

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

Patrícia Carine Hüller Goergen

**CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO, PRODUTIVIDADE E
QUALIDADE DE SEMENTES DE CHIA EM DIFERENTES DATAS DE
SEMEADURA**

Santa Maria, RS, Brasil
2018

Patrícia Carine Hüller Goergen

**CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO, PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE
SEMENTES DE CHIA EM DIFERENTES DATAS DE SEMEADURA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia.**

Orientadora: Profa. Dr^a. Isabel Lago

Santa Maria, RS
2018

GOERGEN, PATRÍCIA CARINE HÜLLER
CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO, PRODUTIVIDADE E
QUALIDADE DE SEMENTES DE CHIA EM DIFERENTES DATAS DE
SEMEADURA / PATRÍCIA CARINE HÜLLER GOERGEN.- 2018.
86 p.; 30 cm

Orientadora: ISABEL LAGO
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Agronomia, RS, 2018

1. Salvia hispanica L. 2. Estágios de
desenvolvimento. 3. Análise de crescimento. 4. Produção
de sementes. 5. Épocas de semeadura. I. LAGO, ISABEL II.
Título.

Patrícia Carine Hüller Goergen

**CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO, PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE
SEMENTES DE CHIA EM DIFERENTES DATAS DE SEMEADURA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

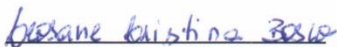
Aprovado em 17 de julho de 2018:



Isabel Lago, Profa. Dr.^a (UFSM)
(Presidente/Orientadora)



Ubirajara Russi Nunes, Prof. Dr. (UFSM)



Leosane Cristina Bosco, Profa. Dr.^a (UFSC)

Santa Maria, RS
2018

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Vicente Luiz e Odete Goergen pela educação, apoio e exemplo de vida.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Deus por me guiar durante a Graduação e Pós-Graduação.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia pela oportunidade de realizar este estudo.

A professora Dr^a. Isabel Lago pelas orientações e ensinamentos durante o curso de Pós-Graduação.

À minha família, pela educação, apoio, carinho e compreensão durante os anos de estudo.

Aos professores do Departamento de Fitotecnia Ubirajara Russi Nunnes e Angelica Durigon pela colaboração durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao grupo de pesquisa em Agrometeorologia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em especial, aos integrantes da equipe chia pela valiosa ajuda nos trabalhos de condução dos experimentos de campo. Cito, os bolsistas de iniciação científica: Alexandre, Charles, Gabriel, Ioran, Jaíne, Lucio, Taís e Verlaine.

Ao colega de pós-graduação Anderson Rodrigues Nunes pelo auxílio na condução dos experimentos e na coleta dos dados.

Ao CNPq pelo auxílio financeiro através da bolsa de mestrado.

À colega de pós-graduação Gabriela Görden Chaves, pela amizade e companheirismo durante toda a caminhada do mestrado. E aos demais amigos e colegas, que sempre se fizeram presentes, me incentivando e me apoiando nos momentos difíceis.

A todos os professores do Departamento de Fitotecnia e do Programa de Pós Graduação em Agronomia pelos ensinamentos.

MUITO OBRIGADA.

RESUMO

CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO, PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE SEMENTES DE CHIA EM DIFERENTES DATAS DE SEMEADURA

AUTORA: Patrícia Carine Hüller Goergen

ORIETADORA: Isabel Lago

A demanda por alimentos funcionais como a chia tem aumentado nos últimos anos. Diante disso, há a necessidade de ampliar os estudos com esta espécie, principalmente, em aspectos agrônômicos nas regiões com condições edafoclimáticas que propiciem o cultivo no Estado do Rio Grande do Sul. Sabe-se que a data de semeadura influencia o crescimento e a duração do ciclo de desenvolvimento e, conseqüentemente, a produção de biomassa, a produtividade e a qualidade de sementes de diferentes culturas. Assim, o objetivo deste trabalho foi caracterizar o crescimento, desenvolvimento, produtividade e qualidade de sementes da chia em diferentes datas de semeadura. Para alcançar tal objetivo foi realizado experimento em cinco datas de semeadura (22/09/16, 28/10/16, 03/01/17, 08/02/17 e 24/03/17), nas condições de Santa Maria, RS. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições. As variáveis avaliadas em campo foram: data de emergência, estatura de plantas (cm), número de folhas (semanalmente), área foliar (quinzenalmente) e datas de ocorrência de alguns estágios de desenvolvimento. Foram coletadas três plantas por parcela (quinzenalmente) para obter a massa seca e realizar a análise de crescimento da espécie nas diferentes datas de semeadura. Também foi realizada a avaliação da produtividade e da qualidade das sementes em laboratório. Os índices de crescimento indicaram que em datas mais precoces há maior crescimento de planta, seja em massa de matéria seca da parte aérea, estatura e índice de área foliar. O índice de área foliar das ramificações é incrementado com o desenvolvimento das plantas e contribui significativamente para área foliar total da chia em todas as datas de semeaduras estudadas. Para as datas de semeadura estudadas, a haste principal representa entre 60 e 70% da massa de matéria seca da parte aérea acumulada nas plantas das datas de semeadura precoces, e entre 40 e 50 % nas semeaduras tardias. A duração da fase vegetativa das plantas de chia em dias e em graus-dia varia entre as datas de semeadura, com menor duração nas datas tardias, em resposta a redução do fotoperíodo. A fase vegetativa representa a maior percentagem do ciclo total de desenvolvimento nas datas de semeaduras precoces, sendo superada pela fase reprodutiva nas datas de semeadura tardias (08/02/17 e 24/03/17). O filocrono para chia varia de 36,23 (semeadura muito tardia) a 59,88 °C dia (semeadura precoce e intermediária). Semeaduras mais tardias resultam em um menor número final de folhas acumuladas na haste principal, em razão da redução do fotoperíodo médio e rápida indução a fase reprodutiva. A chia pode ser semeada entre os meses de setembro a fevereiro propiciando produção de sementes com elevada qualidade física e fisiológica. A qualidade física e fisiológica das sementes de chia não difere entre a haste principal e as ramificações. Para as datas estudadas, o melhor mês de semeadura para a obtenção de maior produtividade de sementes de chia em Santa Maria é janeiro.

Palavras-chave: *Salvia hispanica* L.. Estágios de desenvolvimento. Análise de crescimento. Soma térmica. Produção de sementes. Épocas de semeadura.

ABSTRACT

GROWTH, DEVELOPMENT, YIELD AND SEED QUALITY OF CHIA AT DIFFERENT SOWING DATES

AUTHOR: Patrícia Carine Hüller Goergen

ADVISOR: Isabel Lago

The demand for functional foods such as chia has increased in recent years. In view of this, there is a need to expand studies with this species, mainly in agronomic aspects in the regions with adequate edaphoclimatic conditions for chia cultivation of the Rio Grande do Sul State. It is known that the sowing date influences the growth and the length of the development cycle and, consequently, the biomass production, grain yield and seed quality of different crops. Thus, this work aimed to characterize the growth, development, crop yield and seed quality of chia at different sowing dates. To achieve it, an experiment was carried out in five sowing dates (09/22/16, 10/28/16, 01/03/17, 02/08/17 and 03/24/17) in Santa Maria, RS. The experimental design was a complete randomized block design with four replicates. The variables evaluated in the field were: emergency date, plant height (cm), number of leaves (weekly), leaf area (every fifteen days) and the occurrence dates of some development stages. Three plants per plot (every fifteen days) were collected to determine the dry mass matter and to perform the growth analysis of the species at different sowing dates. The evaluation of the grain yield and the seed quality in the laboratory was also carried out. The physiological indexes indicated that at earlier sowing dates there is a greater plant growth, either in shoot dry matter mass, height and leaf area index. The leaf area index of the branches is increased with plant development and significantly contributes to the total leaf area of chia in all studied sowing dates. For the sowing dates studied, the main stem represents between 60 and 70% of the shoot dry matter mass accumulated in the plants of the early sowing dates, and between 40 and 50% in late sowings. The length of the vegetative phase of chia plants in days and in degree days varies between the sowing dates, with shorter duration in late sowings, in response to the photoperiod reduction. The vegetative phase represents the greatest part of the total development cycle in the early sowing dates, being overcome by the reproductive phase in the late sowing dates (02/08/17 and 03/24/17). The phyllochron for chia varies from 36.23 (very late sowing) to 59.88 °C day (early sowing). Later sowings result in a smaller accumulated final number of leaves in the main stem due to the reduction in the mean photoperiod and the rapid induction to the reproductive phase. Chia can be sown from September to February providing seeds with high physical and physiological quality. The physical and physiological quality of chia seeds does not differ between main stem and the branches. For the studied dates, the best sowing month to achieve higher productivity of chia seeds in Santa Maria is January.

Keywords: *Salvia hispanica* L.. Development stages. Growth analysis. Thermal time. Seed yield. Sowing season.

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO DE LITERATURA.....	15
Figura 1 – Plantas de chia em um experimento agrícola em Santa Maria, RS.....	16
Figura 2 - Sementes de chia obtidas de um experimento agrícola em Santa Maria, RS.	17
ARTIGO 1.....	26
Figure 1. Minimum and maximum daily air temperature ($^{\circ}\text{C}$) and photoperiod (h) (a), rainfall (mm day^{-1}) and incident global solar radiation ($\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$) (b) between September 2016 and July 2017 in Santa Maria, Rio Grande do Sul State, Brazil..	47
Figure 2. Relative growth rate (RGR, $\text{g g}^{-1} \text{day}^{-1}$) (a), absolute growth rate (AGR, $\text{g plant}^{-1} \text{day}^{-1}$) (b), net assimilation rate (NAR, $\text{mg cm}^{-2} \text{plant}^{-1} \text{day}^{-1}$) (c), leaf area ratio (LAR, $\text{cm}^2 \text{g}^{-1} \text{SDM}$) (d), specific leaf area (SLA, $\text{cm}^2 \text{g}^{-1} \text{DML}$) (e), and leaf mass ratio (LMR, g g^{-1}) (f) of chia plants sown at different dates. Santa Maria, Rio Grande do Sul State, Brazil, 2016-2017.	48
Figure 3. Temporal evolution of the total leaf area index (LAI _{total} , $\text{cm}^2 \text{cm}^{-2}$) of chia plants in all sowing dates (a), and the temporal evolution of the total leaf area index (LAI _{total} , $\text{cm}^2 \text{cm}^{-2}$), the leaf area index in the main stem (LAI _{ms} , $\text{cm}^2 \text{cm}^{-2}$) and in branches (LAI _{br} , $\text{cm}^2 \text{cm}^{-2}$) in the sowing dates of 09/22/16 (b), 10/28/16 (c), 01/03/17 (d), 02/08/17 (e), and 03/24/17 (f). Santa Maria, Rio Grande do Sul State, Brazil, 2016-2017.	49
Figure 4. Total shoot dry matter mass (g) of chia plants in all sowing dates (a), the dry matter mass (g) of each plant part (stems, leaves and inflorescences) in the main stems (solid-filled columns) and in branches (texture-filled columns) in the dates of 10/28/16 (b), 01/03/17 (c), 02/08/17 (d), 03/24/17 (e) of chia plants in all sowing dates. **B = branches.	50
Figure 5. Grain yield (kg ha^{-1}) (a) and final plant height (FPH, cm) (b) of chia sown at different sowing dates: 1 (09/22/16), 2 (10/28/16), 3 (01/03/17), 4 (02/08/17), and 5 (03/24/17). *Means followed by the same uppercase letter do no significantly differ by the Scott Knott test at 5% probability. Santa Maria, Rio Grande do Sul State, Brazil, 2016-2017.	51

ARTIGO 2.....	52
---------------	----

Figura 1. Temperaturas mínimas e máximas diárias do ar (°C) entre setembro/2016 e julho/2017, em Santa Maria, RS.....	58
---	----

Figura 2. Duração das fases vegetativa e reprodutiva de chia em dias (A.) e em °C dia (B.) em diferentes datas de semeadura: 1 (22/09/2016), 2 (28/10/2016), 3 (03/01/2017), 4 (08/02/2017) e 5 (24/03/17), no ano agrícola 2016/2017, em Santa Maria, RS. *Médias da duração do ciclo de desenvolvimento (fase vegetativa - fase reprodutiva) seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre si pelo Teste Scott Knott a 5% de probabilidade de erro	59
--	----

Figura 3. Duração percentual das fases vegetativa e reprodutiva em relação ao ciclo total da chia em diferentes datas de semeadura: 1 (22/09/2016), 2 (28/10/2016), 3 (03/01/2017), 4 (08/02/2017) e 5 (24/03/17), no ano agrícola 2016/2017, em Santa Maria, RS.....	60
---	----

Figura 4. Relação entre o número de folhas (NF) e soma térmica acumulada a partir da emergência (STa, °C dia) usada na estimativa do filocrono (°C dia folha ⁻¹) em chia nas semeaduras de 22/09/16 (A.), 28/10/16 (B.), 03/01/17 (C.), 08/02/17 (D.) e 24/03/17(E.), no ano agrícola 2016/2017, em Santa Maria, RS. *Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade	62
---	----

Figura 5. Fotoperíodo médio durante a emissão de folhas e número final de folhas (A.) na haste principal de chia nas datas de semeadura: 22/09/16 (1), 28/10/16 (2), 03/01/17 (3), 08/02/17 (4) e 24/03/17 (5). Relação entre número final de folhas na haste principal duração da fase vegetativa (B.), e relação entre filocrono e duração da fase vegetativa (C.) de chia, no ano agrícola 2016/2017, em Santa Maria, RS. *Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade	64
---	----

ARTIGO 3.....	69
---------------	----

Figure 1. Minimum and maximum daily air temperature (°C) (a), global solar radiation (MJ m ⁻² day ⁻¹) and rainfall (mm day ⁻¹) (b) between September 2016 and July 2017 in Santa Maria, state of Rio Grande do Sul, Brazil.	72
---	----

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 3.....	69
Table 1. One thousand seed mass (g), water content (%), and grain yield (kg ha ⁻¹) of chia (<i>Salvia hispanica</i> L.) in the main stem and branches on different sowing dates. ..	73
Table 2. Ear length (cm) and ear diameter (cm) of chia seedlings (<i>Salvia hispanica</i> L.) in the main stem and branches on different sowing dates.	74
Table 3. Germination (%) and first count of germination (%) of chia (<i>Salvia hispanica</i> L.) seeds in the main stem and branches on different sowing dates.	75
Table 4. Hipocotyl length (cm), root length (cm) and dry mass (mg) of chia seedlings (<i>Salvia hispanica</i> L.) from seeds of the main stem and branches of plants sown on different sowing dates.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGR	Absolute growth rate
BOD	Biochemical Oxygen Demand
CV	Coefficient of variation
DAE	Days after emergence
DM	Dry Matter
DML	dry matter mass of the leaves
FPH	Final height of the plants
HL	Hipocotyl Length
INMET	Brazilian National Weather Service
LA	Leaf area
LAIbr	Leaf area index in the branches
LAI _{max}	Maximum Leaf area index
LAI _{ms}	Leaf area index in the main stems
LAI _{total}	Total Leaf area index
LAR	Leaf area ratio
LMR	Leaf mass ratio
NAR	Net assimilation rate
NF	Número de folhas acumulado
NFF	Número final de folhas
RGR	Relative growth rate
RL	Root Length
SDM	Shoot dry matter
SLA	Specific leaf area
Sta	Soma térmica acumulada
Std	Soma térmica diária
Tb	Temperatura basal inferior

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	13
1.1.	HIPÓTESES	14
1.2.	OBJETIVOS	14
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1.	A CULTURA DA CHIA	15
2.2.	FATORES ECOLÓGICOS QUE AFETAM O CRESCIMENTO, O DESENVOLVIMENTO E A PRODUTIVIDADE DA CHIA.	18
2.3.	EFEITO DAS DATAS DE SEMEADURA NA QUALIDADE DE SEMENTES	23
3.	ARTIGO 1.....	26
3.1	INTRODUCTION	27
3.2	MATERIAL AND METHODS.....	29
3.3	RESULTS AND DISCUSSION.....	33
3.4	CONCLUSIONS	41
3.5	REFERENCES	43
4.	ARTIGO 2.....	52
4.1	INTRODUÇÃO.....	54
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	55
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.4	CONCLUSÕES	65
4.5	LITERATURA CITADA	65
5.	ARTIGO 3.....	69
5.1	INTRODUCTION	70
5.2	MATERIAL AND METHODS.....	71
5.3	RESULTS AND DISCUSSION.....	72
5.4	CONCLUSION	76
5.5	REFERENCES	76
6.	DISCUSSÃO GERAL	79
7.	CONCLUSÕES.....	81
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A chia (*Salvia hispanica* L.), pertencente a família Lamiaceae, recentemente foi redescoberta como um alimento nutracêutico e rico em ômega 3 e ômega 6 (JAMBOONSRI et al., 2012). Por esta característica de alimento nutracêutico, a cultura da chia tem ganhado destaque na alimentação, principalmente, pelos que buscam uma alimentação mais saudável. Seus grãos possuem elevado teor de ácidos graxos insaturados, proteína e minerais. Apresenta também, altos teores de compostos fenólicos com atividade antioxidante e é a melhor fonte saudável de fibras conhecida atualmente, o que faz com que seu consumo seja recomendado pelos profissionais da saúde (AYERZA; COATES, 2011). Além do seu consumo in natura, a chia é utilizada na indústria alimentícia para fabricação de barras de cereais, pães, cereais matinais e biscoitos (COELHO; SALAS-MELLADO, 2014).

Esta espécie vem sendo cultivada a longo tempo pelos povos antigos da América Central. Ainda que se tenha poucas informações sobre as origens do seu cultivo e os processos da sua domesticação, a seleção humana tem contribuído fortemente na sua evolução, em virtude da capacidade da planta em produzir uma quantidade significativa de sementes. A chia possui ciclo de vida anual, sistema de polinização autógamo e alta herdabilidade de algumas características fenotípicas (AYERZA, 2009).

No Brasil, as regiões do oeste Paranaense e noroeste do Rio Grande do Sul começaram a investir no cultivo de chia a partir do ano de 2013, apresentando bons resultados, apesar da falta de informações a respeito das exigências nutricionais da planta, da fenologia e das suas características edafoclimáticas. Um fator que também limita seu cultivo é a dificuldade de adquirir sementes e obter informações sobre sua qualidade (MIGLIAVACCA et al., 2014).

A maioria das pesquisas desenvolvidas com a cultura da chia está relacionada à composição dos grãos e aspectos genéticos, demonstrando uma necessidade de mais estudos sobre o aspecto fitotécnico da cultura (BOCHICCHIO et al., 2015). Esse aspecto se torna mais relevante com o crescente consumo do grão e com o surgimento de áreas de cultivo comercial de chia nos Estados do Rio Grande do Sul, Paraná e Mato Grosso do Sul.

A variação da temperatura do ar e do fotoperíodo influenciam o crescimento, desenvolvimento e a produtividade de grãos. A chia é uma espécie de dia curto e tem a indução floral e o crescimento das plantas regulados pela temperatura do ar e fotoperíodo (BAGINSKY et al., 2014; JAMBOONSRI et al., 2012). Semeaduras extemporâneas, em tese, podem alterar a estatura, a emissão de folhas, o ciclo de desenvolvimento, a produtividade e a qualidade de sementes. Em espécies de dia curto, datas de semeadura tardias podem reduzir a

estatura da planta e o número de folhas, e nessa situação pode haver, também, redução do número total de grãos, assim como, da produção total de matéria seca da parte aérea (PEIXOTO et al., 2006). O crescimento excessivo, resultante de semeaduras precoces promove o acamamento das plantas, e também pode implicar em queda na produtividade potencial de grãos e dificultar a colheita (VENTURA et al., 2009).

Assim, estudos sobre a resposta do crescimento, do desenvolvimento e da produtividade de chia em diferentes datas de semeadura são fundamentais para entender a influência da condição climática sobre essa cultura. É necessário também, o entendimento dos efeitos das datas de semeadura frente a qualidade física e fisiológica das sementes, no que diz respeito ao teor de água das sementes, vigor, o processo germinativo e índice de velocidade de germinação, permitindo a adequação das datas que propiciam produção de sementes de melhor qualidade para aqueles produtores que visam a sua comercialização. Essa carência de estudos constituiu o incentivo para a realização deste trabalho.

1.1. HIPÓTESES

As taxas de crescimento, índice de área foliar e partição de massa seca das plantas de chia são influenciadas pela data de semeadura.

A duração do ciclo de desenvolvimento, o número final de folhas e o filocrono na haste principal de plantas de chia é maior nas datas de semeaduras precoces do que nas tardias.

A produtividade e a qualidade física e fisiológica das sementes provenientes da haste principal e das ramificações de plantas de chia é diferente entre as data de semeadura.

É viável a produção de sementes de chia na região central do Rio Grande do Sul.

1.2. OBJETIVOS

Os objetivos desta dissertação foram (i) comparar e caracterizar as taxas de crescimento, índice de área foliar e partição de massa seca em chia semeada em diferentes datas, (ii) caracterizar o desenvolvimento das plantas de chia semeadas em datas diferentes, e determinar a relação da duração do ciclo de desenvolvimento com o número final de folhas e com a velocidade de aparecimento de folhas na haste principal, e (iii) analisar a produtividade e a qualidade física e fisiológica de sementes provenientes da haste principal e das

ramificações de plantas de chia cultivadas em diferentes datas de semeadura nas condições ambientais de Santa Maria, RS.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A CULTURA DA CHIA

A chia (*Salvia hispanica* L.), também chamada de artemisa espanhola, salvia espanhola, chia mexicana e chia negra, é originária da região que se estende do centro-oeste do México até o norte da Guatemala (CAHILL, 2004). Os grãos de chia faziam parte da alimentação básica das populações que habitavam a América Central sendo consumidos, principalmente, pelos Maias e Astecas para aumentar a resistência física (REYES-CAUDILLO; TECANTE; VALDIVIA-LÓPEZ, 2008). Entretanto, durante a colonização Espanhola, o seu cultivo foi desprezado, por fazer parte de rituais sagrados e servir como oferenda aos deuses dessas civilizações, o que despertava ira nos espanhóis católicos que viam a cerimônia como um ritual pagão, permanecendo ativa apenas em áreas montanhosas e isoladas do México e da Guatemala (BOCHICCHIO et al., 2015).

Atualmente, os principais produtores de chia são México, Espanha, Colômbia, Bolívia, Argentina e Austrália (MIRANDA, 2012). O maior centro produtor do México está localizado no município de Acatic, em Jalisco, exportando quantidades crescentes de sementes para o Japão, Estados Unidos e Europa. No Brasil, nas últimas safras, em algumas regiões, como no noroeste do Rio Grande do Sul e o oeste Paranaense, os produtores rurais começaram a investir no cultivo de chia. Esses cultivos têm apresentado resultados promissores, apesar da falta de informações básicas sobre a cultura (MIGLIAVACCA et al., 2014).

Pertencente à família Lamiaceae, a chia é caracterizada como uma planta herbácea anual, com folhas simples e opostas, apresentando aproximadamente 1 m de altura. O caule é ramificado e aromático, recoberto por tricomas, assim como as folhas. As flores são hermafroditas, de coloração roxa ou branca, pequenas e possuem parte da flor fundida, o que contribui para uma alta taxa de autofecundação (Figura 1). Após a fecundação, origina-se um fruto em forma de aquênio indeiscente. A principal forma de propagação da espécie é via sementes, que medem de 1 a 2 mm e são albuminosas com superfície reticulada, que quando embebidas em água formam um líquido gelatinoso, devido à presença de mucilagem na superfície. O embrião é axial, linear com cotilédones de simetria dorsiventral, e a germinação é epígea (BOCHICCHIO et al., 2015; DI SAPIO et al., 2012).

Figura 1 – Plantas de chia em um experimento agrícola em Santa Maria, RS.



Fonte: A autora.

A espécie produz sementes brancas e pretas que atingem a maturação essencialmente no outono (CAPITANI et al., 2012) (Figura 2). Segundo Ramos (2013), apesar da espécie possuir plantas que produzem sementes brancas e plantas que produzem sementes pretas, a maioria da produção de chia contém uma baixa percentagem de sementes brancas, e de um modo geral, comercializa-se a mistura das duas sementes.

