

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
METEOROLOGIA**



**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Rafaela Ribeiro Barbosa**

**CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO AQUACROP  
PARA AS CULTURAS DE GLIRICÍDIA E CANAFÍSTULA  
CULTIVADAS NO SEMIÁRIDO DO NORDESTE DO BRASIL**

**Campina Grande, Março de 2020**



Universidade Federal  
de Campina Grande

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO AQUACROP PARA AS  
CULTURAS DE GLIRICÍDIA E CANAFÍSTULA CULTIVADAS NO  
SEMIÁRIDO DO NORDESTE DO BRASIL**

RAFAELA RIBEIRO BARBOSA

**ORIENTADOR:** DR. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA

CAMPINA GRANDE-PB

Março de 2020

RAFAELA RIBEIRO BARBOSA

**CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO AQUACROP PARA AS  
CULTURAS DE GLIRICÍDIA E CANAFÍSTULA CULTIVADAS NO  
SEMIÁRIDO DO NORDESTE DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Área de concentração: **Agrometeorologia**

Subárea: Necessidade hídrica de culturas

CAMPINA GRANDE-PB

Março de 2020

B238c      Barbosa, Rafaela Ribeiro.  
              Calibração e validação do modelo AquaCrop para as culturas de  
              gliricídia e canafistula cultivadas no semiárido do Nordeste do Brasil /  
              Rafaela Ribeiro Barbosa. – Campina Grande, 2022.  
              49 f. : il. color.

              Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de  
              Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2022.  
              "Orientação: Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva".  
              Referências.

              1. Cultura – Forrageiras – Gliricídia e Canafistula. 2. Modelagem  
              Agrícola. 3. Agrometeorologia. 4. Micrometeorologia. 5. Parametrização.  
              I. Silva, Vicente de Paulo Rodrigues da. II. Título.

CDU 633.39(043)

RAFAELA RIBEIRO BARBOSA

CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO AQUACROP PARA AS  
CULTURAS DE GLIRICÍDIA E CANAFÍSTULA CULTIVADAS NO SEMIÁRIDO  
DO NORDESTE BRASILEIRO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 02/03/2020

BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Prof. Dr. MADSON TAVARES SILVA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Prof. Dr. GEOVERGUE RODRIGUES DE MEDEIROS  
Instituto Nacional do Semiárido

  
Prof. Dr. FABRÍCIO DANIEL DOS SANTOS SILVA  
Instituto de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Alagoas

## DEDICATÓRIA

*A Deus por ser minha luz e fortaleza, a Nossa Senhora por ser minha guia, ao meu querido Pe. Cicero a quem sou devota, a minha mãe Eridan Ribeiro, meu pai Rui Barbosa, meus irmãos Arthur, Thiago, Emanuel e Roberto e ao meu amado esposo Jean Carlos, dedico.*

“O inimigo pode até tentar, mas nunca vai te derrubar...Maria passa na frente”.

-Pe. Marcelo Rossi-

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar meu imenso agradecimento a Deus, que guiou-me nessa jornada e cuidou de mim todas as horas.

A Nossa Senhora que tem sido a minha mãe, sempre passando a frente.

Ao Pe. Cicero a quem sou devota e tenho muito carinho.

A minha mãe Eridan que sempre esteve comigo, me apoiando, aconselhando, orientando e cuidando de mim.

Ao meu pai Rui, que me apoiou e ajudou sempre que necessitei durante esta fase.

Aos meus irmãos Arthur, Thiago, Emanuel e Roberto que são meus amores e meus filhotes. Amo infinitamente cada um de vocês.

Ao meu amado esposo Jean Carlos pela paciência, ajuda e compreensão. Por todo cuidado e incentivo sempre estando ao meu lado quando preciso e necessito.

A amiga Silvia Dantas pelo companheirismo, risadas, frustrações e positividade.

A minha companheira de quarto em Campina Grande Ester Kelly por todo apoio e alegrias compartilhadas.

A equipe do Instituto Nacional do Semiárido, Carlos, Romildo, George, João, Helder, Dra. Jucilene e todos que de boa vontade e disponibilidade ajudaram a tornar este trabalho real, me auxiliando em campo e no laboratório.

A pesquisadora do INSA Dra. Neila que foi excepcional e por todos os ensinamentos!

Ao INSA por ter permitido a realização da minha pesquisa.

A professora Dra. Regina Aragão, que me inspirou a seguir e trilhar o caminho que eu realmente desejava.

Ao professor Dr. Renilson Targino pelas belas e exemplares aulas, pelos ensinamentos e apoio.



Ao professor e orientador Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva pela orientação durante o curso.

Ao professor e co-orientador Dr. Geovergue Medeiros pelos valiosos ensinamentos, disposição, atenção e colaboração. Meu obrigada!!!!

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa.

À Universidade Federal de Campina Grande e os professores da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas por suas contribuições durante o curso.

Por fim, agradeço a todos que colaboraram direta e indiretamente nesta etapa da minha vida e agora RUMO AO DOUTORADO!

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>20</b>
2.1 Geral .....	20
2.2 Específico .....	20
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>21</b>
3.1 O modelo Aquacrop .....	21
3.2. A Canafístula .....	22
3.2.1 Características gerais .....	22
3.3 A Gliricídia .....	23
3.3.1 Características gerais .....	23
3.3.2 Crescimento e produção da Gliricídia .....	24
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>26</b>
4.1 Região de estudo .....	26
4.2 Análise do solo.....	27
4.3 Condução dos experimentos e variáveis analisadas .....	28
4.3.1 Tratamentos e delineamento estatístico .....	28
4.3.2 Avaliação morfométrica .....	30
4.3.3 Fitomassa.....	30
4.3.4 Pré secagem e obtenção de massa seca .....	31
4.3.5 Análise de matéria mineral .....	31
4.4 Análises das propriedades do solo.....	31
4.5 Calibração do modelo AquaCrop .....	33
4.6 Validação do modelo AquaCrop .....	33
<b>5.RESULTADOS .....</b>	<b>35</b>
5.1 Variáveis meteorológicas .....	35
5.2 Avaliação da massa seca .....	35
5.3 Análise de matéria mineral .....	36
5.4 Análises estatísticas .....	37
5.5 Modelagem do AquaCrop .....	41
5.5.1 Calibração do modelo AquaCrop .....	42
5.5.2 Validação do modelo AquaCrop .....	43
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>47</b>

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.</b> Características das unidades experimentais para a Gliricídia.....	<b>29</b>
<b>Quadro 2.</b> Características das unidades experimentais para a Canafístula.....	<b>30</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Área de estudo na Estação Experimental do INSA.....	<b>26</b>
<b>Figura 2.</b> Culturas Canafístula (a) e Gliricídia (b) para o período chuvoso.....	<b>27</b>
<b>Figura 3.</b> Culturas Canafístula (a) e Gliricídia (b) para o período seco.....	<b>27</b>
<b>Figura 4.</b> Coleta do solo (a) e homogeneização das amostras (b) na área experimental do INSA.....	<b>28</b>
<b>Figura 5.</b> Precipitação em Campina Grande para o ano de 2019. ....	<b>35</b>
<b>Figura 6.</b> Determinação da matéria seca para o período chuvoso e seco para a Gliricídia (a) e Canafístula (b) respectivamente.....	<b>35</b>
<b>Figura 7.</b> Determinação da matéria mineral para o período chuvoso e seco para a Gliricídia (a) e Canafístula (b).....	<b>36</b>
<b>Figura 8.</b> Comparação entre os valores observados e simulados pelo AquaCrop no processo de calibração final da Gliricídia.....	<b>42</b>
<b>Figura 9.</b> Comparação entre os valores observados e simulados pelo AquaCrop no processo de calibração final da Canafístula.....	<b>42</b>
<b>Figura 10.</b> Valores observados da Gliricídia em condições de campo com os simulados pelo AquaCrop para validação dos tratamentos.....	<b>43</b>
<b>Figura 11.</b> Valores observados da Canafístula em condições de campo com os simulados pelo AquaCrop para validação dos tratamentos.....	<b>43</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Propriedades químicas e de fertilidade do solo na área experimental.....	<b>32</b>
<b>Tabela 2.</b> Propriedades Físicas do solo na área experimental.....	<b>32</b>
<b>Tabela 3.</b> Média e desvio padrão das medidas morfométricas da Gliricídia e Canafístula com relação às espécies.....	<b>37</b>
<b>Tabela 4.</b> Média e desvio padrão das medidas morfométricas da Gliricídia e Canafístula no período chuvoso e seco.....	<b>38</b>
<b>Tabela 5.</b> Média e desvio padrão das medidas morfométricas da Gliricídia e Canafístula com relação ao tratamento.....	<b>39</b>
<b>Tabela 6.</b> Tabela Descritiva para peso de folha e de galho no período chuvoso e seco para Gliricídia.....	<b>40</b>
<b>Tabela 7.</b> Tabela Descritiva para peso de folha e de galho no período chuvoso e seco para a Canafístula.....	<b>40</b>
<b>Tabela 8.</b> Correlação de Pearson das medidas morfométricas da Canafístula e Gliricídia.....	<b>41</b>
<b>Tabela 9.</b> Estatísticas de validação do desempenho do modelo AquaCrop para a Canafístula.....	<b>44</b>
<b>Tabela 10.</b> Estatísticas de validação do desempenho do modelo AquaCrop para a Gliricídia.....	<b>44</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS

AP - Altura da Planta.

cm - Centímetro

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

cm<sup>3</sup> - Centímetro cúbico

cmol - Centimol

CO<sub>2</sub> - Dióxido de carbono

d - Índice de Willmott

DBC - Delineamento de Bloco Casualizados.

DC - Diâmetro do Caule

DCA - Departamento de Ciências Atmosféricas

dm<sup>3</sup> - Decímetro cúbico

FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura.

INSA - Instituto Nacional do Semiárido.

g - Gramas

ha - hectare

Kg - Quilo

m - Metro

mm - Milímetro

MS - Matéria seca

n - Número de observações.

NRMSE - Raiz do erro quadrático médio normalizado

NS - índice de eficiência de Nash-Sutcliffe

° - Grau

$\bar{O}$  - Média dos valores observados

O<sub>i</sub> - Valores observados em campo

°C - Grau Celcius

PAP -Parte Aérea da Planta

PB - Paraíba

PB - Proteína bruta

Pe - Erro de previsão

Pi - Valores simulados pelo AquaCrop

PM - Penman-Monteith

RMSE - Raiz do erro quadrado médio

RMSEN - raiz do erro quadrado médio normalizado

t - Tempo

T1- 1,0m x 1,0m

T2 - 1,0m x 0,5m

T3 - 1,0m x 1,5m

Tmax - Temperatura máxima do ar

Tmin - Temperatura mínima do ar

Tm - Temperatura média

Ton - Tonelada

UACA - Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas

UFMG - Universidade Federal de Campina Grande

UFPB - Universidade Federal da Paraíba

# **CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO AQUACROP PARA AS CULTURAS DE GLIRICÍDIA E CANAFÍSTULA CULTIVADAS NO SEMIÁRIDO DO NORDESTE DO BRASIL**

## **RESUMO**

Este estudo objetivou verificar a eficácia do AquaCrop na estimativa das etapas da modelagem para as culturas de Gliricídia e Canafístula no semiárido nordestino do Brasil. O experimento foi realizado no Instituto Nacional do Semiárido - INSA em Campina Grande-PB, onde dois experimentos ocorreram, um para período chuvoso e outro no período seco, ambos no ano de 2019, sendo os tratamentos utilizados os espaçamentos T1 (1,0m x 1,0m), T2 (1,0m x 0,5m) e T3 (1,0m x 1,5m). Houve ainda avaliação das características da planta buscando compreender seu comportamento e crescimento. A partir dos resultados determinou-se a simulação de biomassa total para ambas as culturas através do AquaCrop, que gerou resultados distintos para cada tratamento que foi calibrado e validado por meio de variáveis do clima, solo, cultura e manejo. Dentre os resultados encontrados nesta pesquisa, observou-se que as variáveis como peso da planta e área da copa apresentaram diferenças significativas entre as duas culturas. O teor de matéria seca também foi avaliado: sendo verificado maior porcentagem para a Canafístula, já com relação à proteína bruta, a Gliricídia apresentou valores superiores. O tratamento T1 para a Canafístula e Gliricídia apresentou maior estimativa de biomassa total entre os três tratamentos. Ademais, a simulação do modelo AquaCrop foi satisfatória por apresentar resultados excelentes na simulação para a biomassa das culturas estudadas.

