

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Lissara Polano Ody

**INDICADORES DE QUALIDADE DE GRÃOS DE SOJA CULTIVADA  
EM TERRAS BAIXAS**

Santa Maria, RS  
2021

**Lissara Polano Ody**

**INDICADORES DE QUALIDADE DE GRÃOS DE SOJA CULTIVADA  
EM TERRAS BAIXAS**

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

Orientador: Prof. Giovani Leone Zobot (Dr. Eng.)  
Coorientadores: Prof. Marcus Vinícius Tres (Dr. Eng.)  
Prof. Paulo Ademar Avelar Ferreira (Dr. Eng.)

Santa Maria, RS  
2021

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com dados fornecidos pelo autor.

Polano Ody, Lissara  
Indicadores de qualidade de grãos de soja cultivada  
em terras baixas / Lissara Polano Ody.- 2021.  
96 p.; 30 cm

Orientador: Giovani Leone Zobot  
Coorientadores: Marcus Vinícius Tres, Paulo Ademar  
Avelar Ferreira  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2021

1. Glycine max L 2. Parâmetros nutricionais 3.  
Condições de cultivo 4. Micronutrientes 5.  
Macronutrientes I. Leone Zobot, Giovani II. Vinícius  
Tres, Marcus III. Ademar Avelar Ferreira, Paulo IV.  
Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

---

©2021

Todos os direitos autorais reservados a Lissara Polano Ody. A reprodução de partes ou todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

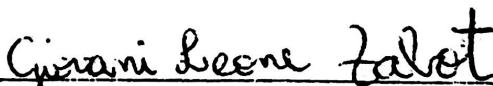
E-mail: lissaraody@yahoo.com.br

**Lissara Polano Ody**

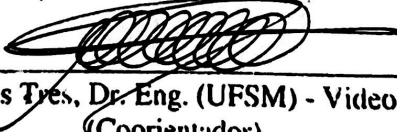
**INDICADORES DE QUALIDADE DE GRÃOS DE SOJA CULTIVADA EM  
TERRAS BAIXAS**

Dissertação apresentada ao Curso de  
Mestrado do Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Agrícola da Universidade  
Federal de Santa Maria (UFSM), como  
requisito parcial para a obtenção do título  
de Mestre em Engenharia Agrícola.

**Aprovada em 29 de julho de 2021:**



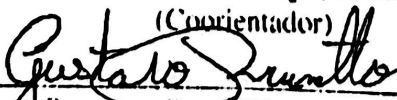
Giovani Leone Zabet, Dr. Eng. (UFSM) - Videoconferência  
(Presidente/Orientador)



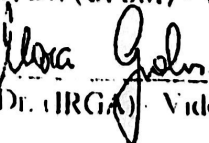
Marcus Vinícius Tres, Dr. Eng. (UFSM) - Videoconferência  
(Coorientador)



Paulo Ademir Avelar Ferreira, Dr. Eng. (UFSM) - Videoconferência  
(Coorientador)



Gustavo Brunetto, Dr. (UFSM) - Videoconferência



Mara Groh, Dr. (IRGA) - Videoconferência

Santa Maria, RS  
2021

## **DEDICATÓRIA**

Dedico a minha família, em especial aos meus pais, Emerson e Larice, por todo amor, incentivo e motivação dos meus ideais.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, que tanto me ajudou, por me dar forças superando todas as dificuldades e dirigindo meus caminhos.

Aos meus pais, pelo incentivo e paciência em compreender meus momentos de ausência, por não medirem esforços para que eu pudesse continuar meus estudos. Vocês são meu porto seguro, obrigado pela confiança e amor.

Ao meu orientador Professor Dr. Giovani Leone Zobot, por me proporcionar a oportunidade de realizar o grau de Mestre em Engenharia Agrícola, pela amizade construída, e por todos os ensinamentos compartilhados de forma tão prestativa e dedicada.

Meu agradecimento especial ao professor Paulo Ademar Avelar Ferreira pela disposição em colaborar com a realização deste trabalho, pelos conselhos e incentivo.

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA), pela oportunidade e infraestrutura necessária para a realização do estudo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida, o que me motivou ainda mais a realizar este trabalho.

Aos Laboratórios de Engenharia de Processos Agroindustriais - LAPE e ao grupo GEPACES - UFSM, pela infraestrutura e suporte prestados, tornando possível a execução do trabalho.

Aos colegas do laboratório de Engenharia de Processos Agroindustriais (LAPE) pela amizade e acolhimento. Aos amigos de Santa Maria que conheci durante esta etapa, pelos momentos compartilhados.

À Engenheira agrônoma Mara Grohs pelo fornecimento do material para o desenvolvimento da pesquisa.

Também não posso deixar de agradecer aos técnicos Douglas Scheid e Gustavo Ugalde pelo excelente profissionalismo e apoio prestado durante a execução do trabalho.

Aos membros da banca de defesa, pela presença e por todas as sugestões que contribuíram para melhoria deste estudo.

A todos que não foram citados, mas que, de alguma forma, contribuíram para minha formação pessoal e profissional, e realização deste estudo.

Meus agradecimentos!

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

**José de Alencar**

## RESUMO

### INDICADORES DE QUALIDADE DE GRÃOS DE SOJA CULTIVADA EM TERRAS BAIXAS

AUTORA: Lissara Polano Ody  
ORIENTADOR: Giovani Leone Zobot  
COORIENTADOR: Marcus Vinícius Tres  
COORIENTADOR: Paulo Ademar Avelar Ferreira

O interesse no cultivo de soja em terras baixas, onde predomina a cultura do arroz irrigado, tem aumentado, apesar de ser um ambiente desafiador que impõem fortes instabilidades à cultura. A retomada dos esforços em torno do cultivo de soja em rotação de culturas com o arroz irrigado está avançando, pois, a aplicação de estratégias mitigadoras dos diferentes fatores limitantes ao crescimento das plantas de soja nos solos de terras baixas abre a possibilidade de aumento do potencial de rendimento e qualidade de grãos da cultura. Ainda há a carência de informação de composição de grãos de soja cultivada em terras baixas. Assim, o estudo objetivou avaliar a influência de condições de cultivo de soja em terras baixas sobre os parâmetros de qualidade dos grãos em relação à produtividade, aos teores de proteína, carboidratos e cinzas, ao rendimento e à composição de óleo em termos de ácidos graxos e à composição química dos grãos em termos de macro e micronutrientes. A semeadura foi conduzida em terras baixas na Estação Regional de Pesquisa de Cachoeira do Sul (RS) do Instituto Rio Grandense do Arroz, situada nas coordenadas geográficas: latitude 29° 43'23'' Sul e longitude 53° 43'15'' Oeste. Para os ensaios experimentais, as amostras de grãos foram obtidas em diferentes condições de cultivo: cultivar DM 61I59 IPRO, safra (2018/2019), 2 épocas de semeadura (novembro e dezembro), três níveis de adubação (médio, alto e muito alto) e dois tipos de preparo de solo (escarificado e não escarificado). Os parâmetros de produtividade se encontram em níveis satisfatórios, acima da média nacional, apresentando bom potencial produtivo. A época de semeadura de novembro tende a influenciar positivamente no rendimento de grãos e a escarificação do solo tende a contribuir para maiores teores de proteína e óleo. Os carboidratos constituem os maiores percentuais de conteúdo nos grãos. Em relação à composição do óleo, os principais ácidos graxos, como ácido palmítico (C16:0) e ácido linoleico (C18:2) não tiveram influência dos tratamentos. Porém, para o ácido oleico (C18:1), os percentuais mais representativos são relativos à época de semeadura realizada em novembro. Os macronutrientes potássio (K), fósforo (P), magnésio (Mg) e enxofre (S) e o micronutriente zinco (Zn) não apresentaram sensibilidade nos tratamentos impostos. Para o nitrogênio (N) e o cobre (Cu), a escarificação do solo permite maiores níveis de absorção pelos grãos de soja. No que se refere aos nutrientes ferro (Fe) e manganês (Mn), os tratamentos não influenciaram significativamente de modo a ter diferenças estatísticas a nível de significância de 95%. Os principais indicadores de qualidade, como os teores de proteínas e óleo, apresentam teores médios em base úmida de 17,14% e 14,74%, respectivamente.

**Palavras-chave:** *Glycine max* L. Parâmetros nutricionais. Condições de cultivo. Micronutrientes. Macronutrientes.



## ABSTRACT

### QUALITY INDICATORS OF LOWLAND SOYBEAN GRAIN

AUTHOR: Lissara Polano Ody  
ADVISOR: Giovani Leone Zobot  
CO-ADVISOR: Marcus Vinícius Tres  
CO-ADVISOR: Paulo Ademar Avelar Ferreira

The interest in soybean cultivation in lowlands, where irrigated rice is predominantly cultivated, has increased, despite being a challenging environment that imposes strong instabilities to the soybean cultivation. This cultivation in rotation with irrigated rice is progressing because mitigation strategies for different factors limiting the growth of soybean plants in lowland soils are applied to allow increasing the yield and crop grain quality. More information about the composition of soybean cultivated in lowlands is needed. Therefore, this study aimed to evaluate the influence of growing conditions of soybean in lowlands on the quality parameters of grains, such as productivity, protein, carbohydrate and ash contents, oil yield and composition in terms of fatty acids, and chemical composition of grains in terms of macro and micronutrients. The sowing was carried out in lowlands at the Regional Research Station of Cachoeira do Sul (RS) (latitude 29° 43' 23 " South and longitude 53° 43' 15 " West) in partnership with the Instituto Rio Grandense do Arroz. For the experimental tests, grain samples were obtained under different growing conditions: cultivar DM 61I59 IPRO, harvest period of 2018/2019, two sowing times (November and December), three levels of fertilization (medium, high, and very high), and two types of soil preparation (scarified and non-scarified). Productivity indices are at satisfactory levels. The sowing date in November tends to positively influence the grain yield and soil scarification tends to contribute to higher yields of protein and oil. Carbohydrates constitute the highest percentage of content in grains. Regarding the oil composition, the main fatty acids, such as palmitic acid (C16:0) and linoleic acid (C18:2), were not influenced by the treatments. However, for oleic acid (C18:1), the best percentages are related to the sowing date in November. The macronutrients potassium (K), phosphorus (P), magnesium (Mg) and sulfur (S) and the micronutrient zinc (Zn) did not show sensitivity in the imposed treatments. For nitrogen (N) and copper (Cu), soil scarification allows higher levels of absorption by soybeans. Regarding the nutrients iron (Fe) and manganese (Mn), the treatments did not significantly influence their contents to have statistical differences at a significance level of 95%. The main quality indicators, such as protein and oil content, showed an average content (wet basis) of 17.14% and 14.74%, respectively.

**Keywords:** *Glycine max* L. Nutritional parameters. Growing conditions. Micronutrients. Macronutrients.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Partes da semente de soja .....	20
Figura 2 - Eventos fisiológicos durante o desenvolvimento e maturação da semente de soja .	21
Figura 3 - Usos da soja brasileira .....	22
Figura 4 - Previsão de produção, exportação e processamento do grão para o ano de 2021 ...	23
Figura 5 - Aplicações da soja no setor alimentício e industrial.....	26
Figura 6 - Perfil nutricional da soja .....	28
Figura 7 - (A) Pequenos grânulos de plastídios e vacúolos em 15 DAF; (B) Presença de vacúolos menores com depósitos de proteína em 20 DAF; (C) Amplitude dos vacúolos contendo proteína em 25 DAF; (D) Corpos de proteína-lipídeo (P) aumentam em quantidade e tamanho em 30 DAF; (E) Aumento do tamanho dos corpos proteicos, desaparecimento dos plastídeos e aparecimento dos corpos lipídeos em 40 DAF e (F) Homogeneidade dos corpos proteicos e lipídicos em 55 DAF. Abreviatura: vacúolos (V); Corpo proteico-lipídico (P); Corpo proteico .....	29
Figura 8 - Mecanismo de extração de óleo por solvente .....	34
Figura 9 - Principais componentes de um cromatógrafo gasoso .....	35
Figura 10 - Estresses causados com o cultivo da soja em terras baixas .....	38
Figura 11 - Principais adaptações morfológicas da soja em inundação .....	42
Figura 12 - (A) Soja com o sistema radicular sujeita ao alagamento; (B) Evolução temporal do aerênquima não inundado (barra de escala:110 mm); (C) aerênquima após 21 dias de inundação (barra de escala:140 mm). Abreviaturas: raiz adventícia (AR); raiz lateral (LR); nódulo (ND); nível de substrato (SL); caule (ST); raiz principal (TR); aerênquima (SAR); córtex (CT); restos de córtex e epiderme (CE). Setas longas (periciclo); setas curtas (endoderme); asteriscos (aerênquima lisígeno) .....	44
Figura 13 - (A) Localização da área do estudo e (B) Localização experimento IRGA .....	51
Figura 14 - Dados climáticos de precipitação pluvial (mm) e temperatura do ar (°C) durante a implantação da cultura da soja em terras baixas na safra 2018-2019. (A) 1 mês antes da semeadura (outubro/2018); (B) semeadura da cultura (novembro-dezembro/2018); (C) cultivo da cultura (janeiro-fevereiro/2019); (D) colheita da cultura (março-abril/2019).....	54
Figura 15 - Fluxograma simplificado das atividades executadas no estudo .....	57
Figura 16 - (A) Preparação das amostras; (B) Método de Soxhlet; (C) Método de Kjeldahl; (D) Cinzas; (E) Fotômetro de chamas; (F) Espectrofotômetro de absorção; (G) Espectrômetro de absorção atômica; (H) Digestão das amostras e (I) Cromatógrafo a gás.....	58
Figura 17 - Indicadores de qualidade de grãos de soja cultivada em diferentes tratamentos em terras baixas em comparação com soja cultivada em área de coxilha; as porcentagens são apresentadas em base mássica. (A) Produtividade (kg.ha <sup>-1</sup> ); (B) Umidade (%); (C) Proteína (%); (D) Carboidratos (%); (E) Óleo (%); (F) Cinzas (%). .....	63
Figura 18 - Resumo dos tratamentos mais promissores das condições de cultivo da soja na área de terras baixas em relação aos parâmetros de qualidade dos grãos.....	75
Figura A1 - Cromatogramas de análises por cromatografia em fase gasosa de ácidos graxos do óleo de soja. (A) Cromatograma do óleo de soja comercial; (B) Cromatograma do óleo de soja em terras baixas do tratamento Dezembro-Sem Escarificação- Adubação Muito Alta (D-SE-MA) .....	96