Figura 2 - Sementes de chia obtidas de um experimento agrícola em Santa Maria, RS.



Fonte: A autora.

Desenvolve-se bem em solos de textura média a arenosa, mas pode também ser cultivada em solos argilosos desde que bem drenados (COATES, 2011). Apesar de ser tolerante a acidez, é importante a correção do solo e a manutenção da faixa de pH de 6,5 - 7,5 para o cultivo (MIGLIAVACCA et al., 2014; MIRANDA, 2012).

A chia pode ser usada com várias finalidades. As folhas, devido a presença de óleos essenciais, podem ser usadas como repelente de insetos. Enquanto que os grãos podem ser consumidos in natura ou processados na forma de óleo. Estes grãos são ricos em ácido linoleico e α -linolênico, que representam a maior fonte natural dos ácidos graxos ômega-6 e ômega-3, importantes para a saúde humana por reduzirem os riscos de doenças cardiovasculares (JAMBOONSRI et al., 2012). Além disso, os grãos possuem baixo teor de sódio, diferentemente de outras fontes de ômega-3, podendo ser introduzida na alimentação de pessoas que sofrem de pressão sanguínea alta e necessitam de uma dieta com baixos níveis de sódio (BUSILACCHI et al., 2013).

Os grãos de chia também apresentam uma quantidade elevada de componentes antioxidantes (IXTAINA; NOLASCO; TOMÁS, 2008) como beta-caroteno, tocoferol, ácido clorogénico, ácido caféico e flavonóides (quercetina, miricetina e kaempferol) o que previne a rancificação dos ácidos graxos insaturados presentes nos alimentos (REYES-CAUDILLO; TECANTE; VALDIVIA-LÓPEZ, 2008). Além de ser uma fonte de vitaminas como riboflavina, niacina, tiamina, e minerais, tais como o fósforo, potássio, zinco, magnésio e cobre, possuem níveis seguros de metais pesados para serem utilizadas na alimentação. A chia é considerada um alimento funcional e a demanda por esse tipo de alimento tem aumentado

nos últimos anos, principalmente por quem busca uma alimentação mais saudável e rica em ácidos graxos poli-insaturados.

Segundo Coelho e Salas-Mellado (2014) e Ferreira (2013), os grãos de chia podem ser considerados uma excelente fonte nutricional, uma vez que apresentam elevado teor de proteínas (19- 23%), fibras alimentares (34,6%), cálcio (0,456%) e ácidos graxos (23%). O teor de aminoácidos dos grãos se assemelha muito ao da soja que é considerada a referência em conteúdo de proteína vegetal. Outra característica que merece destaque é que o grão de chia não contém glúten, o que o torna uma excelente opção de alimento para as pessoas celíacas (BUENO et al., 2010).

A chia pode ser utilizada de diversas formas na alimentação humana e animal. Frequentemente é consumida como salada de plântulas de chia, em bebidas, cereais matinais, em misturas para bolos ou pães, a partir do óleo da semente, ou é consumida in natura. É utilizada para alimentação de porcos, frangos e coelhos na forma de ração e suplemento mineral (MIGLIAVACCA et al., 2014).

2.2. FATORES ECOLÓGICOS QUE AFETAM O CRESCIMENTO, O DESENVOLVIMENTO E A PRODUTIVIDADE DA CHIA.

Os fatores ecológicos relacionados ao clima têm grande importância na cultura de chia, pois podem interferir no crescimento, desenvolvimento e na produtividade da planta. O conhecimento dos efeitos das datas de semeadura no crescimento e desenvolvimento da chia é de extrema importância para aumentar a produtividade da cultura. Crescimento vegetal pode ser definido como o aumento irreversível em alguma dimensão física da planta, acompanhado por uma combinação de divisão e expansão celular (BENINCASA, 2004). O crescimento pode ser avaliado por medidas como estatura da planta, diâmetro de caules, área foliar e fitomassa expressa em massa seca, e a análise de crescimento constitui-se em um dos primeiros passos na análise da produção primária de uma cultura. A análise de crescimento requer informações obtidas por meio de vários índices fisiológicos, sendo que os mais utilizados são a taxa de crescimento relativo, a taxa de crescimento absoluto, a taxa de assimilação líquida, o índice de área foliar, o índice de área foliar específico, a razão de área foliar e a razão de massa de folhas, estando essas variáveis diretamente relacionadas com a quantidade de massa seca contida na planta inteira e em suas partes (BENINCASA, 2004; KVET et al., 1971). O desenvolvimento vegetal refere-se a processos envolvendo diferenciação celular, iniciação morfológica e aparecimento de órgãos (PEIXOTO;

PEIXOTO, 2009; STRECK et al., 2003). Algumas das variáveis utilizadas para avaliar o desenvolvimento das culturas são o número final de folhas, a taxa de aparecimento de folhas, o filocrono e duração das fases vegetativa e reprodutiva.

A temperatura do ar, o fotoperíodo, a radiação solar e a precipitação tem influencia no crescimento, no desenvolvimento e na produtividade de diversas culturas agrícolas (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017). Por isso, o estudo de diferentes datas de semeadura da chia que possibilitem as plantas se desenvolver em diferentes condições meteorológicas, facilita entender a influência dessas variáveis no crescimento e desenvolvimento da planta e na produtividade de grãos.

O fotoperíodo varia de acordo com as épocas do ano e tem efeito sobre a duração das fases e do ciclo de desenvolvimento de culturas agrícolas como a soja (ZANON et al., 2015), arroz (STRECK et al., 2006a) e o trigo (ROSA et al., 2009). Para a chia as informações sobre a influência dessa variável na duração do ciclo são bastante restritas. Sabe-se que a planta de chia é considerada uma planta de dias curtos (JAMBOONSRI et al., 2012), e que o fotoperíodo crítico para a cultura é de 12 horas, ou seja, semeaduras muito tardias encurtam o ciclo de desenvolvimento e semeaduras muito precoces alongam o ciclo da cultura, podendo resultar em plantas muito altas e com índice de colheita baixo (BAGINSKY et al., 2014).

O estudo da temperatura do ar permite quantificar o acúmulo diário de energia disponível às plantas para o seu desenvolvimento, e essa energia pode ser contabilizada matematicamente através de funções lineares ou não-lineares de temperatura (CALLEJAS et al., 2014; MARTINS et al., 2014). Para isso, é necessária a inclusão das temperaturas cardinais, denominadas temperatura basal inferior (T_b), ótima (T_{ot}) e basal superior (T_B) nessas funções (RENATO et al., 2013; ROSA et al., 2009).

Uma forma bastante usual de quantificar o efeito da temperatura do ar sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas é através da soma térmica, cuja unidade é dada em $^{\circ}\text{C dia}^{-1}$, e calculada com os valores acumulados de temperatura média diária do ar acima de uma temperatura basal inferior (ROSA et al., 2009). Para quantificar o efeito da temperatura do ar sobre o crescimento e desenvolvimento da chia através do cálculo da soma térmica é preciso utilizar o valor da T_b .

A faixa de temperaturas do ar para crescimento da chia situa-se entre 11°C (temperatura mínima) e 36°C (temperatura máxima), com faixa ótima entre 16°C e 26°C (BOCHICCHIO et al., 2015). A cultura é considerada muito sensível a baixas temperaturas, sendo que o risco de ocorrência de geada é determinante para a definição das datas de semeadura da chia (BAGINSKY et al., 2014).

A resposta ao fotoperíodo somada a resposta a temperatura do ar fazem o ciclo da cultura variar de 90 a 180 dias (JAMBOONSRI et al., 2012). Assim, a temperatura do ar e o fotoperíodo podem influenciar diretamente a duração da fase vegetativa e o ciclo de desenvolvimento da chia, o número e a velocidade de emissão de folhas e, conseqüentemente, a produção de biomassa e a produtividade de grãos. Sabe-se que em culturas agrícolas a duração da fase vegetativa pode estar associada com a alteração do número final de folhas e da velocidade de aparecimento das folhas na haste principal, portanto uma fase vegetativa mais longa permite a planta produzir uma área foliar maior (HEINEMANN et al., 2006). Por isso, o número de folhas acumulado (NF) e o número final de folhas (NFF) são importantes parâmetros do desenvolvimento vegetativo (FAGUNDES et al, 2009).

O número de folhas acumulado em uma haste ou planta (NF) está associado com a expansão da área foliar, e a esta deve-se a interceptação da radiação solar, a fotossíntese e acúmulo de biomassa pela cultura (DELLAI et al., 2005). Para calcular o NF é frequentemente usado como parâmetro o conceito de filocrono, definido como o intervalo de tempo entre o aparecimento de duas folhas sucessivas na haste principal, expresso em °C dia folha⁻¹ (SCHONS et al., 2007; WILHELM; McMASTER, 1995).

Fatores ambientais, como o fotoperíodo e a temperatura do ar tem efeito sobre o filocrono (WILHELM; McMASTER, 1995). Por exemplo, em mandioca, filocrono e NFF variaram com a data de semeadura, sendo o fotoperíodo e a temperatura do ar uma possível causa da variação (FAGUNDES et al, 2009). Rosa et al. (2009) comprovaram esta variação do filocrono em função da data de semeadura na cultura do trigo, com menores valores de filocrono nas semeaduras durante a primavera e o verão e maiores valores nas semeaduras durante o outono e o inverno, pela resposta do trigo ao fotoperíodo e a temperatura do ar.

Em um trabalho desenvolvido por Streck et al. (2006a), observou-se que houve diferença no NFF para as cultivares de arroz em função das datas de semeadura, sendo o maior NFF obtido nas semeaduras mais precoces devido ao alongamento do ciclo, com resposta típica de planta de dia curto. Fagundes et al. (2009) e Shons et al. (2007) relataram que o filocrono e o NFF na haste principal em mandioca variaram com a data de semeadura, e indicaram que a temperatura do ar e o fotoperíodo afetam a velocidade de emissão de folhas e o NFF. Streck et al. (2009) também revelaram uma relação linear entre o número de folhas por planta e a soma térmica acumulada, indicando ser a temperatura do ar o fator ambiental principal que governa o aparecimento de folhas em batata.

Há uma relação direta também entre a produtividade de grãos e a duração das fases vegetativa e reprodutiva das culturas. Em arroz, se a fase vegetativa for longa, contribui para

aumentar as reservas de fotoassimilados no colmo que poderão ser translocados para o enchimento de grãos, e uma fase reprodutiva mais longa permite maior tempo de translocação desses fotoassimilados para o crescimento dos grãos (STRECK et al., 2006b).

Em soja, que é uma cultura de dia curto assim como a chia, a temperatura do ar e o fotoperíodo exercem influência sobre o número de primórdios reprodutivos e a taxa de desenvolvimento, com reflexos sobre o ciclo e a produtividade potencial de grãos (JIANG et al., 2011). O atraso da data de semeadura pode ocasionar redução de até 50% na produtividade de grãos de soja (STÜLP et al., 2009), visto que a semeadura na data mais adequada é importante para o melhor desempenho produtivo das plantas (PEIXOTO et al., 2006). Meotti et al. (2012) observaram que em datas de semeadura precoces, as condições de temperatura do ar, fotoperíodo e radiação solar favoreceram o desenvolvimento da soja e que, em semeaduras tardias as plantas foram submetidas a menor quantidade de radiação solar, temperaturas mais amenas e fotoperíodo menor, o que contribuiu para o decréscimo na produtividade de grãos.

As produtividades médias de grãos da chia em condições menos tecnificadas estão em torno de 500 a 600 kg ha⁻¹. No entanto, alguns produtores obtiveram produtividades de até 1200 kg ha⁻¹. Em alguns estudos na Argentina, em condições de alta fertilidade do solo e com irrigação, foram alcançadas produtividades de 2500 kg ha⁻¹ (COATES, 2011). A época de semeadura utilizada pelos produtores no Brasil corresponde a outubro e novembro, pois nesse período, a temperatura do ar é mais adequada para seu cultivo (COELHO; SALAS-MELLADO, 2014; MIGLIAVACCA et al., 2014).

Além do clima, um aspecto que interfere na produtividade é a desuniformidade de floração e maturação entre as inflorescências. Essa desuniformidade prejudica a colheita mecanizada, pois no momento que a inflorescência da haste principal amadurece e seca as inflorescências das ramificações laterais estão imaturas. Por outro lado esperar até que todas as inflorescências estejam secas pode aumentar as perdas por ocasião da ocorrência de chuvas, ataque de pássaros e pela ação do vento (JAMBOONSRI, 2010). A colheita deve ser realizada quando 80% das folhas de cada planta adquiriram cor mais escura, dando a aparência de secas ou mortas (MIRANDA, 2012).

A disponibilidade hídrica e a radiação solar também tem influência no crescimento, no desenvolvimento das plantas e na produtividade de grãos das espécies agrícolas, sendo importantes fatores meteorológicos a ser avaliados durante o ciclo de desenvolvimento de uma cultura. A radiação fotossinteticamente ativa está diretamente relacionada com a taxa fotossintética das plantas, e seu uso efetivo pelas plantas depende, além de sua

disponibilidade, da capacidade delas de interceptá-la em seu dossel. Essa interceptação ocorre com a atenuação da luz no dossel da planta, que varia de acordo com suas características morfológicas, como o índice de área foliar e arranjo das folhas, em relação à luz incidente (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017). A água é o principal constituinte do tecido vegetal, representando cerca de 80 a 95 % nas plantas herbáceas, sendo necessária como reagente no metabolismo vegetal, transporte e translocação de solutos, na turgescência celular, na abertura e fechamento dos estômatos e na penetração do sistema radicular (TAIZ; ZEIGER, 2013). A disponibilidade de água, é ainda responsável pela forma e estrutura dos órgãos e essencial para o crescimento e desenvolvimento das culturas, sejam elas anuais ou perenes (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017). Nesse sentido, a chia é considerada uma espécie tolerante ao déficit hídrico, sendo sugerida por Ayerza e Coates (2009) como uma opção para cultivo em climas semiáridos. Apesar de tolerante ao déficit hídrico, a chia se beneficia de precipitações pluviométricas entre 300 e 1000 mm durante o ciclo (BOCHICCHIO et al., 2015; YEBOAH et al. 2014). Quando se introduz o cultivo de uma espécie em uma determinada região, como é o caso da chia, devem-se fazer estudos que comprovem que a mesma irá se adaptar às condições meteorológicas do local. Neste contexto, a análise do crescimento pode ser utilizada para avaliar a adaptação ecológica das plantas a novos ambientes, a melhor data de semeadura, além de permitir avaliação da capacidade produtiva da cultura (ANTONIAZZI; DESCHAMPS, 2006; ZANON et al., 2016).

As plantas de espécies responsivas ao fotoperíodo, como a chia, passam por modificações no seu crescimento quando são semeadas em latitudes diferentes da qual está adaptada, ou em diferentes datas de semeadura em uma mesma latitude, por ação da duração dos dias que determinam o início do processo reprodutivo (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017). Esse efeito é observado, em espécies de dia curto como a soja (ZANON et al., 2015) e o arroz (STRECK et al., 2006a) que tem o seu ciclo encurtado em fotoperíodos menores. Por exemplo, para a soja uma fase vegetativa muito curta, diminui a estatura da planta, diâmetro de haste, a área foliar, a fitomossa total e o ponto de inserção dos primeiros legumes (COSTA, 1996). Assim, semeaduras muito tardias não proporcionam tempo suficiente para as plantas atingirem um crescimento normal antes da floração (ZANON et al., 2015).

Como existem poucas informações sobre a resposta da chia as variáveis meteorológicas temperatura do ar, fotoperíodo, radiação solar e precipitação, estudos são fundamentais para definir datas de semeadura que propiciem as melhores condições de desenvolvimento das plantas para obtenção das maiores produtividades.

2.3. EFEITO DAS DATAS DE SEMEADURA NA QUALIDADE DE SEMENTES

A interação dos componentes físico, fisiológico, sanitário e genético é responsável por expressar a qualidade das sementes e determina a capacidade destas de originar plantas de alta produtividade. A qualidade física indica a integralidade e aparência das sementes quanto à pureza do grau de contaminação com outras espécies e a quantidade de material inerte existente. A qualidade fisiológica determina as condições em que as sementes expressam seu potencial produtivo de desempenhar funções vitais, como a capacidade de germinação, o vigor e a longevidade. A qualidade sanitária expressa o grau de contaminação por fitopatógenos e de infestação por pragas. A qualidade genética envolve a pureza varietal, o potencial de produtividade, a resistência a pragas e moléstias, a precocidade e resistência a condições adversas de solo e clima (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; KULCZYNSKI et al., 2014).

Os testes de vigor e germinação são instrumentos importantes na pesquisa sobre qualidade fisiológica de sementes (MARCOS FILHO, 2015), por permitem identificar os lotes com maior ou menor probabilidade de apresentar melhor desempenho no campo ou durante o armazenamento (GUEDES et al., 2009). Através do teste de germinação é possível avaliar o potencial germinativo das sementes, e com o teste de vigor fornecer informações complementares às obtidas no teste de germinação e que possibilitem estimar o potencial de emergência de plântulas em campo, sob ampla faixa de condições ambientais (MARCOS FILHO, 2015).

A análise do crescimento de plântulas pode ser mensurada por meio de duas grandezas físicas: o comprimento e a massa seca, e ambas tem sido recomendadas pela Association of Official Seed Analysts (AOSA) e International Seed Testing Association (ISTA). Atualmente, os referidos testes estão sendo bastante empregados nos laboratórios de análise de sementes, por apresentarem as vantagens de não serem caros, de serem relativamente rápidos, não necessitarem de equipamentos especiais nem demandar treinamento específico sobre a técnica empregada (AOSA, 1983).

A determinação do comprimento médio das plântulas normais é realizada, tendo em vista que as amostras que expressam os maiores valores são mais vigorosas (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). De acordo com Dan et al. (1987), isso ocorre devido ao fato das sementes mais vigorosas originarem plântulas com maior taxa de crescimento, em função da maior translocação das reservas dos tecidos de armazenamento para o crescimento do eixo embrionário.

Sabe-se que fatores como umidade do ar, fotoperíodo e temperatura do ar influenciam na qualidade das sementes e variam de acordo com as estações do ano (VIGANÓ et al., 2010). Por isso, pode-se mencionar que definição da data de semeadura é um parâmetro fundamental para obtenção de sementes de boa qualidade. Alguns estudos tem indicado que a data de semeadura deve ser ajustada de tal forma que a maturação das sementes ocorra em condições de temperaturas amenas associadas a baixos índices pluviiais (COSTA et al., 2003; VIGANÓ et al., 2010). Em razão de que, o período de permanência de sementes no campo, após a maturidade fisiológica, é fator importante na deterioração fisiológica ou mesmo, na perda de vigor (MINUZZI et al., 2010).

É de conhecimento também que a máxima qualidade da semente é alcançada na maturidade fisiológica, ponto de máximo acúmulo de matéria seca, vigor e germinação (JACINTO; CARVALHO, 1974; MARCOS FILHO, 2015). Portanto, nesta fase também é importante que as condições meteorológicas sejam favoráveis a produção e a manutenção da qualidade da semente. Delouche (1973) e Pereira et al. (1979) afirmaram que oscilações de temperatura, associadas a altos índices pluviométricos e/ou a elevada umidade relativa do ar, contribuem gradativamente para que o processo de deterioração da semente seja acentuado com perdas significativas no potencial de germinação e vigor. Nessa mesma linha, Carter e Hartwig (1962) e Tekrony et al. (1980) detectaram que baixas temperaturas favorecem a qualidade da semente e que condições quentes e úmidas, com excesso de precipitação, podem comprometer severamente a germinação e o vigor. Segundo Tekrony et al. (1980), o índice de redução de germinação e vigor das sementes varia de acordo com a data de semeadura e com as condições de temperatura, umidade relativa e chuvas durante as fases de maturação e colheita.

Em trabalho sobre a influência de diferentes datas de semeadura sobre a qualidade fisiológica das sementes de soja de duas cultivares produzidas no período “safrinha”, Pedó et al. (2016) evidenciaram na primeira contagem de germinação que o vigor das sementes produzidas em diferentes datas é variável segundo a cultivar, conforme também observado com a germinação. O índice de velocidade de germinação foi maior em sementes produzidas na primeira data (17/01/13) comparativamente àquelas da segunda data de semeadura (15/02/13). Para Silva, Lazarini e Sá (2007), tanto a antecipação quanto o atraso na data de semeadura foram prejudiciais para a obtenção de sementes de soja com qualidade fisiológica superior, devido as sementes não tolerarem o estresse por temperatura e umidade relativa do ar elevadas, ocasionado pelo teste de envelhecimento.

As datas de semeadura também influenciam a qualidade fisiológica de sementes de trigo. Viganó et al. (2010) observaram que as condições climáticas nas datas de semeadura antecipadas e tardias impediram a expressão do máximo potencial fisiológico das sementes de trigo. De acordo com Zuchi et al. (2010), a primeira data de semeadura (entre 01/11 e 05/11) propiciou melhor qualidade de sementes para as cultivares de mamona. Nascimento e Pereira (2007), trabalhando com sementes de alface (*Lactuca sativa*), Guedes et al. (2009) com sementes de mulungu (*Erythrina velutina*) e Pêgo, Nunes e Massad (2011) com sementes de rúcula (*Eruca sativa*), verificaram eficiência no teste de comprimento de plântulas na distinção de lotes de qualidade superior. Assim como, Pedó et al. (2016), observaram influência da data de semeadura na teste da matéria seca total de plântulas ao estudar cultivares de soja. Assim, a adequação das datas de semeadura, na cultura da chia, tem a finalidade de mostrar qual a data mais indicada para produção de sementes de qualidade, reduzindo possíveis riscos de danos por geadas, temperatura do ar elevada no período do florescimento e excesso de chuvas na colheita que possam influenciar e alterar a produção de sementes de qualidade.

3. ARTIGO 1

Performance of chia on different sowing dates: characteristics of growth rate, leaf area index, shoot dry matter partitioning and grain yield¹

¹ Artigo formatado nas normas da revista Bragantia.

Performance of chia on different sowing dates: characteristics of growth rate, leaf area index, shoot dry matter partitioning and grain yield

ABSTRACT: The objective of this study was to comparatively determine the characteristics of growth rate, leaf area index, shoot dry mass partitioning and grain yield of chia plants (*Salvia hispanica* L.) on different sowing dates. A field experiment was conducted in the crop year of 2016/2017 in five sowing dates (09/22/16, 10/28/16, 01/03/17, 02/08/17 and 03/24/17) with a randomized complete block design and four replicates. Plant growth was determined through field samplings to determine the dry matter mass and leaf area performed every 15 days. The following physiological indexes were calculated: relative growth rate, absolute growth rate, net assimilation rate, leaf area ratio, specific leaf area and leaf mass ratio. To weekly evaluate plant height, ten plants per plot were marked after emergence, and the final height was considered when plants reached physiological maturity. A useful area of 2.10 m² per plot was collected for evaluating grain yield. The physiological indexes indicated that at earlier sowing dates there is a greater plant growth, either in shoot dry matter mass, height and leaf area index. The leaf area index of branches is progressively increased with plant development and contributes significantly to total leaf area index of chia plants in all studied sowing dates. The main stem represents between 60 and 70% of the shoot dry matter accumulated in the early sowing dates, and between 40 and 50% in late sowing. The best sowing date in terms of grain yield is 01/03/17.

Key words: *Salvia hispanica* L., sowing season, dry mass, growth analysis.

3.1 INTRODUCTION

Plant growth can be defined as the irreversible increase in some its physical dimensions followed by a combination of cell division and expansion (Benincasa 2004). The

growth analysis is one of the first steps for determining the primary production of a crop. This methodology aims to follow the dynamics of the photosynthetic production evaluated through the accumulation of dry matter mass over time, what is not possible with the simple final yield analysis (Peixoto and Peixoto 2009). The growth analysis requires information gathered through several physiological indexes, with the most used ones being the relative growth rate, the absolute growth rate, the net assimilation rate, the leaf area index, the specific leaf area, the leaf area ratio and the leaf mass ratio. These variables are directly related to the amount of dry matter mass contained in the whole plant and in its parts (Benincasa 2004). The final plant height is also a measure of the vegetative growth that supports the evaluation of the final plant growth and the definition of better growing conditions (Zanon et al. 2016).

