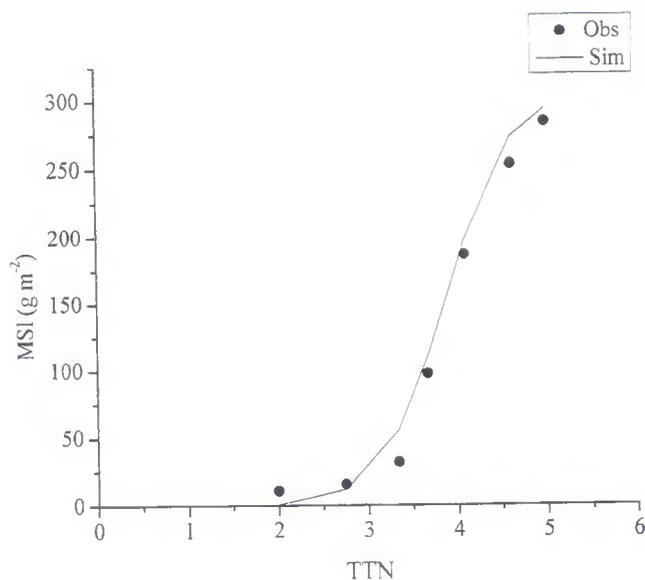
Observa-se, na Figura 30, que correu lenta ampliação, do TTN=2 até o 3, tendo ocorrido, após esse período, maior acúmulo até TTN \approx 4,7, com posterior tendência à estabilização. Este crescimento lento inicial ocorreu devido ao investimento MSF e à formação de estruturas de sustentação anexas ao caule, como hastes florais, que atingiram seus picos perto do TTN=3. O crescimento e a estabilização verificados posteriormente ocorreram principalmente porque o caupi passou a investir os fotoassimilados na produção de MSI, que passa a ser o dreno principal até sua maturação. A tendência de maior percentagem de massa seca dos frutos nessa época em relação aos demais órgãos também foi constatada por Fontes et al. (2005); Silva et al., (2010); Lopes et al. (2011) e Linhares (2011).

Figura 31-Comportamento da fração de matéria seca dos legumes (FMSI) do feijão caupi cv.BR3 tracueteua, com sua respectiva função ajustada.



A presença de legumes foi constatada na coleta realizada aos 42 DAS no período do TTN=2 (Figura 31), mesmo período verificado por Freitas (2012) no feijão caupi no tratamento sem veranico. Em seguida, as plantas apresentaram, após o TTN=3, um pico de acúmulo de biomassa de legumes, apresentando um padrão exponencial, também encontrado por Freitas 2012.

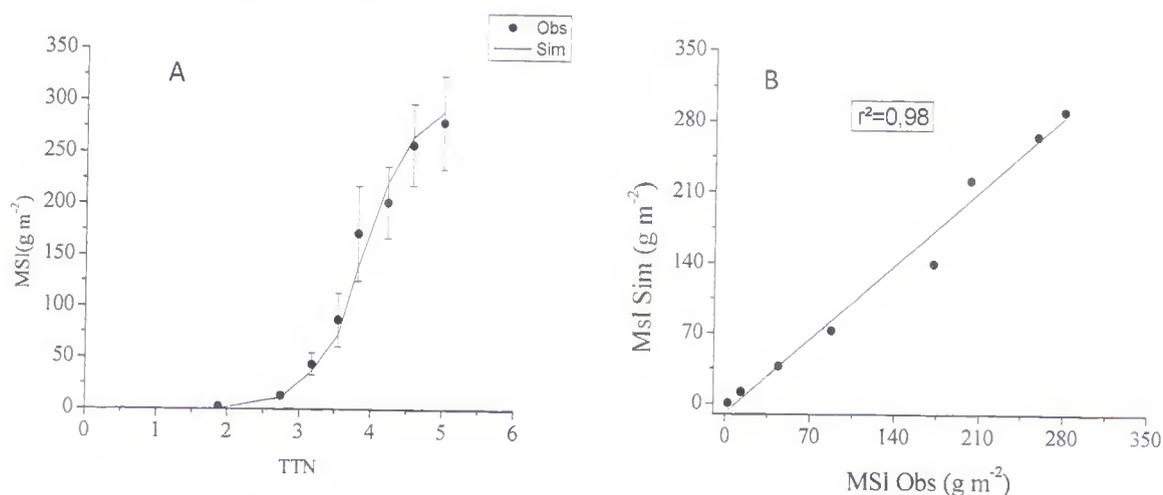
Figura 32-Evolução da matéria seca dos legumes (MSI) em g m^{-2} simulado e observado em função do tempo térmico normalizado (TTN), nas condições de solo e clima do Município de Castanhal, Pará, durante a fase de calibração no ano de 2011.