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos químicos em solos cultivados com a cultura da soja na safra 2018/2019 na camada de 0-10 cm. ....	52
Tabela 2 - Recomendações de adubação fosfatada e potássica para soja em rotação com o arroz irrigado para diferentes níveis de manejo em terras baixas do RS.....	53
Tabela 3 - Tratamentos realizados na soja em terras baixas.....	56
Tabela 4 - Número médio de nódulos por planta de soja em terras baixas e coxilha.....	65
Tabela 5 - Composição química dos ácidos graxos do óleo de soja cultivada em diferentes tratamentos em terras baixas em comparação com soja cultivada em coxilha.....	68
Tabela 6 - Quantidade de nutrientes absorvidos em grãos de soja cultivada em diferentes tratamentos em terras baixas em comparação com soja cultivada em coxilha.....	72
Tabela 7 - Coeficientes de Correlação de Pearson (r) entre os componentes centesimal presentes nos grãos de soja.....	73

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

CG	Cromatografia Gasosa
DAF	Dias após floração
FBN	Fixação Biológica de Nitrogênio
FID	Detector de Ionização de Chamas
IRGA	Instituto Rio Grandense do Arroz
LAPE	Laboratório de Engenharia de Processos Agroindustriais
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
UFSC	Universidade Federal de Santa Maria

## **LISTA DE APÊNDICE**

<b>APÊNCIDE A - Cromatogramas do óleo de soja .....</b>	<b>96</b>
---	-----------

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
1.1	OBJETIVOS .....	18
1.1.1	<b>Objetivo Geral</b> .....	18
1.1.2	<b>Objetivos Específicos</b> .....	18
1.2	HIPÓTESES .....	18
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	19
2.1	CULTURA DA SOJA .....	19
2.1.1	<b>Desenvolvimento da planta de soja</b> .....	19
2.1.2	<b>A soja no Brasil: estatística</b> .....	21
2.2	QUALIDADE DO GRÃO DE SOJA .....	24
2.2.1	<b>Aplicações e uso da soja</b> .....	25
2.2.2	<b>Perfil nutricional da soja</b> .....	27
2.2.3	<b>Sintetização da proteína e óleo no grão de soja</b> .....	28
2.2.4	<b>Padrão de qualidade dos grãos de soja no mercado internacional</b> .....	30
2.3	ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS .....	33
2.3.1	<b>Rendimento do óleo: Método de Soxhlet</b> .....	33
2.3.1.1	<i>Extração com solvente orgânico</i> .....	33
2.3.2	<b>Composição do óleo: Cromatografia Gasosa com Detector de Ionização em Chama (FID)</b> .....	34
2.3.3	<b>Proteína: Método de Kjeldahl</b> .....	35
2.3.4	<b>Cinzas: Incineração em mufla</b> .....	36
2.3.5	<b>Análise química dos grãos: Espectrometria em absorção atômica</b> .....	36
2.3.6	<b>Carboidratos</b> .....	36
2.4	INFLUÊNCIA DO CULTIVO DE SOJA EM TERRAS BAIXAS NA QUALIDADE DOS GRÃOS .....	37
2.4.1	<b>Solos de terras baixas</b> .....	37
2.4.2	<b>Alterações provocadas por alagamento temporário</b> .....	38
2.4.2.1	<i>Deficiência de Oxigênio</i> .....	39
2.4.2.2	<i>Alterações químicas</i> .....	40
2.4.2.3	<i>Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)</i> .....	41
2.4.2.4	<i>Adaptações morfológicas da soja em terras baixas</i> .....	42
2.4.2.5	<i>Adaptações fisiológicas da soja em terras baixas</i> .....	44
2.5	MANEJO DA CULTURA DE SOJA EM TERRAS BAIXAS .....	45
2.5.1	<b>Preparo do solo</b> .....	45
2.5.2	<b>Época de semadura</b> .....	46
2.5.3	<b>Adubação</b> .....	47
2.5.4	<b>Drenagem</b> .....	48
2.5.5	<b>Cultivares de soja</b> .....	49
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	51
3.1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	51
3.2	INFORMAÇÕES DO SOLO PARA CULTIVO DA SOJA EM TERRAS BAIXAS .....	52
3.3	CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE .....	53
3.4	VARIÁVEIS DE CAMPO ANALISADAS .....	55
3.4.1	<b>Teor de nitrogênio da parte aérea</b> .....	55
3.4.2	<b>Número de nódulos/planta</b> .....	55
3.4.3	<b>Rendimento de grãos</b> .....	56

3.5	ANÁLISES DE QUALIDADE DOS GRÃOS .....	56
3.5.1	<b>Rendimento do óleo: Método de Soxhlet</b> .....	59
3.5.2	<b>Composição do óleo</b> .....	59
3.5.3	<b>Proteína: Método de Kjeldahl</b> .....	60
3.5.4	<b>Cinzas: Incineração em mufla</b> .....	60
3.5.5	<b>Análise química dos grãos</b> .....	60
3.5.6	<b>Carboidratos</b> .....	61
3.6	PROCESSAMENTO DOS DADOS .....	61
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	62
4.1	INDICADORES DE QUALIDADE .....	62
4.1.1	<b>Rendimento de grãos</b> .....	62
4.1.2	<b>Umidade</b> .....	64
4.1.3	<b>Proteína</b> .....	64
4.1.4	<b>Carboidratos</b> .....	66
4.1.5	<b>Rendimento do óleo</b> .....	66
4.1.6	<b>Cinzas</b> .....	67
4.2	COMPOSIÇÃO DOS ÁCIDOS GRAXOS.....	67
4.3	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS GRÃOS .....	70
4.4	CORRELAÇÃO ENTRE OS INDICADORES DE QUALIDADE .....	73
5	<b>CONCLUSÕES</b> .....	76
6	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	77
7	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	78
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	79
	<b>APÊNDICE A - CROMATOGRAMAS DO ÓLEO DE SOJA</b> .....	96

## 1 INTRODUÇÃO

O agronegócio é o setor que mais tem se destacado na economia brasileira nos últimos anos. Diante deste cenário, a soja é um dos produtos agrícolas mais importantes para a economia do país, fortalecendo sua posição de relevância no comércio agrícola mundial (GABARDO, 2018). Na última década, relata-se uma expansão expressiva de áreas com soja na metade sul do Rio Grande do Sul (RS), onde eram tradicionalmente semeadas com a cultura do arroz (RIBEIRO et al., 2018). Cabe, ainda, analisar que o cultivo de soja em solos de terras baixas vem adquirindo maior importância técnica e econômica a cada safra (SILVA, 2019).

O estado do Rio Grande do Sul é pioneiro na produção de soja e a principal região de cultivo é o Planalto, com predominância de solos profundos e bem drenados (MARIN, 2014). Entretanto, nos últimos anos, houve um crescimento no interesse de produtores de regiões como os da metade Sul, com predomínio de solos mal drenados (CORRÊA, 2015). Com a implantação da soja em terras baixas, o arroteiro passou a ser também um produtor de soja (BOSTO, 2014). Em função disto, há maior possibilidade de escolher qual cultura privilegiará em um determinado ano, dependendo do preço de comercialização. Vale ressaltar que a soja não vem reduzindo a área de arroz, mas servindo como uma alternativa ao produtor para garantir um retorno econômico para a lavoura (BOSTO, 2014).

Desta maneira, espera-se uma evolução conjunta no cultivo de soja e arroz (KIST, 2020). O momento de bons preços da soja sugere que devem ser feitos investimentos no manejo da cultura, para garantir a competitividade no futuro, potencializando maiores produtividades, estabilidade de produção e múltiplos usos das áreas de terras baixas. Entretanto, Farias et al. (2007) afirmaram que problemas das mais variadas ordens poderão surgir durante a safra. Neste contexto, em se tratando de atividade econômica no Brasil, observa-se que não há espaço para riscos e interpretações dúbias, por mais irrelevantes que pareçam.

Em função disso, tornam-se necessárias alternativas de condução das lavouras, empregando novas práticas de manejo, necessárias para garantir o incremento do rendimento de grãos, bem como maior capacidade competitiva de produtores junto ao mercado mundial. Paralelamente, o aumento do rendimento de grãos da soja, especialmente, em áreas de terras baixas, tem-se caracterizado como um grande desafio para os pesquisadores. Com reconhecida importância econômica mundial, a qualidade dos grãos da soja é um parâmetro bastante relevante para comercialização e processamento, pois está diretamente relacionada ao



valor do produto (ALENCAR et al., 2009). Além disso, as diferentes condições de manejo influenciam na produtividade e qualidade dos grãos do cultivo de soja em terras baixas. Assim, é importante compreender esses fatores para se obter maior conhecimento da qualidade de grãos em lavouras comerciais (SANTOS et al., 2017).

Diante disso, os produtores poderão ser capazes de produzir grãos com composição centesimal mais consistente, ajustando suas práticas de manejo (THOMISON et al. 2004). Porém, os solos arrojados se tornam um meio hostil à cultura de soja. Assim, os desafios começam a aparecer diante de fatores limitantes (GHISLENI et al., 2020). O ambiente é constituído por solos hidromórficos com umidade excessiva e presença de camadas compactadas. Além disso, o manejo da adubação em relação às terras baixas apresenta poucos dados experimentais. A administração dos recursos de ordem técnica e a gestão em compatibilizar as atividades de manejo das áreas de arroz e soja em relação à melhor época de semeadura carecem de mais detalhamento experimental. O melhoramento das condições de cultivo por meio de melhorias físicas do solo, com escarificação, planejamento da época de semeadura e fornecimento de nutrientes durante a safra contribui com efeitos substanciais sobre a qualidade dos grãos de soja (ASSEFA et al., 2019). Logo, alcançar a qualidade requer intervenções agrônômicas (GOODING, 2010).

Assim, o estudo do rendimento e da composição de óleo de soja em diferentes manejos desta cultura é de extrema importância por questões de preço de mercado. Além disso, a qualidade tecnológica da soja está associada com o teor de proteínas, micro e macronutrientes, pois estes atributos são extremamente relevantes para destinar os grãos para a produção de diferentes produtos e linhas de processamento. Na literatura, os estudos que avaliam os aspectos com a cultura da soja em terras baixas são escassos e com informações superficiais (ROSALINO, 2014). Desta forma, ao levantar os determinantes das condições de cultivo de soja em pequena escala, pretende-se contribuir com a literatura existente, bem como apontar aspectos ainda não explorados acerca do referido tema.

A força da cadeia produtiva deve ser mantida por meio dos avanços em produtividade e qualidade do produto. Desta maneira, o mercado consumidor está cada vez maior e exigente em termos de qualidade, tanto para a indústria brasileira consumidora, quanto para países que importam o grão em larga escala (ESTEVÃO, 2019). Grãos de melhor qualidade poderão originar lavouras de alto padrão comercial, promovendo maior competitividade e ganhos para a cadeia produtiva de soja (GABARDO, 2018). Mais proteína em grãos permite ganho em qualidade e diminuição em transporte de matéria menos nutritiva. Assim, é fundamental identificar a influência das condições de cultivo em terras baixas na qualidade dos grãos.

Neste contexto, deve-se reconhecer a importância dos principais fatores que atuam na construção do potencial produtivo da soja cultivada em terras baixas. Além disso, é importante avaliar a influência das condições de cultivo da soja sobre os parâmetros de qualidade dos grãos em relação ao rendimento e à composição de óleo, teor de proteína e quantidade de micro e macronutrientes, motivando a proposta de pesquisa do presente estudo.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a produtividade e a composição de grãos de soja submetidos diferentes épocas de semeadura, tipos de preparo do solo e níveis de adubação em terras baixas.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- I. Determinar a produtividade de soja em função de dois tipos de preparo do solo (escarificado/não escarificado), duas épocas de semeadura (novembro e dezembro) e três diferentes níveis de adubação (médio, alto e muito alto);
- II. Avaliar a influência das condições de cultivo sobre rendimento e composição de óleo, teor de proteína, quantidade de cinzas e carboidratos;
- III. Avaliar a influência das condições de cultivo sobre a composição química dos grãos.

## 1.2 HIPÓTESES

As seguintes hipóteses são listadas:

- I. A escarificação do solo em terras baixas favorece maiores produtividades de soja;
- II. As diferentes condições de cultivo de soja, como épocas de semeadura, tipos de preparo do solo e níveis de adubação, resultam em grãos de soja com diferentes quantidades/composições de óleo e proteína.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 CULTURA DA SOJA**

A soja (*Glycine max L.*) é uma das culturas mais cultivadas no Mundo, estando presente em praticamente todo o território brasileiro (ORMOND, 2013). O cultivo da oleaginosa tornou-se de grande relevância na produção de alimentos, fonte de matéria-prima para a indústria e alimentação animal, dispondo de ampla adaptação às condições climáticas brasileira. Conforme Carvalho (2015), o cultivo da soja se apresenta no cenário agrícola mundial como o quarto produto mais empregado no consumo humano e relevante em produção e comercialização. A cadeia produtiva da soja envolve desde a produção interna voltada para a exportação do produto bruto até a transformação da indústria no processamento de óleo ou farelo para a exportação ou consumo interno (CARVALHO, 2015).

No cenário mundial, o Brasil possui participação significativa na oferta e na demanda de produtos do complexo agroindustrial da soja, em razão da expansão geográfica do país e difusão das inovações tecnológicas (HIRAKURI et al., 2014; ARTUZO et al., 2018). Segundo Martins (2006), em função das características nutritivas e industriais da soja e sua adaptabilidade a diferentes latitudes, condições climáticas e solos, sua implantação se expandiu por todo o Mundo, estabelecendo-se hoje nas principais plantas cultivadas.

O grande incremento na produção de soja pode estar atribuído a diversos fatores, dentre eles as excelentes qualidades encontradas no grão e o expressivo aumento da oferta de tecnologias de produção, no qual permitem ampliar a área cultivada e a produtividade da oleaginosa (LAZZAROTO et al., 2010; FREITAS, 2011). Martins (2019) menciona que os grãos de soja são frequentemente utilizados pela agroindústria (óleo vegetal e rações para alimentação animal), indústria química e de alimentos. Além disso, vem crescendo também o uso como fonte alternativa de biocombustível.