Growth indexes indicate the capacity of the plant assimilatory system to synthesize and allocate organic matter to the several plant organs (leaves, stems, roots and inflorescences) which depend on the photosynthesis, respiration and translocation of photoassimilates from the carbon fixation sites to the use and storage sites (Benincasa 2004).

When a species is introduced in a region, studies must be carried out to indicate if it will be adapted to the local conditions. In this context, the growth analysis can be used to evaluate the ecological adaptation of plants to new environments, better sowing dates, and the effects of management systems, besides the evaluation of the productive capacity of the crop (Antoniazzi and Deschamps 2006; Zanon et al. 2016; Zanon et al. 2015a).

Chia (*Salvia hispanica* L.), of Lamiaceae family, is originated from the region that extends from central-western Mexico to northern Guatemala (Cahill, 2004). In Brazil, the cultivation of this species is still not very expressive and there is a lack of information regarding the growth, phenology, growing season, nutritional requirements and management strategies for a better use of the edaphoclimatic characteristics of each region. Despite this lack of information, farmers of the western region of Paraná State and the northwest region of

Rio Grande do Sul State started to invest in chia cultivation in the last agricultural years and reached good results.

Climate-related ecological factors such as photoperiod and air temperature vary according to the seasons and may interfere with growth, assimilation partition and yield of chia plants. Chia is considered a short-day species (Jamboonsri et al. 2012), and based on the responses of other short-day crops, it is possible to infer that there is variation in the responses of the plants sown in different dates due to the climatic conditions to which they are exposed. Thus, studies on the growth response of chia plants sown on different dates are fundamental to understand the influence of the environment on crop growth and, consequently, on grain yield. No studies were found in the literature reporting growth and yield of chia sown on different dates in the southern region of Brazil, which was an incentive to this work. In addition, it can be considered a promising crop to be introduced in crop rotation of the rural property, due to the good quality of the straw. It also represents an excellent alternative for income generation, due to the high grain value, and assisting the diversification of the agricultural production in the rural properties. The objective of this study was to comparatively determine the characteristics of growth rate, leaf area index, shoot dry mass partitioning and grain yield of chia plants on different sowing dates.

3.2 MATERIAL AND METHODS

A field experiment was conducted in the crop year of 2016/2017 in the experimental area in Santa Maria (latitude: 29° 43'S, longitude: 53° 43'W, and altitude: 95 m). The region climate is a Cfa humid subtropical type without a defined dry season and hot summers, according to the Köppen classification (Alvares et al. 2013). The soil in Santa Maria is a transition between a Typic Hapludalf soil and a Rhodic Paleudalf soil (USDA 1999).

The experiment was carried out in five sowing dates (09/22/16, 10/28/16, 01/03/17, 02/08/17 and 03/24/17), considered to be early, intermediate and late in relation to the season more suitable for the crop that is October/November (Coelho and Salas-Mellado 2014; Migliavacca et al. 2014). The experimental design was a randomized complete block design with four replicates. Each plot consisted of five rows measuring 3.00 m, spaced 0.70 m between them, and corresponding to an experimental unit of 10.50 m². Only plants of the central lines were evaluated, excluding the border lines.

Management practices, such as soil pH correction and fertilization, were performed according to soil analysis based on mint (*Mentha arvensis*), which is from the same family as chia, due to the lack of recommendation for *Salvia hispanica*. For supplementar irrigation, the Kc of the mint crop was used, since this information was not available for chia, and weed control was performed by weeding.

Seeds of chia were purchased from a seed company located in the municipality of Santa Cruz do Sul, RS. Sowing was done manually in rows with a seeding depth of 0.01 m (Migliavacca et al. 2014). After the emergence, the plants were thinned to maintain a distance between plants of 0.05 to 0.06 m in the sowing line, and to establish an average of 20 plants per linear meter (Migliavacca et al. 2014).

The meteorological data (minimum and maximum daily air temperatures, precipitation, solar radiation and photoperiod) were collected at the meteorological station belonging to the 8th District of Meteorology of the National Institute of Meteorology (DISME/INMET) located at approximately 100 m of the experimental area.

Plant growth was determined through field samplings. Three plants per plot were randomly collected every 15 days starting at 30 days after emergence to determine the dry matter mass, except for the sowing date of 09/22/16, and leaf area (LA, cm²). To obtain the total dry matter and the assimilated partition, plants were cut close to the soil and separated

into its parts (stems, leaves and inflorescences) of the main stem and branches. Plant parts were dried out in an oven with a temperature of 65 °C until constant weight. The dry matter fraction of each part (stems, leaves and inflorescences) was calculated based on the dry matter of each compartment relative to the total shoot dry matter (SDM, g).

The following physiological indexes were calculated, according to Benincasa (2004): the relative growth rate (RGR), the absolute growth rate (AGR), the net assimilation rate (NAR), the leaf area index (LAI), the leaf area ratio (LAR), the specific leaf area (SLA), and the leaf mass ratio (LMR).

The relative growth rate (RGR, $\text{g g}^{-1} \text{day}^{-1}$) (Eq. 1):

$$\text{RGR} = (\ln \text{SDM}_2 - \ln \text{SDM}_1) / (t_2 - t_1) \quad (1)$$

where $\ln \text{SDM}$ is the transformed total shoot dry matter mass (g), t is time (day), and 1 and 2 are the consecutive samplings.

The absolute growth rate (AGR, $\text{g plant}^{-1} \text{day}^{-1}$) (Eq. 2):

$$\text{AGR} = (\text{SDM}_2 - \text{SDM}_1) / (t_2 - t_1) \quad (2)$$

where SDM is the total shoot dry matter mass (g), t is time (day), and 1 and 2 are the consecutive samplings.

The net assimilation rate (NAR, $\text{mg cm}^{-2} \text{plant}^{-1} \text{day}^{-1}$) (Eq. 3):

$$\text{NAR} = [(\text{SDM}_2 - \text{SDM}_1) / (\text{LA}_2 - \text{LA}_1)] \cdot [(\ln \text{LA}_2 - \ln \text{LA}_1) / (t_2 - t_1)] \quad (3)$$

where SDM is the total shoot dry matter mass (g), LA is the leaf area (cm^2), $\ln \text{LA}$ is the transformed leaf area, t is time (day), and 1 and 2 are the consecutive samplings.

The length and width of all leaves of the plants were measured to determine the leaf area. The length and width measurements were used to estimate the area of individual leaves through an equation calibrated for chia using 70 leaves: $\text{LA} (\text{cm}^2) = 0.642 (\text{L} \cdot \text{W})$; where "L" is the length and "W" is the width (cm) of the leaf. The leaf area on main stems and branches was calculated by the sum of the area of the individual leaves at each one. The total leaf area

index (LAI_{total} , $cm^2\ cm^{-2}$) was calculated by summing the individual leaf areas and dividing by the area of soil occupied by a plant, in the same area unit. The leaf area index in the main stems (LAI_{ms} , $cm^2\ cm^{-2}$) and in the branches (LAI_{br} , $cm^2\ cm^{-2}$) of chia plants were also recorded.

The leaf area ratio (LAR, $cm^2\ g^{-1}\ SDM$) express the ratio between the leaf area (LA, cm^2), and total shoot dry matter mass (SDM, g) (Eq. 4):

$$LAR = LA / SDM \quad (4)$$

The specific leaf area (SLA, $cm^2\ g^{-1}\ DML$) is the ratio between the leaf area (LA, cm^2) and the dry matter mass of leaves (DML, g) (Eq. 5):

$$SLA = LA / DML \quad (5)$$

The leaf mass ratio (LMR, $g\ g^{-1}$) represents the ratio between the dry matter mass of the leaves (DML, g) and the total shoot dry matter mass (SDM, g) (Eq. 6):

$$LMR = DML / SDM \quad (6)$$

Plant height (cm) was measured weekly taking the length between the soil surface and the last visible leaf (1 cm of length). Measurements were done in ten plants per plot marked after emergence. The final height was considered when the all plants of the plot reached the physiological maturity.

Grain yield was evaluation by collecting the plants of the two central lines of the plots with a total useful area of 2.10 m^2 . Harvest was done when 80% of the leaves of each plant exhibited a darker color, indicating that it was dry or dead (Migliavacca et al. 2014). The estimated grain yield was converted to the unit of one hectare.

The test F was used for the analysis of the variance and, when this was significant, the comparisons between the means of the treatments were done by the Scott Knott test ($p > 0.05$). For the analysis, the statistical program SISVAR was used (Ferreira 2011).

3.3 RESULTS AND DISCUSSION

Chia plants were exposed to different conditions of air temperature, photoperiod, solar radiation and rainfall (Figure 1). Air temperature was lower in September, October and early November, reaching highest values in the summer months, and decreasing again in May, June and July, when the lowest air temperatures of the field experiment were recorded (Figure 1a). The absolute minimum and maximum air temperature were $-1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (07/19/17) and $35.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (12/25/16), respectively. The photoperiod to which chia plants were exposed ranged from 11.10 h (06/21/2017) to 14.96 h (12/21/2016). The incident global solar radiation was higher in November, December, January and February (Figure 1b). Rainfall was well distributed during the entire field experiment with an monthly average of 220 mm, what kept the soil water content in adequate levels and favored the plant development without water restrictions.

The relative growth rate (RGR) express the increase of dry matter mass in relation to the preexisting biomass. In this study, a systematic decrease of RGR along the development cycle was observed for all sowing dates (Figure 2a). Reductions in RGRs throughout the development cycle are generally associated with a decline in the relative plant capacity to produce new biomass (Peixoto and Peixoto 2009) and with a smaller leaf area due to the senescence of leaves. The production of photoassimilates is mostly aimed at the production of non-photosynthetic tissues (stems and roots) and reproductive organs (Zanatta et al. 2016). Until 60 days after emergence (DAE), higher values of RGR were observed in the sowing dates of 02/08/17 and 03/24/17, indicating a greater dry matter conversion efficiency in plants sown on these dates. These results, however, were completely reversed from 60 DAE, when plants of early sowing dates reached and maintained the greatest growth rates. It indicates that plants of later sowing dates have a larger mass increment during the vegetative phase, since they need to grow faster as they are rapidly induced to flowering due to crop response to photoperiod. Reductions in RGR of chia plants throughout the development cycle were

observed by Zanatta et al. (2016) in an experiment carried out with one sowing date. Similar results were also observed in species such as castor bean (Aires et al. 2011) and rice (Falqueto et al. 2009).

According to Benincasa (2004), the absolute growth rate (AGR) indicates the variation or increase of dry matter between two successive samplings, that is, indicates the growth rate (g day^{-1}) over the evaluated period. In the first samplings, there was no significant growth in all sowing dates due to the small size of plants and the reduced number of leaves (Figure 2b). As plant development progresses, AGR increases due to the increasing height and leaf area of plants. It is also observed that plants of the 10/28/16 sowing date presented an AGR superior to the other ones from 110 DAE. These differences were attributed to the size of the plants, which presented a larger leaf area (greater interception of solar radiation) and higher dry matter mass (greater photosynthetic efficiency) as a function of the duration of the vegetative phase (Lima et al. 2007), favoring the greater growth rate on earlier sowings.

Through net assimilation rate (NAR) determinations, it is possible to identify the efficiency of the leaves in the production of new biomass (Figure 2c). This measure expresses the balance between the photosynthesis and the respiration of the plant and describes the efficiency of the net production of the photosynthetic apparatus, or, in other words, the increase of biomass per unit of leaf area and time (Benincasa 2004; Peixoto and Peixoto 2009). NAR values were higher at the beginning of the crop cycle, in all treatments, because at this stage there was a high number of young leaves at its full assimilatory capacity. Due to the self-shading of leaves, NAR decreased with the increase of LAI and, consequently, with the growth of the plant canopy, since this rate is directly dependent on environmental factors as solar radiation. These results are in agreement with Zanatta et al. (2016) for chia, Ferneda et al. (2016) for soybean and Falqueto et al. (2009) for rice. It is interesting to observe that plants of 01/03/17 sowing date had a larger mass increase during the reproductive phase,

presenting a NAR significantly higher than the other dates (100 DAE). This demonstrates the efficiency in the biomass production capacity at the end of the cycle of these plants, with the same remaining leaf area.

The useful foliar area of a plant is expressed by the leaf area ratio (LAR), a morphophysiological component since it is the ratio between the leaf area (responsible for the light interception and CO₂ uptake) and the total dry matter mass of the plant (result of photosynthesis). In other words, it indicates the leaf area that is being used by the plant to produce one gram of dry matter (Benincasa 2004). The LAR curves showed a rapid increase during the beginning of the vegetative phase (Figure 2d), that is, up to 60 DAE, indicating that most of the photosynthesized material is converted into leaves at this phase in order to intercept more sunlight (Peixoto and Peixoto 2009). From this time, LAR decreased due to the age of the plants and the appearance of non-assimilatory tissues and structures, besides the self-shading, senescence and leaf fall (Lima et al. 2007). This pattern was not observed in the sowing of 03/24/2017, in which LAR had decreased since the first evaluation. However, plants of this sowing presented a significantly higher LAR at the beginning of the development cycle, indicating that the smaller plants (smaller leaf area) were less self-shading, with a larger useful leaf area and higher net photosynthesis. These results corroborate with those observed by Gobbi et al. (2001) for *Brachiaria decumbens* and forage peanut (*Arachis pintoi*), which presented changes in the specific leaf area and quantitative foliar anatomy when submitted to shading conditions.

The leaf area ratio can be separated into two components: specific leaf area (SLA) and leaf mass ratio (LMR). The SLA is the anatomical (morphological) component while the LMR (leaf dry matter mass / shoot dry matter mass of the plant) is basically physiological (Benincasa 2004). The specific leaf area (Figure 2e) was very similar throughout the development of the plants in all sowing dates, with low values in the first evaluation and later

increases at the beginning of the crop cycle. SLA was decreasing with plant development, similar to the decreases observed by Falqueto et al. (2009) for rice. The low SLA values of the first evaluation disagree with Benincasa (2004), who states that at the beginning of crop development the SLA may be higher, indicating that the leaves are thin and with low dry matter mass and area. However, in our study, there was a great increase in leaf area after the first evaluation and leaves were not very thick (the increase in SDM does not follow the increase in LA), which explains the higher values of SLA in the second evaluation.

According to Falqueto et al. (2009), reductions in SLA throughout the crop cycle are related to the translocation of leaf carbohydrate reserves to other parts of the plant, especially to the stems and to reproductive structures, a behavior also observed by Gobbi et al. (2011) on *Brachiaria decumbens* and forage peanut under shading conditions. For Alvarez et al. (2012), SLA represents the differences in leaf thickening, that is, it allows to verify if plants are accumulating photoassimilates in their leaves or translocating them to other organs.

There was also a decrease in LMR (Figure 2f) with the development of the plants in all sowing dates studied. The higher values of LMR at the beginning of the cycle reflect higher allocation of assimilates to leaves growth, considered as a preferential metabolic drain (Falqueto et al. 2009). From this period, LMR values were reduced with plant ontogeny. Such reduction observed throughout the crop cycle was consistent with the results described by Falqueto et al. (2009), and reflects the mobilization of photoassimilated compounds to other plant organs. Plants of 10/28/16 sowing date presented the highest LMR values during the entire cycle. At this sowing date, due to the greater plant growth, the photosynthetic production was invested largely in the dry matter constitution of leaves.

The temporal evolution of the total leaf area of chia plants in all sowing dates is shown in Figure 3a. Plants presented a reduction in the maximum leaf area index (LAI_{max}) with the delay of the sowing date. The mean LAI_{max} of chia plants was 12.79 on 09/22/16, 13.08 on

10/28/16, 7.10 on 01/03/17, 5.64 on 02/08/17, and 2.06 on 03/24/17. The LAImax reduction occurred due to the shortening of the crop cycle with the sowing delay, which can be explained by the fact that chia is a short-day plant (Jamboonsri et al. 2012). Late sowings occurred when the day length was decreasing, and the plants were induced earlier to flowering, causing the acceleration of the cycle. Similar results were found by Zanon et al. (2015b), who observed that with the delay of the sowing date soybean cultivars were induced to flowering earlier and reduced the LAImax. Plants sown on 09/22/16 and 10/28/16 presented high LAImax, which made them susceptible to lodging during high wind speed events in Santa Maria, mainly in the months of January and February, which reached 80 km h^{-1} (data obtained from the automatic weather station belonging to the 8th DISME/INMET). Therefore, these sowing dates are not recommended due to the longer duration of the vegetative phase, which results in an excessive growth of the plants. The same was observed by Amorim et al. (2011), which identified a direct relationship between early sowing dates and higher soybean plant growth with lodging.

The evolution of the total leaf area index (LAI_{total}), the leaf area index of the main stem (LAI_{ms}) and the leaf area index of branches (LAI_{br}) is presented in Figures 3b (09/22/2016), 3c (10/28/2016), 3d (01/03/17), 3e (02/08/17) and 3f (03/24/2017). Regardless of the sowing date, the leaf area contribution of the branches to the LAI_{total} started when the plants had around 4 to 6 leaves on the main stem. Working with soybean, Zanon et al. (2015b) verified that branching started when the plants were between stages V3 and V5.

In general, the number and the contribution of the branches in LAI increased with the development of the plants in all sowing dates. At the sowings of September, the LAI_{br} contribution increased from 0.11% at the beginning of the vegetative phase to 86.10% at the beginning of flowering. This contribution in the same phases increased from 17.51% to 79.43% at November sowing date and from 12.23% to 61.64% in January sowing date. For

chia plants sown in February and March, this contribution rose from 16.31% to 77.86% and from 0.71% to 67.11%, respectively. At the beginning of the crop cycle, chia plants are very small and practically do not produce branches, so the contribution to the LAI_{total} is practically only of the main stem. As the cycle progresses, the plants intensify the production of branches and produce many leaves in these parts, which favors the contribution of LAI_{br} to LAI_{total}. This is a typical characteristic of the chia crop which has to produce a much higher number of branches as the sowing date is anticipated.

The number of branches and the contribution of the branches to LAI decreased with the delay of the sowing date. The lower contribution of LAI_{br} in late sowings is associated with the shortening of the development cycle and the reduction of the number of branches. These results corroborate with Zanon et al. (2015b), which also found a decrease in the contribution of the branches with the delay of the sowing date of soybean, which is a crop responsive to photoperiod and a short-day species, as well as chia.

The mean variation of the total dry matter accumulated in chia plants at different sowing dates is presented in Figure 4a. Plants sown at 10/28/2016 accumulated more dry matter in relation to the other sowing dates in which there are sharp falls in accumulation. It can be attributed to the difference in the duration of the vegetative phase between the plants of the early sowings when compared to the late sowings. Plants of 10/28/2016 sowing date presented 137 days of vegetative phase, while the vegetative phase of plants sown on 03/24/2017 lasted 35 days. The shorter duration of the vegetative phase of the plants of 03/24/17 sowing date implied a lower accumulation of SDM due to the shorter plant growth period. This result is consistent with those observed in short-day species such as soybean (Cruz et al. 2010; Zanon et al. 2015a).

The dry matter accumulation in the early plant stages was low because plants were small and have few leaves, and there is similarity between plants of all sowing dates in this

period (30 to 45 DAE). From 45 DAE on, dry matter accumulation of the early sowing dates (10/28/16 and 01/03/17) differed from the late sowing dates (02/08/17 and 03/24/17). This trend was also observed in Cruz et al. (2010) who verified that the accumulation rate of dry matter and nutrients in soybeans in the initial development phase was low, increasing progressively over time and reaching the maximum between flowering and the beginning of grain filling.

Regarding the partition of the total shoot dry matter (SDM) between the different plant parts (stems, leaves and inflorescences), plant growth implied on a higher SDM accumulation in stems and an accumulation decrease in leaves in all sowing dates studied: 10/28/16 (Figure 4b), 01/03/17 (Figure 4c), 02/08/17 (Figure 4d) and 03/24/17 (Figure 4e). From the beginning of flowering, there was also the production of inflorescences and increase of dry matter accumulation in the reproductive structures. With respect to the dry matter divided between main stems and branches, it is possible to observe that during the entire period the main stem represented between 60 and 70% of the accumulated SDM for the early sowing dates, and between 40 and 50% for late sowing. The early sowings produced higher plants and the main stem must have the largest matter to support the plant. In late sowing, the size of the plants was smaller and the mass of the branches, mainly after flowering, was higher due to the greater number and mass of inflorescences in these structures. Chia plants sown at 10/28/16, 01/03/17 and 02/08/17 were the most productive (Figure 5a), not statistically differing from each other. However, the grain yield analyzed in absolute numbers were higher in the sowing of 01/03/17 with a final production of 2,041 kg ha⁻¹. It is important to emphasize that the plants of 10/28/16 sowing date, being an early sowing and providing the highest plant growth, were susceptible to lodging. Because plants stayed more time in the field, they were more susceptible to diseases and pests, which does not make this sowing date indicated in terms of production costs even with the high yield. It indicated that very early or late sowings have a

reduction in grain yield, and the adequacy of sowing date is paramount for achieving high yields. The results presented corroborate with the results observed by Jiang et al. (2011) and Meotti et al. (2012), which pointed out that plants with excessive growth and high leaf area index from early sowings are susceptible to lodging and grain yield reduction, as well as plants with reduced high and few branches from late sowings have a lower yield and expression of grain yield characteristics.

Plants of the 01/03/17 sowing date, although being the most productive, accumulated less solar radiation (MJ m^{-2}) during its development cycle when compared to the sowings of 09/22/16 and 10/28/16. While the sowing of 09/22/16 and 10/28/16 accumulated 4,281 and 3,679 MJ m^{-2} , respectively, sowing of 01/03/17 accumulated 2,281 MJ m^{-2} . It means that a greater accumulation of solar radiation will not necessarily result in higher grain yield, because not all the energy available to the plants is used in the photosynthesis process, and because the net photosynthesis depends on the energy expended by the plant with the respiration and maintenance of the vegetative and reproductive organs, and the high productivity of a crop depends also on other biotic and abiotic factors, such as water availability, soil fertility, pests incidence, diseases and invasive plants.

The average grain yield of chia plants under less technified conditions is around 500 to 600 kg ha^{-1} . However, some farmers obtained yields of up to 1,200 kg ha^{-1} (Coates 2011). In some studies in Argentina under high fertilization and adequate irrigation conditions, yields of 2,500 kg ha^{-1} were reached (Coates 2011), similar to those reached in this study in the sowing dates that provide the best meteorological conditions, mainly a photoperiod for an appropriate growth.

When comparing the height of chia plants at different sowing dates (Figure 5b), there was variation in the final height of the plants (FPH). Plants of sowing date 2 (10/28/2016)

were higher, differing from the plants of the sowings 1 (09/22/16); 3 (01/03/2017); 4 (02/08/2017) and 5 (03/24/17), which were lower.

The higher chia plants in sowings 1 (09/22/16) and 2 (10/28/16) were the result of the longer duration of the vegetative phase (178 and 137 days, respectively), which provided the greatest growth. Plants of sowings 3, 4 and, mainly, 5 reached a lower FPH because the vegetative phase was shorter (75, 50 and 35 days, respectively) due to days with smaller photoperiod.

It was also observed, in the field conditions, that at the beginning of the vegetative phase the plants of sowing dates 1 and 2 had a slower growth, due to the lower air temperature and availability of solar radiation (Figures 1 and 2), when compared to availability of these meteorological elements and the growth rate, mainly in the sowing dates 4 and 5.

The differences in FPH of chia at different sowing dates are due to the fact that this species has its growth and development regulated by air temperature and photoperiod. The response to the photoperiod is the main factor that explains the longer duration of the vegetative phase in the early sowing, which provides higher plants and, on the contrary, a shorter duration of the vegetative phase in late sowing, which results in shorter plants. The results are consistent with those observed in short-day species such as soybean (Jiang et al. 2011; Meotti et al. 2012; Zanon et al. 2015a).

3.4 CONCLUSIONS

Physiological indexes indicated that there is greater plant growth at earlier sowing dates, either in shoot dry matter mass, plant height and leaf area index.

The leaf area index of branches is progressively increased with plant development and contributes significantly to total leaf area index of chia plants in all studied sowing dates.

The main stem represents between 60 and 70% of the shoot dry matter accumulated in the early sowing dates, and between 40 and 50% in late sowing.