As estimativas ficaram muito próximas dos valores observados (Figura 32), fato este observado pelos valores do índice de confiança (c) de 0,98, RMSE de 11,60%, $d=0,98$ e $EM=0,95$. De modo geral o modelo simulou a MSI de forma exata e precisa, apesar de Wolschick et al. (2007) afirmaram que o processo de formação do grão é muito complexo e sensível às condições internas da planta e do meio ambiente, o que torna a simulação do acúmulo de matéria seca, neste órgão, mais complicada, quando comparado com outros órgãos da planta.

De forma semelhante ao que foi obtido neste trabalho Arora e Gajri (2000), encontraram valores de RMSE para o enchimento do grão de milho entre 10 e 35%, e consideraram o bom desempenho do modelo tendo em conta o desconhecimento e a complexidade dos processos de produção.

Figura 33-Evolução da matéria seca dos legumes (MSI) simulada e observada em função do tempo térmico normalizado (TTN)(A) e matéria seca da hastes observada (MSIObs) versus matéria seca da hastes simulada (MSISim) (B) nas condições de solo e clima do Município de Castanhal-PA.



O modelo de De Melo Abreu adaptado para cultura do caupi simulou satisfatoriamente a partição de matéria seca das estruturas da cultura em questão nas condições de solo e clima do município de Castanhal, Pará (Tabela 15), pois os valores do índice de confiança (c) foram maiores que 0,90, os valores de RSME (10-20) representando um modelo com boa precisão, o $d > 0,90$ e o $EM > 0,90$ indicam bom ajuste entre os valores observados e os estimados de matéria seca.

Portanto esses modelos podem ser utilizados como alternativa aos modelos mais complexos usados como ferramenta de previsão de crescimento, rendimento e até mesmo na previsão de safra, quando utilizado em conjunto com um modelo de circulação geral da atmosfera em escala regional.

Tabela 14-Estatística do desempenho do modelo para a simulação do índice de área foliar(IAF) (m^2/m^2), da matéria seca das folhas (MSf), das hastes (MSh) e dos legumes (MSl) ($g\ m^{-2}$), na fase de calibração e validação dos modelos.

Variáveis simuladas	Fase Calibração			Fase validação		
	c	ME	RSME(%)	c	ME	RSME(%)
IAF	0,97	0,97	13,20	0,97	0,95	14,58
MSf	0,98	0,98	11,02	0,98	0,96	13,40
MSh	0,96	0,96	12,43	0,97	0,96	16,22
MSI	0,99	0,98	11,47	0,98	0,98	11,60

3.4 CONCLUSÕES

Considerando as condições climáticas ocorridas no período do experimento, concluiu-se que:

Os modelos apresentaram bom desempenho e eficiência; a deficiência de água afeta a massa seca do feijão caupi, porém não influencia o deslocamento da fração nas partes da planta.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; BASTOS, E. A.; SENTELHAS, P. C.; SILVA, A. A. G. da. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para Parnaíba e Teresina, Piauí. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 63-68, 2003.

ALBERTO C. M.; STRECK N.A.;WALTER L.C.; ROSA H.T.;BRACKMANN A.; OLIVEIRA F.B.; ZANON A.L; FAGUNDES L. K. Resposta à vernalização de cultivares brasileiras de trigo. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.2, p.535-543, 2009.

ARORA, V. K.; GAJRI, P. R. Assessment of a crop growth-water balance model for predicting maize growth and yield in a subtropical environment. **Agricultural Water Management**, v. 46, n. 2, p.157-166, 2000.

AUMONDE, T.Z., PEDÓ,T., LOPES, N.F, MORAES, D.M., PEIL, R.M.N. Partição de matéria seca em plantas do híbrido de mini melancia Smile® enxertada e não enxertada **Revista Brasileira de Biociências.**, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 387-391, jul./set. 2011.

BASTOS, E. A.; RODRIGUES, B.H.N., ANDRADE JUNIOR,A.S.CARDOSO, M.J. Parametros de crescimento do feijão caupi sob diferentes regimes hídricos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.22,n1,p43-50,2002.