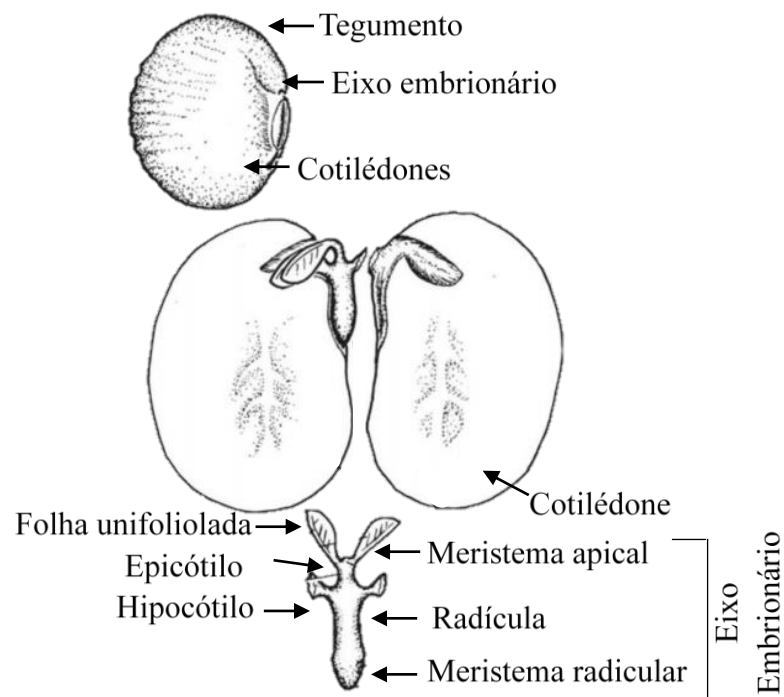
#### **2.1.1 Desenvolvimento da planta de soja**

As estratégias de manejo para otimizar a cultura da soja são mais eficientes quando se tem conhecimento sobre as principais características da cultura e seus estádios de desenvolvimento para que o produtor possa aderir às práticas que permitem a obtenção de maiores rendimentos e lucro (RITCHIE et al., 1985). A planta de soja é uma dicotiledônea

com grande variabilidade genética e seu desenvolvimento é dividido em dois momentos: o período vegetativo, onde inicia a emergência das plântulas e vai até o início do florescimento, e a fase reprodutiva, na qual inclui o enchimento do grão e a maturação da planta (Mundstock et al., 2005).

A semente de soja é composta por três partes de interesse: o tegumento, os cotilédones e o eixo embrionário, conforme apresenta a Figura 1. Segundo Thomas (2018), o tegumento tem função de controlar a entrada da água na semente e proteger o embrião durante o processo de germinação. Já os cotilédones representam grande parte das reservas e o peso da semente e, por fim, o eixo embrionário tem função de originar a parte aérea (por duas folhas unifolioladas) e as raízes da planta (radicular), por meio dos tecidos meristemáticos (SMITH, 1984).

Figura 1 - Partes da semente de soja.

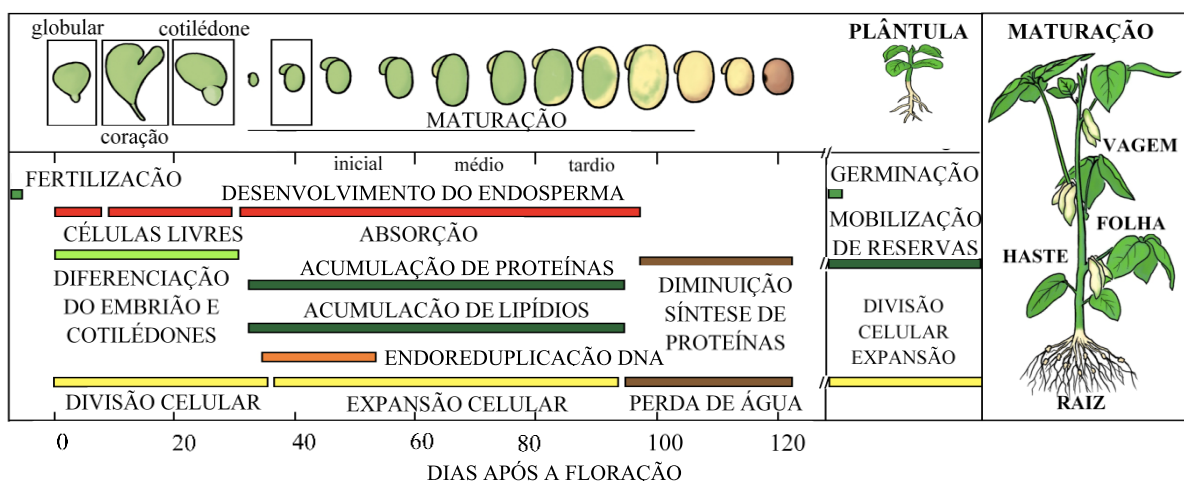


Fonte: Adaptado de Smith (1984).

A Figura 2 apresenta os principais eventos fisiológicos que ocorrem durante o desenvolvimento e maturação da semente de soja. Conforme Miranda (2018), o processo inicia-se com a fase da embriogênese, no qual há formação do embrião. Nessa primeira etapa ocorre a fase globular, onde a célula do zigoto inicia uma série de divisões celulares. Na

cultura da soja, a fase de coração tem início após 8 a 10 dias da fertilização. Nessa etapa, é estabelecida a bilateralidade dos embriões e a formação dos cotilédones. A embebição é o processo que ocorre a germinação epigea e tem por finalidade modificar a semente para começar o crescimento do eixo embrionário, onde os cotilédones são levantados pelo hipocótilo para cima da superfície do solo (THOMAS, 2018). De 30 a 50 dias, ocorre o início do processo de maturação da semente, onde as proteínas e lipídios começam a acumular nos cotilédones. No decorrer de 60 a 80 dias após a fertilização, há expansão das células e sintetização das reservas lipídicas e proteicas (BEWLEY et al., 2013). Cerca de 90 a 120 dias após a fertilização, acontece o decréscimo de umidade e a semente está completamente madura. A maturação fisiológica acontece quando cessa o acúmulo de matéria seca no grão atingem a coloração característica (MUNDSTOCK et al., 2005).

Figura 2 - Eventos fisiológicos durante o desenvolvimento e maturação da semente de soja.



Fonte: Adaptado de Seed Gene Network (2020).

### 2.1.2 A soja no Brasil: estatística

Segundo a APROSOJA (2020), o grão de soja é o principal produto exportado *in natura*, sendo que tal patamar de produção coloca o Brasil como o quarto produtor mundial, mas o segundo exportador de grãos (EMBRAPA, 2021) e a China como o maior importador da soja brasileira. Paralelamente, boa parte da produção da leguminosa é destinada ao processamento, no qual se obtêm, principalmente, o farelo e o óleo de soja (APROSOJA, 2020). O farelo serve para composição de ração animal, devido ao seu potencial proteico. Com relação ao óleo, ele possui grande variedade de uso, principalmente na indústria de

alimentos e produção de biodiesel. A Figura 3 mostra os destinos que a soja produzida no Brasil pode ser direcionada no mercado mundial.

Com os bons resultados obtidos nas últimas safras, a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) estimou para a safra 2020/2021 uma sequência de crescimento. A safra 2020/21 atingiu produção recorde de 135,9 milhões de toneladas, isto é, um acréscimo de 8,8% das safras passadas (CONAB, 2020). Além disso, a Secretaria de Comércio Exterior estipula que as exportações nesse período atinjam um número acima de 85,7 milhões de toneladas, motivadas pela forte demanda e aliança chinesa que explora mais de 60% da safra brasileira (SECEX, 2020).

Figura 3 - Usos da soja brasileira.



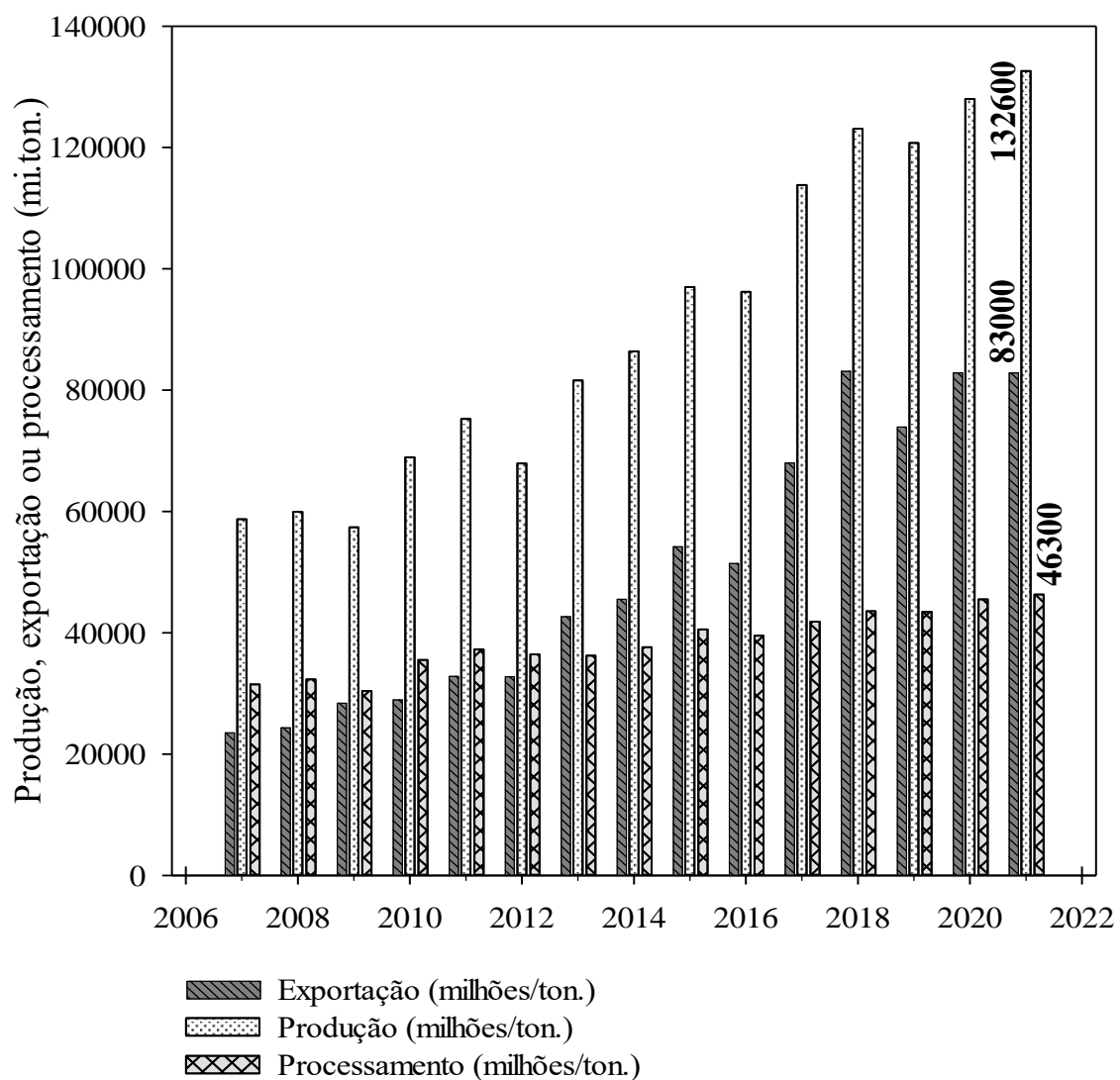
Fonte: Autor.

A Figura 4 apresenta a quantidade de soja produzida no Brasil no período de 2007 a 2020 e a previsão de produção, exportação e processamento do grão para o ano de 2021. Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (2020), a estimativa para o ano de 2021 é de 132.600 milhões de toneladas, no qual 83.000 milhões de toneladas de soja

deverão ser exportadas do país e 46.300 milhões de toneladas serão processadas nas unidades industriais de processamento.

Em relação ao farelo de soja, estima-se para safra 2020/2021 que a produção seja de 35.300 milhões de toneladas de farelo derivado do processamento da soja em grão e 17.100 milhões de toneladas de farelo a ser vendido para o mercado externo pelas empresas processadoras. No que tange ao óleo de soja, a previsão de produção para safra de 2020/2021 é de 9.300 milhões de toneladas derivados do processamento da soja em grão e de 500 mil toneladas que deverão ser destinadas à exportação.

Figura 4 - Previsão de produção, exportação e processamento de grãos de soja para o ano de 2021.



Fonte: Autor (criado com base nos dados de ABIOVE, 2020).

## 2.2 QUALIDADE DOS GRÃOS DE SOJA

Segundo Silva et al. (2012), o termo “qualidade de grãos” é polêmico, pois seu real significado depende da finalidade ou destino do produto. Porém, em situações lógicas, é o comprador final que deve especificar os parâmetros qualitativos do grão de tal maneira que o produtor possa fornecer o produto exigido. A qualidade do grão de soja, de maneira ampla, pode estar relacionada à toda cadeia produtiva, isto é, tanto a quem produz e processa quanto a quem compra e consome (SOUSA, 2015). Para Chen et al. (2012), os fatores qualitativos do grão são determinados por uma gama de processos que podem ser afetados pela constituição genética e condições ambientais. Esse parâmetro é decisivo para agregação do valor do produto, ou seja, quanto melhor a qualidade, maior a lucratividade. Esse fato é confirmado por Lemos et al. (2017) que evidencia o parâmetro qualitativo como um elemento essencial de toda a cadeia de valor, desde o produtor ao consumidor. Neste contexto, torna-se necessário o conhecimento do que o consumidor busca ao adquirir, pois o intuito das relações do mercado centraliza em atender e satisfazer as necessidades e preferências dos usuários (DOTTO et al., 2015).