**Palavras chave:** Modelagem agrícola; forrageiras; parametrização.



# **CALIBRATION AND VALIDATION OF THE AQUACROP MODEL FOR GLIRICIDIA AND CANAFÍSTULA CROPS GROWN IN THE SEMI-ARID NORTHEAST OF BRAZIL**

## **ABSTRACT**

This study aimed to verify the efficacy of AquaCrop in estimating the modeling stages for gliricidia and canafistula cultures in the semi-arid northeast of Brazil. The experiment was carried out at the National Institute of the Semiarid - INSA in Campina Grande-PB, where two experiments took place, one for the rainy season and the other in the dry season, both in 2019, and the treatments were used the spacings T1 (1.0m x 1.0m), T2 (1.0m x 0.5m) and T3 (1.0m x 1.5m). There was also an evaluation of the characteristics of the plant seeking to understand its behavior and growth. The results were determined to simulate total biomass for both crops through AquaCrop, which generated different results for each treatment that was calibrated and validated by climate, soil, crop and management variables. Among the results found in this study, it was observed that the variables such as plant weight and canopy area showed significant differences between the two crops. The dry matter content was also evaluated: with a higher percentage for Canafistula, in relation to crude protein, Gliricidia presented higher values. The T1 treatment for Canafistula and Gliricidia showed a higher estimate of total biomass among the three treatments. Moreover, the simulation of the AquaCrop model was satisfactory because it presented excellent results in the simulation for the biomass of the studied crops.

**Keywords:** Agricultural modeling; forage; Parameterization.

## 1 INTRODUÇÃO

A aplicação de modelos na agricultura possibilita a previsão de safras e tem grande relevância no setor público e privado uma vez que, podem antever a produção agrícola e as oscilações do mercado, melhorando práticas de manejo agrícola e uso de recursos. Assim, a modelagem tem adquirido maior visibilidade no momento atual principalmente em locais com possibilidade de mudanças climáticas em que as culturas podem manifestar mudanças morfofisiológicas com reflexo em relação a produtividade (LECERF et al., 2019).

As dúvidas geradas diante das incertezas nas decisões trouxeram a necessidade de desenvolvimento e aperfeiçoamento da modelagem agrícola estimulando os pesquisadores a criarem e proporem uma diversidade de modelos, desse modo, desde o início da modelagem modelos como AquaCrop (RAES et al., 2009), e alguns outros, são empregados na simulação para diversas culturas.

Para Alencar (2014), estudar a resposta da produtividade das culturas é complicado e oneroso, em razão de tais limitações, a modelagem de simulação de cultura é uma ferramenta útil e o modelo AquaCrop objetiva precisão e simplicidade na estimativa de respostas pretendidas, pois é um modelo que propõe um reduzido número de parâmetros de entrada comparado a outros modelos. Sendo assim este atua como uma poderosa ferramenta para estimar a produtividade de culturas em condições irrigadas e de sequeiro, como a exemplo da Canafístula e a Gliricídia, objeto deste estudo. Ambas culturas são forrageiras arbóreo-arbustivas muito utilizadas na alimentação animal e outros fins.

A Canafístula (*Senna spectabilis* var. *excelsa*), é uma planta arbustiva e bastante encontrada no nordeste do Brasil onde é nativa, dificilmente ultrapassa os 7 m de altura, pois é uma vegetação característica do cerrado e caatinga, às vezes é cultivada como cerca viva ou como árvore ornamental, ocorre no litoral do Equador e está difundida no Brasil tropical no Ceará, Rio Grande do Norte, Minas Gerais, Tocantins, Goiás e Pará (LORENZI et al., 2002). Incluindo no gênero *Senna* a qual se destaca como forrageira *S. spectabilis* ou Canafístula-de-Besouro é uma espécie que necessita de um processo de domesticação, haja vista sua empregabilidade em bancos de proteína bem como em sistemas agroflorestais (MACEDO et al, 2013).

Já a Gliricídia (*Gliricídia sepium* (Jacq.) Walp.) é uma leguminosa arbórea, é uma planta de múltiplas funcionalidades que serve como quebra-vento, cerca-viva, forragem, produção de madeira, adubo verde e com forte potencial na contribuição da fertilidade de áreas degradadas (DANTAS et al., 2018). Devido a todas essas potencialidades, a compreensão dos seus aspectos

nutricionais e o tipo de substrato para a produção de mudas de qualidade e custo inferior se fazem necessário, embora poucos estudos são vistos no tocante à exigência nutricional da Canafístula (BERTOLINI et al., 2015). Ainda segundo o autor, a mesma é uma espécie típica de estágio inicial, ou seja, encontrada no início do desenvolvimento de uma floresta, visto que tem uma ampla facilidade na disseminação natural encontrando-se em formação de populações quase originais ou largamente dominantes em composições secundárias.

Diante do exposto e tendo em vista que ambas as culturas tem grande importância não só para a agricultura como economia regional em vários aspectos, o estudo busca estimar a biomassa das culturas Canafístula e Gliricídia além de calibrar e validar o modelo AquaCrop com informações meteorológicas e edafoclimáticas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Estimar a biomassa da Canafístula e Gliricídia, no semiárido Nordeste utilizando o modelo AquaCrop.

### **2.2 Objetivos Específico**

- Analisar as variáveis morfofisiológicas das culturas Canafístula e Gliricídia.
- Determinar matéria seca e matéria mineral da Canafístula e Gliricídia.
- Calcular a evapotranspiração de referência da região de estudo.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 O modelo AquaCrop

Os modelos de simulação de culturas buscam fazer uma estimativa a resposta das plantas no tocante às interações com os fatores edafoclimáticos sendo capaz de contribuir com o desenvolvimento de métodos de manejo das culturas, acompanhamento de colheita e previsões, estimando o rendimento das culturas (MARTÍN, 2014).

A calibração de modelos abrange a estimativa como também o ajuste de parâmetros essenciais do modelo, de modo a reduzir o erro entre os dados reais e simulados. A calibração é fundamental, haja vista que nem todos os parâmetros do modelo podem ser medidos diretamente no campo (RACKL; HANLEY, 2017).

O AquaCrop é um modelo de crescimento de cultura, a qual a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) desenvolveu, (HSIAO et al., 2009), e que tem como principal enfoque simular a produtividade potencial em função de variações e condições hídricas (MARTINS, 2017). Em todo o mundo o AquaCrop vem sendo amplamente utilizado em varias pesquisas, culturas algodão (BAUMHARDT et al., 2009), cevada (ARAYA et al., 2010) e óleo de canola (ZELEKE et al., 2011), açafrão (MIRSAFI et al., 2016) milho em sequeiro (MARTINI, 2018); soja (SILVA, 2018); cebola (MATSUNAGA, 2019); cana de açúcar (SILVESTRE et al., 2019) são trabalhos mais recentes, assim como muitos outros.

Os diversos resultados encontrados nos possibilitam concluir que o AquaCrop pode ser utilizado para simular a produtividade de varias culturas, desde que o modelo tenha seus parâmetros cuidadosamente parametrizados e bem calibrados (FREITAS, 2018).

Quanto aos parâmetros, o modelo AquaCrop opera com duas categorias, titulado conservativos e não conservativos. O primeiro trata-se daqueles que devem conserva-se constantes em distintas condições de cultivo e regimes hídricos, sendo adquirido de cultivares de alto rendimento, sem limitação hídrica e fertilidade. O segundo aborda os parâmetros calibrados pelo usuário, que são aqueles que dependem do local, genótipo utilizado e manejo (HSIAO et al., 2009; STEDUTO et al., 2012).

Quanto ao comportamento do AquaCrop, Andarzian (2011) simulou a produtividade do trigo (*Triticum aestivum L.*) em condições de abastecimento de água e déficit hídrico em meio a um ambiente quente e seco no sul do Irã, e obteve a conclusão que o modelo AquaCrop foi eficiente na simulação relacionada ao conteúdo de água na zona radicular, biomassa e

produtividade dos grãos, com um erro inferior a 10% (RMSE<10%), assim como o modelo foi eficaz na determinação da mínima quantidade de água necessária para completar a demanda evaporativa da atmosfera e atingir a alta eficiência na utilização de água no solo para anos secos, úmidos e normais.

Pesquisas como a de Andarzian (2011) são de máxima importância quando se trata de ambientes com limitação hídrica, uma vez que viabilizam encontrar um valor mínimo necessário ao desenvolvimento ótimo da cultura.

Para Ngetich et al. (2012), mesmo em locais Semiáridos, com limitações hídricas, o AquaCrop tem mostrado alta confiabilidade para simular a produtividade de grãos e biomassa, resultando que, quando corretamente calibrado, ele pode ser empregado no desenvolvimento de métodos para melhoria de decisões relacionados ao campo por pequenos agricultores, contribuindo na redução dos riscos da produção agrícola.

O bom comportamento do modelo em regiões com restrição hídrica pode ser conferido pelo fato dele relacionar a produtividade da cultura ao consumo de água, e prever a produção de biomassa a partir da transpiração da cultura obtida através do parâmetro de produtividade hídrica normalizado (STETUTO et al., 2012).

## 3.2. A Canafístula

### 3.2.1 Características gerais

Conhecida como Canafístula Besouro, Cassia do Nordeste, ou simplesmente Canafístula, a *Senna spectabilis* é uma leguminosa arbórea, decídua, heliófita e seletiva xerófila, encontrada no Nordeste do Brasil e região Norte de Minas Gerais, com ocorrência em solos mais profundos, bem drenados e mediana fertilidade (SOUZA et al., 2008). É uma planta que apresenta flores tubulosas, amareladas e muito utilizada na arborização urbana, e principalmente é uma espécie pioneira com grande potencial para recompor áreas degradadas bem como associadas com outras espécies (LORENZI, 1992). Segundo Maia, (2004) é uma espécie que pode atingir de 5 a 6 metros de altura e nos ambientes mais favoráveis atinge os 15 metros e diâmetros do tronco até 50 cm. Seu caule é liso, sem espinhos Suas folhas são compostas pinadas, com 10-20 pares de folíolos de 2-4 cm de comprimento, não possuindo pelos e não são quebradiças, as flores amarelas, dispostas em inflorescências terminais, ela é relativamente pesada, mole, pouco compacta, de moderável durabilidade quando protegida da umidade (LOZENZI, 2002). Seus frutos são compostos por vargem comprida que variam entre 25 a 32 cm, indeiscente com superfície irregular e aspecto enrugado de cor preta e odor

adocicado, possui grande quantidade de sementes pequenas achatadas e castanho claro (SOUZA et al., 2008)

Devido às limitações do tamanho, a madeira, é aproveitada para confecção de objetos leves, lenha e carvão. É uma árvore usada na ornamentação ao longo do período que permanece em flor, podendo ser utilizada com sucesso no paisagismo em geral e em decorrência do seu pequeno porte e beleza a florada é ideal para arborização de ruas e em plantios mistos (LOZENZI, 2002). As suas folhas, ramos vagens, cascas e sementes servem de consumo para cabras ovelhas, bovinos, jumentos e cavalos, até mesmo diretamente na própria planta. Geralmente, o bode come a casca da planta. No período de seca é fornecido como alimento as folhas, vagem, semente, casca e ramos (COSTA et al., 2002). Como a maior parte das essências florestais da caatinga, é bem pouco estudada, embora seja uma espécie forrageira e de múltiplos usos, não se encontra registros de produção de mudas em grande escala para plantios isolados, composição de bancos forrageiros, sistemas agroflorestais, quebra-ventos, sombreamentos de pastagens, etc. (MACEDO et al, 2013).