The best sowing date in terms of grain yield is 01/03/17.

3.5 REFERENCES

Aires, R. F., Silva, S. D. A. and Eicholz, E. D. (2011). Análise de crescimento de mamona semeada em diferentes épocas. *Ciência Rural*, 41, 1347-1353. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782011005000109>.

Alvarez, R. C. F., Crusciol, C. A. C., Nascente, A. S., Rodrigues, J. D. and Habermann, G. (2012). Gas exchange rates, plant height, yield components, and productivity of upland rice as affected by plant regulators. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47, 1455-1461. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012001000007>.

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P.C., de Moraes, G., Leonardo, J. and Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22, 711-728. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

Amorim, F. A., Hamawaki, O. T., Sousa, L. B., Lana, R. M. Q. and Hamawaki, C. D. L. (2011). Época de semeadura no Potencial produtivo de Soja em Uberlândia-MG. *Semina: Ciências Agrárias*, 32, 1793-1802. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32Suplp1793>.

Antoniazzi, N. and Deschamps, C. (2006). Análise de crescimento de duas cultivares de cevada após tratamentos com elicitores e fungicidas. *Ciência Rural*, 36, 1065-1071. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782006000400004>.

Benicasa, M. P. (2004). Análise de Crescimento de Plantas (noções básicas). Jaboticabal: Funep.

Cahill, J.P. (2004). Genetic diversity among varieties of chia (*Salvia hispanica* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 51, 773-781. <https://doi.org/10.1023/B:GRES.0000034583.20407.80>

Coates, W. (2011). Whole and Ground Chia (*Salvia hispanica* L.) Seeds, Chia Oil- Effects on Plasma Lipids and Fatty Acids. In: Preedy, V. R., Watson, R. R. and Patel, V. B. (Ed) Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention. San Diego: Academic Press, 309-315. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375688-6.10037-4>.

Coelho, M. S. and Salas-Mellado, M. de L.M. (2014). Revisão: Composição química, propriedades funcionais e aplicações tecnológicas da semente de chia (*Salvia hispanica* L) em alimentos. *Brazilian Journal of Food Technology*, 17, 259-268. <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.1814>.

Cruz, T. V., Peixoto, C. P. and Martins, M. C. (2010). Crescimento e produtividade de soja em diferentes épocas de Semeadura no oeste da Bahia. *Scientia Agraria*, 11, 33-42. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v11i1.15941>.

Falqueto, A. R., Cassol, D., Magalhães Júnior, A. M., Oliveira, A. C. and Bacarin, M. A. (2009). Partição de assimilados em cultivares de arroz diferindo no potencial de produtividade de grãos. *Bragantia*, 68, 453-461. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052009000300002>.

Ferneda, B. G., Boeing, E., Silva, A. C., Souza, A. P., Silva, S. G., Martim, C. C., Paladino, F. G. and Tanaka, A. A. (2016). Graus-dias na estimativa das taxas de crescimento de quatro cultivares de soja em diferentes épocas de plantio. *Nativa*, 4, 121-127. <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v04n03a01>.

Ferreira, D.F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, 35, 1039-1042. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.

Gobbi, K. F., Garcia, R., Ventrella, M. C., Neto, A. F. G. and Rocha, G. C. (2011). Área foliar específica e anatomia foliar quantitativa do capim-braquiária e do amendoim-forrageiro

submetidos a sombreamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40, 1436-1444.
<https://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982011000700006>.

Jamboonsri, W., Phillips, T. D., Geneve, R. L., Cahill, J. P. and Hildebrand, D. F. (2012). Extending the range of an ancient crop, *Salvia hispanica* L.-a new ω 3 source. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59, 171-178. <http://dx.doi.org/10.1007/s10722-011-9673-x>.

Jiang, Y., Yan, W., Ahn, J. K., and Chung, I. M. (2011). Long-day effects on the terminal inflorescence development of a photoperiod sensitive soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] variety. *Plant Science*, 180, 504-510. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.11.006>.

Lima, J. F., Peixoto, C. P. and Ledo, C. A. S. (2007). Índices fisiológicos e crescimento inicial de mamoeiro (*Carica papaya* L.) em casa de vegetação. *Ciência e Agrotecnologia*, 31, 1358-1363. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000500013>.

Meotti, G. V., Benin, G., Silva, R. R., Beche, E. and Munaro, L. B. (2012). Épocas de semeadura e desempenho agrônômico de cultivares de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47, 14-21. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000100003>.

Migliavacca, R. A., Silva, T. R. B., Vasconcelos, A. L. S., Filho, W. M. and Baptistella, J. L. C. (2014). O cultivo da chia no Brasil: futuro e perspectivas. *Journal of Agronomic Sciences*, 3, 161-179.

Peixoto, C. P. and Peixoto, M. F. da S.P. (2009). Dinâmica do crescimento vegetal. In: Carvalho, C. A. L., Dantas, A. C. V. L., Pereira, F. A. de C., Soares, A. C. F., Melo Filho, J. F. and Oliveira, G. J. C. *Tópicos em ciências Agrárias*. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 39-53.

Usda. (1999). Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washington: USDA.

Zanatta, T. P., Libera, D. D., Silva, V. R., Werner, C. J. and Zanatta, M. M. (2016). Análise do crescimento da cultura da chia (*Salvia hispanica*). Revista Cultivando o Saber, 9, 377-390.

Zanon, A. J., Streck, N. A., Rocha, T. S. M., Alberto, C. M., Bartz, A. C., Paula, G. M., Tomiozzo, R., Costa, L. C., Fensterseifer, C. A., Tagliapietra, E. L., Cardoso, A. P., Weber, P. and Bexaira, K. P. (2016). Efeito do tipo de crescimento no desenvolvimento de cultivares modernas de soja após o início do florescimento no Rio Grande do Sul. Bragantia, 75, 445-458. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.535>.

Zanon, A. J., Winck, J. E. M., Streck, N. A., Rocha, T. S. M., Cera, J. C., Richter, G. L., Lago, I., Santos, P. M., Maciel, L. da R., Guedes, J. V. C. and Marchesan, E. (2015a). Desenvolvimento de cultivares de soja em função do grupo de maturação e tipo de crescimento em terras altas e terras baixas. Bragantia, 74, 400-411. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0043>.

Zanon, A. J., Streck, N. A., Richter, G. L., Becker, C. C., Rocha, T. S. M., Cera, J. C., Winck, J. E. M., Cardoso, A. P., Tagliapietra, E. L., and Weber, P. S. (2015b). Contribuição das ramificações e a evolução do índice de área foliar em cultivares modernas de soja. Bragantia, 74, 279-290. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0463>.

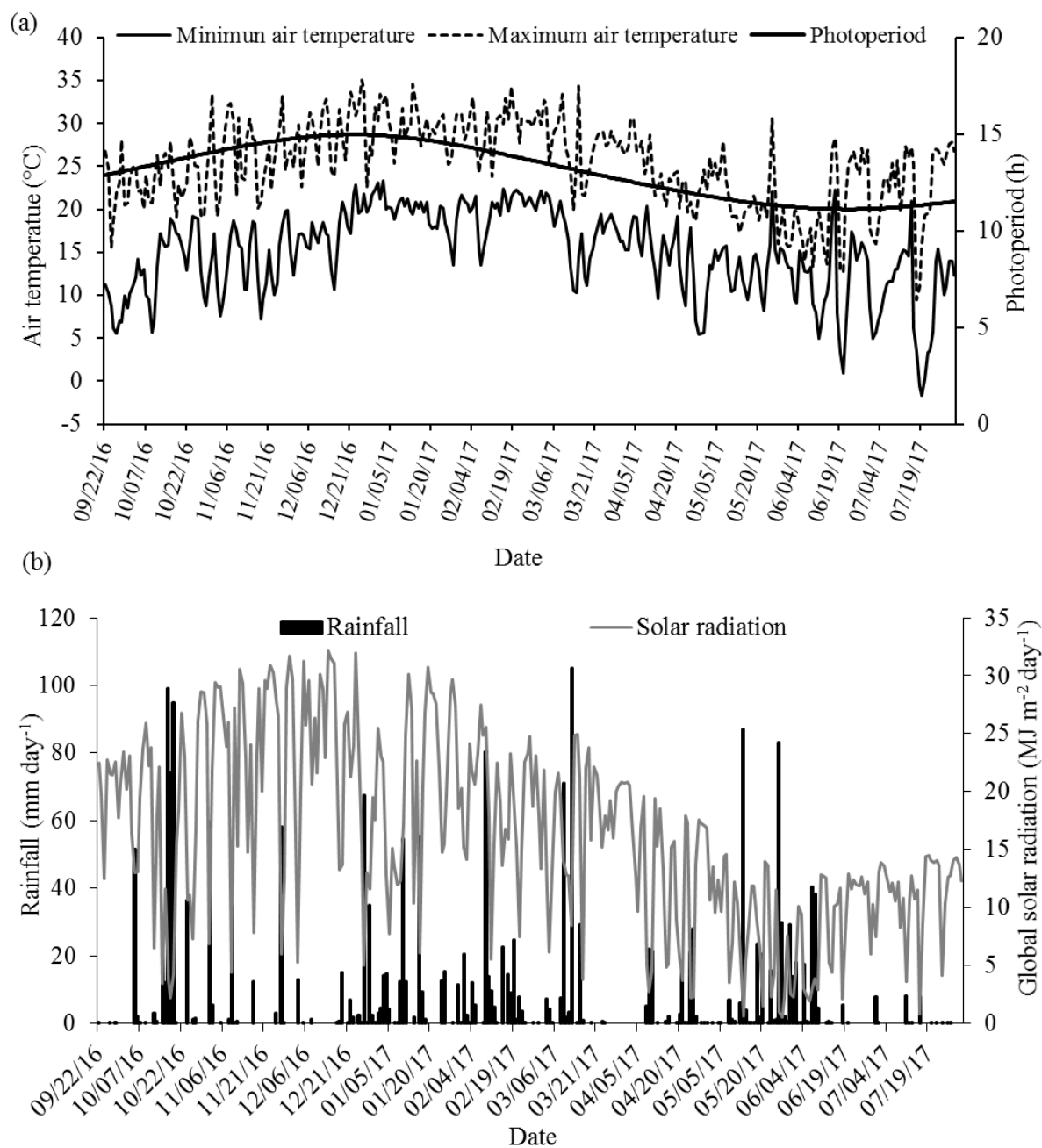


Figure 1. Minimum and maximum daily air temperature (°C) and photoperiod (h) (a), rainfall (mm day⁻¹) and incident global solar radiation (MJ m⁻² day⁻¹) (b) between September 2016 and July 2017 in Santa Maria, Rio Grande do Sul State, Brazil.

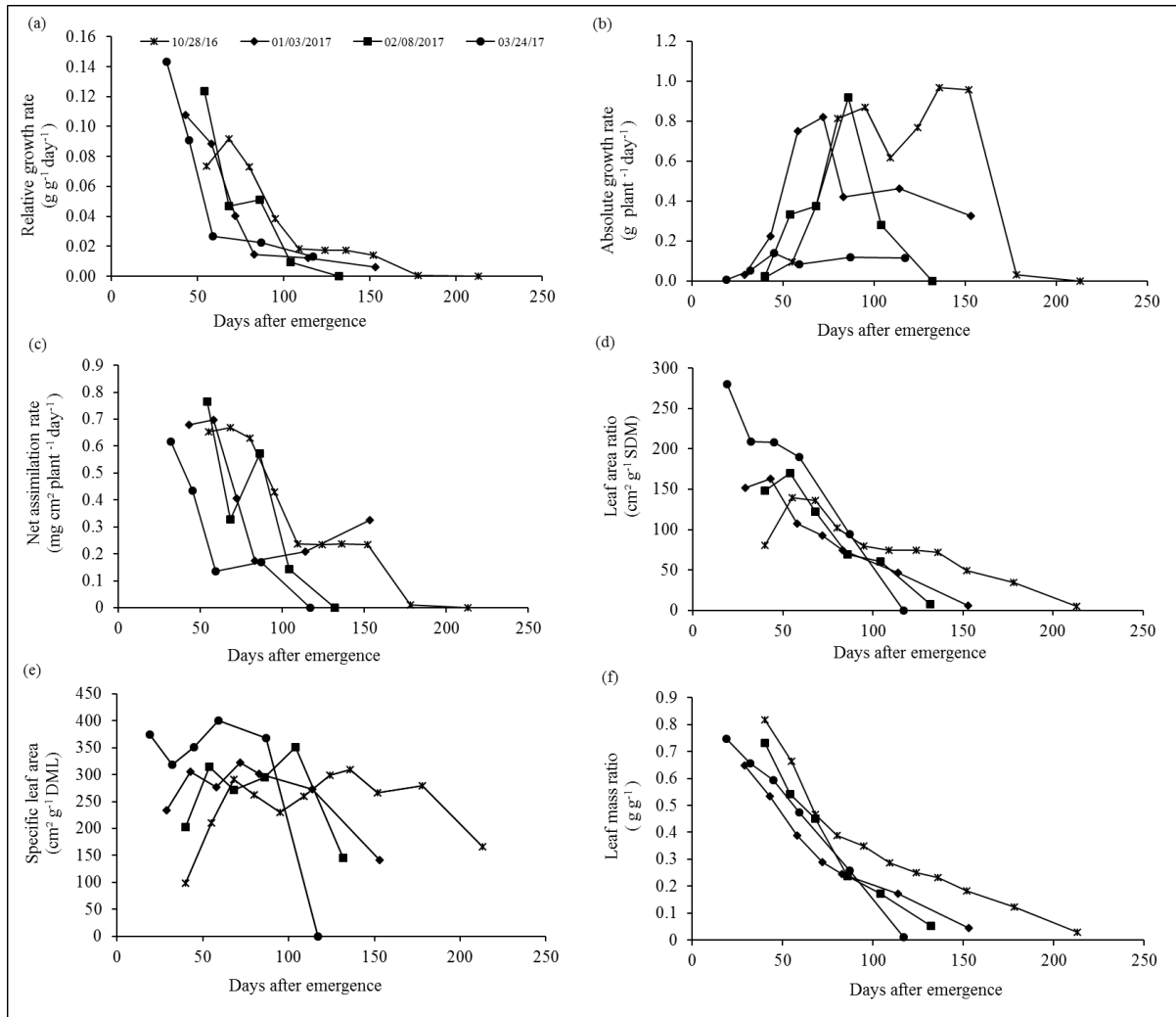


Figure 2. Relative growth rate (RGR, $\text{g g}^{-1} \text{day}^{-1}$) (a), absolute growth rate (AGR, $\text{g plant}^{-1} \text{day}^{-1}$) (b), net assimilation rate (NAR, $\text{mg cm}^{-2} \text{plant}^{-1} \text{day}^{-1}$) (c), leaf area ratio (LAR, $\text{cm}^2 \text{g}^{-1} \text{SDM}$) (d), specific leaf area (SLA, $\text{cm}^2 \text{g}^{-1} \text{DML}$) (e), and leaf mass ratio (LMR, g g^{-1}) (f) of chia plants sown at different dates. Santa Maria, Rio Grande do Sul State, Brazil, 2016-2017.

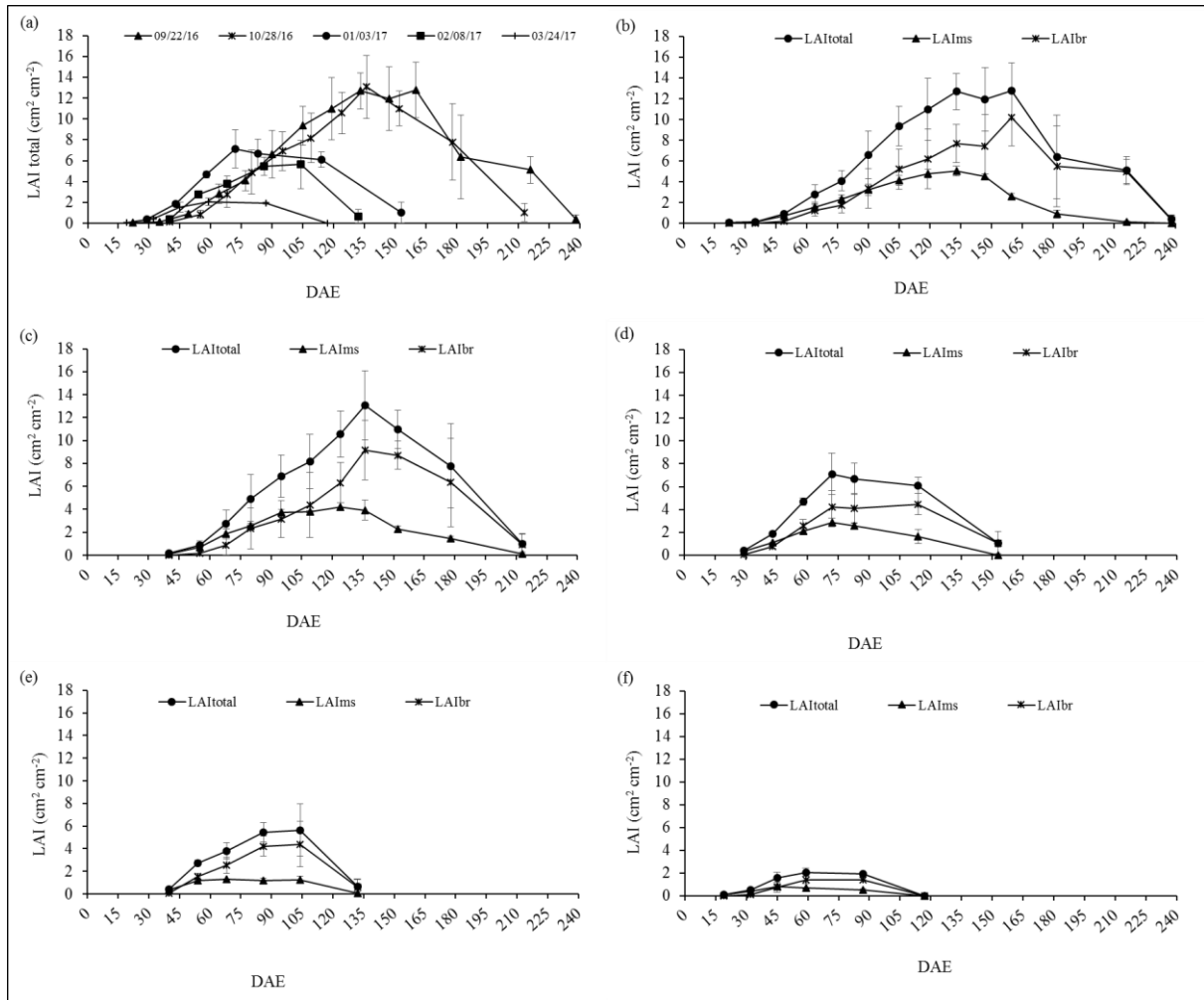


Figure 3. Temporal evolution of the total leaf area index (LAI_{total}, $\text{cm}^2 \text{cm}^{-2}$) of chia plants in all sowing dates (a), and the temporal evolution of the total leaf area index (LAI_{total}, $\text{cm}^2 \text{cm}^{-2}$), the leaf area index in the main stem (LAI_{ms}, $\text{cm}^2 \text{cm}^{-2}$) and in branches (LAI_{br}, $\text{cm}^2 \text{cm}^{-2}$) in the sowing dates of 09/22/16 (b), 10/28/16 (c), 01/03/17 (d), 02/08/17 (e), and 03/24/17 (f). Santa Maria, Rio Grande do Sul State, Brazil, 2016-2017.

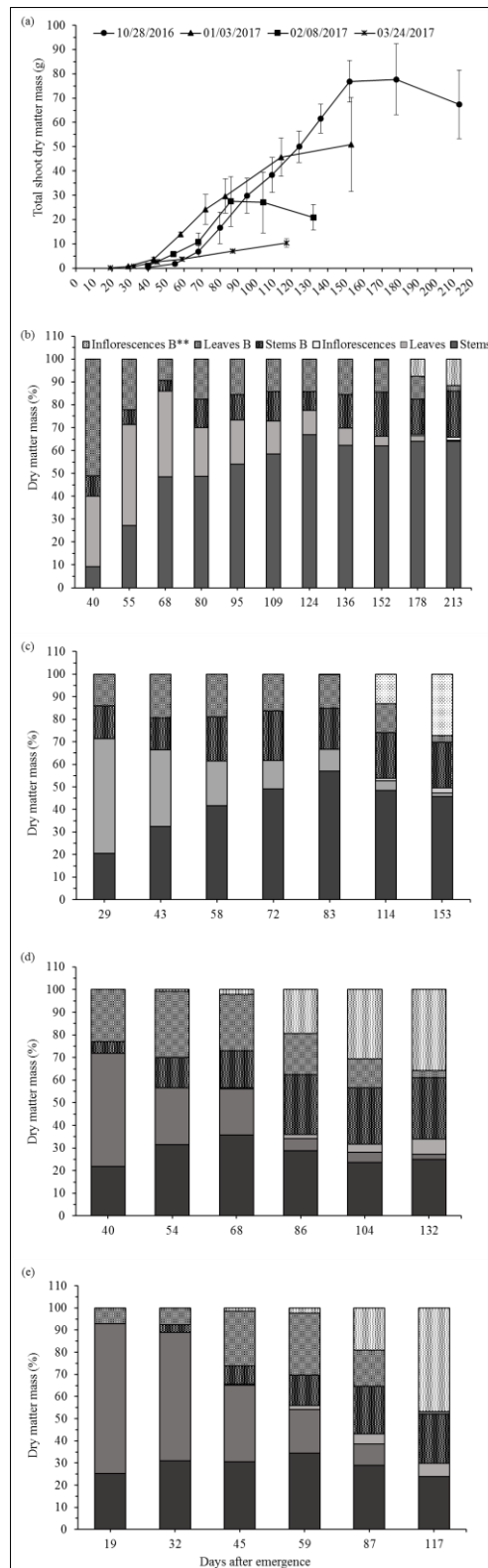


Figure 4. Total shoot dry matter mass (g) of chia plants in all sowing dates (a), the dry matter mass (g) of each plant part (stems, leaves and inflorescences) in the main stems (solid-filled columns) and in branches (texture-filled columns) in the dates of 10/28/16 (b), 01/03/17 (c), 02/08/17 (d), 03/24/17 (e) of chia plants in all sowing dates. **B = branches.

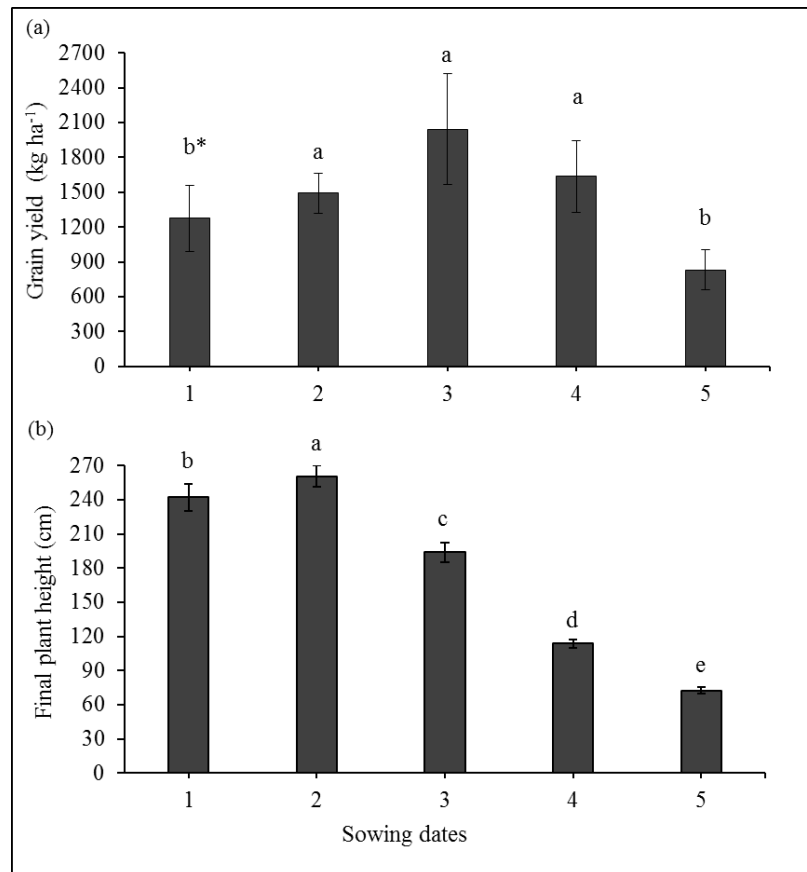


Figure 5. Grain yield (kg ha⁻¹) (a) and final plant height (FPH, cm) (b) of chia sown at different sowing dates: 1 (09/22/16), 2 (10/28/16), 3 (01/03/17), 4 (02/08/17), and 5 (03/24/17). *Means followed by the same uppercase letter do not significantly differ by the Scott Knott test at 5% probability. Santa Maria, Rio Grande do Sul State, Brazil, 2016-2017.