Segundo Costa et al. (2001), o controle de qualidade da soja é de essencial importância dentro do contexto das cadeias produtivas, pois se o produtor não adotar as regras claras, provavelmente será eliminado do mundo dos negócios. A demanda por produtos de qualidade é notória em todo mundo, cabendo as indústrias somente escolher produtos de matéria-prima que atenda ao padrão desejado (FREITAS et al., 2001). Segundo Costa et al. (2001), a garantia de alimentos de alta qualidade provoca a conciliação entre a oferta rural e a demanda urbana, racionalizando os mecanismos de distribuição de produtos de alta qualidade. A qualidade é um aspecto favorável, tanto para indústria brasileira consumidora quanto para os países que importam o grão em larga escala (LANDGRAF, 2019).

As variedades comerciais de soja contêm cerca de 40% de proteína e 20% de teor de óleo (base mássica), sendo que o melhoramento destes parâmetros com linhagem de germoplasma podem chegar à proteína em torno de 50% e acarretar um teor de óleo de 30%. Se ocorrer o aumento em conteúdo desses dois principais componentes, aumentaria o valor econômico da safra, rendendo um valor a mais dos preços atuais em comparação a uma cultivar normal (SILVA, 2019).

Conforme Greggio et al. (2014), a correlação entre o teor de proteína e óleo se demonstra de forma negativa. Entretanto, nos últimos anos diversos pesquisadores têm intensificado estudos capazes de aumentar os níveis de proteína sem reduzir o teor de óleo em



genótipos utilizando diferentes cruzamentos e métodos. Porém, a aceitação se torna limitada pelos produtores, provavelmente devido à falta de reconhecimento (prêmio) e rendimento reduzido do campo. Um fator qualitativo presente no óleo de soja é a composição de ácidos graxos que estão inseridos na maioria dos óleos vegetais, porém, muitas vezes não são considerados ideais em termos de manutenção e estabilidade oxidativa (LIU, 1997). O óleo de soja contém uma grande proporção de poliinsaturados, particularmente o ácido linolênico que contribui para a falta de estabilidade do sabor e diminuem a sua qualidade (PINTO, 2008).

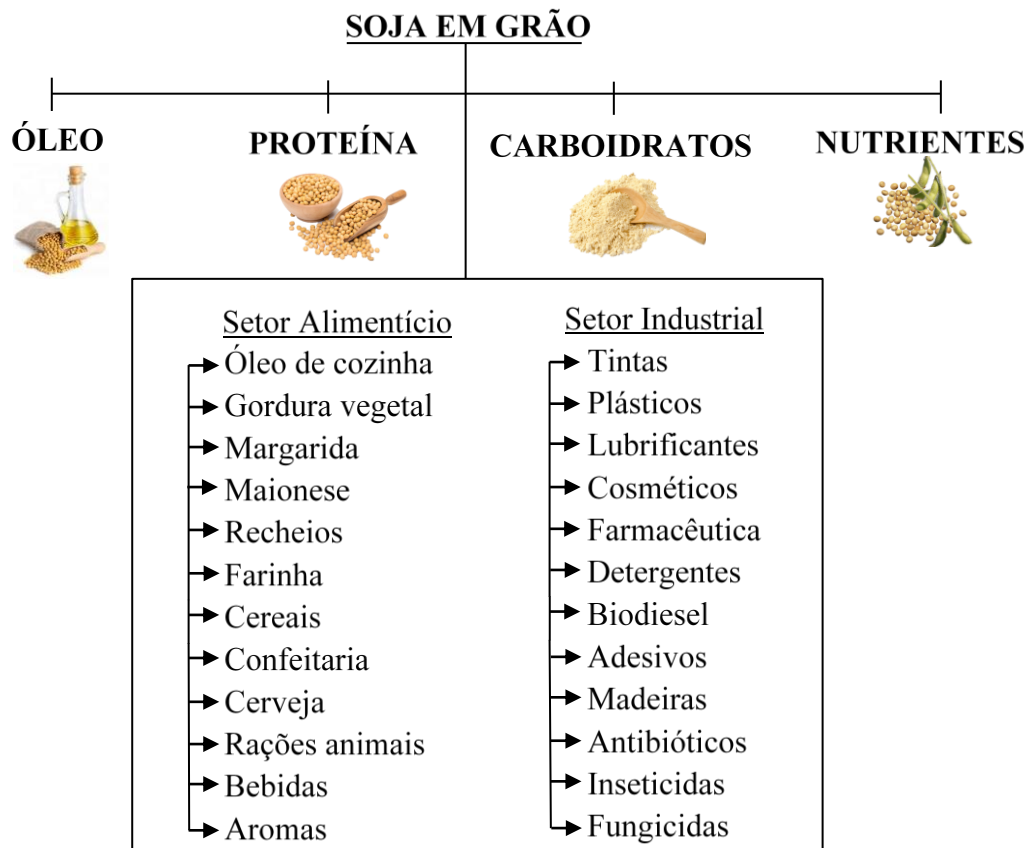
Nutrição, estabilidade oxidativa e funcionalidade são os três principais atributos que formam o triângulo de qualidade de óleos comestíveis. Liu (1997) destaca que é evidente que existem conflitos dentro do triângulo, por um lado, um óleo com alto ponto de fusão é necessário para fazer produtos à base de gordura, mas geralmente contém alta proporção de componentes de ácidos graxos, que nutricionalmente são indesejáveis. Por outro lado, os ácidos graxos insaturados são bons para a saúde. O grande desafio é desenvolver óleos que atendam uma necessidade nutricional e ao mesmo tempo tenham estabilidade oxidativa (IBSCH et al., 2017).

Embora o processamento industrial tenha sido eficaz na alteração da composição de ácidos graxos, o custo elevado limita a direção de modificação. Sendo assim, várias corporações estão realizando projetos de modificações de ácidos graxos de sementes oleaginosas como canola e soja por meio da engenharia genética (BUDZISZEWSKI et al., 1996). Em síntese, a qualidade do grão de soja depende de melhorias em relação ao desempenho agrônômico e à qualidade dos produtos. Assim, melhorias no âmbito agrônômico levariam ao aumento de produtividade, enquanto melhorias na qualidade do grão resultariam em valores aprimorados, bem como novas formas de uso da soja.

### **2.2.1 Aplicações e uso da soja**

O movimento dos consumidores no intuito de ter uma alimentação mais saudável em relação à qualidade e aspectos nutricionais dos alimentos impulsionou o desenvolvimento de variedades de produtos, e neste sentido, a soja tem se destacado como uma importante fonte nutritiva (DOTTO et al., 2015). Na Figura 5, é informado sobre as possibilidades de aplicação da soja em diversos produtos. Há uma vasta gama de opções de utilização da soja, pois é matéria-prima essencial e, em alguns casos, um bom substituto de outros produtos. Devido a essas utilizações e sua grande produção, justificam-se o seu baixo custo aliado à qualidade, sendo destaque no agronegócio brasileiro.

Figura 5 - Aplicações da soja no setor alimentício e industrial.



Fonte: Autor.

Os grãos de soja possuem grande variedade de uso em diferentes setores do país (PARAGINSKI et al., 2017). No Brasil, a soja é utilizada como matéria-prima para a indústria de esmagamento na produção de óleo e farelo. O farelo é rico em proteínas, sendo utilizado na indústria de rações, representando o principal emprego econômico da soja. O óleo é aplicado como componente na indústria de produção de óleo refinado, gorduras hidrogenadas, dentre outros produtos (MANDARINO et al., 2015; PÍPOLO et al., 2015) e mais recentemente tem sido utilizado na produção de biodiesel no país como fonte alternativa de energia (GONZALEZ et al., 2013).

A soja é valorizada principalmente por seu elevado teor de proteínas, que é superior ao de outras oleaginosas. Conforme Rodrigues et al. (2010), o aumento nos conteúdos de proteínas e óleo agrega valor ao grão e pode garantir competitividade da soja brasileira no mercado mundial. A concentração de proteínas no grão é constante no decorrer da maior parte do ciclo da cultura, contudo a síntese de proteínas de reserva varia conforme o estágio de

desenvolvimento (MAKUCH, 2017). A quantidade de óleo é crescente desde o início do desenvolvimento do grão e alcança a máxima concentração antes da maturação fisiológica, quando o grão atinge sua maior taxa de massa seca (YAZDI et al., 1977).

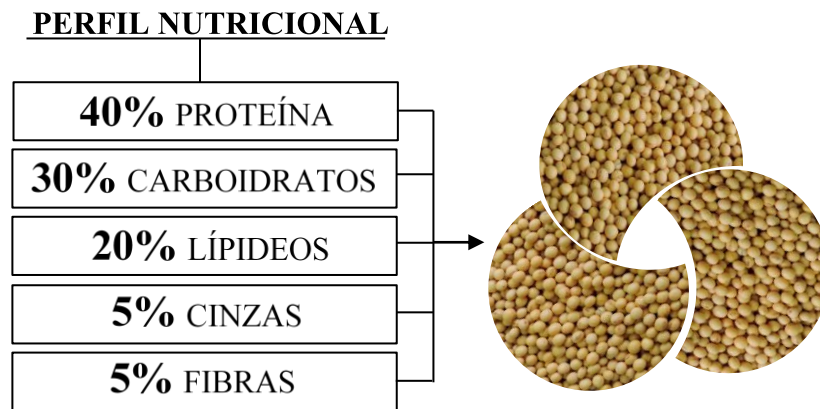
Os carboidratos são o segundo maior componente presente no grão de soja. No entanto, seu valor econômico é considerado menor do que as proteínas e o óleo (LIU, 1997). O principal uso dos carboidratos tem sido na alimentação animal, onde contribui com calorias para a dieta.

O óleo de soja apresenta cor levemente amarelada, límpida, com odor e sabor suave característico, bastante utilizado no ramo alimentício, domiciliar e indústria (MAGNONI, 2016). A maior parte do óleo de soja é composto por gordura insaturada e possui alguns ácidos graxos, tais como os poliinsaturados (ácidos linolênico e linoleico), monoinsaturados (ácido oleico) e saturados (ácido palmítico e esteárico), os quais correspondem em torno de 61%, 25% e 15%, respectivamente (FUENTES, 2011; TRZECIAK, 2012). Segundo Pinto (2008), as elevadas concentrações de ácido linoleico e linolênico são os principais responsáveis pela alta instabilidade oxidativa, pois são mais passíveis às hidroxilações que modificam as características físico-químicas do óleo e diminuem a sua qualidade. Logo, a tendência do mercado alimentício é buscar óleos com concentrações mais elevadas de ácidos graxos monoinsaturados.

### **2.2.2 Perfil nutricional da soja**

As características de composição do grão, associadas ao bom potencial produtivo e rusticidade fazem da soja a cultura anual com relevante produção de proteína no mundo, com baixo custo de produção em curto espaço de tempo (PÍPOLO et al., 2015). Segundo Ignacio (2017), em termos nutricionais, a soja apresenta 40% de proteínas, 20% de lipídios (óleo), 30% carboidratos, 5% de cinzas e 5% fibras, conforme descrito na Figura 6. Os teores podem variar pelas condições climáticas, cultivares, localização geográfica, solo, entre outros aspectos (SOUZA et al., 2009).

Figura 6 - Perfil nutricional da soja.



Fonte: Autor.

### 2.2.3 Sintetização da proteína e óleo no grão de soja

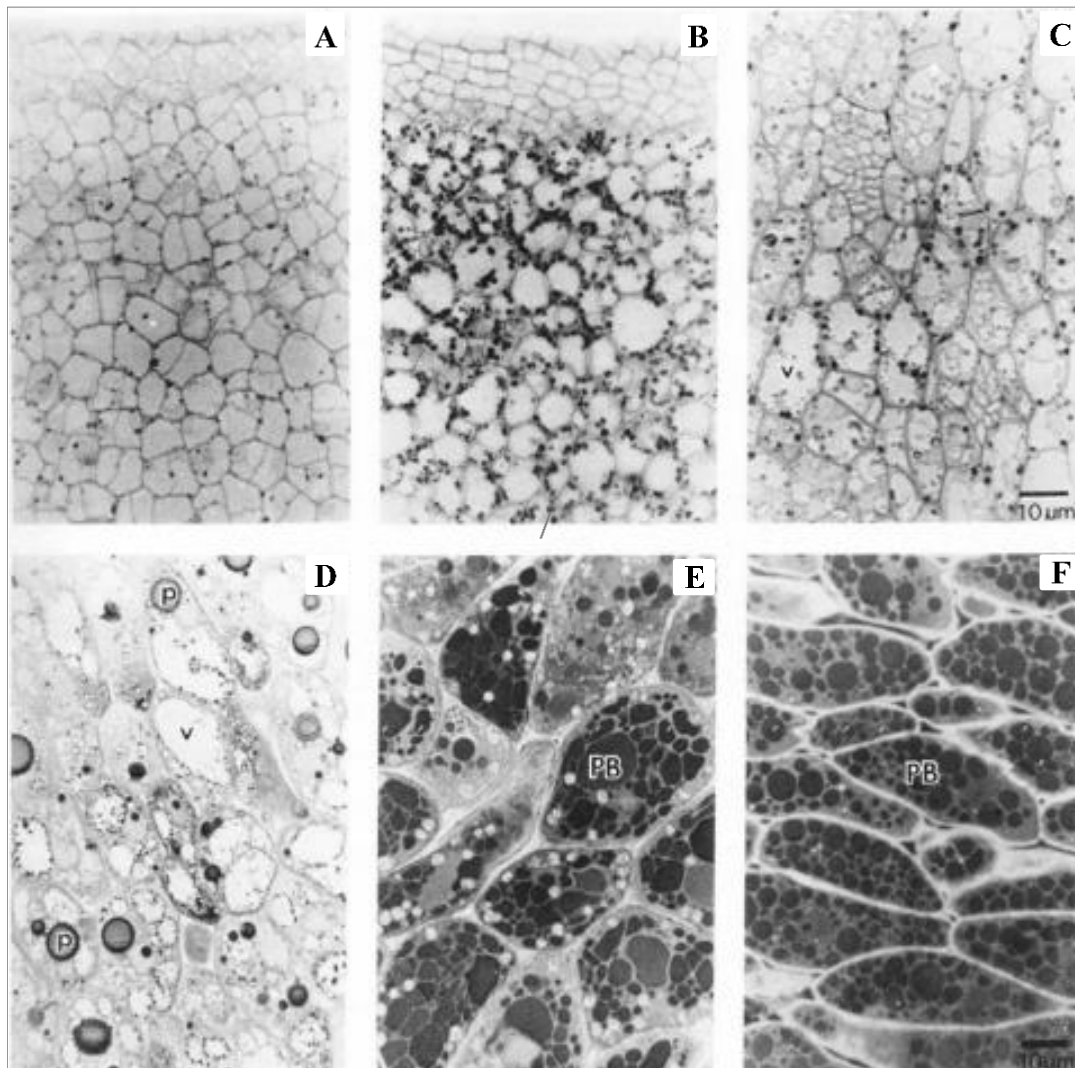
A sintetização da proteína e óleo no grão de soja ocorre logo nas primeiras semanas de desenvolvimento da semente. Segundo Webster et al. (1977), os corpos proteicos e lipídicos são organelas abundantes na soja. Estudos realizados por Webster et al. (1977) e Saio et al. (1985) acompanharam o desenvolvimento celular de cotilédones de soja e observaram que em torno de 15 dias após a floração (DAF), há a presença de paredes celulares, pequenos grãos de amidos e núcleos no sistema. No estágio inicial de desenvolvimento da semente, boa parte dela é ocupada por um vacúolo central e a presença de vacúolos menores que contém depósitos de proteína pode ser observada a partir de 25 DAF (MONMA et al. 1992). Cerca de 30 DAF é identificada nos cotilédones de soja a presença de corpos proteicos e lipídicos que aumentam de tamanho e número. Os corpos proteicos são desenvolvidos no retículo endoplasmático rugoso e sintetizadas pelos ribossomos (PIPOLO et al., 2015).