Há alguns anos, revisões na classificação botânica dos gêneros *Cassia* e *Senna* ocasionaram várias espécies da primeira a serem denominadas como *Senna*. Espécies de *Cassia*, em conjunto com aquelas de mesmo grupo *Senna* ou com algumas que passaram para o grupo *Senna* depois do novo sistema de classificação taxonômica empregada, formam um dos maiores gêneros da família Fabaceae, família botânica vigente em maior parte dos ecossistemas do país mais bem caracterizada na caatinga constituindo por volta de um terço de todos os vegetais neste bioma (SILVA, et al., 2010). Quanto ao crescimento e produção da Canafístula suas sementes são irregulares, haja vista a impermeabilidade de o tegumento apresentar germinação limitada em condições naturais (JELLER, 2002)

É uma planta que rebrota relativamente fácil quando queimada ou cortada. Para aquisição de sementes, os frutos necessitam serem recolhidas das plantas, quando houver a queda espontânea ou coletadas diretamente do chão após a queda e assim que coletadas, as sementes deverão ser alocadas em local com sombra para germinarem (COSTA et al., 2002).

### 3.3 A Gliricídia

#### 3.3.1 Características gerais

Oriunda da América central e norte da América do Sul, a *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud., é conhecida no país como Gliricídia e nos países de língua espanhola como Madre do

Cacau, Mata Ratón e Madero Negro (COSTA et al., 2009). É uma leguminosa arbórea, pertencente à família Fabaceae, que apresenta ciclo perene e raízes profundas, sendo capaz de chegar à uma altura de 10 a 15 metros e diâmetros de até 40 cm (GOMÉZ et al., 2002).

De clima tropical, a *Gliricídia* é uma espécie que se adapta desde o nível do mar até 1600 metros de altitude em regiões subúmidas e secas e que se desenvolve melhor em clima com precipitação anual entre 1500 e 2000 mm e estação seca definida (VALLEJO, 1993). Crescendo em diferentes de tipos de solos que vão desde areias até regossolos pedregosos sem estratificação e vertissolos, contudo tem sido cultivada em solos argilosos até francos arenosos, com pH de 5,5 a 7,0 (PARROTTA, 1992). Com alto teor protéico e alta resistência ao clima quente, possui um sistema radicular bem desenvolvido que permite certa tolerância a seca (FERNANDES et al., 2016).

Além de crescer em solos de pouca fertilidade, ele também apresenta bom desempenho naqueles de alta fertilidade e profundidade satisfatória para o bom enraizamento (Carvalho Filho et al., 1997). É uma árvore de uso diversificado, que dispõe a capacidade de fixar nitrogênio, proporcionar a reciclagem de nutrientes e favorecer as condições físicas e biológicas do solo, pela deposição de matéria orgânica de ligeira decomposição, sendo empregada principalmente como cerca viva, sombra, apoio para cultivos, produção de lenha, madeira e forragem (Vera et al., 1998).

A *Gliricidia sepium* por apresentar características bromatológicas é recomendada como forrageira para bovinos, caprinos e ovinos, demonstrando uma quantia média de proteína bruta entre 22% (Morales, 1996) e 24% (Diaz et al., 1995). Ainda que de alta qualidade como forragem e da moderada produção de biomassa, seu uso *in natura* pode ser limitado devido ao odor provocado pela liberação de compostos voláteis de suas folhas e sua possível toxidez, principalmente para animais não ruminantes, problema que pode ser resolvido em parte, desidratando as folhas ao sol ou através do cozimento. Os efeitos tóxicos dessa leguminosa são atribuídos à existência da cumarina e sua transformação em produto hemorrágico, o dicumerol, por bactérias, ocorrido durante sua fermentação (Simons e Stewart, 1994).

### 3.3.2 Crescimento e produção da *Gliricídia*

A *Gliricídia* se desenvolve facilmente, por semente ou por estacas que demonstram excelente capacidade de rebota a enraizamento. Antes do plantio, as sementes, necessitam ser escarificadas, por imersão em água quente, deixando-as imersas até o esfriamento da água (AGUIAR JÚNIOR et al., 2011).



Ela apresenta grande capacidade de rebrota e, em aproximadamente quatro meses após o corte as plantas recompõem praticamente toda parte aérea, podendo ocorrer três cortes por ano sem problemas. No espaçamento entre fileiras, os três cortes anuais podem produzir em média 4,5 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca, equivalente a folhas e ramos finos de no máximo 1 cm de diâmetro, também é possível minimizar a periodicidade entre os cortes para até três meses, sem atrapalhar o desenvolvimento das plantas, nem alterar a produção de matéria seca, o que dependerá do uso da biomassa da *Gliricídia* (CARVALHO FILHO et al., 1997).

O plantio pode ser realizado diretamente no local definitivo, assim como enviveiradas (estacas mais finas) para produção de mudas em sacos plásticos. Contudo, observa-se índices de pega ao redor de 50% em plantios diretos e acima de 70% em condições de viveiro (EIRAS; COELHO, 2010). Ainda segundo o autor, a presença da *Gliricidia sepium* leva à maior captação de água em posicionamentos próximos às fileiras de árvores, isto é, as raízes laterais das árvores nesse tipo de sistema presumivelmente são capazes de capturar significativa quantidade de água a distâncias pelo menos cerca de 1 m, mas inferiores que 3 m das fileiras.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Região de estudo

O estudo foi realizado na Estação Experimental Prof. Ignácio Salcedo do Instituto Nacional do Semiárido-INSA (Figura 1), cuja coordenadas são 7°16'44'' S ; 35°58'70'' O, e localizada na zona rural do município de Campina Grande situado na microrregião do Agreste, estado da Paraíba.

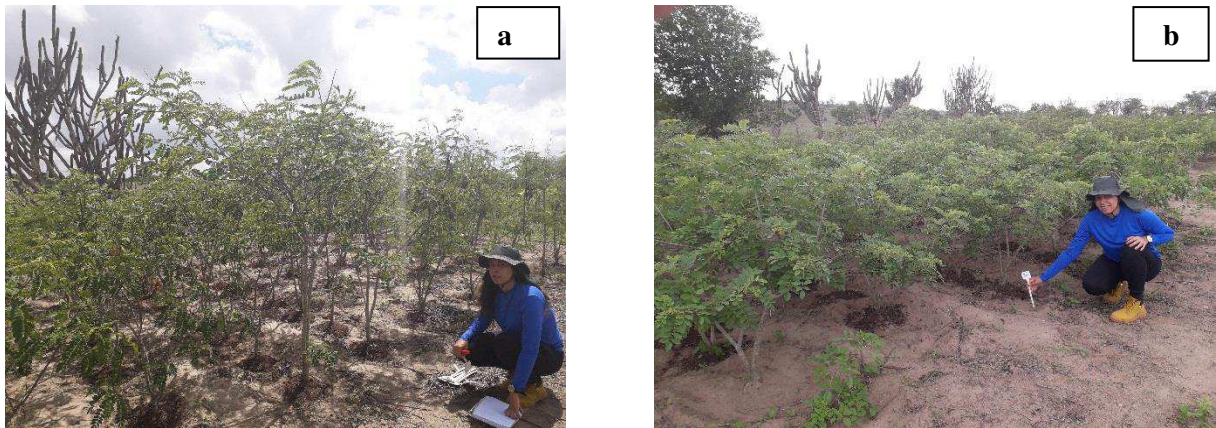
Segundo a classificação climática de Koppen o clima é considerado como seco sub-úmido e o período chuvoso está situado entre os meses de março a julho e a temperatura máxima média anual é de 28,7 °C e a mínima de 19,8 °C variando pouco ao longo do ano segundo a AESA (2019), o solo é classificado como Netzsolodizado (SS), Vertissolos (V), Luvisolos Crônicos (NC), de acordo com a Embrapa (2006).

Na Figura 1 temos apresentada a área utilizada no experimento, onde já se encontravam as cultivares do estudo em questão, a qual foram cultivadas no ano de 2017. Totalizando uma área de 1.440 m<sup>2</sup>.

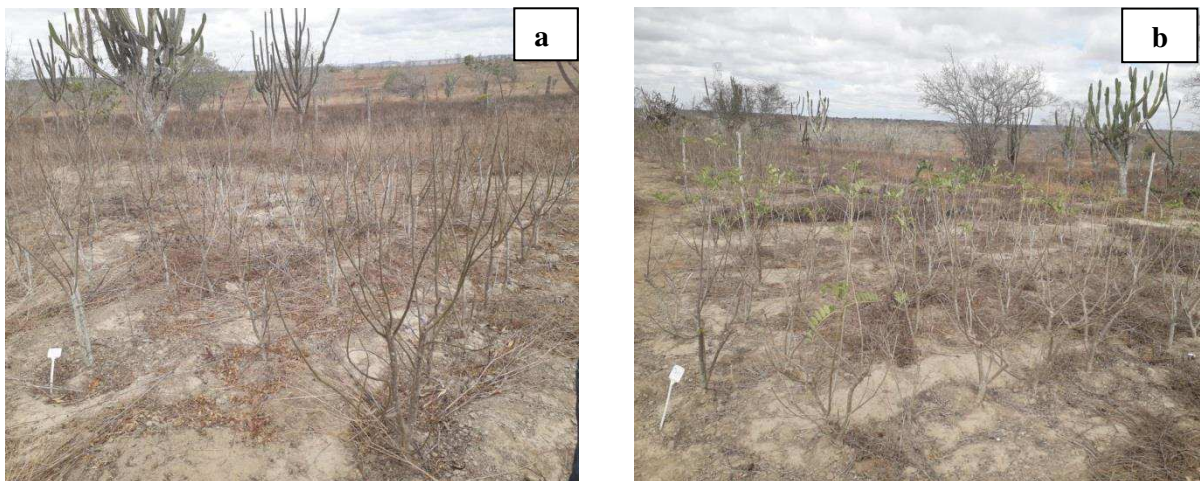


**Figura 1.** Área de estudo na Estação Experimental do INSA.

As imagens que segue são correspondentes às culturas avaliadas no experimento para os dois períodos, o chuvoso (Figura 2) e seco (Figura 3).



**Figura 2.** Culturas Canafístula (a) e Gliricídia (b) avaliadas para o período chuvoso



**Figura 3.** Culturas Canafístula (a) e Gliricídia (b) avaliadas para o período seco

Durante a realização da primeira coleta de dados (abril) a Canafístula (2a) apresentava uma altura variando entre 0,6 e 1 metro e encontrava-se com razoável quantidade de folhas. Já a Gliricídia (2b) para o mesmo período apresentava uma altura entre 0,40 e 0,95 metros e também com um quantitativo satisfatório de folhas. Em contrapartida, no período seco, ambas as culturas se desenvolveram relativamente pouco, atingindo uma altura média de 1 metro a Canafístula (3a) e 0,70 metros a Gliricídia (3b) tendo em vista a escassez hídrica.

#### 4.2 Análise do solo

Para avaliar as características químicas, físicas e de fertilidade do solo, foram coletadas amostras empregando o método de encaminhamento também conhecido como zig-zag ou aleatório, utilizando um trado galvanizado tipo caneco (Figura 4a). Coletou-se cinco amostras

simples de solo e ao final misturado bem para homogeneizar (Figura 4b), resultando em uma amostra composta a qual foi separada 500 g para realização da análise, ocorridas no Laboratório de Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Campus II, no município de Areia- PB.



**Figura 4.** Coleta do solo (a) e homogeneização das amostras (b) na área experimental do INSA.

### 4.3 Condução dos experimentos e variáveis analisadas

#### 4.3.1 Tratamentos e delineamento estatístico

O delineamento experimental foi blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas, com um fatorial 2x2x3, sendo dois períodos (chuvoso e seco), duas espécies (Gliricídia e Canafístula) e três espaçamentos (1,0 x 1,0 m; 1,0 x 0,5 m; 1,0 x 1,5 m) com no mínimo seis repetições, tendo como variáveis independentes o período, espécie e tratamento e variáveis dependentes a altura da planta, área da copa, peso da planta e diâmetro do caule.