4. ARTIGO 2

Desenvolvimento de plantas de chia semeadas em diferentes datas de semeadura²

² Artigo formatado nas normas da revista Brasileira de Ciências Agrárias.

Desenvolvimento de plantas de chia em diferentes datas de semeadura

Resumo

O objetivo deste trabalho foi caracterizar o desenvolvimento das plantas de chia semeadas em diferentes datas, e determinar a relação da duração do ciclo de desenvolvimento com o número final de folhas e com a velocidade de aparecimento de folhas na haste principal. O experimento foi conduzido no ano agrícola 2016/2017 em cinco datas de semeadura (22/09/16, 28/10/16, 03/01/17, 08/02/17 e 24/03/17) nas condições edafoclimáticas da região central do estado do RS, em delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições. Em cada data de semeadura foi determinada a duração, em dias e em °C dia ($T_b=11^{\circ}\text{C}$), das fases vegetativa e reprodutiva, o número final de folhas e o filocrono na haste principal. A duração da fase vegetativa das plantas de chia em dias e em graus-dia varia entre as datas de semeadura, com menor duração nas datas tardias, em resposta a redução do fotoperíodo. A fase vegetativa representa a maior percentagem do ciclo total de desenvolvimento nas datas de semeaduras precoces, sendo superada pela fase reprodutiva nas datas de semeadura tardias (08/02/17 e 24/03/17). O filocrono para chia varia de 36,23 (semeadura muito tardia) a 59,88 °C dia (semeadura precoce e intermediária). Semeaduras mais tardias resultam em um menor número final de folhas acumuladas na haste principal, em razão da redução do fotoperíodo médio e rápida indução a fase reprodutiva.

Palavras-chave: *Salvia hispanica* L., fases do desenvolvimento, soma térmica, filocrono, épocas de semeadura

Development of chia plants at different sowing dates

Abstract

The objective of this work was to characterize the development of chia plants sown at different dates, and to determine the relation between the length of the development cycle and the final number of leaves and the leaf appearance rate on the main stem. A field experiment was conducted in the agricultural year of 2016/2017 in five sowing dates (09/22/16, 10/28/16, 01/03/17, 02/08/17 and 03/24/17) in the edaphoclimatic conditions of the central region of the RS State in a randomized block design with four replicates was used. At each sowing date, the length of the vegetative and reproductive phases in days and in °C day ($T_b = 11^{\circ}\text{C}$), the final number of leaves and the phyllochron of the stem main were determined. The length of the vegetative phase of chia plants in days and in °C day varies between the sowing dates, with shorter duration in late sowings in response to the photoperiod reduction. The vegetative phase represents the greatest part of the total development cycle in early sowing dates, being overcome by the reproductive phase in late sowing dates (02/08/17 and 03/24/17). The phyllochron for chia varies from 36.23 (very late sowing) to 59.88 °C day (early sowing). Later sowing has a smaller final number of leaves accumulated in the main stem due to the shorter duration of the vegetative phase.

Key words: *Salvia hispanica* L., development phase, thermal time, phyllochron, sowing date.

4.1 INTRODUÇÃO

A *Salvia hispanica*, conhecida popularmente como chia, apresenta elevado potencial por suas características nutricionais, sendo rica em proteínas, fibras, sais minerais e ácidos graxos (Jin et al., 2012). Nos últimos anos os grãos dessa cultura tornaram-se importantes para a alimentação por fornecer benefícios à saúde humana, e seu consumo é cada vez mais frequente pelas pessoas que buscam uma alimentação mais saudável (Sandoval-Oliveros & Paredes-López, 2013). Esse crescente consumo do grão incentivou alguns produtores a investir no cultivo da chia no Brasil. As regiões do oeste Paranaense e noroeste do Rio Grande do Sul apresentaram bons resultados nas safras a partir do ano de 2013, apesar da falta de informações básicas sobre as exigências nutricionais da planta, da fenologia e das suas características edafoclimáticas (Migliavacca et al., 2014).

O ciclo de desenvolvimento da maioria das culturas agrícolas é dividido em duas grandes fases: a fase vegetativa e a fase reprodutiva (Streck et al., 2006; Zanon et al., 2015). Essa divisão do ciclo de desenvolvimento em duas fases é baseada no aparecimento de órgãos que são visíveis a olho nu na planta (Streck et al., 2006; Zanon et al., 2015) e tem como vantagens a simplicidade, a fácil identificação a campo e amostragem não destrutiva.

A duração da fase vegetativa está associada com o número total de folhas emitidas na planta e com a velocidade de aparecimento das folhas na haste principal, portanto uma fase vegetativa mais longa permite a planta produzir uma área foliar maior (Heinemann et al., 2006). Por isso, o número de folhas acumulado (NF) e o número final de folhas (NFF) são importantes parâmetros do desenvolvimento vegetativo (Fagundes et al., 2009).

O número de folhas acumulado em uma haste ou planta (NF) está associado com a expansão da área foliar, e a esta deve-se a interceptação da radiação solar, a fotossíntese e o acúmulo de biomassa pela cultura (Streck et al., 2005). Para estimar o NF é frequentemente usado como parâmetro o conceito de filocrono, definido como o intervalo de tempo entre o aparecimento de duas folhas sucessivas na haste principal, expresso em $^{\circ}\text{C dia folha}^{-1}$ (Xue et al., 2004; Streck et al., 2005).

Fatores ambientais, como o fotoperíodo e a temperatura do ar variam de acordo com as épocas do ano, e tem efeito sobre o filocrono (Streck et al., 2009) e sobre a duração das fases e do ciclo de desenvolvimento de culturas agrícolas como a soja, arroz e o trigo. Para a chia as informações sobre a influência dessas variáveis na duração do ciclo são bastante restritas. Sabe-se que a planta de chia é considerada uma planta de dias curtos (Jamboonsri et al., 2012), e que o fotoperíodo crítico para a cultura é de 12 horas (Baginsky et al., 2014). Assim, estudos sobre a resposta do desenvolvimento da chia em diferentes épocas de semeadura são fundamentais para entender a influência do fotoperíodo e da temperatura do ar sobre essa cultura. O objetivo deste trabalho foi caracterizar o desenvolvimento das plantas de chia semeadas em diferentes datas de semeadura, e determinar a relação da duração do ciclo de desenvolvimento com o número final de folhas e com a velocidade de aparecimento de folhas na haste principal.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2016/2017 na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil (latitude: 29° 43'S, longitude: 53° 43'W e altitude: 95 m).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cfa Subtropical úmido sem estação seca definida com verões quentes (Alvares et al., 2013). O solo do local é classificado como de transição entre a Unidade de Mapeamento São Pedro (Argissolo Vermelho Distrófico arênico) e a Unidade de Mapeamento Santa Maria (Argissolo Bruno Acinzentado Alítico úmbrico) (Santos et al., 2013).

O experimento foi instalado em cinco datas de semeadura (22/09/16, 28/10/16, 03/01/17, 08/02/17 e 24/03/17) consideradas precoce, intermediária e tardia em relação a época mais indicada para a cultura que é outubro/novembro (Migliavacca et al., 2014). O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições. Cada parcela foi constituída de cinco linhas medindo 3 m cada, espaçadas em 0,70 m entre linhas, correspondendo a uma unidade experimental de 10,5 m². Foram avaliadas as plantas das linhas centrais, excluindo-se as linhas da bordadura.

As práticas de manejo, como correção do pH do solo e adubação, foram realizadas conforme a análise de solo, e por não haver recomendação no manual de adubação e calagem para a *Salvia hispanica*, a adubação foi com base na recomendação para a espécie hortelã (*Mentha arvensis*) que é da mesma família que a chia. Para irrigação suplementar foi utilizado o Kc da cultura da hortelã, devido não haver esta informação para a chia, e o controle de plantas daninhas foi realizado com a capina manual.

Foram utilizadas sementes de um genótipo de chia (*Salvia hispanica* L.), família Lamiaceae, adquiridas de uma empresa localizada no município de Santa Cruz do Sul, RS. A semeadura foi efetuada em linhas, de forma manual, com profundidade de semeadura de 1 cm, suficiente apenas para deixar a semente recoberta pelo solo, pelo fato das sementes serem de tamanho reduzido e com baixa quantidade de reservas (Migliavacca et al., 2014). Após a emergência foi efetuado o raleio das plantas para manter uma distância entre plantas de 5 a 6 cm na linha de semeadura, e estabelecer uma média de 20 plantas por metro linear (Migliavacca et al., 2014).

A data de emergência foi considerada quando 50% do total de plântulas de cada fileira estavam com os cotilédones totalmente expostos acima do solo. Foram marcadas com arame colorido dez plantas aleatoriamente, em cada parcela, logo após a emissão do primeiro par de folhas, para serem realizadas as contagens do número de folhas e as avaliações de fenologia. O número final de folhas (NFF) foi obtido quando as plantas da parcela iniciaram a emissão da espiga e esta estava com mais de 1cm de comprimento, sendo este momento também considerado como o início da fase reprodutiva das plantas de chia.

As temperaturas mínima e máxima diárias do ar foram coletadas na estação meteorológica automática pertencente ao 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia

(DISME/INMET), localizada a, aproximadamente, 100 m da área experimental. A soma térmica diária (STd, °C dia) foi calculada pelo método (Arnold, 1960):

$$(1) STd = (T_{med} - T_b) \cdot 1 \text{ dia, se } T_{med} < T_b \text{ então } T_{med} = T_b$$

em que T_{med} é a temperatura média diária do ar, calculada pela média aritmética entre a temperatura mínima e a temperatura máxima diária do ar, e T_b é a temperatura basal inferior para a cultura, considerada 11 °C (Bochicchio et al., 2015). A STd foi acumulada a partir da emergência, sendo somada resultando na soma térmica acumulada (STa):

$$(2) STa = \sum STd$$

Foi determinada a duração, em dias e em °C dia, das fases vegetativa e reprodutiva da chia. Para fins deste estudo, considerou-se a fase vegetativa da emergência ao início do florescimento, e a fase reprodutiva do início do florescimento à maturação plena. A velocidade de emissão de folhas foi representada pelo filocrono, definido como o tempo, em °C dia, necessário para aparecimento de um par de folhas na haste principal. O filocrono foi estimado pelo inverso do coeficiente angular da regressão linear entre NF e STa a partir da emergência (Xue et al., 2004; Streck et al., 2005), considerando cada data de semeadura.

Os dados foram submetidos a análise da variância empregando-se o teste F e, quando este foi significativo, as comparações entre as médias dos tratamentos foram efetuadas pelo teste de Scott Knott, ao nível de 5% de probabilidade. Para a análise dos dados foi utilizado o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o experimento, as plantas de chia foram expostas a diferentes valores de temperatura do ar e fotoperíodo. Na Figura 1 são apresentadas as variações da temperatura do ar ao longo do ciclo da cultura. As temperaturas foram baixas nos meses de setembro, outubro e início de novembro, atingindo os valores máximos nos meses de verão, e voltando a decair nos meses de maio, junho e julho, quando foram registradas as menores temperaturas durante o experimento. O menor valor de temperatura mínima do ar (T_{min}) foi -1,7 °C (19/07/17) e o maior valor de temperatura máxima do ar (T_{max}) foi 35,1 °C (25/12/16). O fotoperíodo a que as plantas de chia foram expostas em Santa Maria variou de 11,1 horas (21/6/2017) a 14,96 horas (21/12/2016).

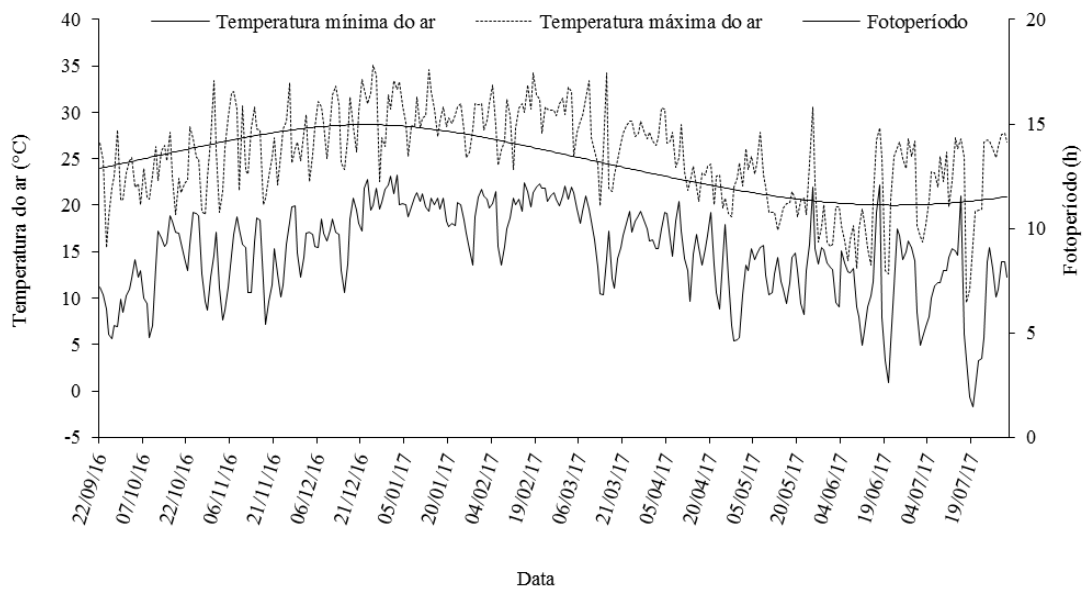


Figura 1. Temperaturas mínimas e máximas diárias do ar ($^{\circ}\text{C}$) entre setembro/2016 e julho/2017, em Santa Maria, RS

Na figura 2, é apresentada a duração em dias (Figura 2A) e em $^{\circ}\text{C}$ dias (Figura 2B) das fases vegetativa e reprodutiva das plantas de chia nas cinco datas de semeadura. Percebe-se que há uma diferença significativa na duração do ciclo de desenvolvimento das plantas entre as cinco datas de semeadura, e que esta variação na duração do ciclo se deu principalmente pela diferença na duração da fase vegetativa das plantas. Enquanto as plantas da data de semeadura de 22/09/16 apresentaram média de 178 dias de fase vegetativa (Figura 2A) as plantas da data de semeadura de 24/03/17 apresentaram apenas 35 dias. Essa diferença na duração da fase vegetativa também foi observada quando a duração das fases foi calculada em $^{\circ}\text{C}$ dia através do cálculo da soma térmica acumulada (Figura 2B), na qual a semeadura de 22/09/16 acumulou 2023 $^{\circ}\text{C}$ dia durante a fase vegetativa e a semeadura de março acumulou apenas 299 $^{\circ}\text{C}$ dia. Percebe-se que com o atraso nas datas de semeadura há redução da duração do ciclo de desenvolvimento, pela menor duração da fase vegetativa das plantas. Essa redução pode ser explicada pelo efeito do fotoperíodo sobre o desenvolvimento da chia, a qual é considerada uma planta de dia curto, ou seja, quando exposta a mais horas de escuro o seu desenvolvimento é mais rápido (Jamboonsri et al., 2012; Baginsky et al., 2014). Os resultados encontrados para a chia se assemelham aos encontrados por Trentin et al. (2013) e Zanon et al. (2015) para soja, que também é uma espécie de dia curto.

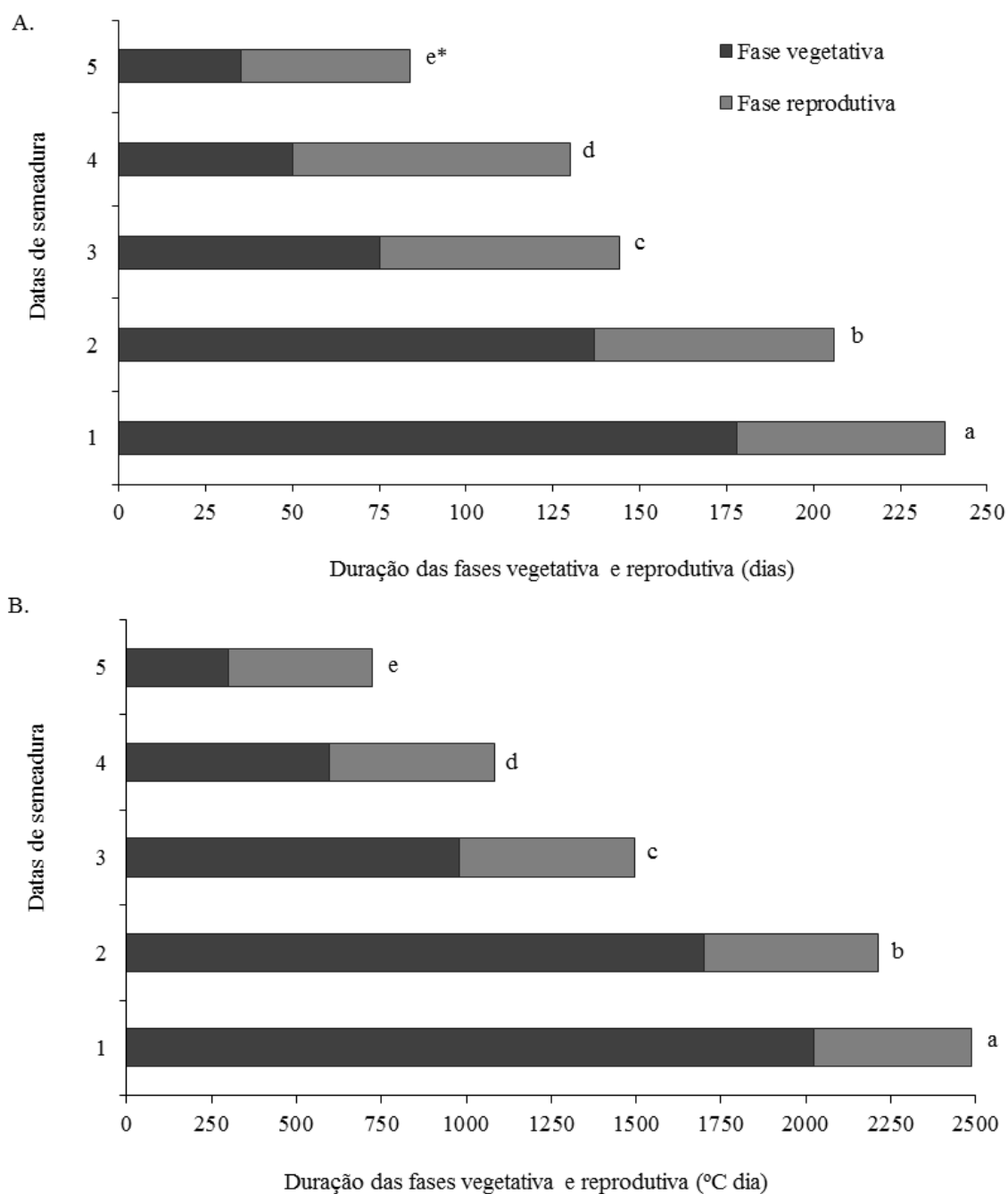


Figura 2. Duração das fases vegetativa e reprodutiva de chia em dias (A.) e em °C dia (B.) em diferentes datas de semeadura: 1 (22/09/2016), 2 (28/10/2016), 3 (03/01/2017), 4 (08/02/2017) e 5 (24/03/17), no ano agrícola 2016/2017, em Santa Maria, RS. *Médias da duração do ciclo de desenvolvimento (fase vegetativa-fase reprodutiva) seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre si pelo Teste Scott Knott a 5% de probabilidade de erro

A duração percentual das fases vegetativa e reprodutiva em relação ao ciclo total nas cinco datas de semeadura é apresentada na figura 3. Observa-se que, nas semeaduras mais precoces, a fase mais longa é a fase vegetativa, perfazendo aproximadamente 75% do ciclo total na semeadura de 22/09/16, 67% na semeadura de 28/10/16 e 52% semeadura de 03/01/17. No

entanto para sementeiras mais tardias esse processo se inverte, e a fase reprodutiva se apresenta a mais longa, com aproximadamente 62% e 58% do ciclo total nas sementeiras de 08/02/17 e 24/03/17, respectivamente.

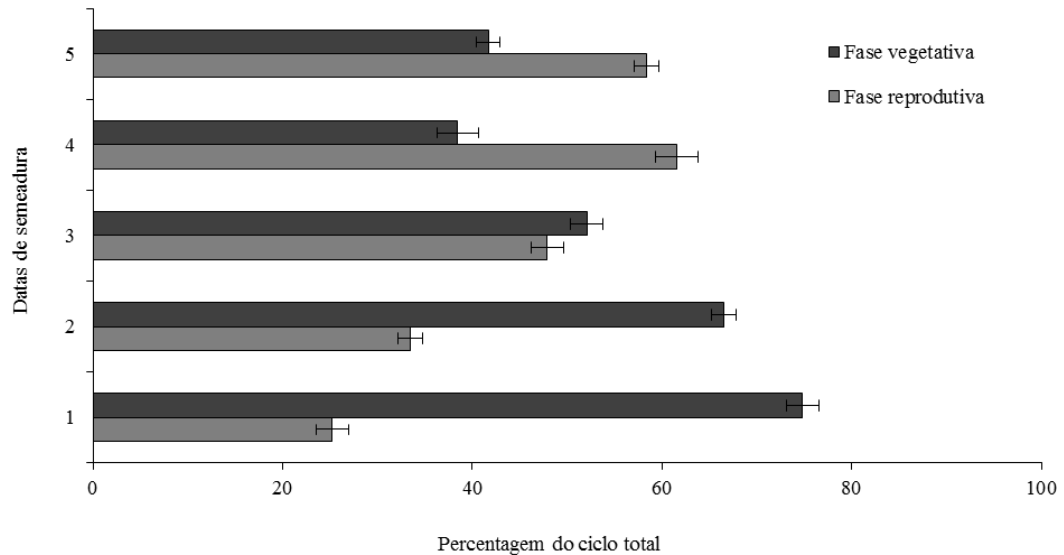


Figura 3. Duração percentual das fases vegetativa e reprodutiva em relação ao ciclo total da chia em diferentes datas de sementeira: 1 (22/09/2016), 2 (28/10/2016), 3 (03/01/2017), 4 (08/02/2017) e 5 (24/03/17), no ano agrícola 2016/2017, em Santa Maria, RS

A antecipação do florescimento nas datas de sementeira mais tardias, e por consequência a menor duração da fase vegetativa deve-se ao fotoperíodo curto (12-13 horas) a que as plantas foram expostas no início do ciclo de desenvolvimento, como observado também em soja (Zanon et al., 2015) e em arroz (Streck, et al. 2006).

Uma outra maneira de avaliar o desenvolvimento de uma cultura é através da emissão de folhas ou nós na haste principal. Com esses dados, pode-se estimar o filocrono, que em chia é o intervalo de tempo entre o aparecimento de um par de folhas e o par de folhas seguintes na haste principal. O filocrono é uma importante avaliação fisiológica pois indica o acúmulo de graus dia necessário para que a planta emita uma nova folha e, conseqüentemente, vai definir o tempo que a planta vai necessitar para completar a sua fase vegetativa (Streck et al., 2009). No caso de espécies responsivas, como a chia, o filocrono pode variar com o fotoperíodo do local.