Já os lipídeos são armazenados principalmente na forma de triglicerídeos e localizados nos plastídios, cloroplastos e retículo endoplasmático. Nos plastídios, ocorre a síntese dos ácidos graxos esteárico, oleico e palmítico, e no retículo endoplasmático o acúmulo dos ácidos graxos poliinsaturados linoleico e linolênico (MATOS et al., 2020). Para Samadi et al. (1977), a maior quantidade acumulada de proteínas e óleo está entre 20 e 40 DAF. Em 40 DAF, o citoplasma já está completamente ocupado por proteínas, os plastídios contendo amido desaparecem e os lipídeos assumem uma forma mais circular (BILS et al., 1963; MONMA et al., 1992). Em 55 DAF, os corpos proteicos estão quase maduros. Os corpos

lipídicos geralmente estão ao redor dos corpos proteicos em fileiras e as margens do citoplasma em formato irregular, e os corpos proteicos estão envolvidos por uma membrana unitária e apresentam variados tamanhos (WEBSTER et al., 1977; LIU, 1997).

A sintetização dos corpos proteicos e lipídicos presentes nos cotilédones de soja em função dos dias após a floração (DAF) pode ser observada na Figura 7.

Figura 7 - (A) Pequenos grânulos de plastídios e vacúolos em 15 DAF; (B) Presença de vacúolos menores com depósitos de proteína em 20 DAF; (C) Amplitude dos vacúolos contendo proteína em 25 DAF; (D) Corpos de proteína-lipídeo (P) aumentam em quantidade e tamanho em 30 DAF; (E) Aumento do tamanho dos corpos proteicos, desaparecimento dos plastídeos e aparecimento dos corpos lipídeos em 40 DAF e (F) Homogeneidade dos corpos proteicos e lipídicos em 55 DAF. Abreviatura: vacúolos (V); Corpo proteico-lipídico (P); Corpo proteico (PB).



Fonte: Saio et al. (1985).

Conforme a função biológica, as proteínas são classificadas em duas categorias: metabólicas e armazenamento. As metabólicas estão envolvidas em atividades da célula, como na sintetização das proteínas de armazenamento e do óleo. As proteínas de armazenamento funcionam como fonte de nitrogênio para as plântulas em desenvolvimento (PIPOLO et al., 2015). Vale salientar que a concentração de óleo tem crescimento progressivo até a maturação fisiológica do grão (SAIO et al., 1985).

É importante mencionar que as condições ambientais podem afetar na sintetização de proteína e óleo durante o ciclo da cultura. Um estudo realizado por Wei et al. (2020) avaliaram a semente de soja ao estresse de alta temperatura e umidade e comprovaram que o número de corpos proteicos e lipídicos foram reduzidos em condição de estresse. Conforme Matos et al. (2020), é esperado que as diferenças nas condições climáticas durante o período de enchimento de grãos podem alterar a deposição do teor de proteína e óleo.

#### **2.2.4 Padrão de qualidade dos grãos de soja no mercado internacional**

O Brasil tem intensificado o agronegócio com o fortalecimento entre as fronteiras e estratégias de inserção na economia mundial. Assim, a soja é uma das mais importantes *commodities* nacionais que gera grandes volumes de exportação para o país e amplia as vantagens competitivas de produção (PONTES et al., 2009).

Dentre as características de qualidade do grão, os países possuem padrões internos de exigência quanto aos parâmetros de qualidade, os quais devem atender aos requisitos mínimos estabelecidos (ANDRADE, 2016). Na literatura científica, há uma escassez de informações sobre os padrões exigidos da soja brasileira e dos principais concorrentes do mercado internacional, como os países Argentina, Estados Unidos e China. Os percentuais de proteína e óleo dos grãos são parâmetros que, na maioria dos casos, são categorizados em contratos de comercialização, quando os grãos de soja já possuem destinação específica para determinado setor.

O padrão de qualidade de exportação do grão de soja no Brasil é afirmado por meio da Associação Nacional de Exportadores de Cereais, nos contratos ANEC 41 (*F.O.B. Contract for Parcels*) e ANEC 42 (*F.O.B. Contract for Full Cargo*), que garantem a qualidade do produto e negociações de venda (GABARDO, 2018). Conforme o ANEC 41 (2020), no momento do desembarque do grão de soja, uma amostra representativa do produto deve proceder a análise de laboratório por um membro analista do FOSFA (*Federation of Oils, Seeds and Fats Associations Ltd*) e conter os seguintes requisitos: teor de óleo mínimo

(18,5%) e umidade máxima (14%). Vale enfatizar que os contratos não mencionam sobre o teor mínimo de proteína, deixando a cargo de instruções técnicas específicas referentes à produção de farelo.

Além dos contratos citados, vale ressaltar que a legislação brasileira se baseia em outros padrões de qualidade específicos do grão como a Instrução Normativa MAPA nº 11/2007 - estabelece o Regulamento Técnico da Soja, e a Instrução Normativa MAPA nº 15/2004, que trata das condições higiênico-sanitária da soja em grão destinada à comercialização interna e exportação do grão. A Instrução Normativa MAPA nº 11 (2007) exemplifica os padrões de qualidade em relação à umidade, ao máximo permitido de grãos queimados, limite de grãos ardidos, mofados, quebrados e amassados, bem como a quantidade permitida de matérias estranhas e impurezas. Em relação à Instrução Normativa MAPA nº 15 (2004), o grão passa por processos de fiscalização. Nessa normativa, a qualidade do produto é verificada por meio da porcentagem limite da presença de partículas com toxicidade desconhecida, grãos mofados e matérias estranhas e/ou impurezas.

As normativas citadas anteriormente garantem os padrões de qualidade da soja brasileira e estão presentes nos contratos para negociações de venda. Os demais parâmetros que não estão presentes na legislação ficam a cargo de definição entre os produtores rurais e as empresas compradoras do grão. A Portaria nº 795/1993 do MAPA traz consigo as características de identidade, qualidade, apresentação, armazenamento e transporte do óleo e farelo de soja que se destina à comercialização interna.

O farelo de soja pode ser classificado em duas classes (tostado ou cru), no qual são subdivididos em três tipos: teor de proteína de 48% (Tipo 1); teor de proteína de 46% (Tipo 2) e teor de proteína de 44% (Tipo 3) (PORTARIA nº 795, 1993). Os valores que não se enquadram nos parâmetros estabelecidos, são considerados de baixo padrão e, por isso, não são destinados à produção de farelo. No que tange ao óleo de soja, a portaria nº 795/1993 não apresenta os padrões mínimos para negociação, porém, informa a composição percentual dos ácidos graxos que devem estar presente no óleo.

A soja grão padrão da China é definida pela legislação GB 1352/2009, no qual é regulamentada pelo *Standardization Administration of China - SAC*. Essa norma contém disposições em relação aos requisitos de classificação, higiene, qualidade, regras de inspeção, embalagem, entre outros aspectos do produto. A legislação da China é mais complexa que a brasileira, pois somente permite a comercialização de soja com base nos teores de óleo e proteína estipulados na legislação (GABARDO, 2018). O teor de óleo não deve ser inferior a 20% e o teor de proteína deve ser no mínimo 40%.

No que se refere à Argentina, o padrão de qualidade pode ser definido através da Norma XVII - Resolução 151/2008 (*Normas de Calidad para la Comercialización de Soja*). A resolução traz os seguintes parâmetros verificados no momento da entrega da soja para comercialização: umidade, grãos quebrados e/ou partidos, grãos danificados, grãos verdes e matérias estranhas. Adicionalmente, os valores relativos ao teor de óleo e proteína não são estabelecidos em norma e podem ser definidos no momento da negociação do produto, conforme a destinação específica do grão.

A legislação norte-americana disponibiliza, através da *United States Department of Agriculture - USDA*, os padrões de qualidade por meio da norma GRADE 810.1604 (2007). O padrão norte-americano lista alguns fatores determinantes para a qualidade da soja, tais como grãos danificados por calor, grãos avariados totais, grãos partidos, material estranho e grãos de soja de outra coloração. Segundo Andrade (2016), a análise de óleo e teor de proteína são critérios informativos e executados somente a pedido na compra do produto e não são apresentados em prescrições padronizadas. Entretanto, o Conselho de Exportação de Soja dos EUA considera que a média da soja produzida para comercialização de qualidade deve estar em torno de 35% de proteína e 19% de teor de óleo em uma base de umidade de 13%.

Em concordância com Gabardo (2018), é visto que cada país produtor possui suas particularidades nas legislações em relação aos aspectos relevantes de seus sistemas produtivos. No Brasil, a qualidade do óleo e proteína da soja não tem sido valorizada da forma correta, uma vez que o produtor é remunerado por tonelada de grão produzido, enquanto a qualidade do grão é um fator secundário. Além disso, as legislações vigentes não tratam desses parâmetros de forma rigorosa e oficial, dificultando um sistema de padronização entre os países (MALUF et al., 2017). A soja é considerada uma *commodity* agrícola que tem negociação dos preços futuros antes mesmo de se obter resultados de produtividade e qualidade dos grãos (ANDRADE, 2016). O Brasil é considerado por diversos especialistas como um dos países mais sólidos para negócios no cenário mundial da indústria de grãos, pois consegue aliar o potencial agrícola a um sistema regulatório robusto e seguro (SANTOS, 2013).

Vale ressaltar que os contratos de vendas em relação à qualidade do produto variam conforme acordos feitos entre compradores e vendedores. Segundo Liu (1997), uma boa opção é fazer um contrato futuro com um preço predeterminado conforme as regras e padrões comerciais por um período, fomentando o meio de comunicação a nível nacional e internacional.



## 2.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

### 2.3.1 Rendimento do óleo: Método de Soxhlet

Soxhlet é um aparelho que foi desenvolvido em 1879 por Franz von Soxhlet. Dentre os diversos métodos para extração de óleo vegetal por solvente orgânico, normalmente é utilizada a metodologia de Soxhlet em escala laboratorial e industrial (OSTER, 2013). A amostra permanece em contato com o solvente, havendo constante renovação. Além disso, a temperatura do sistema se mantém alta e o calor aplicado é constante. Vale analisar que esta técnica é caracterizada por sua simplicidade e permite a extração de uma quantidade maior de óleo em comparação aos outros métodos (LEMES, 2018).

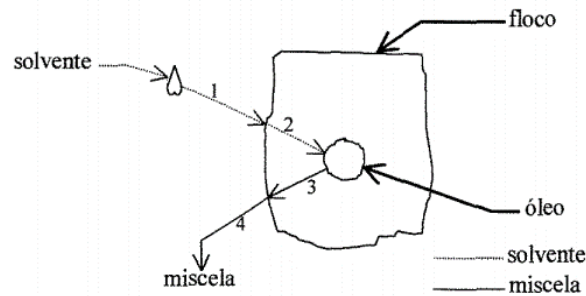
#### 2.3.1.1 Extração com solvente orgânico

A extração por solvente é um processo de transferência de massa para retirar o óleo de sementes oleaginosas (CUSTÓDIO, 2003). Após a redução de tamanho, estas sementes são colocadas em contato com um solvente, a fim de conduzir o óleo da fase sólida para a fase líquida. Segundo Prado (2014), define-se como extração por solvente um processo de transporte de massa que tem como finalidade separar um ou mais componentes em uma mistura.

No processo de liberação extrativa, levam-se em conta três etapas principais: a penetração do solvente no tecido; a formação de uma miscela intracelular; e a difusão do extrato na miscela externa (LEMES, 2018). O material a ser submetido à extração deve ser previamente triturado e laminado com o intuito de facilitar a penetração do solvente (OSTER, 2013). Sem esta etapa, a extração torna-se lenta devido à baixa transferência de massa, apresentando menor porosidade e maior tamanho das paredes do grão (DAGOSTIN, 2015). A solução no final do processo de extração, denominada miscela (óleo+solvente) deve passar por um conjunto de operações que visam separar o solvente orgânico do óleo bruto de soja.

O mecanismo do processo de extração com solvente pode ser visto na Figura 8. Milligan (1984) descreve as etapas que ocorrem no processo ao se extrair o óleo presente no floco (semente). A *etapa 1* compreende o contato do solvente com a superfície do floco, ao passo que a *etapa 2* se resume ao fenômeno de difusão do solvente da superfície do floco até o óleo com o intuito de dissolvê-lo. Já a *etapa 3* corresponde à difusão da mistura do solvente e óleo (miscela). A *etapa 4* mostra a drenagem da miscela para outra posição distante do floco extraído.

Figura 8 - Mecanismo de extração de óleo por solvente.



Fonte: Adaptado de Milligan, 1984.