BERGAMASCHI, H.; VIEIRA, H.J.; OMETTO, J.C.; ANGELOCCI, L.R.; LIBARDI, P.L.. Deficiência hídrica em feijoeiro. I. Análise de crescimento e fenologia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v. 23, p. 733-743, 1988.

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

BEZERRA F.M.L., ARARIPE M.A.E., TEÓFILO E.M., CORDEIRO L.G., SANTOS J.J.A. Feijão caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agronômica**, Vol. 34, NO.1 p. 5-10, 2003.

BINDI, M., S. T. R. . H. J. "Analysis of seed growth by linear increase in harvest index." **Crop Science**, pp. 486-493. 1999.

BOOTE, K.J.; MINGUEZ, M.I.; SAU, F. Adapting the CROPGRO legume model to simulate growth of faba bean. **Agronomy Journal**, v.94, p.743-756, 2002.

BORGES P.R.S., SABOYA R.C.C., SABOYA L.M. F, SANTOS E. R., SOUZA S.E. A. Distribuição de massa seca e rendimento de feijão-caupi inoculadas com rizóbio em gurupi, **TOI Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 1, p. 37-44, jan.-mar., 2012.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CRAUFURD, P. Q. and T. R. WHEELER. 1999. "Effect of drought and plant density on radiation, interception, radiation-use efficiency and partitioning of dry matter to seeds in cowpea." **Experimental Agriculture**, pp. 309-325.

- CRUZ P.G., SANTOS P.M., PEZZOPANE J. R. M., OLIVEIRA P.P.A., ARAUJO L.C. Modelos empíricos para estimar o acúmulo de matéria seca de capim-marandu com variáveis agrometeorológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.7, p.675-681, jul. 2011.
- DE MELO-ABREU, J. P.; ABREU, F. M.; CAMPBELL, G. S. Assimilate partitioning in spring wheat under Mediterranean conditions. In: MONTEITH, J. L.; SCOTT, R. K. **Resource capture by crops**. Unsworth: Nottingham University Press, 1994. p. 387-388.
- ENDRES, L.; SOUZA, J. L.; TEODORO, L.; MARROQUIM, P. M. G.; SANTOS, C. M.; BRITO, J. E. D. Gas exchange alteration caused by water deficit during the bean reproductive stage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.11-16, 2010.
- FERREIRA W.P.M., COSTA L. C. SOUZA C. F. Teste de um modelo agrometeorológico para estudo da influência da variabilidade climática na cultura da soja. **Revista Ceres**. p. 206-213, 2007.
- FONSECA E.L.; PONZONI F.G.; FORMAGGIO A.R. Modelo agrometeorológico espectral para estimativa da disponibilidade de forragem no bioma "Campos Sulinos". **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.15, p.241-249, 2007.
- FONTES, P. C. R.; DIAS, E. N.; SILVA, D.J. H. Dinâmica do crescimento, distribuição de matéria seca na planta e produção de pimentão em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 23, p. 94-99, 2005.
- FRANÇA, S.; BERGAMASCHI, H.; ROSA, L.M.G. Modelagem de crescimento de milho em função da radiação fotossinteticamente ativa e do acúmulo de graus-dia, com e sem irrigação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 59-66, 1999.
- FREIRE FILHO, F.R., J.A.A. LIMA, and V.Q. RIBEIRO. **Feijão caupi avanços tecnológicos**. Brasília-DF: EMBRAPA Meio-Norte. 2005.
- FREITAS, R.M.O. **Crescimento e produção de feijão caupi sob efeito de veranico nos sistemas de plantio direto e convencional**. 2012. 83 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2012.
- GEPTS, P.; FERNÁNDEZ, F. Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Cali: CIAT, 1982. 10 p. (Mimeografado) HAAG, H.P.; MALAVOLTA, E.; GARGANTINI, H.; BLANCO, H.G. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 26, n. 30, p. 380-391, 1967.
- HALL, A. E. Breeding for heat tolerance. **Plant Breed. Rev.**, 10 (1): 129-168. 1992.
- JAMIESON, P.D.; POTER, J.R.; WILSON, D. A test of the computer simulation model ARC-WHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. **Field Crops Research**, n. 27, p. 337-350, 1991.
- JANSSEN, P. H. M., HEUBERGER, P. S. C. Calibration of Process-Oriented Models, **Ecol Model**, 83(1-2), 55-66. 1995.