Os tratamentos descritos (Quadro 1 e 2) foram distribuídos aleatoriamente na área experimental. Onde apenas foram utilizadas as plantas encontradas na área útil de cada tratamento.

Os dados obtidos foram avaliados por meio de análise de variância, as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade através do procedimento GLM (*General Linear Model*) e correlação através do programa estatístico PROC CORR do SAS® (2001).

Modelo matemático utilizado:

$$Y_{ijkl} = u + S_i + GR_k + I_j + Bl + (S * GR)_{ik} + (S * I)_{ij} + (GR * I)_{kj} + (S * GR * I)_{ikj} + e_{ijkl},$$

Em que:

$Y_{ijkl}$  = característica observada na planta, período = i, espécie = k e espaçamento = j; u = constante inerente aos dados; Bl = efeito de bloco;  $S^i$  = efeito do período i, de modo que 1 = corresponde ao período chuvoso e 2 = corresponde ao período seco;  $GR_k$  = efeito da espécie k, de modo que 1 = Gliricídia e 2 = Canafístula;  $I_j$  = efeito do espaçamento j, de modo que: 1 = 1,0 x 1,0 m; 2 = 1,0 x 0,5 m e 3 = 1,0 x 1,5 m,  $S_i * GR_k$  = efeito do período i x efeito da espécie k;  $S_i * I_j$  = efeito do período x efeito do espaçamento;  $GR_k * I_j$  = efeito da espécie x efeito do espaçamento;  $S_i * GR_k * I_j$  = efeito do período x espécie x espaçamento;  $e_{ijkl}$ , = erro associado à informação  $Y_{ijl} \sim NID(0; \sigma^2e)$ .

Como não houve efeito de interação para os parâmetros estudados, foram utilizados os seguintes modelos matemáticos para cada efeito individual:

Período:  $Y_{ijkl} = u + S_i + Bl + e_{ijkl}$ , (Modelo 2), em que:  $Y_{ijkl}$  = característica observada na espécie, u = constante inerente aos dados; período i,  $S_i$  = efeito do período i, de modo que 1 = corresponde ao período chuvoso e 2 = corresponde ao período seco; Bl = efeito de bloco;  $e_{ijl}$ , = erro associado à informação  $Y_{ijl} \sim NID(0; \sigma^2e)$ .

Espécie:  $Y_{ijkl} = u + GR_k + Bl + e_{ijkl}$ , (Modelo 3), em que:  $Y_{ijkl}$  = característica observada na espécie, u = constante inerente aos dados;  $GR_k$  = efeito da espécie k, de modo que 1 = Gliricídia 2 = Canafístula; Bl = efeito de bloco;  $e_{ijl}$ , = erro associado à informação  $Y_{ijl} \sim NID(0; \sigma^2e)$ .

Espaçamento:  $Y_{ijkl} = u + I_j + Bl + e_{ijkl}$ , (Modelo 4), em que:  $Y_{ijkl}$  = característica observada na espécie, espaçamento j; u = constante inerente aos dados;  $I_j$  = efeito do espaçamento j, de modo que: 1 = 1,0x1,0 m 2 = 1,0x0,5 m e 3 = 1,0x1,5 m, Bl = efeito de bloco;  $e_{ijl}$ , = erro associado à informação  $Y_{ijl} \sim NID(0; \sigma^2e)$ .

**Quadro 1.** Características das unidades experimentais para a Gliricídia.

<b>T1 = Gliricídia</b>	<b>T2 = Gliricídia</b>	<b>T3 = Gliricídia</b>
Espaçamento: 1,0m x 1,0m	Espaçamento: 1,0m x 0,5m	Espaçamento: 1,0 x 1,5
Área da parcela: 5 x 5 = 25 m <sup>2</sup>	Área da parcela: 5 x 5 = 25 m <sup>2</sup>	Área da parcela: 5 x 5 = 25 m <sup>2</sup>
Nº de plantas: 66 por parcela	Nº de plantas: 36 por parcela	Nº de plantas: 24 por parcela
Área útil = 2 m <sup>2</sup>	Área útil = 2 m <sup>2</sup>	Área útil = 2 m <sup>2</sup>
Nº de plantas área útil = 9	Nº de plantas área útil = 15	Nº de plantas área útil = 6

**Quadro 2.** Características das unidades experimentais para a Canafístula.

<b>T1 = Canafístula</b>	<b>T2 = Canafístula</b>	<b>T3 = Canafístula</b>
Espaçamento: 1,0m x 1,0m	Espaçamento: 1,0m x 0,5m	Espaçamento: 1,0m x 1,5m
Área da parcela: $5 \times 5 = 25 \text{ m}^2$	Área da parcela: $5 \times 5 = 25 \text{ m}^2$	Área da parcela: $5 \times 5 = 25 \text{ m}^2$
Nº de plantas: 66 por parcela	Nº de plantas: 36 por parcela	Nº de plantas: 24 por parcela
Área útil = $2 \text{ m}^2$	Área útil = $2 \text{ m}^2$	Área útil = $2 \text{ m}^2$
Nº de plantas área útil = 15	Nº de plantas área útil = 9	Nº de plantas área útil = 15

A pesquisa foi dividida em duas etapas, sendo realizada da seguinte forma: a primeira ocorreu no mês de abril, período em que apresentou ocorrências de chuvas na região e onde neste trabalho o denominamos (chuvoso) e a segunda etapa em dezembro, período com poucas ocorrências de chuva e denominado (seco). Porém, para o uso da modelagem foram utilizados apenas os dados do período seco, tendo em vista que, conforme ambas as culturas já encontravam-se implantadas no local, o corte realizado no mês de abril teve o objetivo de zerar, ou seja, de iniciar um novo crescimento das plantas para que a partir daí, houvesse o seu acompanhamento e coleta de dados.

#### 4.3.2. Avaliação morfométricas

A fim de avaliar algumas características vegetativas, foram realizadas medições da altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e parte área da planta (PAP), que de acordo com Causton e Venus (1981), essas avaliações permitem conhecer as diferenças funcionais e estruturais entre as plantas, de maneira a distinguir respostas à aplicação de distintos tratamentos. Para aferição da altura da planta e sua parte aérea foi utilizado uma fita métrica e para avaliar o diâmetro da planta utilizou-se um paquímetro, sendo efetuadas leituras a dois cm da região do colo de cada planta.

#### 4.3.3 Fitomassa

Na área considerada útil de cada tratamento, partes do material vegetal das plantas foram cortadas, recolhidas e pesadas individualmente, sendo posteriormente separadas em caules e folhas e também pesadas para a realização das próximas etapas do experimento.

#### 4.3.4 Pré secagem e obtenção da massa seca

A pré secagem de uma determinada amostra em uma dada temperatura (tecidos vegetais: mais ou menos 65 a 70 graus Celsius) é bastante utilizada quando se está interessado em produtividade, tendo em vista que é uma medida bem mais precisa que o peso da matéria fresca, sendo assim, a relação entre massa da matéria fresca e massa da matéria seca pode nos dizer sobre o teor de água da planta (PEIXOTO et al, 2011).

Para a obtenção da pré-secagem a fitomassa (caule e folhas), das culturas foram pesadas em bandejas e levadas a estufa por 72 horas a 65° C, onde após esse período foram realizadas novas pesagens onde se obteve o cálculo das diferenças do teor de umidade que fora perdida com o procedimento. Logo após, o material foi triturado no moinho e colocado cerca de 1g do material em cadinhos na estufa a 105° C no período de 16 horas, obtendo assim a massa seca que é a porção restante de um alimento após a retirada total de sua umidade. Comumente, a representação da matéria seca é em porcentagem e varia de alimento para alimento.

É de imensa importância conhecer a porcentagem de matéria seca de um alimento, pois é através dela que saberemos quanto de nutrientes como energia, proteína, minerais e vitaminas estão presentes, pois assim, o nutricionista formulará uma ração de confinamento, suplemento ou qualquer dieta, levando essa porcentagem em consideração (EMBRAPA, 2016).

#### 4.3.5 Análise de matéria mineral

Com a finalidade de avaliar a quantidade de mineral bruto, ou seja, avaliar a porcentagem de macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, enxofre e magnésio) disponíveis de maneira geral em ambas as culturas. As análises foram realizadas e determinadas a partir do aquecimento da massa seca, onde seguiu para mufla em cadinhos por quatro horas a 400° C, onde o resíduo é contabilizado, alcançando assim os resultados da matéria mineral bruta das duas forragens.

#### 4.4 Análises das propriedades do solo

Nas Tabelas 1 e 2 encontram-se os dados em relação às características químicas, de fertilidade e as físicas do solo do local estudado.

**Tabela 1.** Propriedades químicas e de fertilidade do solo na área experimental

Características Químicas e de Fertilidade	
Cálcio (Cmol/dm <sup>3</sup> )	1,85
Magnésio (Cmol/dm <sup>3</sup> )	1,82
Sódio (Cmol/dm <sup>3</sup> )	0,12
Potássio (Cmol/dm <sup>3</sup> )	91,2
Alumínio (Cmol/dm <sup>3</sup> )	0,15
Acidez Potencial (Cmol/dm <sup>3</sup> )	3,22
Matéria Orgânica (g/Kg)	8,0
Fósforo Assimilável (mg/dm <sup>3</sup> )	5,42
pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	5,1
Soma de Bases Trocáveis	4,10
Capacidade de Troca Catiônica	7,31

**Tabela 2.** Propriedades Físicas do solo na área experimental.

Características Físicas	
Areia (g/Kg)	778
Silte (g/Kg)	118
Argila (g/Kg)	104
Umidade 0,01 (g/kg)	85
Umidade 0,03 (g/kg)	60
Umidade 1,50 (g/kg)	44
Classe Textural	Franco Arenoso

O pH apresentou resultado de 5,1 o que é positivo tanto para Canafístula como a Gliricídia que se desenvolve bem em solos com valores entre 5,3 a 7,0 (MAIA, 2004) e 5,5 a 7,0 (PARROTTA, 1992) respectivamente. Na granulometria, a classificação do solo foi Franco Arenoso, o que para ambas as culturas são boas, tendo em vista que uma das consequências de um solo compactado é a limitação do desenvolvimento radicular da planta.



#### 4.5 Calibração do modelo AquaCrop

O modelo AquaCrop foi calibrado para ambas as culturas, utilizando os parâmetros experimentais observados em campo. Dados climáticos e atmosféricos também foram inseridos no modelo, como temperatura máxima e mínima (C°), umidade relativa máxima e mínima do ar (%), precipitação (mm), velocidade do vento (m/s) e radiação solar (W/m<sup>2</sup>) e concentração de CO<sub>2</sub> anual na atmosfera (OLIVEIRA, 2018), onde os dados climatológicos foram oriundos da estação meteorológica da EMBRAPA. Quanto às informações relacionadas à cultura, foram avaliados dados relativos ao espaçamento entre as plantas, cobertura do dossel e produção da biomassa e por fim inseridas informações de umidade do solo, capacidade de campo, tipo do solo e salinidade.

#### 4.6 Validação do modelo AquaCrop

A validação do modelo AquaCrop para a Canafístula e Gliricídia ocorreu utilizando dados de clima, manejo e solo, onde posteriormente foram inseridos os parâmetros calibrados e realizadas as simulações. Nesta etapa foram utilizadas as análises estatísticas abaixo:

O erro quadrático médio (RMSE) definido por (Hsiao et al., 2009):

$$RMSE = \frac{1}{0} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2}{N}} \times 100 \quad (1)$$

O erro médio quadrático normalizado:

$$NRMSE = \frac{1}{0} \sqrt{\frac{\sum (S_i - O_i)^2}{n}} \times 100 \quad (2)$$

O índice de concordância (*d*) de Willmont (1982) é definido por:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2}{\sum (|S_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)} \quad (3)$$

Coefficiente de eficiência do modelo Nash-Sutcliffe:

$$EF = 10 \frac{\sum (S_i - O_i)^2}{\sum (O_i - \bar{O})^2} \quad (4)$$

Erro de predição:

$$PE = \frac{\sum(S_i - O_i)}{\sum O_i} * 100 \quad (5)$$

Em que:

$S_i$  e  $O_i$ : são valores simulados e observados, respectivamente;

$\bar{O}$ : Média dos valores observados;

$n$ : representa o número de observações.