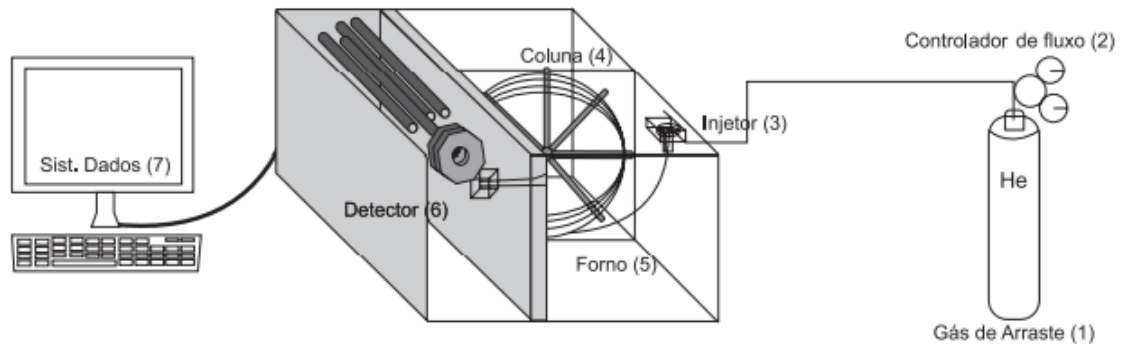
Conforme Carvalho (2011), no processamento industrial, diversos produtos são separados da estrutura original por extração sólido-líquido, utilizando solventes orgânicos, tais como o n-hexano, acetona e éter de petróleo. Existe diversos solventes, porém, o n-hexano é o mais comumente empregado no processamento de óleos vegetais, pois satisfaz diversas exigências para um solvente apropriado, incorporando facilmente com o óleo (PRADO, 2014).

### 2.3.2 Composição do óleo: Cromatografia Gasosa com Detector de Ionização em Chama (FID)

A cromatografia gasosa (CG) é uma técnica utilizada para separação e verificação de misturas de compostos voláteis, onde ocorre a interação dos seus componentes entre uma fase estacionária e uma fase móvel (AUGUSTO, 2000; FELIZZOLA et al., 2014). O sistema consiste na introdução da amostra por meio de um sistema de injeção, no qual a amostra é vaporizada. Após essa etapa, a amostra flui através da fase móvel, onde o gás inerte arrasta o componente para a coluna cromatográfica. A fase estacionária presente na coluna é responsável pela separação dos compostos em um tempo de retenção. Na finalização do processo, o detector tem a função de identificar os sinais produzidos e transformar em picos cromatográficos, constituindo o cromatograma (FELIZZOLA et al., 2014).

Segundo Lima et al. (2018), a cromatografia é um método físico-químico constituído dos principais componentes: o sistema de introdução do gás de arraste (1), controlador de fluxo (2), sistema amostrador-injetor (3), coluna (4), forno (5), detector (6) e sistema de aquisição de dados (7), conforme mostra a Figura 9.

Figura 9 - Principais componentes de um cromatógrafo gasoso.



Fonte: Adaptado de Lima et al. (2018).

Em um sistema de cromatografia, os detectores possuem a finalidade de converter o analito separado da coluna em sinal eletrônico e encaminhá-lo até um sistema de dados. O detector de ionização em chamas (*flame ionization detector - FID*) é um sistema robusto, de fácil uso e utilizado para compostos orgânicos, que consiste em queimar o analito presente no estado gasoso em uma chama de hidrogênio e oxigênio, produzindo íons e elétrons (MILHOME et al., 2018). Segundo Felizzola et al. (2014) quando os compostos são introduzidos na chama através da coluna, espécies carregadas com elétrons são formadas, produzindo uma corrente elétrica proporcional à quantidade de carbono que passou pela chama. O resultado dessa interação é a transformação em picos cromatográficos.

### 2.3.3 Proteínas: Método de Kjeldahl

O padrão de qualidade nas composições dos alimentos está cada vez mais intenso e rigoroso. Logo, analisar esses componentes é fundamental para as empresas que desejam ganhar o mercado com seus produtos, ultrapassando a níveis internacionais. O método Kjeldahl foi criado em 1883 e, na época, revolucionou a quantificação de nitrogênio e proteína, sendo até hoje o método mais utilizado no mundo. Segundo Lima et al. (2017), o método de Kjeldahl é a técnica química mais útil para determinação de proteína. A metodologia é dividida em três etapas principais, tais como digestão, destilação e titulação (VALENTE, 2011; ARAÚJO, 2019).

### **2.3.4 Cinzas: Incineração em mufla**

Conforme Cosmo et al. (2015), as cinzas são resíduos inorgânicos que permanecem após o processo de queima ou incineração da matéria orgânica de uma amostra, retratando a quantidade total de minerais. Os elementos minerais se apresentam na cinza na forma de óxidos, sulfatos, fosfatos, cloretos e silicatos, dependendo da composição do alimento e condições de incineração (ARGANDONÃ et al., 2017).

O princípio da técnica de determinação de cinza baseia-se na submissão do material a queima da matéria orgânica na faixa de 550°C a 600°C em mufla. Vale ressaltar que, a cinza obtida não tem necessariamente a mesma composição do material mineral inserido originalmente no alimento, visto que pode ocorrer perda por volatilização ou alguma interação entre os constituintes da amostra durante o processo (MENEZES et al., 2016).

### **2.3.5 Análise química dos grãos: Espectrometria em absorção atômica**

Para a quantificação dos nutrientes minerais em diversas matrizes alimentares, destaca-se o uso da espectrometria de absorção atômica (AAS - *Atomic Absorption Spectrometry*) (VASCONCELOS et al. 2017). Segundo Santos (2009), a espectrometria de absorção atômica utiliza o princípio de que átomos livres, gerados em um atomizador, e são capazes de absorver radiação de frequência emitida por uma fonte espectral. Esta quantificação obedece aos princípios da lei de Lambert-Beer (RAMOS, 2006). É um equipamento que permite a análise quantitativa de elementos presentes em soluções líquidas, gasosas e sólidas. Os componentes básicos de um espectrômetro incluem uma fonte de radiação, sistema de atomização, conjunto monocromador, detector e processador (KRUG et al., 2006).

### **2.3.6 Carboidratos**

Os carboidratos são o segundo componente mais abundante no grão da soja. Segundo a resolução RDC nº 360 a determinação de carboidratos é calculada através da diferença entre 100 e a soma do conteúdo de proteínas, gorduras, fibra alimentar, umidade e cinzas, definida pela fração “Nifext” (ANVISA, 2003).

## 2.4 INFLUÊNCIA DO CULTIVO DE SOJA EM TERRAS BAIXAS NA QUALIDADE DOS GRÃOS

### 2.4.1 Solos de terras baixas

Os solos de terras baixas do Rio Grande do Sul são classificados como Planossolos, constituídos por horizonte A ou E seguidos de horizonte B mais pesado, sendo hidromórficos ou não (EMBRAPA, 2011). Do ponto de vista físico e morfológico apresentam deficiência de drenagem e são comumente evidenciados pelo acúmulo periódico de água (hidromorfismo) e aptos para o cultivo do arroz irrigado, sendo condições peculiares desta classe de solo (GOMES et al., 2006; SILVA, 2018).

Para Rassini et al. (2014) as áreas de terras baixas se caracterizam por apresentarem solos aluviais e/ou hidromórficos, geralmente planos e abundante em matéria orgânica, facilmente irrigáveis por gravidade, porém, apresentam em diversos casos umidade excessiva, necessitando de sistema de drenagem (SOUZA, 2012; JUNIOR, 2013).

Os solos de terras baixas ocupam 2% da área do país (EMBRAPA, 2011) e aproximadamente 5,4 milhões de hectares no Rio Grande do Sul (MÜLLER et al., 2008; ANGHINONI et al., 2013; NUNES, 2016). Desta área, cerca de 3 milhões de hectares são aptos para o cultivo, sendo que 1 milhão de hectares dessas áreas passam o restante do período entre cultivos sem receber outra cultura ou parte é usada para pecuária extensiva (NETO, 2016).

Para Pinto et al. (2013), os solos de terras baixas apresentam baixa infiltração e relevo plano, tornando-os acessíveis ao encharcamento, pois a drenagem natural é muito deficiente. No Brasil, estima-se que tenha cerca de 28 milhões de hectares de solos sujeitos a encharcamento (solos hidromórficos) e que podem ser introduzidos ao processo produtivo (FERRERI et al., 2002; LUDWIG et al., 2015). Tradicionalmente, os solos de terras baixas do Rio Grande do Sul vêm sendo utilizados para o cultivo de arroz irrigado e pecuária, com predomínio da sucessão do cultivo de arroz na mesma área ao longo dos anos (MÜLLER, 2015).

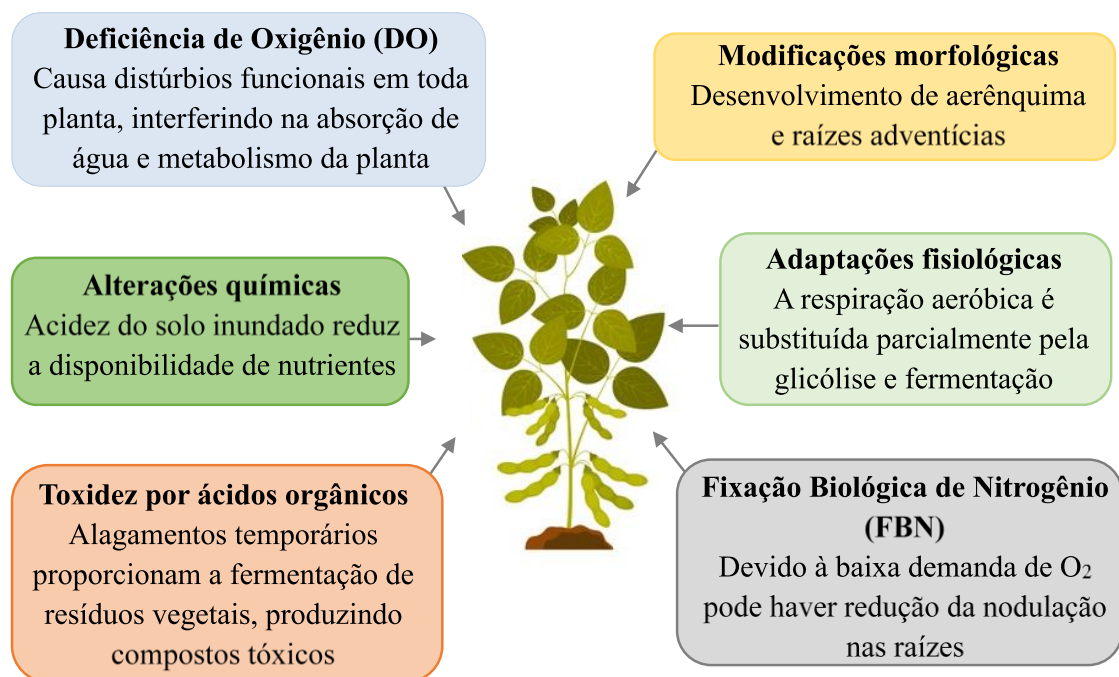
A rotação de culturas em solos de terras baixas cultivados com arroz irrigado visa diminuir os níveis de infestação de plantas daninhas nas lavouras (arroz vermelho), melhorar o uso do solo e sua qualidade, otimizar o uso de máquinas, romper ciclos de doenças e pragas, aumentar a rentabilidade da área e diversificar a renda (JUNIOR et al., 2009). Buscam-se como possibilidades espécies que apresentam a mesma estrutura empregada no arroz, que

tenham tolerância às condições de inundação do solo, e possuem elevado potencial de crescimento (PIRES et al. 2002). A incorporação de novas culturas nas áreas de terras baixas (solos hidromórficos), usualmente destinados à produção de arroz irrigado, é uma alternativa que vem sendo utilizada na rotação de culturas (CARMONA et al., 2018).

#### 2.4.2 Alterações provocadas por alagamento temporário

A soja é considerada por produtores rurais e técnicos como a melhor alternativa para elevar o potencial produtivo das áreas de terras baixas como um todo (JUNIOR, 2013). A cultura entra nas áreas de terras baixas como uma espécie alternativa para obtenção de renda, facilitando o controle das plantas daninhas e quebrando o ciclo de pragas e doenças. Complementam Ludwig et al. (2011) que mesmo não sendo o ambiente ideal para o cultivo, os produtores vêm utilizando a soja em terras baixas em sucessão ao arroz irrigado. Conforme Pires et al. (2002), o grande problema é a difícil adaptação de culturas que possibilitem retorno econômico dessas áreas em solos alagados, uma vez que a maior parte das culturas produtoras de grãos são mesófitas. Os principais estresses causados na cultura da soja em áreas de terras baixas são descritos na Figura 10.

Figura 10 - Estresses causados com o cultivo da soja em terras baixas.



#### *2.4.2.1 Deficiência de Oxigênio*

Algumas culturas não estão adaptadas a variações extremas de umidade, decorrentes das inundações temporárias ou contínuas. Nessas circunstâncias, o excesso de umidade interfere na aeração do solo, reduzindo a disponibilidade de oxigênio para a planta (SÁ et al., 2004; MÜLLER, 2015). Segundo Müller (2015), o grande desafio da pesquisa tem sido propor manejos culturais e de solo que reduzam as limitações provocadas pelo encharcamento comum em solo de terras baixas. As alternativas apontadas são o uso de culturas que se adaptem à condição intercalada de deficiência de oxigênio. Müller (2015) ressalta que a soja cultivada em áreas de terras baixas está sujeita a condições de estresse, dando ênfase para deficiência de oxigênio (DO). O mesmo autor confirma que em alguns estádios fenológicos a deficiência de oxigênio pode afetar os componentes de rendimento, interferindo diretamente na produtividade.

Durante o período do cultivo, quando a distribuição das chuvas é concentrada em poucos dias ou excede a normal climatológica do mês, o solo é submetido ao encharcamento e a DO. A limitação de O<sub>2</sub> no solo causa distúrbios funcionais em toda planta, interferindo na absorção de água e de nutrientes pelas raízes. A deficiência de oxigênio nos solos de terras baixas pode ocasionar toxidez às plantas e acúmulo de substâncias fitotóxicas, resultando em murchamento, clorose das folhas, diminuição do crescimento e morte das raízes (REIS et al., 2007).