O filocrono é calculado pela relação entre o número de folhas emitidas na haste principal e a soma térmica acumulada nas diferentes datas de sementeira da chia (Figura 4 A, B, C, D, E). Nota-se um elevado R^2 (>0,99) em todas as datas de sementeira, que é uma garantia de que a estimativa do filocrono por este método é adequada. Observa-se que houve diferença no filocrono

das primeiras quatro datas de semeadura para a semeadura de 24/03/17, que apresentou o menor filocrono, resultando em acúmulo de soma térmica menor para emitir uma nova folha (Figura 4E). Já o maior filocrono para as demais datas, indica um crescimento mais lento, pois necessita de maior acúmulo de graus dia para emitir uma folha. Isso é devido a resposta da chia a temperatura do ar e ao fotoperíodo, onde aparentemente a temperatura do ar regula a velocidade da emissão de folhas na haste principal e o fotoperíodo determina o tempo em que a planta permanecerá emitindo folhas, definindo assim quantas folhas serão emitidas até a planta entrar na fase reprodutiva, que corresponde ao número final de folhas (NFF, Figura 5A). Por outro lado, a semeadura de 24/03/17 apresentou filocrono estatisticamente menor, o que pode indicar que em semeaduras muito tardias, em função do fotoperíodo altamente indutivo, além de menor fase vegetativa e menor NFF, também terá redução na velocidade de emissão de folhas (Filocrono).

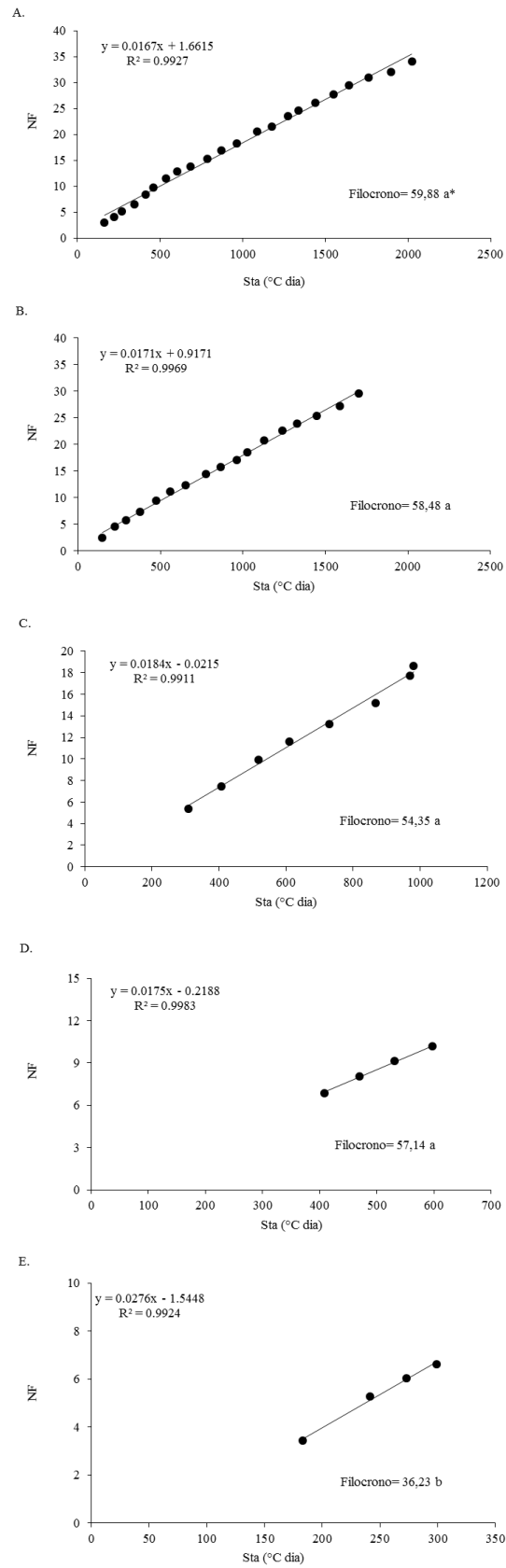


Figura 4. Relação entre o número de folhas (NF) e soma térmica acumulada a partir da emergência (STa, °C dia) usada na estimativa do filocrono (°C dia folha⁻¹) em chia nas sementeiras de 22/09/16 (A.), 28/10/16 (B.), 03/01/17 (C.), 08/02/17 (D.)

e 24/03/17(E.), no ano agrícola 2016/2017, em Santa Maria, RS. *Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade

Diferenças de filocrono entre datas de semeadura também foram relatadas para espécies cultivadas, tais como trigo (Rosa et al., 2009), lírio (Streck et al., 2004), batata (Streck et al., 2009), mandioca (Schons et al., 2007; Fagundes et al., 2009), arroz (Streck et al., 2007) e de plastocrono para a cultura da soja (Martins et al., 2011).

A duração da fase vegetativa está associada com a alteração do número final de folhas e também da velocidade de aparecimento das folhas na haste principal, portanto uma fase vegetativa mais longa permite a planta produzir uma área foliar maior (Heinemann et al., 2006). Por isso, a evolução do número de folhas acumuladas na haste principal (NF) e o número final de folhas (NFF) são importantes parâmetros do desenvolvimento vegetativo (Fagundes et al., 2009). Em chia o NFF representa uma fase muito importante, que é quando as plantas são induzidas ao florescimento e entram na fase reprodutiva.

O NFF variou entre as datas de semeadura (Figura 5A). As datas 1 (22/09/2016) e 2 (28/10/2016) apresentaram um NFF de 34 e 30, respectivamente, nas semeaduras mais tardias as plantas emitiram menos folhas (18 folhas na data 3, 10 folhas na data 4 e 6 folhas na data 5). A diferença no NFF entre as semeaduras neste trabalho confirma as informações de Baginsky et al. (2014) e Jamboonsri et al. (2012), que afirmam que a planta de chia tem o desenvolvimento regulado pelo fotoperíodo. Por isso, as semeaduras mais precoces proporcionaram um maior NFF em função da exposição das plantas a fotoperíodos maiores (não indutivos), resultando em maior duração da fase vegetativa das plantas. A resposta da chia ao fotoperíodo fica clara ao analisar que decréscimo do NFF entre as datas de semeadura acompanha a redução do comprimento do dia expresso pela linha no gráfico (Figura 5A).

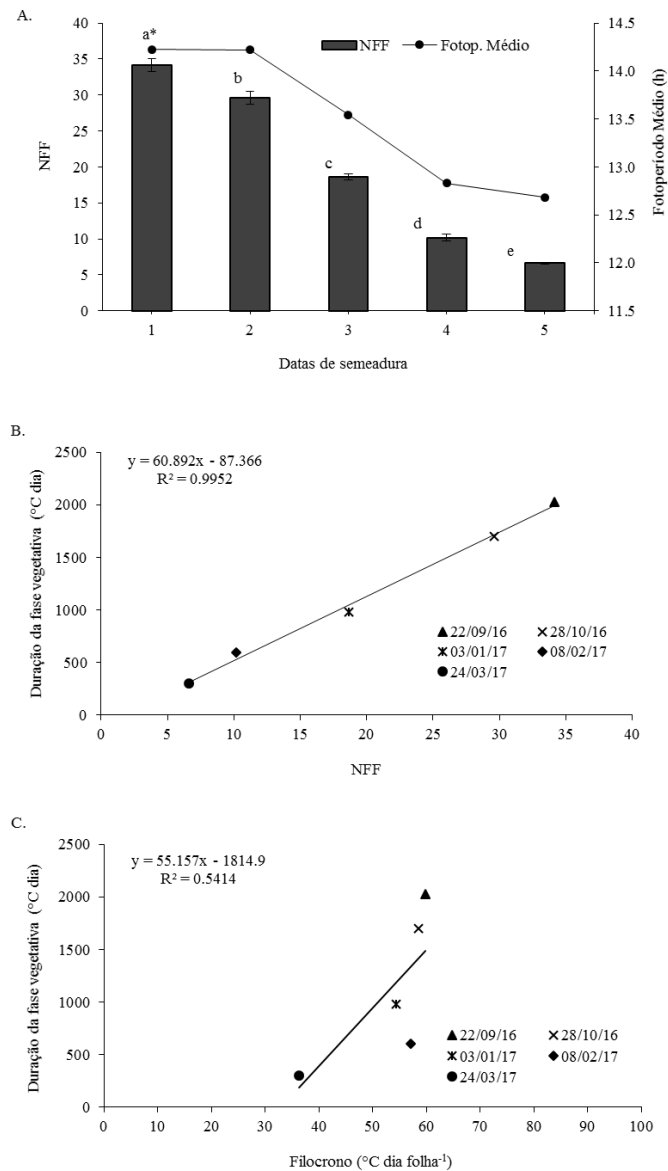


Figura 5. Fotoperíodo médio durante a emissão de folhas e número final de folhas (A.) na haste principal de chia nas datas de semeadura: 22/09/16 (1), 28/10/16 (2), 03/01/17 (3), 08/02/17 (4) e 24/03/17 (5). Relação entre número final de folhas na haste principal duração da fase vegetativa (B.) e a relação entre filocrono e duração da fase vegetativa (C.) de chia, no ano agrícola 2016/2017, em Santa Maria, RS. *Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade

Em trabalhos com outras culturas também são encontrados resultados semelhantes. Por exemplo, Streck et al. (2006) observaram que houve diferença no NFF para as cultivares de arroz em função das épocas de semeadura, sendo o maior NFF obtido nas semeaduras mais precoces devido ao alongamento do ciclo, com resposta típica de planta de dia curto. Fagundes et al. (2009) e Schons et al. (2007) relataram que o NFF de folhas na haste principal em mandioca variou com a data de plantio, e indicaram que a temperatura do ar e o fotoperíodo afetam a taxa de emissão de folhas e o NFF, corroborando os dados obtidos no presente estudo.

A diminuição da fase vegetativa nas datas de semeadura mais tardias ocorreu pela diminuição do número final de folhas na haste principal, com um R^2 de 0,99 (Figura 5B), e muito pouco por mudanças na velocidade de aparecimento de folhas, conforme o filocrono que apresentou relação baixa com a fase vegetativa (Figura 5C), exceto para a semeadura de março. Estes resultados indicam que a diferença do ciclo total de desenvolvimento das plantas de chia é uma função da duração da fase de emissão de folhas, que por sua vez é governada pelo fotoperíodo, ou seja, quanto mais precoce a data de semeadura, maior a fase vegetativa e o NFF, e quanto mais tardia, menor a fase vegetativa e o NFF. Resultados semelhantes foram apresentados em Streck et al. (2006), que relataram que a duração do ciclo total (EM-R9) de desenvolvimento de cultivares de arroz teve relação linear positiva com a duração da fase vegetativa.

Os fatores meteorológicos fotoperíodo e temperatura do ar na cultura da chia tem interação muito fortes. A temperatura do ar governa a velocidade de emissão de folhas, pois quando as temperaturas do ar são elevadas ocorre o surgimento de folhas mais rápido do que quando as temperaturas do ar são baixas. Já o fotoperíodo governa o tempo que a planta tem para emitir suas folhas, e este tem interação muito maior com a duração da fase vegetativa da cultura.

4.4 CONCLUSÕES

A duração da fase vegetativa das plantas de chia em dias e em graus-dia varia entre as datas de semeadura, com menor duração nas datas tardias, em resposta a redução do fotoperíodo.

A fase vegetativa representa a maior percentagem do ciclo total de desenvolvimento nas datas de semeaduras precoces, sendo superada pela fase reprodutiva nas datas de semeadura tardias (08/02/17 e 24/03/17).

O filocrono para chia varia de 36,23 (semeadura muito tardia) a 59,88 °C dia (semeadura precoce e intermediária).

Semeaduras mais tardias resultam em um menor número final de folhas acumuladas na haste principal, em razão da redução do fotoperíodo médio e rápida indução a fase reprodutiva.

4.5 LITERATURA CITADA

Alvares, C.A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P.C.; de Moraes, G.; Leonardo, J.; Sparovek, G.. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v.22, n.6, p.711-728, 2013. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

- Arnold, C.Y. Maximum-minimum temperatures as a basis for computing heat units. Proceedings of the American Society for Horticultural Sciences, v.76, n.1, p.682-692, 1960. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19621701141>.
- Baginsky, C.; Arenas, J.; Escobar, H.; Garrido, M.; Valero, D.; Tello, D.; Pizarro, L.; Morales, L.; Silva, H. Determinación de fecha de siembra óptima de chia en zonas de clima desértico y templado mediterráneo semiárido bajo condiciones de riego en Chile. (2014). http://www.chia.uchile.cl/docs/anexos/Anexo_1.pdf. 20 Mar. 2018.
- Bohicchio, R.; Philips, T.D.; Lovelli, S.; Labella, R.; Galgano, F.; Di Marisco, A.; Perniola, M.; Amato, M. Innovative crop productions for healthy food: the case of chia (*Salvia hispanica* L.). In: Vastola, A (ed.). The Sustainability of Agro-Food and Natural Resource Systems in the Mediterranean Basin, p.29-45, 2015.
- Fagundes, L.K.; Streck, N.A.; Lopes, S.J.; Rosa, H.T. da; Walter, L.; Zanon, A.J. Desenvolvimento vegetativo em diferentes hastas da planta de mandioca em função da época de plantio. *Ciência Rural*, v.39, n.3, p.657–653, 2009. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008005000097>.
- Ferreira, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.
- Heinemann, A.B.; Stone, L.F.; Didonet, A.D.; Trindade, M.G.; Soares, B.B.; Moreira, J.A.A.; Canovas, A.D. Eficiência de uso da radiação solar na produtividade do trigo decorrente da adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.2, p.352–356, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662006000200015>.
- Jamboonsri, W.; Phillips, T.D.; Geneve, R.L.; Cahill, J.P.; Hildebrand, D.F. Extending the range of an ancient crop, *Salvia hispanica* L.-a new ω 3 source. *Genetic Resources and Crop Evolution*, v.59, n.2, p.171-178, 2012. <http://dx.doi.org/10.1007/s10722-011-9673-x>
- Jin, F.; Nieman, D.C.; Sha, W.; Xie, G.; Qiu, Y.; Jia, W. Supplementation of milled chia seeds increases plasma ALA and EPA in postmenopausal women. *Plant Foods for Human Nutrition*, v.67, n.2, p.105-110, 2012. <http://dx.doi.org/10.1007/s11130-012-0286-0>.
- Martins, J.C.; Radons, S.Z.; Streck, N.A.; Knies, A.E.; Carlesso, R. Plastocrono e número final de nós de cultivares de soja em função da época de semeadura. *Ciência Rural*, v.41, n.6, p.954-959, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782011005000064>.
- Migliavacca, R.A.; Silva, T.R.B.; Vasconcelos, A.L.S.; Filho, W.M.; Baptistella, J.L.C. O cultivo da chia no Brasil: futuro e perspectivas. *Journal of Agronomic Sciences*, v.3, n.especial, p.161-179, 2014. <http://www.dca.uem.br/V3NE/13.pdf>. 15 Abr. 2018.

- Rosa, H.T.; Walter, L.C.; Streck, N.A.; Alberto, C.M. Métodos de soma térmica e datas de semeadura na determinação de filocrono de cultivares de trigo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, n.11, p.1374-1382, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009001100002>.
- Sandoval-Oliveros, M.R.; Paredes-Lópes, O. Isolation and characterization of proteins from chia seeds (*Salvia hispanica* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.61, n.1, p.193-201, 2013. <http://dx.doi.org/10.1021/jf3034978>.
- Santos, H.G.; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C.; Oliveira, V.A.; Lumbrreras, J.F.; Coelho, M.R.; Almeida, J.A.; Cunha, T.J.F.; Oliveira, J.B. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2013. 353p.
- Schons, A.; Streck, N.A.; Kraulich, B.; Pinheiro, D.G.; Zanon, A. Emissão de folhas e início da acumulação de amido em raízes de uma variedade de mandioca em função da época de plantio. *Ciência Rural*, v.37, n.6, p.1586–1592, 2007. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782007000600013>.
- Streck, N.A. A generalized nonlinear air temperature response function for node appearance rate in muskmelon (*Cucumis melo* L.). *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.10, n.1, p.105-111, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782003000200012>.
- Streck, N.A.; Bellé, R.A.; Heldwein, A.B.; Buriol, G.A.; Schuh, M. Estimating the phyllochron in lily (*Lilium longiflorum* Thunb.). *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.12, n.2, p.355-358, 2004. <http://www.sbagro.org.br/bibliotecavirtual/arquivos/1439.pdf>. 15 Mai. 2018.
- Streck, N.A.; Belle, R.A.; Rocha, E.K.; Schuh, M. Estimating leaf appearance rate and phyllochron in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Ciência Rural*, Santa Maria, v.35, n.6, p.1448-1450, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782005000600036>.
- Streck, N.A.; Bosco, L.C.; Michelon, S.; Walter, L.C.; Marcolin, E. Duração do ciclo de desenvolvimento de cultivares de arroz em função da emissão de folhas no colmo principal. *Ciência Rural*, v.36, n.4, p.1086–1093, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782006000400007>.
- Streck, N.A.; Michelon, S.; Rosa, H.T.; Walter, L.C.; Bosco, L.C.; Paula, G.M. de, Camera, C.; Samboranha, F.K.; Marcolin, E.; Lopes, S.J. Filocrono de genótipos de arroz irrigado em função da época de semeadura. *Ciência Rural*, v.37, n.2, p.323-329, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782007000200005>.
- Streck, N.A.; Paula, F.L.M. de; Dellai, J.; Bisognin, D.A.; Paula, A. de. Filocrono em batateira afetado pelo tamanho do tubérculo-semente e pela época de cultivo. *Bragantia*, v.68, n.1, p.137–143, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052009000100015>.

- Trentin, R.; Heldwein, A.B.; Streck, N.A.; Trentin, G.; Silva, J.C. Subperíodos fenológicos e ciclo da soja conforme grupos de maturidade e datas de semeadura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.48, n.7, p.703-713, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013000700002>.
- Xue, Q.; Weiss, A.; Baenziger, P.S. Predicting leaf appearance in field-grown winter wheat: evaluating linear and non-linear models. *Ecological Modelling*, v.175, n.3, p.261-270, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.10.018>.
- Zanon, A.J.; Winck, J.E.M.; Streck, N.A.; Rocha, T.S.M.; Cera, J.C.; Richter, G.L.; Lago, I.; Santos, P.M.; Maciel, L. da R., Guedes, J.V.C., Marchesan, E. Desenvolvimento de cultivares de soja em função do grupo de maturação e tipo de crescimento em terras altas e terras baixas. *Bragantia*, v.74, n.4, p.400-411, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0043>.

5. ARTIGO 3

Yield and physical and physiological quality of *Salvia hispanica* L. seeds grown at different sowing dates³

³ Artigo formatado nas normas da revista Journal of Agricultural Science.

Yield and physical and physiological quality of *Salvia hispanica* L. seeds grown at different sowing dates

Abstract

Variations in the sowing date of chia (*Salvia hispanica* L.) reflect directly on the physiological potential of the produced seeds. This study aimed to analyze the yield and the physical and physiological quality of seeds from the main stem and branches of *Salvia hispanica* plants grown at different sowing dates. A field experiment was conducted in the crop year of 2016/2017 in five sowing dates (16/09/22, 16/10/28, 17/01/03, 17/02/08 and 17/03/24) in a randomized complete block design with four replicates. Harvest at each sowing date was done when 80% of the leaves of each plant exhibited a darker color, indicating that they were dry. Seed yield was determined in each plant compartment (main stem and branches) and final ear length (cm) and diameter (cm) were also measured at all sowing dates. The following physical and physiological tests were performed to determine seed quality: water content, mass of one thousand seeds, germination test, first count germination, length (root and hypocotyl) and dry matter of the seedlings. Chia can be sown from September to February providing seed yield with high physical and physiological quality. The physical and physiological quality of the chia seeds does not differ between main stem and branches. In late sowing, there is the risk of frost occurrence what may impair the physiological quality and the yield of chia seeds. The best sowing month for obtaining higher yield of chia seeds in a south subtropical region is January.

Key words: *Chia*, sowing dates, physiological potential, yield.

5.1 Introduction

Chia (*Salvia hispanica* L.), belonging to the Lamiaceae family, has recently been rediscovered as a nutraceutical food and rich in omega 3 and omega 6 (Jamboonsri et al., 2012). Its grains have high content of unsaturated fatty acids, protein and minerals. It also presents high levels of phenolic compounds with antioxidant activity and is the best currently known healthy source of fibers (Ayerza & Coates, 2011). Due to the characteristic of nutraceutical food and to the human health benefits, chia consumption has increased in recent years, mainly by those who seek a healthier diet.

Most of the research done with the chia crop is related to grain composition and genetic aspects (Bochicchio et al., 2015). However, with the increasing grain consumption and the emergence of commercial areas for chia cultivation in the South of Brazil, it is urged to expand the knowledge of this species, mainly in relation to the quality of the seeds in the conditions of the State of Rio Grande do Sul.

The interaction of the physical, physiological and sanitary components is responsible for expressing seed quality and determines the ability of the seed to originate high productivity plants. The physical quality indicates the integrality and aspect of the seeds as to the purity of the contamination degree with other species and the amount of inert material that exists. Physiological quality determines the conditions under which seeds express their productive potential to perform vital functions, such as germination, vigor and longevity (Carvalho & Nakagawa, 2012; Kulczynski et al., 2014).

Sowing date is one of the crucial factors for seed quality. The climatic conditions as such as air humidity, photoperiod and air temperature, which vary according to the seasons, also interfere with plant sanity and crop cycle (Viganó et al., 2010). The adequacy of sowing dates in the chia crop has the purpose of minimizing possible risks, such as frosts in the flowering period and rainfall excess in the harvest.

Besides the climate, one aspect that may interfere the productivity and the quality of the chia seeds is the non-uniformity of flowering and maturation among the inflorescences. This non-uniformity impairs mechanized harvesting, as the inflorescence of the main stem matures and dries while the inflorescences of the lateral branches are immature. On the other hand, waiting until all the inflorescences are dry can increase the losses caused by rainfall, bird attacks and wind damage (Jamboonsri, 2010).

As chia seeds develop at different periods in the same plant due to the staggered flowering, it can be assumed that this development is capable to influence the physiological quality of the seeds, and that the quality of the seeds produced in the main stem and in branches is different. The meteorological conditions to which plants are exposed during the grain filling and the physiological maturity of the seeds on the main stem and branches may be different because they occur at different times, which may differ grain yield between plant parts.

Based on the above, this work aimed to analyze the yield and the physical and physiological quality of seeds from the main stem and branches of chia plants grown at different sowing times.

5.2 Material and methods

A field experiment was conducted in the crop year of 2016/2017 in the experimental area of the Department of Plant Science of the Federal University of Santa Maria, Santa Maria, RS, Brazil (latitude: 29° 43'S, longitude: 53° 43'W, and altitude: 95 m).

The region climate is a Cfa humid subtropical type without a defined dry season and hot summers, according to the Köppen classification (Kuinchtner & Buriol, 2001). The soil in Santa Maria is a transition between a Typic Hapludalf soil and a Rhodic Paleudalf soil (Usda, 1999).

The experiment was carried out in five sowing dates (16/09/22, 16/10/28, 17/01/03, 17/02/08 and 17/03/24) considered to be early, intermediate and late in relation to the season more suitable for the crop that is October/November (Coelho & Salas-Mellado, 2014; Migliavacca et al., 2014). The experimental design was a randomized complete block design with four replicates. Each plot consisted of five rows measuring 3.00 m, spaced 0.70 m between them, and corresponding to an experimental unit of 10.50 m².

Seeds of chia (*Salvia hispanica* L.), Lamiaceae family, were purchased from a seed company located in the municipality of Santa Cruz do Sul, RS. Harvesting was performed when the plants presented 80% of the leaves with darker color, indicating that they were dry (Miranda, 2012).

For the yield evaluation, plants of the two central lines were collected, totalizing 2.10 m² of useful area. The ears of the main stem and braches were separated to quantify the yield and evaluate the physical and physiological quality of the seeds produced at each part. Subsequently, the length (cm) and diameter (cm) of the ears were measured and the seed yield components (one thousand seed mass) were determined. To determine the ear length and ear diameter, seven ears of the main stem and ten ears of the branches were chosen randomly in each plot, and measurements were made using a millimeter caliper. The estimated seed yield was converted to the unit of one hectare. After harvest, the seeds were stored in a dry place and at ambient temperature, within one month until the physical and physiological quality analysis.