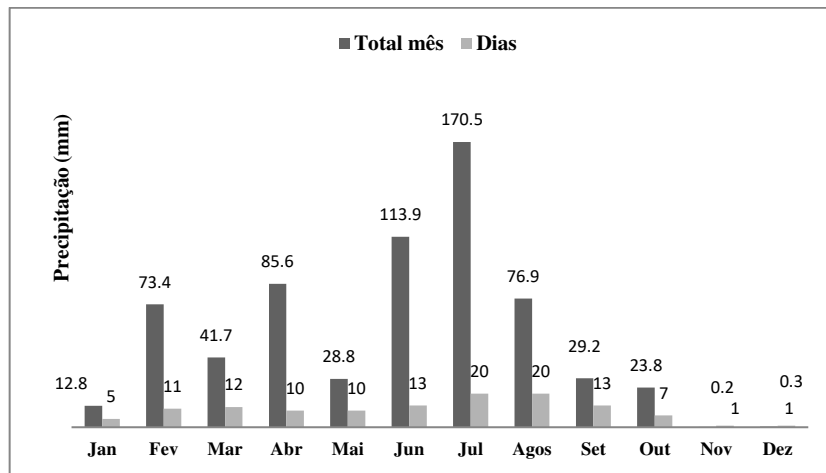
O RMSE é um indicador que demonstra valores de 0 a  $\infty$ , considerando bom ajuste para o valor 0 e fraca performance ao se afastar deste valor. Para os valores obtidos pelo NRMSE, a simulação considera-se excelente em caso de valor menor que 10%, bom se estiver entre 10 a menos de 20%, justo entre 20 e 30% e pobre acima de 30%.

Já o Coeficiente de eficiência do modelo Nash-Sutcliffe (NS) é utilizado em diversos ajustes, oscilando de  $-\infty$  a 1, sendo este último considerado perfeito para os valores observados e simulados pelo AquaCrop.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Variáveis meteorológicas

A precipitação distribuída ao longo do ano para o município de Campina Grande oriunda da estação da Embrapa é demonstrada pela Figura 5.

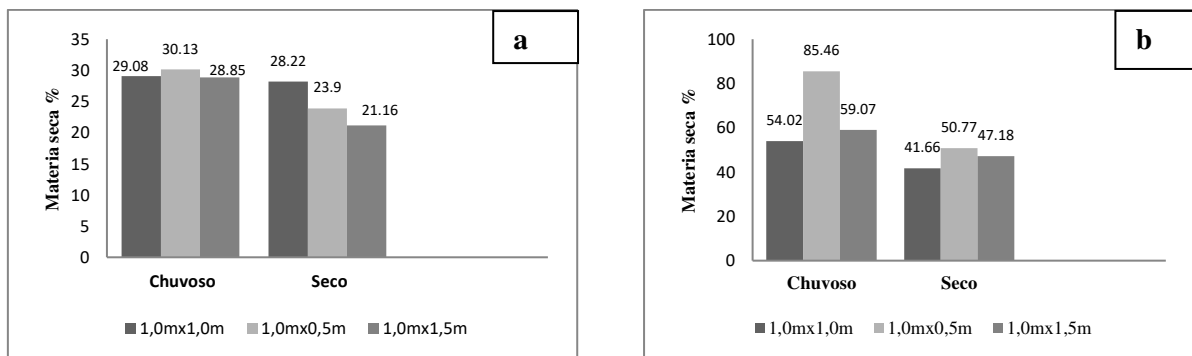


**Figura 5.** Precipitação em Campina Grande para o ano de 2019.

Durante o experimento iniciado no mês de abril, foram registrados 85,6 mm de chuva, distribuídos em 10 dias. Entretanto no mês de julho ocorreram os maiores registros 170,5 mm distribuídos em 20 dias de chuvas e para o mês de dezembro, fim do experimento o total foi de 0,3 mm com apenas um dia de chuva.

### 5.2 Avaliação da massa seca

Avaliando a matéria seca da Gliricídia e Canafístula foi verificada diferença para as duas culturas como demonstra a Figura 6.



**Figura 6.** Determinação da matéria seca para o período chuvoso e seco para a Gliricídia (a) e Canafístula (b) respectivamente.

A Gliricídia (6a) apresentou pouca variação percentual entre os espaçamentos no período chuvoso, sendo o espaçamento de 1,0m x 0,5m que apresentou maior percentual de matéria seca que foi de 30,1%, já no período seco esse percentual decaiu. O espaçamento de 1,0m x 1,0m apresentou o maior índice, 28,2%; enquanto os demais apresentaram um percentual de 23,9% (1,0m x 0,5m) e 21,16% (1,0m x 1,5m) respectivamente.

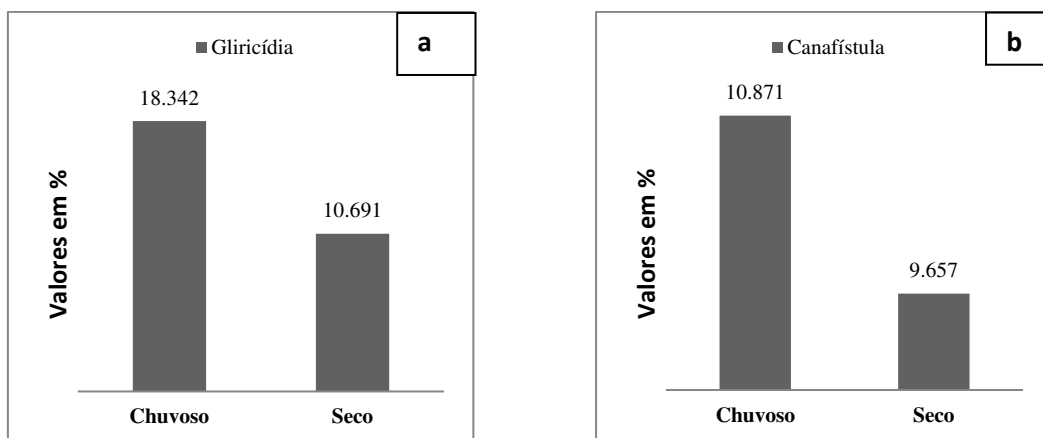
Com relação à Canafístula (6b), o percentual de matéria seca foi bem mais superior e para ambos os períodos. No chuvoso o tratamento com o espaçamento 1,0m x 0,5m apresentou maior valor 85,46%. Pereira et al. (2010) avaliaram a quantidade de matéria seca de algumas forrageiras no Ceará, entre elas a Canafístula no período chuvoso e constataram que ela foi uma das culturas que apresentou os maiores teores de matéria seca, 40,75% .

Já no período seco a planta exibiu ainda um bom percentual de matéria seca que foi de 50,7% no tratamento com espaçamento 1,0m x 0,5m; 41,66% (tratamento: 1,0m x 1,0m) e 47,18% (tratamento: 1,0m x 1,5m) nos demais.

Tanto para Gliricídia como para a Canafístula essa diferença percentual nos valores de matéria seca entre os espaçamentos deve-se a quantidade de plantas existentes em cada tratamento. E mesmo no período seco havendo apenas a existência de galhos nas duas culturas, o percentual ainda foi consideravelmente próximo em relação ao período chuvoso.

### 5.3 Análise de matéria mineral

A Figura 7 exhibe os valores em porcentagem da matéria mineral para a Gliricídia (a) e Canafístula (b) nos períodos chuvoso e seco.



**Figura 7.** Determinação da matéria mineral para o período chuvoso e seco para a Gliricídia (a) e Canafístula (b).

Nota-se que para as duas culturas, o período chuvoso apresentou maiores valores de matéria mineral, sendo a Gliricídia (7a) a apresentar maior porcentagem (18,34%) enquanto a Canafístula apresentou um valor de 10,87% para o mesmo período.

Neste contexto, Pereira et al. (2010) analisaram a proporção de matéria mineral da Canafístula (7b) no período chuvoso em abril de 2007 no estado do Ceará e verificaram uma porcentagem de 5,60%, enquanto Santos et al. (2014) verificaram na Gliricídia um teor de matéria mineral de 12,17% em estudo realizado no estado de Sergipe.

A Gliricídia é capaz de compor níveis considerados na dieta de ruminantes, porém é como suplemento proteico para forragens tropicais, subprodutos e palhadas de menor qualidade que tem sido empregada, não sendo recomendada para animais monogástricos por conter princípios potencialmente tóxicos (ARAÚJO et al., 2013). Já no período seco, a Gliricídia demonstrou uma redução de 7,6% com relação ao período chuvoso que foi de 10,69% e a Canafístula obteve um valor de 9,65% de matéria mineral para o segundo período.

#### 5.4 Análises estatísticas

Na Tabela 3 encontram-se observados os resultados estatísticos relacionados às medidas morfométricas com relação as duas culturas.

**Tabela 3.** Média e desvio padrão das medidas morfométricas da Gliricídia e Canafístula com relação às espécies

Espécie	Altura da planta (cm)	Área da copa (m <sup>2</sup> )	Diâmetro do caule (cm)	Peso total da planta (kg)
Gliricídia	1,05 ± 0,20a	0,56 ± 0,37a	17,73 ± 4,68a	0,50 ± 0,32a
Canafístula	1,05 ± 0,29a	0,44 ± 0,27b	18,74 ± 5,18a	0,31 ± 0,22b

Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Não houve efeito significativo ( $p > 0,05$ ) com relação à altura da planta e diâmetro do caule entre a Gliricídia e a Canafístula, tendo em vista que as duas culturas apresentam semelhanças em suas características.

Com relação à área da copa da planta houve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para ambas as culturas, haja vista que a área da copa de uma planta depende do número e do tamanho das folhas, sendo que sua variação dependerá da espécie, das condições edafoclimáticas e da densidade populacional, principalmente em áreas agrícolas (MONTEIRO et al., 2005). Sendo

a Gliricídia uma espécie que apresenta um tamanho maior da folha em relação à Canafístula que apresenta tamanho menor e estatisticamente ficou evidenciado este comportamento.

O peso total da planta também apresentou efeito significativo ( $p < 0,05$ ) sendo a Gliricídia a cultura que apresentou peso maior enquanto a Canafístula apresentou peso total da planta menor. Para as medidas morfométricas analisadas em ambas as culturas para o período chuvoso e seco, a Tabela 4 exhibe os resultados do experimento.

**Tabela 4.** Média e desvio padrão das medidas morfométricas em Gliricídia e Canafístula no período chuvoso e seco

Período	Altura da planta (cm)	Área da copa (m <sup>2</sup> )	Diâmetro do caule (cm)	Peso total da planta (kg)
Chuvoso	1,02 ± 0,24a	0,61 ± 0,36a	17,48 ± 4,90a	0,43 ± 0,27a
Seco	1,07 ± 0,28a	0,35 ± 0,17b	19,31 ± 5,18a	0,33 ± 0,27a

Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

No que diz respeito ao período chuvoso e seco (Tabela 4) o comportamento da Gliricídia e da Canafístula apresentou similaridade, tendo efeito significativo ( $p < 0,05$ ) com relação à altura da planta, diâmetro do caule e peso total da planta, ou seja, essas variáveis não apresentaram variações estatísticas com relação ao período chuvoso e seco. De acordo com Fernandes et al., (2016), a Gliricídia apresenta um crescimento rápido, alta capacidade de regeneração e enraizamento profundo possibilitando uma certa constância e tolerância a período extremamente seco. As raízes quando sujeitadas a situação de déficit hídrico tem a tendência a crescer até alcançar as áreas mais úmidas do solo (Pezzopane et al., 2015). Tal comportamento também foi observado em cultivares de *Brachiaria brizantha* (Marandú e BRS Piatã), o que ocasionou uma maior tolerância ao déficit hídrico (Santos et al., 2013).