Segundo Thomas et al. (2014), estima-se que em 24 horas de alagamento do solo com temperatura superior a 20°C pode haver esgotamento total de O<sub>2</sub> pelo consumo de microrganismos e raízes. Esse ambiente adverso ao crescimento das plantas de soja é propício para o cultivo do arroz em solos alagados, pois tem habilidade em apresentar estruturas (aerênquimas) e espaços intracelulares maiores que permitem a difusão do O<sub>2</sub> da atmosfera até o sistema radicular. A região mais próxima das raízes (rizosfera) tem capacidade de oxidar e transferir o O<sub>2</sub> da parte aérea para as raízes (PIRES et al., 2002).

A adequação das áreas de terras baixas pode permitir condições satisfatórias para o crescimento e desenvolvimento da soja. Os estudos conduzidos com a cultura da soja em terras baixas visam desenvolver tecnologias de cultivares que proporcionem elevada produtividade de grãos com minimização de estresses. Os programas de melhoramento genético da cultura são importantes para atender à crescente demanda por maiores produções, possibilitando a ampliação da base genética e a seleção de melhores genótipos de uma

população com patamares satisfatórios de produtividade de grãos (COSTA et al., 2004; ALMEIDA et al., 2011).

Como forma de implantar a cultura da soja em áreas de terras baixas, é preciso identificar o projeto de lavoura que o produtor está determinado a alcançar e dispor de tecnologias necessárias para que se tenha maiores produtividades, estabilidade de produção e sustentabilidade das áreas de arroz. A tomada de decisão em relação ao uso racional e intensivo do solo é uma das mais importantes dentro do processo produtivo, pois contribuirão decisivamente para a obtenção de rendimentos e retornos econômicos mais satisfatórios (GOMES et al., 2002).

#### 2.4.2.2 Alterações químicas

Boa parte dos solos de terras baixas do Rio Grande do Sul são ácidos, com problemas de toxidez de alumínio (ANDRADE et al., 2000; LONDERO, 2012). Desta maneira, os empasses de um solo ácido estão relacionados com a menor disponibilidade de alguns nutrientes, e principalmente com a alta disponibilidade de alumínio (Al), sendo tóxico às plantas e prejudicando o desenvolvimento do sistema radicular, e sua severidade depende do valor do pH do solo (SILVA et al., 2005). Em solos de terras baixas, devido ao excesso de umidade as reações envolvendo transferência de elétrons acontece com outros elementos químicos presentes no solo, devido à ausência de  $O_2$ . Sendo assim, os microrganismos anaeróbios obedecem a uma sequência em receber elétrons:  $NO_3^- > MnO_2 > Fe(OH)_3 > SO_4^{2-} > matéria\ orgânica$  (CAMARGO et al., 1999).

Conforme Thomas et al. (2014), as condições de alagamento do solo favorecem as reações de redução de  $NO_3^-$  a  $N_2$ ,  $MnO_2$  a  $Mn^{+2}$ ,  $Fe(OH)_3$  a  $Fe^{+2}$  e  $SO_4^{2-}$  a  $H_2S$ , que consomem  $H^+$  e o pH do solo aumenta naturalmente, tendendo a se estabilizar após 20 dias de alagamento, sendo este fenômeno conhecido como “autocalagem”. Segundo Scivittaro et al. (2007), esse processo está diretamente ligado à atividade microbiana do solo, constituindo um fenômeno progressivo até atingir o equilíbrio. Radmann (2017) explica que durante essa etapa ocorre a precipitação da presença do alumínio tóxico e aumento da disponibilidade de fósforo (P) na solução do solo devido à dissolução de óxidos de Fe.

Já a redução do  $Fe^{+3}$  a  $Fe^{+2}$  (solúvel) aumenta a concentração de ferro na solução do solo, causando toxidez para a cultura da soja, até mesmo para o arroz irrigado (SCHMIDT et al., 2013). O aumento da concentração de manganês ( $Mn^{+2}$ ) também pode provocar toxidez às plantas de soja de forma análoga ao exemplificado para o ferro. De maneira geral, o cultivo da



soja em área de terras baixas requer atenção com o aumento de  $\text{Fe}^{+2}$  e  $\text{Mn}^{+2}$  no solo, pois podem atingir níveis tóxicos a cultura (THOMAS et al., 2018).

Além disso, os alagamentos temporários podem ocasionar a formação de zonas anaeróbicas e proporcionar a fermentação dos resíduos vegetais, produzindo compostos tóxicos às plantas (FORTES et al., 2008). Dentre esses compostos destaca-se o ácido acético produzido em maior quantidade em poucos dias de alagamento. Conforme Thomas et al. (2014), a redução do crescimento radicular é o principal efeito negativo desses compostos às plantas, o que pode ocasionar também menor absorção de nutrientes. Neste contexto, estratégias voltadas para o manejo do solo são fundamentais para o sucesso da soja em solo de terras baixas visando altas produtividades.

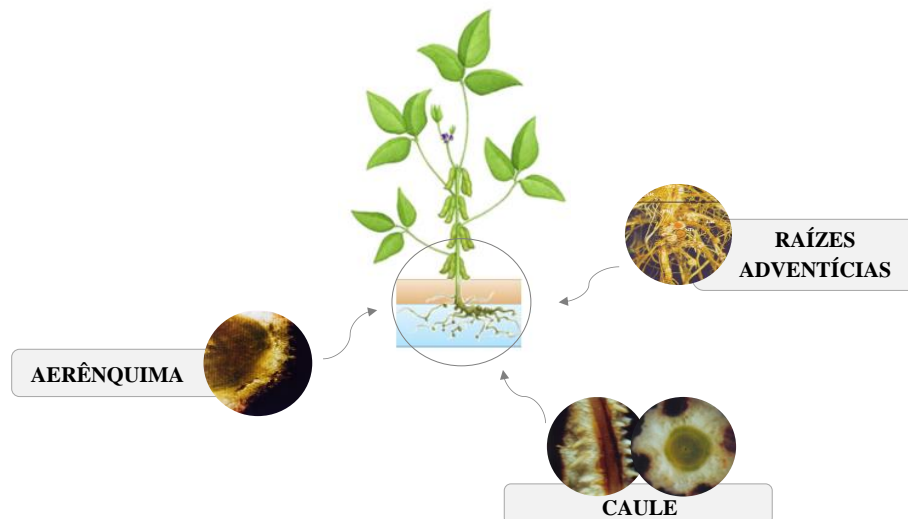
#### 2.4.2.3 *Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)*

Em algumas condições ambientais adversas, é visto a ausência de nódulos nas raízes da soja. Quando a cultura é cultivada em terras baixas o excesso de umidade pode causar uma redução na nodulação do sistema radicular. Vedelago (2014) explica que este fato está relacionado com a perda de energia pelas plantas em condições de excesso hídrico e devido às mudanças fisiológicas comprovadas pelos estresses. Ressalta Rosalino (2014) que, apesar da soja apresentar uma boa tolerância a períodos curtos de inundação em condições de terras baixas que apresentam má drenagem superficial, o processo de FBN pode ser limitado pela menor disponibilidade de  $\text{O}_2$  no solo. Essa condição pode afetar o estabelecimento da simbiose entre a planta e as bactérias fixadoras de nitrogênio (BFN) e durante a atividade dos bacteroides no interior dos nódulos, os quais são responsáveis pela fixação do N. A probabilidade de ocorrência de estresse por hipoxia às plantas da soja é alta, e conseqüentemente isso pode afetar o fornecimento de nitrogênio via FBN (DENARDIN et al., 2016). Contudo, para melhor fixação simbiótica de  $\text{N}_2$ , a cultura fornece alterações morfológicas nos nódulos, como a formação de aerênquima e raízes adventícias para otimização do processo. Vedelago (2014) concluiu que, apesar das áreas de terras baixas apresentarem alguns fatores limitantes ao processo de FBN, quando implantado um manejo adequado do solo e da cultura, não há limitações decorrentes da deficiência de N. Com o manejo adequado, é possível almejar altos rendimentos de grãos e tornar a soja rentável e adequada ao sistema de rotação de culturas.

#### 2.4.2.4 Adaptações morfológicas da soja em terras baixas

A adaptação da soja ao alagamento do solo faz com que os segmentos submersos passem por modificações morfológicas, principalmente com o desenvolvimento de aerênquima e de raízes adventícias logo nos primeiros dias de inundação com o intuito de superar a deficiência de O<sub>2</sub> (SHIMAMURA et al., 2002). Esse fato é confirmado por Pires et al. (2002) que constataram os efeitos da inundação do solo sobre as plantas de soja. Ainda, confirma-se que elas são capazes de acarretar mudanças anatômicas adaptativas a esse ambiente, conforme a Figura 11.

Figura 11 - Principais adaptações morfológicas da soja em inundação.



Fonte: Autor.

As raízes aquáticas possuem a capacidade de adaptar o parênquima (tecido interior de plantas vasculares) em aerênquima na condição de hipoxia, no qual promove a aeração e síntese de reserva de ar para o processo respiratório (BUCHANAN et al., 2000; THOMAS et al., 2014). O sistema radicular inundado pode interagir de aerênquima entre o segmento do caule submerso, raiz principal, raízes laterais e nódulos, a partir do 5º dia de inundação, e o desenvolvimento de raízes adventícias, a partir do 2º dia de inundação. Esse fato demonstra a capacidade da soja em se adaptar às condições de excesso hídrico no solo.

Thomas et al. (2014) descrevem que a cultura submetida a um dia de alagamento pode iniciar a hipertrofia de lenticelas no caule submerso, e com o passar dos dias podem desenvolver aerênquima e raízes adventícias que aumentam gradativamente de comprimento.

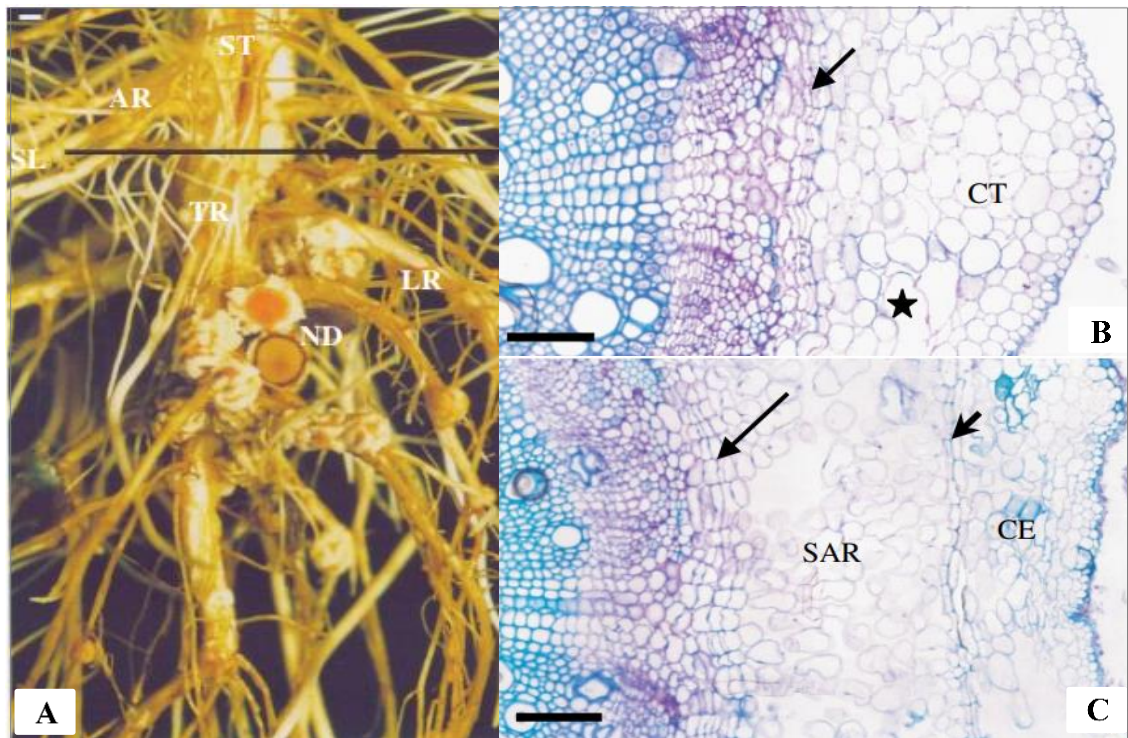
Os autores confirmaram que a partir do 21º dia de inundação não ocorre alteração significativa no volume do aerênquima, porém, as raízes adventícias continuam seu processo de crescimento. É importante mencionar que as raízes adventícias do caule submerso apresentam aerênquima esquizógeno e lisígeno no córtex, e a partir do 14º dia de inundação, já pode ser observado o desenvolvimento do aerênquima a partir de divisões do periciclo e a presença de raízes laterais nas raízes adventícias.

Já o desenvolvimento do aerênquima da raiz principal tem origem das divisões de células do periciclo e seu processo é considerado lento até o 4º dia de inundação. A partir desse momento o desempenho começa aumentar rapidamente. Nas raízes laterais é visto o surgimento de aerênquima a partir do 5º ou 6º dia de inundação com origem das divisões de células do periciclo (THOMAS et al., 2005).

No que tange aos nódulos da cultura, Shimamura et al. (2002) observaram que eles continham a presença de leg-hemoglobina, no qual contribuem para o transporte de O<sub>2</sub> e evitam a inibição da atividade do complexo da enzima nitrogenase, confirmando a sobrevivência de nódulos sob condições de inundação. Assim, a maioria dos nódulos tendem a se formar nas raízes adventícias quando submetidos ao excesso hídrico (HATTORI et al., 2013). O desenvolvimento de aerênquima nos nódulos tem origem no felogênio e suportam a inundação por até 21 dias nessa condição.

Pires et al. (2002) confirmam que a inundação do solo não afeta a presença de nódulos mesmo após 21 dias de lâmina de água, pois apresentam quantidades semelhantes aos solos mantidos à capacidade de campo, desde que ocorra a inoculação suficiente. Porém, segundo estudo realizado por Scholles et al. (2004), a partir da contagem dos nódulos nas raízes de soja sob excesso hídrico, observaram redução na quantidade de nódulos. Além disso, os autores verificaram a concentração dos nódulos próximos à superfície do solo, com o intuito de encurtar os caminhos para a difusão de gases. As fases de adaptações citadas acima podem ser analisadas na Figura 12.