- LARCHER W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima. 531p. 2004.
- LEITE, M.L.; RODRIGUES, J.D.; VIRGENS FILHO, J.S. Efeitos do déficit hídrico sobre a cultura do caupi, cv. EMAPA-821. III - Produção. **Revista de Agricultura**. Piracicaba, v.75, n.1, p.9-20, 2000.
- LEITE M.L; VIRGENS FILHO J.S. Produção de matéria seca em plantas de caupi (*vigna unguiculata* (l.) walp) submetidas a déficits hídricos. **Ciências exatas da terra**, ponta grossa, 10 (1): 43-51, abr. 2004.
- LINHARES, C. M. S . **Crescimento do feijão caupi sob efeito dos herbicidas fomesafen e bentazon + Imazamox**. Mossoró, 2011. Monografia (Graduação em Agronomia) UFERSA..
- LOAGUE, K.; GREEN, R. E. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. **Journal of Contaminant Hydrology**, n. 7, p. 57-73, 1991.
- LOPES, W. A. R.; NEGREIROS, M. Z.; DOMBROSKI, J. L. D.; RODRIGUES, G. S. O.; SOARES, A. M.; ARAÚJO, A. P. Análise do crescimento de tomate SM-16 cultivado sob diferentes coberturas de solo. **Horticultura Brasileira**, v. 29, 554-561, 2011.
- LYRA, G.B.; ZOLNIER, S.; COSTA, L.C. da; SEDIYAMA, G.C.; SEDIYAMA, M.A.N. Modelos de crescimento para alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em sistema hidropônico sob condições de casa de (1989) vegetação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 6977, 2003.
- MARTORANO, L. G. **Padrões de resposta da soja a condições hídricas do sistema solo-planta-atmosfera, observados no campo e simulados no sistema de suporte à decisão DSSAT**. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS, p. 170. 2007.
- MATTOS, J. L. S.; GOMIDE, J. A.; HUAMAN, C. A. M. Crescimento de espécies do gênero *Brachiaria*, sob déficit hídrico, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, p.746-754, 2005.
- MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M.G. **Fisiologia Vegetal**. EPU/EDUSP, São Paulo. 1979. v. 1, p. 331-350.
- MARQUES P.A.A; FRIZZONE J. A. Modelo computacional para determinação do risco econômico em culturas irrigadas. **Acta Scientiarum** 27: 725-733. 2005.
- MENDES, R. M. S.; TÁVORA, F. J. A. F.; PITOMBEIRA, J. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Relações fonte - dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 38, n. 1, p. 95-103, 2007.
- MOURA J.Z.; PÁDUA L.E.M., MOURA S.G., TORRES J.S., SILVA P.R.R. Escala de desenvolvimento fenológico e exigência térmica associada a graus-dia do feijão-caupi. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 3, p. 66-71, jul-set., 2012.

NASCIMENTO, S. P. **Efeito do déficit hídrico em feijão-caupi para identificação de genótipos com tolerância à seca.** 2009. 112p. Dissertação de Mestrado. Teresina, PI. Universidade Federal do Piauí, 2009.

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

NASCIMENTO, S.P., E.A. BASTOS, ARAÚJO E.C.E, F.R. FREIRE FILHO, and E.M. SILVA. "Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi." **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, pp. 853-860. 2011.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 425p.

OLIVEIRA G.A., ARAÚJO W. F., CRUZ P.L.S., SILVA W.L.M., FERREIRA G. B. Resposta do feijão-caupi as lâminas de irrigação e as doses de fósforo no cerrado de Roraima **Revista Ciencia Agronomica**, v. 42, n. 4, p. 872-882, out-dez, 2011.

PEDREIRA, B.C.; PEDREIRA, C.G.S.; BOOTE, K.J.; LARA, M.A.S.; ALDERMAN, P.D. Adapting the CROPGRO perennial forage model to predict growth of *Brachiaria brizantha*. **Field Crops Research**, v.120, p.370-379, 2011.

RESENDE, M.; HENDERSON, D.W. FERERES, E. Frequência de irrigação e produção de feijão Kidney. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.16, n.3, p.363-370, 1981.

ROSEMBERG, N. J.; BLAD, B. L.; VERMA, S. B. **Microclimate: the biological environment**. 2.ed. New York: John Wiley, 1983. 495 p.

SAMPAIO, L. S.; BRASIL, E. C. Exigência nutricional do feijão-caupi. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2. Belém - PA: Anais do II CONAC. 2009.