Alusivo à variável área da copa houve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) entre os períodos, haja vista que sob estresse hídrico, a planta tende a liberar suas folhas para evitar a perda da água, ficando visível esse mecanismo durante o período seco em ambas as culturas. Segundo Araújo et al., (2019), plantas forrageiras possuem mecanismos fisiológicos e anato morfológicos que fazem com que tolerem e se adaptem ao estresse hídrico, principalmente com relação ao déficit.

Mesquita et al. (1988) citam que na estação chuvosa, que é o período de crescimento da planta, a vegetação do semiárido atinge seu ápice de produção, todavia, na estação seca que é seu período de dormência oscilando entre 6 a 8 meses, a produção de fitomassa decrescem provocando a perda de até 60 % da produção da área, sendo neste período que as folhas secas

se desprendem das árvores e ficam no solo disponível para os animais como também assume importante componente na proteção do solo quando acontece as primeiras chuvas.

Referente às medidas morfométricas das duas culturas com relação aos tratamentos estão dispostas na Tabela 5.

**Tabela 5.** Média e desvio padrão das medidas morfométricas da Gliricídia e Canafístula com relação ao tratamento

Espaçamento (m)	Altura da planta (cm)	Área da copa (m <sup>2</sup> )	Diâmetro do caule (cm)	Peso total da planta (kg)
1,0 x 1,0	1,16 ± 0,25a	0,53 ± 0,38a	22,10 ± 4,25a	0,43 ± 0,34a
1,0 x 0,5	0,93 ± 0,17b	0,43 ± 0,23a	17,05 ± 3,60b	0,34 ± 0,24a
1,0 x 1,5	1,05 ± 0,29ab	0,50 ± 0,31a	15,85 ± 5,03b	0,38 ± 0,23a

Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Entres os tratamentos avaliados para ambas as culturas houve diferença significativa no tocante à altura da planta e diâmetro do caule, sendo que com relação à altura da planta os espaçamentos 1,0 m x 1,0m e 1,0m x 0,5m apresentaram efeito significativo ( $p < 0,05$ ), contudo o espaçamento 1,0m x 1,5m é estatisticamente semelhante ao espaçamento 1,0 m x 1,0m e também semelhante estatisticamente ao espaçamento 1,0m x 0,5m.

Com relação ao diâmetro da copa observa-se que houve efeito significativo entre o espaçamento 1,0 m x 1,0m com os demais, sendo que não houve diferença significativa entre os espaçamentos 1,0m x 0,5m e 1,0m x 1,5m relacionado ao diâmetro do caule. Resultado este que corrobora com Silva et al. (2018) que avaliaram o comportamento do tipo de estaca e espaçamento da Gliricídia na produção de jardim clonal utilizando as mesmas medidas de espaçamento estudadas nesta pesquisa. Neste trabalho ficou evidenciado que os melhores resultados relacionados ao diâmetro do caule foram os cultivados no espaçamento 1,0 m x 1,0m.

Relativo à área da copa e peso total da planta não houve efeito significativo entre os espaçamentos para ambas as culturas.

Drumond e Filho (2004), que avaliou *Gliricídia sepium* na região semiárida do Nordeste Brasileiro, relatam que os espaçamentos devem ser empregados em conformidade com o objetivo de produção, sendo que espaçamentos menores (2.500 a 5.000 árvores/ha) são utilizados para árvores indicadas à produção de biomassa forrageira, obtendo árvores de tamanho menor em curto tempo, e espaçamentos superiores (2.500 a 1.100 árvores/ha) são utilizadas e indicadas para produção de lenha, estacas e sombreamento.

As Tabelas 6 e 7 exibem a análise descritiva relativa ao peso de folha e de galho no período chuvoso e seco para as duas culturas.

**Tabela 6.** Tabela Descritiva para peso de folha e de galho no período chuvoso e seco para Gliricídia

Variáveis	Chuvoso (Tm 23°C)	Seco (Tm 23,5°C)
Peso folha (g)	112,34	-
Peso galho(g)	138,54	0,202

**Tabela 7.** Tabela Descritiva para peso de folha e de galho no período chuvoso e seco para a Canafístula

Variáveis	Chuvoso (Tm 23°C)	Seco (Tm 23,5°C)
Peso folha (g)	56,17	-
Peso galho(g)	69,27	0,101

É observado que no período chuvoso onde a temperatura média registrada para o mês de abril foi de 23°C (INMET, 2020), há uma maior quantidade de folhas e galhos tanto para a Canafístula quanto para a Gliricídia, sendo o peso de galhos notoriamente maior. Já no período seco que registrou temperatura média para o mês de dezembro de 23,5°C (INMET, 2020), não houve valores para o peso de folha, tendo em vista que as duas culturas não apresentaram folhas neste período. A variável peso de galhos para o período seco, ambas as culturas apresentaram baixo rendimento. Essa diferença ocorrida entre os dois períodos deve-se ao comportamento de sobrevivência que as duas apresentam de resguarda-se em resposta a ocorrência de déficit hídrico.

Araújo et al., (2019) explicam que a água é um dos recursos que determina o funcionamento e crescimento pleno das plantas, assim como também é considerado o mais limitante. O autor ainda ressalta que a compreensão do desempenho das plantas forrageiras em situação de estresse hídrico é de grande importância para auxiliar no conhecimento do efeito do período seco na produção de forragem, possibilitando o uso de práticas de manejo possíveis que melhorem o cultivo durante esse período.

O teste de correlação de Pearson para as medidas morfométricas para a Canafístula e Gliricídia encontra-se na Tabela 8.



**Tabela 8.** Correlação de Pearson das medidas morfométricas da Canafístula e Gliricídia

	Área da copa (m <sup>2</sup> )	Diâmetro do caule (cm)	Peso total da planta (kg)	Peso do galho (kg)	Peso da folha (kg)
Altura da planta (cm)	0,38*	0,36*	0,08	0,27*	0,16*
Área copa (m <sup>2</sup> )	-	0,21*	0,41*	0,55*	0,59*
Diâmetro do caule (cm)	-	-	0,06	0,06	0,01
Peso total da planta (kg)	-	-	-	0,43*	0,72*
Peso do galho (kg)	-	-	-	-	0,78*

\*Significativo a 5%

O teste de Pearson apresentou resultados significativos pelo teste de Tukey ao nível de 5% para quase todas as associações, o peso do galho obteve maior correlação com o peso da folha ( $r=0,78$ ), para Soares et al. (2011) isto está relacionado à resistência imposta pela planta para suportar o peso das folhas da árvore.

Também houve maior correlação entre o peso total da planta e peso da folha ( $r=0,72$ ), isto sugere que quanto maior o número de folhas maior será o peso total da planta.

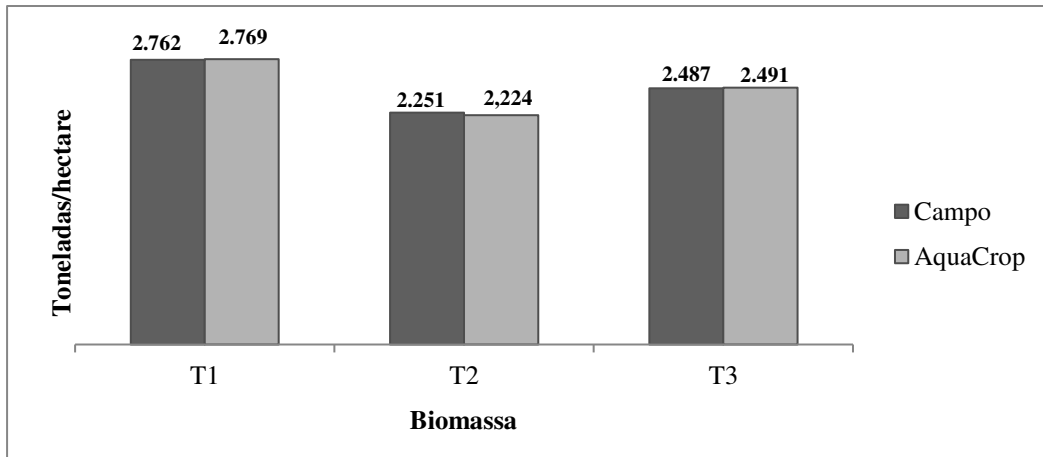
Ainda relacionado ao peso da folha vemos também sua correlação com a área da copa ( $r=0,59$ ), sendo ela um indicativo de produtividade de uma cultura (FIGUEIREDO et al., 2010).

### 5.5 Modelagem do AquaCrop

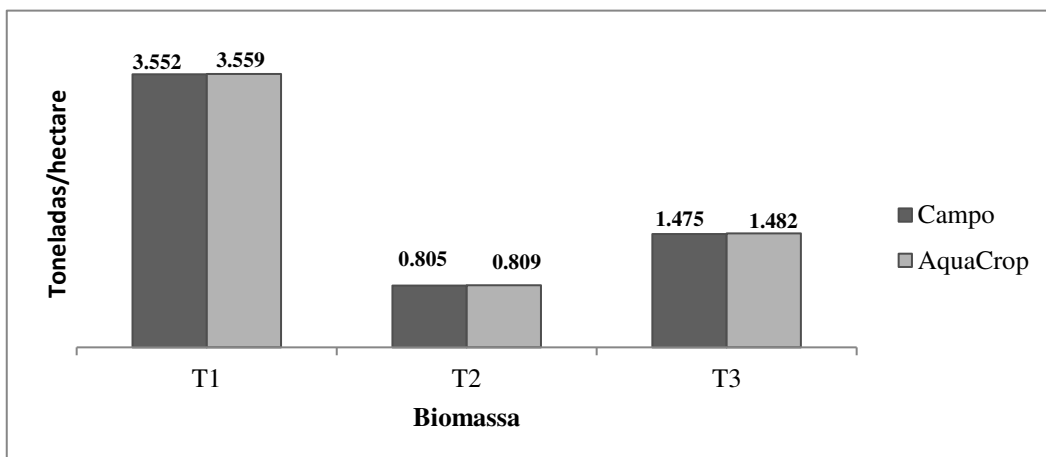
A validação é um processo que fundamenta-se em aferir e verificar se o modelo após a calibração consegue simular devidamente o que acontece com a cultura para aquela região de estudo. Assim sendo, a pesquisa baseou-se em apresentar uma validação, no qual o processo de calibração ocorreu por meio de ajuste de dados observados nas condições ideais para as duas culturas e a validação sendo mediante a comparação com os demais tratamentos (1,0m x 1,0m; 1,0m x 0,5m; 1,0m x 1,5m), apenas para o período seco.

### 5.5.1 Calibração do modelo

A comparação dos resultados obtidos no experimento em campo com os valores de biomassa simulados pelo AquaCrop para os tratamentos T1 (1,0m x 1,0m), T2 (1,0m x 0,5m) e T3 (1,0m x 1,5m) para a Gliricídia e Canafístula encontram-se nas Figura 8 e 9, respectivamente.



**Figura 8.** Comparação entre os valores observados e simulados pelo AquaCrop no processo final de calibração da Gliricídia.

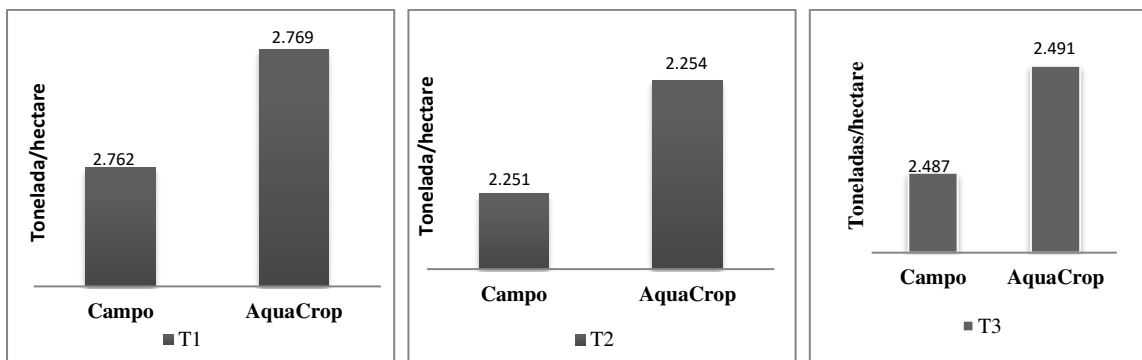


**Figura 9.** Comparação entre os valores observados e simulados pelo AquaCrop no processo final de calibração da Canafístula.