The physical and physiological quality of seeds were evaluated at the Didactic and Research Laboratory on Seeds of the Plant Science Department of the Federal University of Santa Maria, Santa Maria, RS, Brazil. Samples were collected from the plots of each sowing dates to perform the following tests:

Water content: evaluated in a hot air universal oven at 105 ± 3 °C for 24 hours, using four subsamples of whole seeds (Brasil, 2009). The final result was obtained by the arithmetic mean of the percentages of each of the two replicates taken from the working sample.

Mass of one thousand seeds: determined using eight replicates of 100 seeds corrected for 13% of humidity, according to the Rules for Seed Analysis (Brasil, 2009).

Germination test: performed with four replicates of 100 seeds, distributed in plastic boxes (gerbox), on three sheets of *germitest* paper moistened with distilled water in the ratio of 2.50 times the weight of the paper. After sowing, the plastic boxes (gerbox) were kept in BOD (Biochemical Oxygen Demand), at constant temperature of 20 °C in the presence of light (Stefanello et al., 2015). Counts were performed at 7 and 14 days when the test was completed. The results were expressed as percentage of normal and abnormal seedlings (Brasil, 2009).

First count: performed together with the germination test, where the percentage of normal seedlings was determined on the seventh day after the test installation (Brasil, 2009).

Seedlings length (root and hipocotyl): normal seedlings were obtained by sowing four replicates of 20 seeds in the upper third of the *germitest* paper. The paper rolls containing the seeds remained in the germination chamber for seven days at 20 °C, when the root and epicotyl length of 10 normal seedlings at each replicate were randomly evaluated with a millimeter ruler. The mean length of the seedlings was obtained by summing the measurements of each replicate and dividing by the number of normal seedlings measured, with results expressed in centimeters (cm).

Seedlings dry mass: the fresh mass of the 10 seedlings previously measured in the four replicates and kept in paper bags in an oven with a temperature of 60 °C until obtaining a constant mass (48 h). Subsequently, the seedlings were weighed in a precision scale, with a resolution of 0.001 g, and the results were expressed in milligrams (mg).

The germination and first count variables were transformed into arc sin x / 100. The test F was used for the analysis of the variance and, when this was significant, the comparisons between the means of the treatments were done by the Scott Knott test at a level of 5% of probability. For the analysis, the statistical program SISVAR was used (Ferreira, 2011).

5.3 Results and Discussion

During the field experiment, chia plants were exposed to different conditions of air temperature, solar radiation and rainfall (Figure 1a). Air temperature was low in September, October and early November, reaching maximum values in the summer months, and decreasing again in the months of April, May, June and July, with the minimum air temperatures being recorded in June and July. The absolute minimum air temperature was -1.7°C (07/19/17) and the absolute maximum air temperature was 35.1°C (12/25/16). The months of highest global incidence solar radiation were November, December, January and February (Figure 1b). Rainfall was well distributed throughout the experiment period (Figure 1b), which favored the maintenance of soil moisture and the plant development without water restrictions.

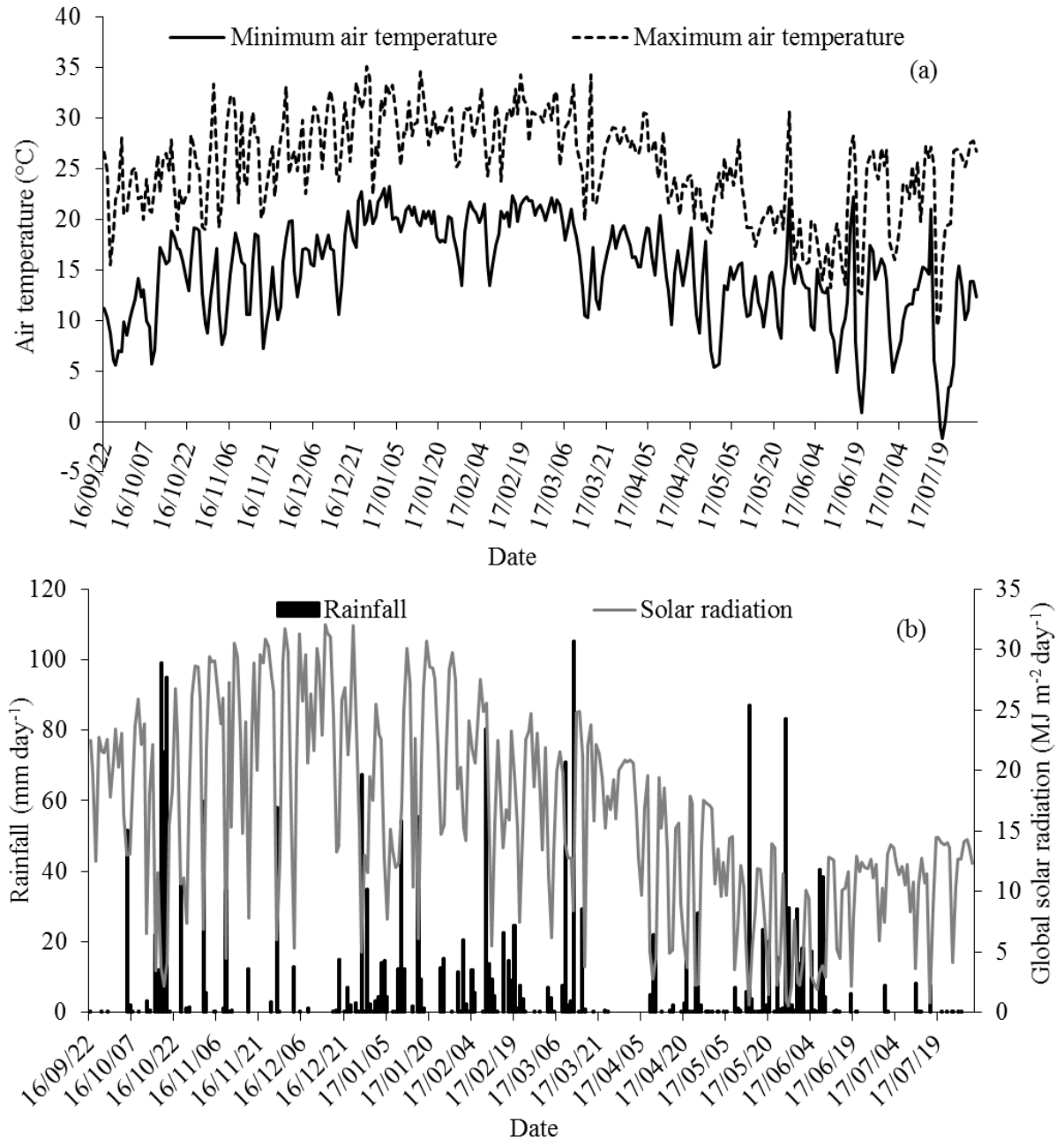


Figure 1. Minimum and maximum daily air temperature ($^{\circ}\text{C}$) (a), global solar radiation ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$) and rainfall (mm day^{-1}) (b) between September 2016 and July 2017 in Santa Maria, state of Rio Grande do Sul, Brazil.

Air temperature directly affects the development of chia plants, since the crop is considered very sensitive to low temperatures, and the risk of frost occurrence is determinant for the definition of the sowing dates (Baginsky et

al., 2014). Similarly, the availability of solar radiation is essential to reach high grain yield and the availability of water is a limiting factor for seed germination and initial establishment of the crop (Migliavacca et al., 2014). Solar radiation availability is one of the most limiting factors to plant growth, development and productivity. All the energy required to the photosynthesis, a transformation process of CO₂ into metabolic energy, is from solar radiation (Taiz & Zieger, 2013).

Results for the variables water content, mass of one thousand seeds, and yield are described in Table 1. There was a significant difference between the sowing dates and between the parts of the plant for the one thousand seed mass. The sowing date of March 24 provided the greatest one thousand seed mass in both the main stem and the branches. Plants sown at this time were shorter and had a smaller leaf area due to the shorter duration of the vegetative phase. Thus, the photo-assimilates were used mainly for the production of reproductive organs and for grain filling, which explains the largest mass of one thousand seeds. Otherwise, in the earlier sowing dates, the duration of the vegetative phase is longer, which leads to taller plants and a higher translocation of photo-assimilates for the production and maintenance of the vegetative organs in relation to the reproductive ones.

Table 1. One thousand seed mass (g), water content (%), and grain yield (kg ha⁻¹) of chia (*Salvia hispanica* L.) in the main stem and branches on different sowing dates.

Sowing date	One thousand Seed mass (g)		Water content (%)		Yield (kg ha ⁻¹)	
	Main stem	Branches	Main stem	Branches	Main stem	Branches
16/09/22	1.07 dA*	1.04 cA	9.49 aA	9.95 aA	35.36 aB	1239.03 bA
16/10/28	1.17 bA	1.10 bB	9.47 aA	9.76 aA	38.23 aB	1454.89 bA
17/01/03	1.13 cA	1.19 aA	10.78 aA	9.75 aA	92.09 aB	1948.93 aA
17/02/08	1.21 bA	1.21 aA	10.32 aA	10.70 aA	159.97 aB	1476.57 bA
17/03/24	1.34 aA	1.17 aB	9.74 aA	10.01 aA	107.55 aB	724.33 cA
CV (%)	5.29		9.04		33.39	

Note. * Means followed by the same uppercase (lowercase) letter in the line (row) do not significantly differ by the Scott Knott test at 5% probability. CV (%): coefficient of variation.

The decrease in the vegetative phase duration of the plants sown in the first date to the last one is due to the chia response to photoperiod (Jamboonsri et al., 2012; Baginsky et al., 2014). Plants responsive to the photoperiod require a certain day length to complete the vegetative phase, that is, to make a transition to the reproductive phase of their life cycle. Therefore, until they are not exposed to these inductive photoperiod, they continue to grow and to emit vegetative organs like leaves (Taiz & Zieger, 2013). The photoperiod duration has been related to the length of reproductive development and to the growth rate of soybean (*Glycine max*) (Kantolic & Slafer, 2007), which is a short day crop as well as chia. Meotti et al. (2012) and Jiang et al. (2011) reported a decrease in individual mass of seeds with the delay of the sowing date in soybean disagreeing with our results. The mass of one thousand seeds in this work are close to those obtained by Ixtafina et al. (2008), which reported a mass of one thousand chia seeds of 1.323 g in a study in Argentina.

When analyzing the seed yield, it is verified that the greatest mass of one thousand seeds in the sowing date of March 24 is not enough to provide a higher yield. Plants sown in at this time were rapidly induced to flowering, had a lower yield in branches and, consequently, a lower number of ears per plant, which contributed to the lower seed yield. This response is typical of a short day plants which, when sown in late dates, are affected by the decrease of the crop cycle in response to the smaller photoperiod, thus reducing the time to produce and translocate photo-assimilates to grains (Jiang et al., 2011; Meotti et al., 2012).

Main contrasting differences in seed yield between the sowing dates can be observed in branches due to the large number of ears produced in these plant parts. In the main stem, only one ear is produced per plant, and the variation between the seed yield in plant part is smaller. In this study, the seed yield did not differ between the sowing dates on the main stem (Table 1).

Sowing of January 3 resulted in higher grain yield in the branches and, consequently, was the most productive sown. It was an intermediate sowing date in which the size of plants and the number of branches was the most adequate for the production of reproductive organs, and for the destination of photo-assimilates to fill grains.

Plants with excessive growth and high leaf area index from early sowing are susceptible to plant lodging and grain yield reduction (Ventura et al., 2009). Lower plants with few branches from late sowing have a lower yield and expression of grain yield characters (Jiang et al., 2011; Meotti et al., 2012).

In soybeans, which is a short-day crop as well as chia, air temperature and photoperiod influence the number of reproductive beginning and the development rate, with a response on crop cycle and on potential grain yield (Jiang et al., 2011). The delay of the sowing date can cause a reduction of up to 50% in soybean grain yield (Stülpe et al., 2009), since sowing at the most appropriate date is important for the best productive performance of the plants (Peixoto et al., 2000). Meotti et al. (2012) observed that air temperature, photoperiod and solar radiation favored soybean development at early sowing dates.

No significant difference was observed for water content of seed between plant parts and sowing dates (Table 1). The exposure of seeds to alternating cycles of wet and dry environmental conditions in the post-maturity phase may differ the water content between sowing dates and parts of plants (Forti, Cicero & Pinto, 2010). A high-water content favors seed deterioration. The variation in the occurrence of moisture deterioration is mainly due to variations in the characteristic pluviometric indexes of each month (Bornhofen et al., 2015). In this work, the environmental conditions which prevailing at the harvest time were favorable to the maintenance of a low grain water content in all treatments, which eliminates the possibility of deterioration and favors the maintenance of seed quality.

For both the variables ear length and ear diameter (Table 2), the highest values were observed in the main stem at all sowing dates. This is because in the main stem only one ear is produced per plant, which contributes to the production of an ear with greater length and diameter. In the branches, a large number of ears is produced, but they are shorter and with a smaller diameter.

Table 2. Ear length (cm) and ear diameter (cm) of chia seedlings (*Salvia hispanica* L.) in the main stem and branches on different sowing dates.

Sowing date	Ear length (cm)		Ear diameter (cm)	
	Main stem	Branches	Main stem	Branches
16/09/22	7.92 dA*	4.62 bB	1.31 bA	1.17 bA
16/10/28	8.60 cA	6.34 bB	1.23 bA	1.09 bA
17/01/03	11.55 bA	6.77 bB	1.43 aA	1.18 bB
17/02/08	14.82 aA	10.88 aB	1.28 bA	1.15 bA
17/03/24	9.87 cA	5.69 bB	1.44 aA	1.50 aA
CV (%)	14.52		9.15	

Note. * Means followed by the same uppercase (lowercase) letter in the line (row) do not significantly differ by the Scott Knott test at 5% probability. CV (%): coefficient of variation.

When analyzing the differences between sowing dates, it was possible to verify that the earlier sowing, in general, produced ears of smaller length and diameter when compared to dates of intermediate and later sowing. This occurs because the plants of the earliest sowing dates have a greater number of branches, consequently, they have a greater number of ears, and the production and destination of photo-assimilates must be divided to all these reproductive organs, which results in shorter ears with a smaller diameter. While later sowings produce a smaller number of ears, the production of photo-assimilates is destined to the formation of ears of a greater size. However, the sizes of the ears contribute very little to the production definition when the number of ears presented in an area is small (Lopes et al., 2007).

Regarding the percentage of germination, it was verified that all sowing dates of chia presented a germination superior to 83% (Table 3). From this, it is possible to admit that chia can be sown between the months of September to March resulting in high percentages of germination. When evaluating the treatments, there was no significant difference between the sowing dates for the seeds produced in the main stem. However, in the branches, the sowing of March 24 provided the lowest percentage of germination. This fact can be explained by the climatic conditions prevailing in the seed filling and maturation stages, in which the occurrence of frost (07/18/17 and 07/19/17) negatively affected the germination of seeds from this period. These results are in agreement with those found by Meotti et al. (2005) and Silva, Lazarini and Sá (2007), who observed that both anticipation and delay in the sowing date were detrimental to obtaining soybean seeds with higher physiological

quality. The variability in the expression of the physiological potential of seeds of species subject to variation in the sowing season, as well as chia, due to the response to the photoperiod, is described in others studies (Albrecht et al., 2008; Viganó et al. 2010).

Table 3. Germination (%) and first count of germination (%) of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds in the main stem and branches on different sowing dates.

Sowing date	Germination (%)		First count (%)	
	Main stem	Branches	Main stem	Branches
16/09/22	91 aA*	96 aA	90 aA	96 aA
16/10/28	92 aA	93 aA	91 aA	89 aA
17/01/03	92 aA	97 aA	92 aA	95 aA
17/02/08	95 aA	94 aA	95 aA	94 aA
17/03/24	83 aA	85 bA	82 aA	83 aA
CV (%)	6.59		7.21	

Note. * Means followed by the same uppercase (lowercase) letter in the line (row) do not significantly differ by the Scott Knott test at 5% probability. CV (%): coefficient of variation.

Mild air temperatures favor the maintenance of seed vigor, which varies according to the sowing date and the prevailing environmental conditions during the maturation and harvest phases (Tekrony, Egly & Phillips, 1980; Rahman, Rahman & Hossain, 2013). Seed vigor is evaluated at the first count of germination (Table 3), and in this study there was no significant difference between sowing dates and plant parts for the first count. The environmental conditions during maturation and harvesting of chia plants favored the maintenance of seed vigor at all the sowing dates studied. In a paper on the physiological quality of soybean seeds of Silva, Lazarini and Sá (2007), both anticipation and delay in the sowing date were detrimental to obtaining seeds with higher physiological quality because the seeds did not tolerate temperature stress and high relative humidity demonstrated by the aging test. For the western region of Santa Catarina State, Brazil, sowing in the middle of December (15/12) is recommended for the production of soybean seeds with high vigor (Bornhofen et al., 2015).

The total dry matter allocation of chia seedlings showed no significant effect between plant parts and between sowing dates (Table 4). The dry mass of seedlings is a genetically defined character and is hardly influenced by the environment, which explains these results (Marcos Filho, 2015). The same behavior was verified for the hypocotyl length of the seedlings. However, for the root length there was a significant difference between the sowing dates. The seeds produced at the sowing date of March 24 presented a longer root length of the seedlings for both seeds from the main stem and branches.

Table 4. Hipocotyl length (cm), root length (cm) and dry mass (mg) of chia seedlings (*Salvia hispanica* L.) from seeds of the main stem and branches of plants sown on different sowing dates.

Sowing date	HL (cm)		RL (cm)		DM (mg)	
	Main stem	Branches	Main stem	Branches	Main stem	Branches
16/09/22	2.14 aA*	2.07 aA	5.44 bA	5.41 bA	0.72 aA	0.69 aA
16/10/28	2.49 aA	2.17 aA	4.97 bA	4.83 bA	0.70 aA	0.70 aA
17/01/03	2.51 aA	2.12 aA	4.75 bA	5.15 bA	0.75 aA	0.71 aA
17/02/08	2.26 aA	1.93 aA	5.41 bA	5.25 bA	0.69 aA	0.70 aA
17/03/24	1.47 aA	1.70 aA	6.33 aA	7.14 aA	0.70 aA	0.72 aA
CV (%)	17.88		12.02		1.89	

Note. * Means followed by the same uppercase (lowercase) letter in the line (row) do not significantly differ by the Scott Knott test at 5% probability. CV (%): coefficient of variation; HL = hypocotyl length; RL = root length; DM = dry mass.

These results are similar to those observed by Pêgo, Nunes and Massad (2011), which did not show a significant difference for shoot length and dry matter of the arugula (*Eruca sativa*) seedlings at 10 days after sowing.

However, the results obtained in this work for the root length of the seedlings differ from those observed by Nakagawa (1999) and Guedes et al. (2009), who reported that under adverse conditions, more vigorous seeds emit the root system faster, becoming more efficient in the absorption of water and nutrients. Nascimento and Pereira (2007), working with lettuce seeds (*Lactuca sativa*), Guedes et al. (2009) with mulungu seeds (*Erythrina velutina*) and Pêgo, Nunes and Massad (2011) with arugula seeds also verified the efficiency in the root length test in the distinction of superior quality lots. These authors verified a positive correlation between the most vigorous seeds and the performance of seedlings in the field. In this work, no correlation was observed between the first germination count and root length of the seedlings, precisely because the germination analysis is a more sensitive analysis than the root length, and through it is possible to show the damages caused by adverse environmental conditions in the seeds (Marcos Filho, 2015).

5.4 Conclusion

Chia can be sown between the months of September to February in Santa Maria, Rio Grande do Sul State, Brazil, providing seed production with high physical and physiological quality. The physical and physiological quality of the chia seeds does not differ between the main stem and branches. In late sowing dates, there is a risk of frost occurrence which may impair the physiological quality and productivity of chia seeds. The best sowing month for obtaining higher productivity of chia seeds is January in Santa Maria, Rio Grande do Sul State, Brazil.

5.5 References

- Albrecht, L. P., Braccini, A. L., Scapim, C. A., Aguiar, C. G., Ávila, M. R., & Stulp, M. (2008). Qualidade fisiológica e sanitária das sementes sob semeadura antecipada da soja. *Scientia Agraria*, 9 (4), 445-454. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99515597005>.
- Ayerza, R., & Coates, W. (2011). Protein content, oil content and fatty acid profiles as potential criteria to determine the origin of commercially grown chia (*Salvia hispanica* L.). *Industrial Crops and Products*, 34 (2), 1366-1371. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.12.007>.
- Baginsky, C., Arenas, J., Escobar, H., Garrido, M., Valero, D., Tello, D., ... & Silva, H. (2014). Determinación de fecha de siembra óptima de chia en zonas de clima desértico y templado mediterráneo semiárido bajo condiciones de riego en Chile. Retrieved from http://www.chia.uchile.cl/docs/anexos/Anexo_1.pdf
- Bohicchio, R., Philips T. D., Lovelli, S., Labella, R., Galgano, F., Di Marisco, A., Perniola, M., & Amato, M. (2015). Innovative Crop Productions for Healthy Food: The Case of Chia (*Salvia hispanica* L.). In: VASTOLA, A (ed.). *The Sustainability of Agro-Food and Natural Resource Systems in the Mediterranean Basin*, 29-45. Retrieved from https://rd.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-16357-4_3.
- Bornhofen, E., Benin, G., Galvan, D., & Flores, M. F. (2015). Épocas de semeadura e desempenho qualitativo de sementes de soja. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 45 (1), 46-55. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=253038430011>.
- Brasil. (2009). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Regras para análise de sementes*. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS.
- Carvalho, N. M., & Nakagawa, J. (2012). *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. 5 ed. Jaboticabal: Funep.
- Coelho, M. S., & Salas-Mellado, M. de L. M. (2014). Revisão: Composição química, propriedades funcionais e aplicações tecnológicas da semente de chia (*Salvia hispanica* L) em alimentos. *Brazilian Journal of Food Technology*, 17 (4), 259-268. <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.1814>.
- Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, 35 (6), 1039-1042. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.
- Forti, V. A., Cicero, S. M., & Pinto, T. L. F. (2010). Avaliação da evolução de danos por 'umidade' e redução do vigor em sementes de soja, cultivar TMG 113-RR, durante o armazenamento, utilizando imagens de raio X e testes de potencial fisiológico. *Revista Brasileira de Sementes*, 32 (3), 123-133. Retrieved from <http://www.scielo.br/pdf/rbs/v32n3/v32n3a14.pdf>.
- Guedes, R. S., Alves, E. U., Gonçalves, E. P., Viana, J. S., Medeiros, M. S., & Lima, C. R. (2009). Teste de comprimento de plântula na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Erythrina velutina* Willd. *Semina: Ciências Agrárias*, 30 (4), 793-802. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2009v30n4p793>.
- Ixtaína, V. Y., Martínez, M. L., Spotorno, V., Mateo, C. M., Maestri, D. M., Diehl, B. W. K., Nolasco, S. M., & Tomás, M. C. (2011). Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction. *Journal of Food Composition Analysis*, 24 (2), 166-174. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2010.08.006>.