SILVA, A. J.; UCHÔ, S.C.P.; ALVES, J.M.A.; LIMA A.C.S., SANTOS, C.S.V.; OLIVEIRA, J.M.F.; MELO V.F. Resposta do feijão-caupi à doses e formas de aplicação de fósforo em Latossolo Amarelo do Estado de Roraima . **Acta Amazonica**, Manaus, v. 40. n. 1, p. 31-36, 2010.

SILVA, J. A. L.; NEVES, J. A. Produção de feijão-caupi semi-prostrado em cultivos de sequeiro e irrigado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, vol. 6, núm. 1, enero-marzo, pp. 29-36 Universidade Federal Rural de Pernambuco Pernambuco, Brasil. 2011.

SINCLAIR, T.R. 1986. "Water and nitrogen limitations in soybean grain production: I. Modelo development." **Field Crops research**, pp. 125-141.

SOUZA, L.S.B. **Crescimento, necessidade hídrica e eficiência do uso da água do milho e do feijão caupi em sistemas de cultivo exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro.** Dissertação de Mestrado de pós graduação em Meteorologia Agrícola da Universidade federal de Viçosa. 2011.

SOUZA L.S.B , MOURA M.S.B. , SILVA T.G.F. , SOARES J. M., SANTOS W.S. Ajuste do modelo de crescimento expolinear para o feijão caupi no semiárido brasileiro. In: XV

CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA–Aracaju – SE- 02 a 05 de julho de 2007.

SOUZA, P. I. de; EGLI, D. B.; BRUENING, W. P. Water stress during filling and leaf senescence in soybean. **Agronomy Journal**, v.89, n.5, p.807-812, 1997.

SUBBARAO, G.V.; JOHANSEN, A.C.; SLINKARD, R.C.; RAO, N.; SAXENA, N.P.; CHAUHAN, Y.S. Strategies for improving drought resistance in grain legumes. **Critical Review in Plant Science**, Pearl River, v.14, p.469-529, 1995.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: ARTMED, 719p. 2004.

TONATO, F.; BARIONI, L.G.; PEDREIRA, C.G.S.; SILVA, O.D.D. da; MALAQUIAS, J.V. Desenvolvimento de modelos preditores de acúmulo de forragem em pastagens tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.522-529, 2010.

TURK, K.J.; HALL, A.E.; ASBELL, C.W. Drought adaptation of cowpea. I. Influence of drought on seed yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 413-420, 1980.

TRENTIN, R; SCHREIBER F.; STRECK N. A.; BURIOL N. A.. Soma térmica de subperíodos do desenvolvimento da planta de melancia. **Ciência Rural**, v. 38, n. 09, p. 2464-2470, 2008.

VIEIRA, M.I.; DE MELO J.P.; FERREIRA M.E.; MONTEIRO A.A. Dry matter and área partitioning, radiation interception and radiation- use efficiency in open-filde Bell pepper. **Scientia horticulturae** 121 p.404-409, 2009.

WANG J.;GAO S.;YUAN J, MA F.Simulation of dry matter accumulation, partitioning and yield prediction in processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Australian Journal of crop Science**, issn:1835-2707,p 93-100,2012.

WANG, J. Y. A critique of the heat unit approach to plant response studies. **Ecology**, Washington, v. 41, n. 4, p. 785- 790, 1960.

WIECHERS D., KAHLEN K., STU" TZEL H. Dry matter partitioning models for the simulation of individual fruit growth in greenhouse cucumber canopies. **Annals of Botany** 108: 1075–1084, 2011.

WILMOTT, C.J., S.G. ACKLESON, R.E. DAVIS, J.J. FEDDEMA, K.M. KLINK, D.R. LEGATES, J. O'DONNELL, and C.M. ROWE. "Statistics for the evaluation and comparison of models." **Journal of Geophysical Research**, pp. 8995-9005. 1985.

WOLSCHICK, D.,MARTINEZ, M.A., FONTES, P.C.R, MATOS, A. T. Implementação e teste de um modelo mecanístico de simulação do crescimento e desenvolvimento de plantas de milho **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.11, n.3, p.271–278, 2007.

ZAMSKI, E.; SCAFFER, A. A. **Photoassimilate distribution in plants and crops**.New York: Marcel Dekker, 905p. 1996.

ZHANG, Y.; CHANGSHENG, L.; ZHOU, X.; MOORE III, B. A simulation model linking crop growth and soil biogeochemistry for sustainable agriculture. **Ecological Modelling, Copenhagen**, v.151, n.1, p.75-108, 2002.