Para este processo, a calibração buscou o ajustamento dos parâmetros existentes no modelo com os definidos nas circunstâncias reais de campo deste estudo, por meio de um ajuste que permitisse maior aproximação entre os resultados mensurados e simulados. Nota-se que há aproximação entre os dados observados e os simulados demonstrando boa eficiência do modelo.

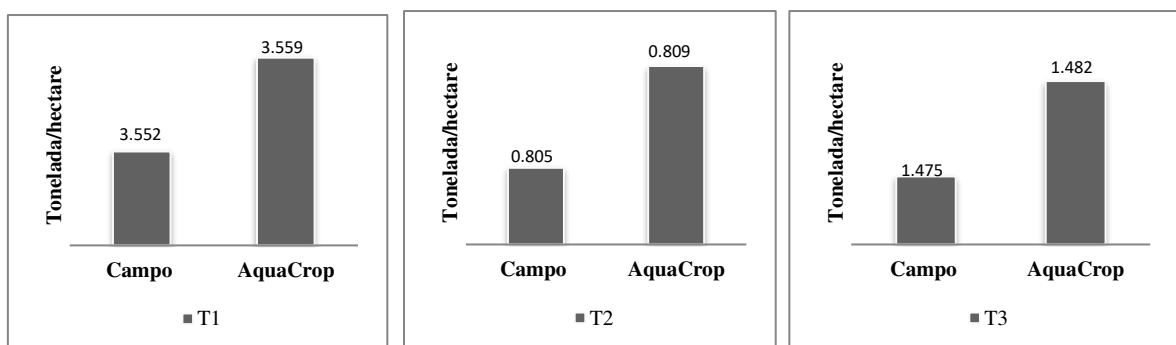
### 5.5.2 Validação do modelo

A validação do AquaCrop foi possível devido a comparação entre os dados observados em campo com os simulados pelo modelo para a Gliricídia e Canafístula, ocorrendo a adequada comparação entre os resultados obtidos para os tratamentos T1 (1,0m x 1,0m), T2 (1,0m x 0,5m) e T3 (1,0m x 1,5m) com os valores simulados para os mesmos tratamentos. A comparação da biomassa total da Gliricídia dos valores observados com os simulados para cada tratamento encontra-se na Figura 10.



**Figura 10.** Valores observados da Gliricídia em condições de campo com os simulados pelo Aquacrop para a validação dos tratamentos.

Os resultados mostraram que o modelo apresentou ótimo desempenho para a cultura da Gliricídia para os três tratamentos. O tratamento T1 que apresentou maior valor de biomassa entre a observada e estimada. Com relação à Canafístula, os valores observados e simulados pelo modelo estão apresentados na Figura 11.



**Figura 11.** Valores observados da Canafístula em condições de campo com os simulados pelo Aquacrop para a validação dos tratamentos.

O modelo AquaCrop também apresentou bom desempenho para a Canafístula entre os três tratamentos T1 (1,0m x 1,0m), T2 (1,0m x 0,5m) e T3 (1,0m x 1,5m), sendo o tratamento T1 que apresentou melhor resposta pelo modelo diferindo dos demais tratamentos o observado com o simulado, com o valor de 3,552 ton/ha, para o observado e 3,559 o simulado pelo modelo. De maneira geral, foi verificado um bom ajuste e validação para ambas as culturas cultivadas em condições climáticas semiáridas.

Comprovando a eficácia do modelo AquaCrop para as culturas estudadas, a Tabela 9 e 10 exibem as estatísticas de validação do seu desempenho para a Canafístula e Gliricídia, respectivamente.

**Tabela 9.** Estatísticas de validação do desempenho do modelo AquaCrop para a Canafístula.

Indicadores Estatísticos	Biomassa
RMSE	0,04
NRMSE (%)	0,31
Pe	0,30
EF	0,99
D	0,99

Avaliando a raiz do quadrado médio (RMSE) para a biomassa, o resultado observado foi de 0,04 que é considerado um bom ajuste.

Com relação à raiz do erro quadrado médio normalizado (NRMSE-%) o valor alcançado foi de 3,15% para biomassa que é considerado uma simulação excelente (<10%). O erro de predição (Pe) apresentou valor de 0,30 e o índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (NS) 0,99 considerado um desempenho excelente para o modelo. Por meio do índice de Willmont (d), constata-se que o valor encontrado na simulação foi de 0,99 que denota concordância bastante perfeita. A Tabela 10 exibe a estatística de desempenho da validação do modelo para a Gliricídia.

**Tabela 10.** Estatísticas de validação do desempenho do modelo AquaCrop para a Gliricídia.

Indicadores Estatísticos	Biomassa
RMSE	0,04
NRMSE (%)	0,17
Pe	0,19

---

EF	0,99
D	0,99

---

A raiz do erro quadrado médio (RMSE) e erro de previsão (Pe) apresentaram valores de 0,04 e 0,19 para a biomassa.

Referente ao resultado relacionado à raiz do erro quadrado médio normalizado (NRMSE-%), o valor foi de 1,77% para biomassa é considerada uma simulação excelente pelo modelo que é menor que <10%.

Neste estudo, o coeficiente de eficiência do modelo Nash-Sutcliffe (NS) resultou em 0,99 para a biomassa sendo visto um bom resultado.

Por fim, por meio do índice de acordo de Willmott (d), o valor encontrado na validação foi próximo de 1, sendo 0,99 para a biomassa, apontado como uma ótima harmonização de ajuste dos dados simulados e observados neste estudo.

Através da calibração e validação, o modelo AquaCrop foi aferido com um conjunto de dados que em síntese são descomplicados de obter, como as características locais de clima, solo e cultura. Ademais, o modelo AquaCrop foi apto em mostrar por meio dos indicadores estatísticos que logo após a adequada calibração.

## 6.CONCLUSÃO

- a) A Canafístula apresentou porcentagem de matéria seca superior a Gliricídia, quando cultivadas nas condições edafoclimáticas do semiárido brasileiro;
- b) A Gliricídia apresentou maior porcentagem de proteína bruta para os dois períodos (chuvoso e seco) com relação à Canafístula;
- c) Apenas a área da copa e o peso total da planta apresentaram diferenças estatísticas significativas entre a Canafístula e Gliricídia;
- d) No período chuvoso e seco, apenas a área da copa apresentou diferença significativa entre as duas culturas;
- e) O tratamento T1 (1,0m x 1,0m) para ambas as culturas apresentaram os melhores resultados quanto ao total de biomassa, sendo o total de 2,762 ton/ha para o observado em campo e 2,769 ton/ha para o valor simulado pelo modelo para a Gliricídia e de 3,552 ton/ha de valor observado em campo e 3,559 ton/ha simulado pelo modelo para a Canafístula;
- f) A calibração do modelo para as duas culturas proporcionou a determinação de parâmetros que poderão ser utilizados pelo AquaCrop em simulações futuras de biomassa total na região semiárida brasileira;
- g) As estatísticas utilizadas neste estudo para a Canafístula e Gliricídia mostraram ótimo desempenho do modelo AquaCrop, o que confirma a capacidade do modelo em realizar boas estimativas de biomassa dessas culturas.

## REFERÊNCIAS

- AESA. Agencia Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Geoportal AESA. 2019.
- AGUIAR JÚNIOR, R. A.; SILVA, R. R.; SILVA, A. G. P.; BARBOSA, E. C.; ARAÚJO, J. R. G. **Relação entre produção de biomassa e biometria de *Gliricídia (Gliricidia sepium (Jacq.))***. VII Congresso Brasileiro de Agroecologia. Fortaleza, CE. v. 6, n. 2 2011
- ALENCAR, L. P., **Parametrização e validação do modelo AquaCrop para a cultura da cana-de-açúcar**. Tese (doutorado), Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG: f.101-114. 2014
- AKAN, O. A. **Urban Stormwater Hydrology: A Guide to Engineering Calculations**. 1993
- ANDARZIAN, B. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated. **Agricultural Water Management**. 2011.
- ARAYA, A.; HABTUB, S.; HADGUC, K.M.; KEBEDEA, A.; DEJENED, T. Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficient and irrigated barley (*Hordeum vulgare*). **Agricultural Water Management**, v. 97, p. 1838–1846. 2010.
- ARAUJO, G. N.; GOMES, F. T.; M. J. SILVA.; JARDIM, A. M. F. R.;. SIMÕES, V. J. L. P.; IZIDRO, J. L. P. S.; LEITE, M. L. M. V.; TEIXEIRA, V. I.; SILVA, T. G. F. Estresse hídrico em plantas forrageiras: Uma revisão. **Revista PUBVET, Medicina Veterinária e Zootecnia**. v.13, n.1, a241, p.1-10, Jan., 2019
- ARAUJO, G.G.L.; ALBUQUERQUE, S. G.; GUIMARÃES FILHO, C. **Opções no uso de forragens arbustivo-arbóreas na alimentação animal no semiárido do nordeste**. Petrolina, 2013
- BAUMHARDT, R. L.; STAGGENBORG, S. A.; GOWDA, P. H. COLAIZZI, P. D.; HOWELL, T. A. Modelling irrigation management strategies to maximize cotton lint yield and water use efficiency. **Agronomy Journal**, p. 101, 460-468. 2009.
- BERTOLINI, I. C.; DEBASTIANI, A. B.; BRUN, E. J. Caracterização Silvicultural da Canafístula (*Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert). **Scientia Agraria Paranaensis – SAP**, v. 14, n. 2, abr./jun., p. 67-76, 2015
- CARVALHO FILHO, O.M. de., DRUMOND, M.A., LANGUIDEY, P.H. ***Gliricidia sepium*. Leguminosa promissora para regiões Semiáridas**. Circular Técnica, 35. EMBRAPA-CPATSA. 1997. Petrolina. 16 p.

- CAUSTON, D.R.; VENUS, J.C. **The biometry of plant growth**. Edward Arnold, London. 1981. 307p.
- COSTA, B. M. da., SANTOS, I.C.V., OLIVEIRA, G.J.C. de., PEREIRA I.G. Evaluation of *Gliricidia sepium* (JACQ.) Walp Leaves by Sheep. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 58, n 221, 2009
- COSTA, J. A. S.; NUNES, T. S.; FERREIRA, A. P. L.; STRADMANN, M. T. S.; QUEIROZ, L. P. **Leguminosas forrageiras da Caatinga: Espécies importantes para as comunidades rurais do sertão da Bahia**. Feira de Santana: Universidade Estadual de Feira de Santana, SASOP, 2002. 112 p.
- DANTAS, L.A; SANTOS, S.K; FIGUEIREDO, D.R; MORAIS, M.M.D; GOMES, D.S. **Propagação Vegetativa de Gliricídia (*Gliricídia sepium*) (jacq.) walp.)**. III SINPROVS - SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS PARA PRODUÇÃO VEGETAL NO SEMIÁRIDO. Campina Grande, 2018
- DIAZ, Y., A. ESCOBAR Y J. VIERA. 1995. Efecto de la substitución parcial del suplemento convencional por follaje de pacheco (Pachecoa venezuelensis) o gliricidia (*Gliricidia sepium*) en la alimentación de corderos postdestete. Fundación CIPAV. Liv. **Res. for Rural Develop.**, Cali, v. 7, n. 1. Disponível em <<http://cipav.org.co>>. Acesso em 27 de jun 2019.
- DRUMOND, M. A.; FILHO, O. M. C. **Introdução e avaliação da *Gliricídia sepium* na região semiárida do Nordeste Brasileiro**. Embrapa. 2004. Disponível em <<http://www.cpatia.embrapa.br/catalogo/livroorg/gliricidia.pdf>> Acesso em: 30 Jan 2020
- EIRAS, P.P.; COELHO, F.C.. **Adubação verde na cultura do milho**. Niterói: Programa Rio Rural, 2010. 14 p. (Programa Rio Rural. Manual Técnico; 28)
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Matéria seca dos alimentos. Disponível em <<https://cloud.cnpq.embrapa.br/sac/2016/05/24/o-que-e-materia-seca-ms-dos-alimentos-qual-a-sua-importancia-como-determina-%c2%adla/>> Acesso em: 13 fev 2020.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Solos**. 2016. Disponível em<<http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.php?link=pb>>Acesso em: 19 Jun 2019.
- FERNANDES, G. T.; SOUSA, W. V. de.; SILVA, S. D.; D'IMPERIO, A. S. **Avaliação do Crescimento Inicial da *Gliricídia sepium* nas Condições Edafoclimáticas da Região do Bico do Papagaio** –TO. 7º JICE –Jornada de Iniciação Científica. 2016
- FIGUEIREDO, R.T.; GUISEM, J.M.; CHAVES, A.M.S.; AGUIAR JUNIOR, R.A.; SILVA, A.G.P.; PAIVA, J.B.P.; SANTOS, F.N. Relação entre a área foliar, número de folhas e biomassa seca e fresca da planta de rúcula. 2010. **Horticultura Brasileira** 28: S913-S918 v. 28, n. 2, julho 2010



FREITAS, J. C. **CALIBRAÇÃO DO MODELO AQUACROP E NECESSIDADES HÍDRICAS DA CULTURA DO TOMATEIRO CULTIVADA EM CONDIÇÕES TROPICAIS**. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. 119 f. Campina Grande, 2019.