- Jamboonsri, W., Phillips, T. D., Geneve, R. L., Cahill, J. P., & Hildebrand, D. F. (2012). Extending the range of an ancient crop, *Salvia hispanica* L.-a new ω 3 source. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59 (2), 171-178. <http://dx.doi.org/10.1007/s10722-011-9673-x>.
- Jamboonsri, W. (2010). *Improvement of new oil crops for Kentucky* (Doctoral dissertations). University of Kentucky.
- Jiang, Y., Yan, W., Ahn, J. K., & Chung, I. M. (2011). Long-day effects on the terminal inflorescence development of a photoperiod sensitive soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] variety. *Plant Science*, 180 (3), 504-510. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.11.006>.
- Kantolic, A. G., & Slafer, G. A. (2007). Development and seed number in indeterminate soybean as affected by timing and duration of exposure to long photoperiods after flowering. *Annals of Botany*, 99 (5), 925-933. <http://dx.doi.org/10.1093/aob/mcm033>.
- Kuinchtner, A., & Buriol, G. (2001). Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo classificação climática de Köppen e Thornthwaite. *Disciplinarum Scientia*, 2 (1), 171-182. Retrieved from <https://www.periodicos.unifra.br/index.php/disciplinarumNT/article/view/1136>.
- Kulczynski, S. M., Machado, E. C., Bellé, C., Sangiogo, M., Kuhn, P. R., & Soratto, R. P. (2014). Electrical conductivity test for evaluation of physiological quality of sesame seed (*Sesamun indicum* L.). *Revista Agrarian*, 7 (23), 72-81. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/266970879_Electrical_Conductivity_Test_for_Evaluation_of_Physiological_Quality_of_Sesame_Seed_Sesamun_indicum_L.
- Lopes, S. J. Dal Collúcio, A., Storck, L., Damo, H. P., Brun, B., & Santos, V. J. (2007). Path analysis on maize spikes characteristics related of the hybrid type. *Ciência Rural*, 37 (6), 1536-1542. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782007000600005>.
- Marcos-Filho, J. (2015). *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. Londrina: ABRATES.
- Meotti, G. V., Benin, G., Silva, R. R., Beche, E., & Munaro, L. B. (2012). Épocas de semeadura e desempenho agrônomo de cultivares de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47 (1), 14-21. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000100003>.
- Miranda, F. (2012). *Guia Técnica para el Manejo del Cultivo de Chia* (*Salvia hispanica*) en Nicaragua. Sébaco: Central de Cooperativas de Servicios Múltiples Exportación e Importación Del Norte (CECOOPSEMEIN RL.). Retrieved from https://bibliotecadepamag.wikispaces.com/file/view/Manual_de_poduccion_de_CHIA_SALVIA_HISPANICA.pdf
- Migliavacca, R. A., Silva, T. R. B., Vasconcelos, A. L. S., Filho, W. M., & Baptistella, J. L. C. (2014). O cultivo da chia no Brasil: futuro e perspectivas. *Journal of Agronomic Sciences*, 3 (especial), 161-179. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/281628676_O_CULTIVO_DA_CHIA_NO_BRASIL_FUTURO_E_PERPECTIVAS.
- Nascimento, W. M., & Pereira, R. S. (2007). Testes para avaliação do potencial fisiológico de sementes de alface e sua correlação com a germinação sob temperaturas adversas. *Revista Brasileira de Sementes*, 29 (3), 156-160. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222007000300021>.
- Nakagawa, J. (1999). Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F.C. et al. *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: ABRATES.
- Peixoto, C. P., Câmara, G. M. S., Martins, M. C., Marchiori, L. F. S., Guerzoni, R. A., & Mattiazzi, P. (2000). Épocas de semeadura e densidade de plantas de soja: I. Componentes da produção e rendimento de grãos. *Scientia Agrícola*, 57 (1), 89-96. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162000000100015>.
- Pêgo, R. G., Nunes, U. R., & Massad, M. D. (2011). Qualidade fisiológica de sementes e desempenho de plantas de rúcula no campo. *Ciência Rural*, 41 (8), 1341-1346. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782011000800008>.
- Rahman, M. M., Rahman, M. M., & Hossain, M. M. (2013). Effect of sowing date on germination and vigour of soybean (*Glycine max* (L.) Merr) seeds. *The Agriculturists*, 11 (1), 67-75. <http://dx.doi.org/10.3329/agric.v11i1.15245>.

- Silva, J. B., Lazarini, E., & Sá, M. E. (2007). Avaliação de genótipos de soja em semeadura de inverno, em Selvíria, MS: produção e qualidade fisiológica de sementes. *Revista Brasileira de Sementes*, 29 (3), 189-196. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222007000300023>.
- Stefanello, R., Neves, L. A. S., Abbad, M. A. B., & Viana, B. B. (2015). Germinação e vigor de sementes de chia (*Salvia hispanica* L.-Lamiaceae) sob diferentes temperaturas e condições de luz. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 17 (4), 1182-1186. http://dx.doi.org/10.1590/1983-084X/15_043.
- Stülp, M., Braccini, A. L., Albrecht, L. P., Ávila, M. R., & Scapim, C. A. (2009). Desempenho agrônômico de três cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura em duas safras. *Ciência e Agrotecnologia*, 33 (5), 1240-1248. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542009000500006>.
- Taiz, L.; Zeiger, E (2013). *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed.
- Tekrony, D. M., Egly, D. B., & Phillips, A. D. (1980). Effects of field weathering on the viability and on vigor of soybean seed. *Agronomy Journal*, 72 (5), 749-753. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj1980.00021962007200050014x>.
- USDA. (1999). *Soil taxonomy*. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washington: USDA.
- Ventura, F., Marletto, V., Traini, S., Tomei, F., Botarelli, L., Pisa, P. R. (2009). Validation of development models for winter cereals and maize with independent agrophenological observations in the BBCH scale. *Italian Journal of Agrometeorology*, 3, 17-26. Retrieved from http://www.agrometeorologia.it/documenti/Rivista2009_3/Ria3_2009Ventura.pdf.
- Viganó, J., Braccini, A. L. E., Scapim, C. A., Franco, F. A., Schuster, I., Moterle, L. M., & Texeira, L. R. (2010) Qualidade fisiológica de sementes de trigo em resposta aos efeitos de ano e épocas de semeadura. *Revista Brasileira de Sementes*, 32 (3), 86-96. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222010000300010>.

6. DISCUSSÃO GERAL

As diferentes datas de semeadura da chia permitiram que as plantas se desenvolvessem em diferentes condições de temperaturas do ar e fotoperíodo, o que proporcionou entender a influência dessas variáveis meteorológicas no crescimento e desenvolvimento da planta, na produtividade e na qualidade das sementes. Isso é importante em estudos de fenologia e para aumentar a confiabilidade dos dados obtidos em experimentos agrícolas que estudam a influência do clima nas plantas. O estudo também tem aplicações práticas, como auxiliar os produtores na definição das melhores datas de semeadura para obter as maiores produtividades, e informar quais os períodos do ano que as condições climáticas adversas podem afetar o rendimento das culturas e encarecer os custos de produção. Essa informação também é útil para os produtores que visam a comercialização de sementes definirem as melhores datas de semeadura para a produção de sementes com qualidade física e fisiológica superior.

Através deste estudo foi possível perceber que as variáveis climáticas fotoperíodo e temperatura do ar influenciam o crescimento das plantas de chia, assim como ocorre em diversas culturas agrícolas. Nas semeaduras precoces as plantas de chia demoraram mais tempo para atingir o fotoperíodo indutivo que as das semeaduras tardias. Isso, proporcionou plantas de maior estatura final, com maior massa de matéria seca da parte aérea e índice de área foliar, tanto na haste principal quanto nas ramificações. Além disso, o crescimento excessivo nestas datas favoreceu o acamamento de plantas, o maior gasto energético para manutenção das estruturas vegetativas, e as plantas ficaram mais tempo expostas ao ataque de pragas e doenças, o que favoreceu a redução da produtividade final de grãos.

Semeaduras tardias também favoreceram a baixa produtividade, pois as plantas foram induzidas a florescer rapidamente, o que proporcionou plantas com estatura reduzida, poucas ramificações, baixa produção de espigas e pouca expressão dos componentes de rendimento de grãos. Esses resultados indicam que semeaduras muito precoces ou tardias tem uma redução na produtividade de grãos, e que a adequação das datas de semeaduras é primordial para se atingir altos tetos produtivos. Assim, por este estudo, o mês mais indicado para semeadura da chia na região da Depressão Central do RS, pensando em altas produtividades é janeiro. Nesse sentido, apesar de serem necessários mais estudos, a chia pode ser uma cultura alternativa para ser cultivada após a soja safra, onde se anteciparia a data de semeadura da soja e, posterior a esta, seria introduzida a cultura da chia.

Em culturas agrícolas, é importante conhecer a fenologia da planta, ou seja, as diferentes fases do ciclo de desenvolvimento que ela passa até o final do seu ciclo, para caracterizar as necessidades e sensibilidades da cultura visando estabelecer de forma correta relações com as condições do ambiente, para conhecer os períodos críticos da cultura, realizar práticas de manejo no momento correto, e planejar datas de semeadura na propriedade rural.

A cultura da chia também tem o desenvolvimento das plantas influenciado pelo fotoperíodo e pela temperatura do ar, os quais diferem entre as datas de semadura. As variáveis de desenvolvimento número final de folhas, taxa de aparecimento de folhas, filocrono e duração de ciclo mostraram influência desses componentes meteorológicos. Foi possível perceber que a duração da fase vegetativa das plantas em dias e em graus-dia é maior nas datas precoces e menor nas datas tardias, em resposta ao efeito da espécie ao fotoperíodo, e por isso, nas semeaduras tardias a fase reprodutiva representou a maior porcentagem do ciclo total de desenvolvimento das plantas. Semeaduras mais tardias também resultam em um menor número final de folhas acumuladas na haste principal, em razão da menor duração da fase vegetativa. Essa diferença na expressão das variáveis de desenvolvimento entre as datas de semeadura também é importante para a definição do melhor momento de semear a chia.

Pensando naqueles produtores que visam a comercialização de sementes, foi possível verificar que a chia pode ser semeada entre os meses de setembro a fevereiro, que propicia a produção de sementes com elevada qualidade física e fisiológica. Porém, deve-se ter especial atenção em semear em datas tardias, pois há o risco de ocorrência de geadas o que pode ocasionar a morte das plantas e prejudicar a qualidade das sementes produzidas. O produtor pode utilizar tanto as sementes oriundas da haste principal quanto das ramificações para a semeadura da sua lavoura, por não possuir diferenças de qualidade.

A partir do conhecimento da influência das variáveis meteorológicas nas plantas de chia e através das avaliações de crescimento e desenvolvimento, foi possível obter informações básicas que possibilitem ao produtor escolher a melhor data de semeadura e forma de conduzir o manejo desta espécie na região. Assim como, obter informações para alcançar os maiores rendimentos de grãos e para produzir sementes com qualidade física e fisiológica. Além de este estudo, possibilitar a formação de pessoal capacitado para orientar os produtores rurais e fomentar cientificamente a diversificação da produção especialmente das pequenas propriedades.

7. CONCLUSÕES

Os índices de crescimento indicaram que em datas mais precoces há maior crescimento de planta, seja em massa de matéria seca da parte aérea, estatura e índice de área foliar.

O índice de área foliar das ramificações é incrementado com o desenvolvimento das plantas e contribui significativamente para área foliar total da chia em todas as datas de sementeiras estudadas.

Para as datas de sementeira estudadas, a haste principal representa entre 60 e 70% da massa de matéria seca da parte aérea acumulada nas plantas das datas de sementeira precoces, e entre 40 e 50 % nas sementeiras tardias.

A duração da fase vegetativa das plantas de chia em dias e em graus-dia varia entre as datas de sementeira, com menor duração nas datas tardias, em resposta a redução do fotoperíodo.

A fase vegetativa representa a maior percentagem do ciclo total de desenvolvimento nas datas de sementeiras precoces, sendo superada pela fase reprodutiva nas datas de sementeira tardias (08/02/17 e 24/03/17).

O filocrono para chia varia de 36,23 (sementeira muito tardia) a 59,88 °C dia (sementeira precoce e intermediária).

Sementeiras mais tardias resultam em um menor número final de folhas acumuladas na haste principal, em razão da redução do fotoperíodo médio e rápida indução a fase reprodutiva.

A chia pode ser semeada entre os meses de setembro a fevereiro propiciando produção de sementes com elevada qualidade física e fisiológica.

A qualidade física e fisiológica das sementes de chia não difere entre a haste principal e as ramificações.

Para as datas estudadas, o melhor mês de sementeira para a obtenção de maior produtividade de sementes de chia em Santa Maria é janeiro.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTONIAZZI, N.; DESCHAMPS, C. Análise de crescimento de duas cultivares de cevada após tratamentos com elicitores e fungicidas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.4, p.1065-1071, 2006.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS – AOSA. **Seed vigor testing handbook**. East Lansing: AOSA, 1983. 88p.
- AYERZA, R. The seed's protein and oil content, fatty acid composition, and growing cycle length of a single genotype of chia (*Salvia hispanica* L.) as affected by environmental factors. **Journal of Oleo Science**, Japan, v.58, n.7, p.347-354, 2009.
- AYERZA, R.; COATES, W. Influence of environment on growing period and yield, protein, oil and linolenic content of three chia (*Salvia hispanica* L.) selections. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v.30, p.321-3247, 2009.
- AYERZA, R.; COATES, W. Protein content, oil content and fatty acid profiles as potential criteria to determine the origin of commercially grown chia (*Salvia hispanica* L.). **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v.34, n.2, p.1366-1371, 2011.
- BAGINSKY, C. et al. Determinación de fecha de siembra óptima de chia en zonas de clima desértico y templado mediterráneo semiárido bajo condiciones de riego en Chile. 2014. http://www.chia.uchile.cl/docs/anexos/Anexo_1.pdf
- BENICASA, M. P. **Análise de Crescimento de Plantas (noções básicas)**. Jaboticabal: FUNEP, 2004. 42p.
- BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J.I. **As Plantas e o Clima: princípios e aplicações**. Guaíba: AGROLIVROS, 2017. 352p.
- BOCHICCHIO, R. et al. **Innovative Crop Productions for Healthy Food: The Case of Chia (*Salvia hispanica* L.)**. In.: VASTOLA, A (ed.). *The Sustainability of Agro-Food and Natural Resource Systems in the Mediterranean Basin*, p.29-45, 2015.
- BUENO, M. et al. Análisis de la calidad de los frutos de *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae) comercializados em la ciudad de Rosario (Santa Fe, Argentina). **Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas**, Santiago, v.9, n.3, p.221-227, 2010.
- BUSILACCHI, H. et al. Evaluación de *Salvia hispanica* L. cultivada en el sur de Santa Fe (República Argentina). **Cultivos Tropicales**, San José de las Lajas, v.34, n.4, p.55-59, 2013.
- CAHILL, J.P. Genetic diversity among varieties of chia (*Salvia hispanica* L.). **Genetic Resources and Crop Evolution**, Dordrecht, v.51, p.773-781, 2004.
- CALLEJAS, I.J.A. et al. Determinação das temperaturas cardinais da manga cultivar Roxa através de simulação computacional utilizando um modelo não linear. **Ambiência – Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava, v.10, n.1, p.97-110, 2014.

- CAPITANI, M.I. et al. Physicochemical and functional characterization of byproducts from chia (*Salvia hispanica* L.) seeds of Argentina. **Food Science and Technology**, London, v.45, n.1, p.94-102, 2012.
- CARTER, L.J.; HARTWIG, E.E. The management of soybean. **Advances in Agronomy**, Sant Diego, v.14, p.359-419, 1962.
- CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5 ed. Jaboticabal: Funep, 2012. 590p.
- COATES, W. Whole and Ground Chia (*Salvia hispanica* L.) Seeds, Chia Oil- Effects on Plasma Lipids and Fatty Acids. In: PREEDY, V. R.; WATSON, R. R.; PATEL, V. B. (Ed) **Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention**. San Diego: Academic Press, p.309-314, 2011.
- COELHO, M.S.; SALAS-MELLADO, M. de L.M. Revisão: Composição química, propriedades funcionais e aplicações tecnológicas da semente de chia (*Salvia hispanica* L) em alimentos. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.17, n.4, p.259-268, 2014.
- COSTA, J.A. **Cultura da soja**. Porto Alegre: I. Manica, 1996. 233p.
- COSTA, N. P. et al . Qualidade fisiológica, física e sanitária de sementes de soja produzidas no Brasil. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v.25, n.1, p.128-132, 2003.
- DAN, E.L. et al. Transferência de matéria seca como método de avaliação do vigor de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.9, n.3, p.45-55, 1987.
- DELLAI, J. et al. Filocrono em diferentes densidades de plantas de batata. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.6, p.1269–1274, 2005.
- DELOUCHE, J.C. **Precepts of seed storage**. In: SHORT COURSE FOR SEEDSMEN, 16, Mississippi, 1973. Proceedings. Mississippi State: Mississippi State University, 1973. p.97-122.
- DI SAPIO, O. et al. Caracterización Morfoanatômica de Hoja, Tallo, Fruto y Semilla de *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae). **Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas**, Santiago, v.11, n.3, p.249-268, 2012.
- FAGUNDES, L.K. et al. Desenvolvimento vegetativo em diferentes hastes da planta de mandioca em função da época de plantio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.3, p.657–653, 2009.
- FERREIRA, T.R.B. **Caracterização nutricional e funcional da farinha de chia (*Salvia hispanica*) e sua aplicação no desenvolvimento de pães**. 2013. 112p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo, 2013.
- GUEDES, R.S. et al. Teste de comprimento de plântula na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Erythrina velutina* Willd. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.30, n.4, p.793-802, 2009.

HEINEMANN, A.B. et al. Eficiência de uso da radiação solar na produtividade do trigo decorrente da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p.352–356, 2006.

IXTAINA, V.Y.; NOLASCO, S.M.; TOMÁS, M.C. Physical Properties of Chia (*Salvia hispanica* L.) Seeds. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v.28, n.3, p.286-293, 2008.

JACINTO, J.B.C.; CARVALHO, N.M. Maturação de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Científica**, Jaboticabal, v.1, n.1, p.81-88, 1974.

JAMBOONSRI, W. et al. Extending the range of an ancient crop, *Salvia hispanica* L.-a new ω 3 source. **Genetic Resources and Crop Evolution**, Dordrecht, v.59, n.2, p.171-178, 2012.

JAMBOONSRI, W. **Improvement of new oil crops for Kentucky**. Doctoral dissertations, University of Kentucky, 120p. 2010.

JIANG, Y. et al. Long-day effects on the terminal inflorescence development of a photoperiod-sensitive soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] variety. **Plant Science**, v.180, n.3, p.504-510, 2011.

JIMÉNEZ, F.E.G. **Caracterización de compuestos fenólicos presente en la semilla y aceite de chía (*Salvia hispanica* L.), mediate electroforesis capilar**. 2010. 101p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Alimentos) – Instituto Politécnico Nacional Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Cidade do México, 2010.

KULCZYNSKI, S.M. et al. Electrical conductivity test for evaluation of physiological quality of sesame seed (*Sesamun indicum* L.). **Revista Agrarian**, Dourados, v.7, n.23, p.72-81, 2014.

KVET, J. et al. **Methods of growth analysis**. In: SESTÁK, Z.; CATSKÝ, J.; JARVIS, P.G. (Ed.). *Plant photosynthetic production: manual of methods*. The Hague: W. Junk, 1971, p. 343-391.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES, 2015. 659p.

MARTINS, F.B. et al. Desenvolvimento foliar em duas cultivares de oliveira estimado por duas categorias de modelos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.29, n.4, p.505-514, 2014.

MEOTTI, G.V. et al. Épocas de semeadura e desempenho agrônômico de cultivares de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.1, p.14-21, 2012.

MIRANDA, F. **Guia Técnica para el Manejo del Cultivo de Chia (*Salvia hispanica*) en Nicaragua**. Sébaco: Central de Cooperativas de Servicios Múltiples Exportación e Importación Del Norte (CECOOPSEMEIN RL.), 2012. 14p. Disponível em: <http://cecoopsemein.com/Manual de poduccion de CHIA SALVIA HISPANICA.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2016.

MIGLIAVACCA, R.A. et al. O cultivo da chia no Brasil: futuro e perspectivas. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.3, n. especial, p.161-179, 2014.

MINUZZI, A. et al. Qualidade de sementes de quatro cultivares de soja, colhidas em dois locais no estado do Mato Grosso do sul. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.32, n.1, p.176–185, 2010.

NASCIMENTO, W.M.; PEREIRA, R.S. Testes para avaliação do potencial fisiológico de sementes de alface e sua correlação com a germinação sob temperaturas adversas. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.29, n.3, p.156-160, 2007.

PEDÓ, T. et al. Qualidade fisiológica de sementes de soja semeadas em diferentes épocas na safrinha. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v.10, n.2, p.29-32, 2016.

PÊGO, R.G.; NUNES, U.R.; MASSAD, M.D. Qualidade fisiológica de sementes e desempenho de plantas de rúcula no campo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.8, p.1341-1346, 2011.

PEIXOTO, C.P. et al. Épocas de semeadura e densidade de plantas de soja: I. Componentes da produção e rendimento de grãos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n.1, p.89-96, 2006.

PEIXOTO, C.P.; PEIXOTO, M. de F.S.P. Dinâmica Do Crescimento Vegetal: Princípios Básicos. **Tópicos em ciências agrárias**, Cruz das Almas: Nova Civilização, 2009. p.37-53.

PEREIRA, L.A.G. et al. Efeito da época de semeadura sobre a qualidade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.1, n.3, p.77-89, 1979.

RAMOS, S.C.F. **Avaliação das propriedades gelificantes da farinha de chia (*Salvia hispanica* L.): desenvolvimento de novas aplicações culinárias**. Dissertação (Mestrado em Ciências Gastronômicas) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2013. 111 p.

RENATO, N.S. et al. Influência dos métodos para cálculo de graus-dia em condições de aumento de temperatura para as culturas de milho e feijão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.28, n.4, p.382-388, 2013.

REYES-CAUDILLO, E.; TECANTE, A.; VALDIVIA-LÓPEZ, M.A. Dietary Fibre Content and Antioxidant Activity of Phenolic Compounds Present in Mexican Chia (*Salvia hispanica* L.) Seeds. **Food Chemistry**, México, v.107, n.2, p.656-663, 2008.

ROSA, H.T. et al. Métodos de soma térmica e datas de semeadura na determinação de filocrono de cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.11, p.1374-1382, 2009.

SCHONS, A. et al. Emissão de folhas e início da acumulação de amido em raízes de uma variedade de mandioca em função da época de plantio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.6, p.1586–1592, 2007.

SILVA, J.B.; LAZARINI, E.; SÁ, M.E. Avaliação de genótipos de soja em semeadura de inverno, em Selvíria, MS: produção e qualidade fisiológica de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.29, n.3, p.189-196, 2007.

- STÜLP, M. et al. Desempenho agrônômico de três cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura em duas safras. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.5, p.1240-1248, 2009.
- STRECK, N.A. et al. Improving predictions of developmental stages in winter wheat: A modified Wang and Engel model. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam v.115, n.3-4, p.139-150, 2003.
- STRECK, N.A. et al. Avaliação da resposta ao fotoperíodo em genótipos de arroz irrigado. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.4, p.533-541, 2006a.
- STRECK, N.A. et al. Duração do ciclo de desenvolvimento de cultivares de arroz em função da emissão de folhas no colmo principal. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.4, p.1086-1093, 2006b.
- STRECK, N.A. et al. Filocrono em batateira afetado pelo tamanho do tubérculo-semente e pela época de cultivo. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.1, p.137-143, 2009.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**.5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.
- TEKRONY, D.M.; EGLY, D.B.; PHILLIPS, A.D. Effects of field weathering on the viability and on vigor of soybean seed. **Agronomy Journal**, Madison, v.72, n.5, p. 749-753, 1980.
- VENTURA, F. et al. Validation of development models for winter cereals and maize with independent agrophenological observations in the BBCH scale. **Italian Journal of Agrometeorology**. Pavia, v.3, p.17-26, 2009.
- VIGANÓ, J. et al. Qualidade fisiológica de sementes de trigo em resposta aos efeitos de ano e épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.32, n.3, p.86-96, 2010.
- WILHELM, W.W.; McMASTER, G.S. Importance of the phyllochron in studying development and growth in grasses. **Crop Science**, Madison, v.35, n.1, p.1-3, 1995.
- YEBOAH, S. et al. Influence of planting methods and density on performance of chia (*Salvia hispanica*) and its suitability as an oilseed plant. **Agricultural Science**, v.2, n.4, p.14-26, 2014.
- ZANON, A.J. et al. Efeito do tipo de crescimento no desenvolvimento de cultivares modernas de soja após o início do florescimento no Rio Grande do Sul. **Bragantia**, Campinas, v.75, n.4, p.445-458, 2016.
- ZANON, A.J. et al. Desenvolvimento de cultivares de soja em função do grupo de maturação e tipo de crescimento em terras altas e terras baixas. **Bragantia**, Campinas, v.74, n.4, p.400-411, 2015.
- ZUCHI, J. et al. Variações na qualidade e tamanho de sementes de mamona pela época de semeadura e ordem floral. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.41, n.3, p.403-408, 2010.