GÓMEZ, M.E., RODRIGUEZ, L., MURGUEITIO, E., RIOS, CL.I., MÉNDEZ, M., MOLINA, C.H., MOLINA, C.H., MOLINA, E., MOLINA, J.P. **Árboles y Arbustos Forrajeros Utilizados en Alimentación Animal Como Fuente Proteica**. 3.ed. Cali, Colombia., p.1-147, 2002.

HSIAO, T. C.; HENG, L.; STEDUTO, P.; ROJAS-LARA, B.; RAES, D.; FERERES, E. AquaCrop – The FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parametrization and testing for maize. **Agronomy Journal, Madison**, v. 101, n. 3, p. 448-459. 2009.

JELLER, H. **Embebição e efeito do condicionamento osmótico de sementes de Cassia excelsa Schrad seguidos de secagem e armazenamento**. Tese (Doutorado) Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 81 p. 2002

LECERF, R.; CEGLAR, A.; LÓPEZ-LOZANO, R.; VELDE, M. V. D.; BARUTH, B. Assessing the information in crop model and meteorological indicators to forecast crop yield over Europe. **Agricultural Systems**, v. 168, p. 191-202, 2019.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002, v.1, p.368.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas Medicinais no Brasil nativas e exóticas**. Instituto Plantarium de Estudos da Flora LTDA. Edição única, 2002 p. 291.

MACEDO, J. M.; PEREIRA, D. D.; LIMA, W. S.; ARAÚJO, V. S.; FEITOSA, M. A. **Projeto de domesticação de essências florestais forrageiras do semiárido: produção de mudas de canafístula-de-besouro *Senna spectabilis***. I Mostra de produção Científica do INSA. Campina Grande, 2013

MAIA, G. N. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. 2004. P.145.

MANCOSU, N.; SPANO, D.; ORANG, M.; SARRESHTEH, S.; SNYDER, R. L. SIMETA W# - a Model for Agricultural Water Demand Planning. **Water Resources Management**, v. 30, n. 2, p. 541-557, 2016

MARTINI, L. C. P. **Análise de sensibilidade de parâmetros do AquaCrop para milho seqüencial no Sul do Brasil**. Revista pesquisa agropecuária Brasileira. Vol. 53, n 8, 2018

MARTINS, M. A. **Estimativa da Produtividade da cultura do milho no Semiárido Brasileiro, com base no modelo Aquacrop e previsão climática sazonal**. Tese (Doutorado

em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2017

MARTÍN, M. M. S.; OLESEN, J. E.; PORTER, J. R. A genotype, environment and management (GxExM) analysis of adaptation in winter wheat to climate change in Denmark. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 187, p. 1-13, abr. 2014.

MATSUNAGA, W. K. Evapotranspiração, coeficiente de cultivo e modelagem agrometeorológica da cebola cultivada no semiárido nordestino. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. 69 f. Campina Grande, 2019.

MESQUITA, R.C.M.; ARAÚJO FILHO, J.A. de.; DIAS, M.L. **Manejo de pastagem nativa uma opção para o semiárido nordestino** In: II SIMPÓSIO NORDESTINO DE ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES, 2, p.124, Natal, RN, 1988

MIRSAFI, Z. S.; SEPASKHAH, A. R.; AHMADI, S. H.; KAMGAR-HAGHIGHI, A. A. Assessment of AquaCrop model for simulating growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 211, p. 343-351, 2016

MONTEIRO, J.E.B.A.; SENTELHAS, P.; CHIAVEGATO, E. J.; GUISELINI, C.; SANTIAGO, A. V.; PRELA, A. Estimação da área foliar do algodoeiro por meio das dimensões e massa de folhas. **Revista Bragantia**, Campinas, v.64, n.1, p.15-24, 2005.

MORALES, J. Y M. BENEZRA. **Substitución del alimento concentrado por Ipomoea batatas L., Gliricidia sepium em becerros lactantes doble propósito.** Informe Anual IPA 1994-1995, UCV, Facultad de Agronomía. Maracay. 1996. p. 32-33.

NGETICH, K.F.; RAES, D.; SHISANYA, C.A.; MUGWE, J.; MUCHERU-MUNA, M.; MUGENDI, D.N.; DIELS, J. Calibration and validation of AquaCrop model for maize in sub-humid and semiarid regions of central highlands of Kenya. In: RUFORUM BIENNIAL MEETING, 3., 2012, Entebbe. 24 - 28 Sept. **Proceedings...** Entebbe, Uganda, 2012.

OLIVEIRA, C. T. de. Modelo **Aquacrop: Calibração, Validação e Uso para Soja e Milho na Região dos Campos Gerais.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. 105 f. Curitiba, 2018.

PARROTTA, J. **Gliricidia sepium (Jacq.) Walp. Gliricidia, mother of cocoa.** SO-ITF-SM-50. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 1992. 7p

PEIXOTO, C. P.; CRUZ, T. V.; PEIXOTO, M. F. S. P. ANÁLISE QUANTITATIVA DO CRESCIMENTO DE PLANTAS: Conceitos e Prática. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.13; 2011

PEREIRA, E. S.; PIMENTEL, P. G.; DUARTE, L. S.; MIZUBUTI, I. Y.; ARAÚJO, G. G. L.; CARNEIRO, M. S. SOUZA; REGADAS FILHO, J. G. L.; MAIA, I. S. G. Determinação das

frações proteicas e de carboidratos e estimativa do valor energético de forrageiras e subprodutos da agroindústria produzidos no Nordeste Brasileiro. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 1079-1094. 2010

PEZZOPANE C.G.; SANTOS P.M.; CRUZ P.G.; ALTOÉ J.; RIBEIRO F.A. & VALLE C.B. . Hydric deficiency in genotypes of *Brachiaria brizantha*. **Ciência Rural** 45, 871-876. 2015

QUINTERO DE VALLEJO, V.E. Evaluación de leguminosas arbustivas em la alimentación de conejos. **Livestock Research for Rural Development**, v.5, n.3, p.1-7, 1993. On line edition. Disponível em: <http://www.cipav.org.co//lrrd>> Acesso em: 22/05/2019

RACKL, M.; HANLEY, K. J. A methodical calibration procedure for discrete element models. **Powder Technology**, v. 307, p. 73-83, fev. 2017.

RAES, D.; STEDUTO P.; HSIAO T.C.; FERERES E. AquaCrop - The FAO crop model to simulate yield response to water: II. Main algorithms and software description. **Agronomy Journal**, v. 101, ed. 3, p.438-447. 2009.

SANTOS P.M.; CRUZ P.G.; ARAUJO L.C.; PEZZOPANE J.R.M.; VALLE C.B.D. & PEZZOPANE C.D.G.. Response mechanisms of *Brachiaria brizantha* cultivars to water deficit stress. **Revista Brasileira de Zootecnia** 42, 767-773. 2013

SANTOS, C. M. C.; SOUZA, S. F.; ANDRADE, B. M. S. **Impacto da *Gliricídia Sepium* na Caracterização Química do Solo em Sistemas Agroflorestais no Estado de Sergipe.** EMBRAPA DIGITAL. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/110668/1/332.pdf>> Acesso em: 13 de Fev de 2020.

STEDUTO, P.; HSIAO, T.C.; FERERES, E.; RAES, D. **Crop yield response to water: FAO irrigation and drainage paper 66.** Rome, ITALY: FAO, 2012.

SIMIONESEI, L.; RAMOS, T. B.; BRITO, D.; JAUCH, E.; LEITÃO, P. C.; ALMEIDA, C.; NEVES, R. Numerical simulation of soil water dynamics under stationary sprinkler irrigation with mohid-land. **Irrigation and Drainage**, v. 65, p. 98-111, 2016.

STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E.; RAES, D. Crop yield response to water. **FAO Irrigation and Drainage Paper 66.** Rome: FAO, 2012. Disponível em: Acesso em: 29 mai. 2019

SIMONS, A.J. AND J.L. STEWART. *Gliricidia sepium* a multipurpose forage tree legume. In: **R.C. Gutteridge, H. M. Shelton (eds.)**. Forage tree legumes in tropical agriculture. CAB International. Wallinford. 1994. p. 30-48

SILVA, F. B. B.; MENDONÇA, D. P.; MONTEIRO, M. G. T.; RIBEIRO, A. C. M.; LEMOS, O. F. **Tipo de estaca e espaçamento de *Gliricídia (Gliricidia sepium (jacq.) Walp.)* Na produção de jardim clonal para tutor vivo no cultivo da Pimenteira-do-Reino (*Piper nigrum* L.)** IV Congresso Internacional das Ciências Agrárias. Recife, 2018

SILVA, F.O, OLIVEIRA, I.R. e SILVA, M.G.V. Constituintes químicos das folhas de *Senna spectabilis* (DC) Irwin & Barneby var. *excelsa* (Schrad.) Irwin & Barneby **Quim. nova**, Vol. 33, No. 9, 1874-1876, 2010

SILVA, R.A. Modelo AquaCrop é eficiente na simulação da produtividade de cultivar de soja na região de Matopiba. **Cienc. Rural** . vol. 48, n 1, 2018.

SILVESTRE, N. G.; VIEIRA, G. H. S.; NASCIMENTO, D. P. Estimativa da melhor época de plantio e produtividade de cana-de-açúcar com o modelo agrometeorológico aquacrop. **Revista Ifes Ciência** v. 5 n. 1. 2019

SOUZA, S. C. A.; AMARAL, V. B.; MORAIS, F.; DA LUZ, G. R.; NUNES, Y. R. F.; REIS-JR, R. **Escarificação de Sementes de *Senna spectabilis* (DC) IRWIN ET BARN. (FABACEAE CAESALPINIOIDEAE)**. II Simpósio Internacional Savanas Tropicais. Brasília, 2008

TOMAZ, P. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais**. Editora Navegar, 2ªed. São Paulo. 479p, 2010

VERA, J.C.K., L.R. AVILÉS, G.J. FERRER, J.A. ALAYÓN Y L.R. **Árboles y arbustos para producción animal en el trópico mexicano**. En: Conferencia Electrónica FAO/CIPAV. Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica. 1998. p. 161-180. Disponível em: [www.fao.org/ag/AGAP/FRG/AGROFOR1/ku10.pdf](http://www.fao.org/ag/AGAP/FRG/AGROFOR1/ku10.pdf)

ZELEKE, K.T., LUCKETT, D., COWLEY, R. Calibration and testing of the FAO AquaCrop model for canola. **Agronomy Journal**, v. 103, p. 1610–1618. 2011.