Figura 12 - (A) Soja com o sistema radicular sujeita ao alagamento; (B) Evolução temporal do aerênquima em situação não inundado (barra de escala: 110  $\mu$ m); (C) aerênquima após 21 dias de inundação (barra de escala: 140  $\mu$ m). Abreviaturas: raiz adventícia (AR); raiz lateral (LR); nódulo (ND); nível de substrato (SL); caule (ST); raiz principal (TR); aerênquima (SAR); córtex (CT); restos de córtex e epiderme (CE). Setas longas (periciclo); setas curtas (endoderme); asteriscos (aerênquima lisígeno).



Fonte: Adaptado de Thomas et al. (2014).

#### 2.4.2.5 Adaptações fisiológicas da soja em terras baixas

Em situações de déficit de  $O_2$ , os vegetais podem produzir ATP (adenosina trifosfato) como fonte de energia para diferentes ações através de processos anaeróbicos (OLIVEIRA, 2015). Segundo Badinelli (2008), em situações de deficiência de oxigênio, o metabolismo energético passa por adaptações de modo que a obtenção de ATP possa ser adquirida, principalmente por meio do processo de glicólise anaeróbica e processo fermentativo. Estes mecanismos envolvem o acúmulo de intermediários no ciclo de Krebs, diminuição da disponibilidade de  $NAD^+$  e acúmulo de piruvato. A glicólise ocorre fora da mitocôndria (com ausência de oxigênio), ocorrendo a quebra inicial da glicose em duas moléculas de piruvato, também chamado de ácido pirúvico.

A partir do piruvato são produzidos na fermentação o etanol e o lactato (THOMAS et al., 2014), que também pode realizar a conversão em alanina. Isto promove menor queda de pH celular e leva ao funcionamento parcial do ciclo de Krebs, permitindo maior produção de ATP (THOMAS, 2004). O rendimento energético da fermentação é baixo, sendo que utiliza apenas 2 ATP que são produzidos na glicólise (BADINELLI, 2008).

## 2.5 MANEJO DA CULTURA DE SOJA EM TERRAS BAIXAS

### 2.5.1 Preparo do solo

Preparar o solo em áreas de terras baixas tem sido uma prática utilizada com frequência para correção da superfície do terreno. Louzada et al. (2008) ressaltam que a colheita do arroz, com a presença de água, promove a desestruturação do solo. Nesse sentido, o preparo do solo é necessário para o cultivo de culturas do sequeiro, com o intuito de proporcionar melhorias físicas do solo e drenagem eficiente. O manejo dos solos de terras baixas pode parecer simples em relação do ponto de vista topográfico, facilidade de irrigação e de mecanização. Porém, quando se pretende utilizá-lo com outras espécies produtoras de grãos, o manejo merece atenção pela complexidade, principalmente aqueles relacionados ao estado físico do solo e à condição do relevo plano, o que dificulta a drenagem destes solos (GOMES et al., 2002).

Em se tratando à física do solo, os solos de terras baixas oferecem um ambiente bastante adverso ao cultivo da soja, com solos desestruturados, adensados e com grande tendência à formação de crostas superficiais (THOMAS et al., 2014). Para Rocha et al. (2018), a maior limitação encontrada para as culturas de sequeiro, como o caso da soja, nesses solos arroseiros é o hidromorfismo e a camada compactada predominantemente dos solos planossolos. Portanto, é fundamental identificar alternativas de sistemas tecnológicos que proporcionam rendimento de grãos de soja em áreas de terras baixas.

Segundo Marchesan (2016), parte dessas características sofrem efeito do preparo do solo efetuado para o cultivo de arroz, por serem trabalhados em condições de umidade inadequada, o que intensifica a formação de camada compactada próxima à superfície do solo. Contudo, essa condição para a cultura da soja, é um fator de risco e limitante para elevadas produtividades, ampliando estresses tanto por falta como por excesso de água, cujos limites podem ficar próximos entre si (MÜLLER, 2015).

Esse fato também é evidenciado por Mentges et al. (2013), ressaltando que durante as operações de preparo da área para o cultivo do arroz, observa-se a presença de camadas compactadas próxima à superfície, o que acarreta aumento da densidade e redução da porosidade e macroporosidade do solo (MENTGES et al., 2013). Adicionalmente, o aumento da resistência do solo à penetração modifica a habilidade das raízes em extrair água e nutrientes podendo, com isso, interferir no rendimento de grãos das plantas (CALONEGO et al., 2011).

Dentre as práticas mecânicas, a escarificação tem como objetivo reduzir a densidade do solo e resistência à penetração, aumentar a permeabilidade e reduzir o encharcamento em terrenos planos (DALLA, 1981; MACHADO et al., 1996). O preparo utiliza um equipamento chamado escarificador, composto por hastes mecânicas que penetram e revolvem o solo. Marchesan et al. (2013), ao estudarem os sistemas de implantação da soja em terras baixas, concluíram que a escarificação proporcionou maior desenvolvimento da raiz, enquanto o sistema de plantio direto restringiu o crescimento do sistema radicular devido à compactação do solo.

### **2.5.2 Época de semeadura**

Levando em consideração que a cultura da soja é influenciada por distintos fatores ao longo de seu ciclo, é de extrema relevância destacar a época de semeadura como um fator cultural, pois favorece a produção da lavoura e desenvolvimento das plantas (ALBRECHT et al., 2008). A época de semeadura pode ser estabelecida por um conjunto de fatores ambientais que, quando combinados, interagem com a planta, proporcionando variações na produção e interferindo em outras funções agrônômicas (PELÚZIO et al., 2008). Ressalta Fiorese (2013) que a época de semeadura é um fator importante, pois a cultura é sensível à luz e outras condições como a altitude, temperatura e umidade. Logo, este fator determinará a maior ou menor exposição da soja às variações dos elementos climáticos.

Ao optar por uma determinada época de semeadura, o produtor está escolhendo uma combinação entre a fenologia da cultura e a distribuição dos elementos do clima na região de produção, no qual poderá resultar em elevado ou reduzido rendimento (PEIXOTO et al., 2000). Por possuir características fisiológicas de sensibilidade ao período luminoso e temperatura e devido às condições climáticas do país, a maior parcela da soja é semeada nos meses de outubro e novembro, com colheita nos meses de fevereiro a abril (LUIZ, 2018). O aumento da área cultivada com soja se deve ao fato de muitos agricultores estarem realizando

semeaduras precoces (final de setembro e meados de outubro) e tardias (final de dezembro e início de janeiro) (OLIVEIRA et al., 2019).

Segundo Hu et al. (2012), o atraso da semeadura pode afetar a composição da semente interferindo de forma negativa no teor de óleo e proteína. Esse fato é comprovado por um estudo realizado por Perina et al. (2014) que avaliaram o efeito de diferentes épocas de cultivo nos grãos de feijão e concluíram que a qualidade é variável em função desse manejo de cultivo.

Diante deste contexto, é fundamental que se evite semear em épocas de riscos indicadas por estudos de zoneamento agroclimático (CUNHA et al., 2001). O planejamento agrícola é essencial para uma boa rotação entre soja e arroz. Diante disso, torna-se essencial programar a época de semeadura e ajustar às previsões climáticas (SILVA, 2019).

Embora a região do Rio Grande do Sul seja caracterizada por um regime climático de precipitações bem distribuídas ao longo do ano, é fundamental a tomada de decisão sobre as melhores épocas de semeadura de forma a minimizar os possíveis efeitos da variabilidade do clima na qualidade e rendimento dos grãos, e merecem atenção especial por parte do produtor (ARSEGO et al., 2019).

### **2.5.3 Adubação**

As recomendações de adubação para as culturas têm por finalidade auxiliar na tomada de decisão na utilização de fertilizantes em quantidade adequada, forma e época de aplicação, planejando o aumento e manutenção dos teores de nutrientes no solo, como também, os retornos econômicos (VEDELAGO, 2014). A adubação, seja mineral ou orgânica, só terá efeito positivo se o solo estiver com seu pH próximo à neutralidade (levemente ácido). A acidez em solos dificulta a absorção dos nutrientes. Portanto, é importante a correção do solo (ANDREOLI et al., 2012).

Sendo assim, a soja demanda melhores condições de fertilidade do solo quando comparada com a cultura do arroz. Isso ocorre porque os efeitos benéficos do alagamento se extinguem após a drenagem do solo e sua posterior secagem, o que pode gerar investimentos com aplicação de corretivos de acidez e quantidades de nutrientes com a adubação da cultura do sequeiro. Segundo Thomas et al. (2018), é importante ter especial atenção na avaliação da acidez do solo em solos de terras baixas destinados ao cultivo da soja, pois, se necessário, deve-se aplicar a prática da calagem para o bom desenvolvimento da cultura.

De acordo com Fageria et al. (1999), a correção do solo é importante não apenas para otimizar a produção de culturas, mas também para acarretar tais efeitos benéficos: aumento nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  no solo; redução da concentração tóxica de  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+$ ; aumento da disponibilidade de alguns nutrientes; e acréscimo da fixação biológica  $\text{N}_2$ , no caso das leguminosas. A neutralização da acidez do solo é realizada pela aplicação de produtos corretivos, sendo que normalmente é utilizado o calcário. É uma prática recomendada em solos ácidos para que tenham condições adequadas ao desenvolvimento das plantas sensíveis à acidez (SILVA et al., 2005).

O arroz irrigado por alagamento é beneficiado pelas reações de redução do ferro que liberam fósforo (P) para a solução do solo, que integram de alta disponibilidade de P nessas áreas. Porém, se a mesma área for destinada para o cultivo da soja, a disponibilidade deste elemento é considerada baixa e necessita de maiores quantidades de fertilizantes fosfatados para a cultura. Levando em consideração este fato, Thomas et al. (2014) confirmam que a soja na sequência do arroz deve ser tratada como primeiro cultivo, desconsiderando o efeito residual do fósforo aplicado no arroz.

Os estudos que fornecem recomendações de adubação para a cultura da soja se restringem a maioria em terras altas, principalmente na metade Norte do Rio Grande do Sul (SOUSA et al., 1996; GITTI et al., 2017). Em relação às terras baixas (várzeas) há poucos dados experimentais sobre o manejo da adubação. Além disso, a literatura carece de informações fundamentadas sobre o assunto. Pelo fato de cultura da soja ser muito responsiva à adubação, exige melhores condições de fertilidade do solo quando comparada à cultura do arroz (LONDERO, 2012). O sucesso das adubações não está somente relacionado com as doses, mas também com as práticas de manejo realizadas (ALCARDE et al., 1998).

#### **2.5.4 Drenagem**

O excesso de umidade dos solos gaúchos de terras baixas tem predominância do lençol freático próximo à superfície e à presença de camadas impermeáveis no subsolo (KLANT et al., 1985). Conforme Silva et al. (2004), as áreas de terras baixas já possuem a infraestrutura de drenagem para o cultivo do arroz irrigado. Porém, para as culturas de sequeiro, há maior exigência e a estrutura deve ser melhorada.

A condutividade hidráulica nos solos de terras baixas é considerada baixa. Segundo Thomas et al. (2014), a drenagem superficial se torna eficiente, pois garante o escoamento rápido da água e passa a ser decisiva para o adequado estabelecimento da soja. Em prol do



aumento da drenagem em terras baixas, os produtores têm investido na construção de micro canais ou camalhões (MÜLLER, 2015), pois se verifica maior acúmulo de massa seca na parte aérea da soja, associado a maior drenagem do solo (MARCHESAN et al., 2013).

Os sulcos ou camalhões promovem a elevação da superfície, o que favorece o afastamento da superfície do solo e lençol freático com o intuito de reduzir a frequência dos estresses hídricos apresentados pela cultura (MÜLLER, 2015). A utilização de camalhão não deixa a água empoçada, contribuindo para menor risco de queda de produtividade por excesso hídrico (JUNIOR, 2017). Para implantação, Rosso et al. (2018) ressaltam que a largura dos camalhões deve ser de acordo com o espaçamento utilizado para as culturas, de modo que beneficie as operações mecanizadas na lavoura e facilite a drenagem da área. O sistema de camalhões é utilizado em diversos países, pois permite a economia de água e excelentes rendimentos. Entretanto, no Brasil, essa prática ainda é pouco utilizada pelos produtores (MARCHESAN et al., 2015).

Há diversos estudos investigando a técnica de camalhão em áreas sistematizadas com e sem declive para o cultivo da soja, apresentando resultados promissores. Esse método, como sistema complementar de drenagem superficial do solo, vem se mostrando eficiente onde não existe um gradiente para escoamento superficial da água (SILVA et al., 2007).

Por fim, vale ressaltar que muitos produtores utilizam o mesmo sistema de escoamento de água das lavouras de arroz na cultura da soja. Neste caso, é importante que os canais de drenagem passem por redimensionamento (PARFITT et al., 2017). O planejamento e o gerenciamento das áreas da propriedade arroseira que adota rotação com a soja é parte fundamental no sucesso do processo de drenagem.

### **2.5.5 Cultivares de soja**

Segundo Pinto et al. (2013), a base do cultivo da soja está ligada a utilização de cultivares mais adaptadas ao sistema produtivo da propriedade. Os solos de terras baixas possuem características peculiares como baixa infiltração e de fácil encharcamento. Esse cenário confere um ambiente desfavorável. Desta forma, a adaptação da cultivar ao ambiente em que é submetida é fundamental para se obter êxito na produção.

A rentabilidade do negócio agrícola está diretamente ligada às sementes que compõem a lavoura. Em virtude disso, é essencial que o produtor rural busque cultivares de alta qualidade em conjunto com aplicação de boas práticas de cultivo para alcance de melhor

rendimento. Silva et al. (2018) mencionam que produtores de diferentes regiões do país procuram cultivares adaptadas às suas necessidades nas mais diversas realidades e padrões.

Sabe-se que o mercado de sementes é extremamente competitivo. Por isso, é necessário que se conheça as características da cultura e de cada cultivar, em específico a capacidade produtiva, as características agronômicas e o comportamento nos diversos ambientes, entre outros parâmetros. A previsão de comportamento de cultivares de soja em determinado local é dificultada, pois em latitudes semelhantes ocorrem disponibilidade térmicas diferentes, tornando-se necessária a realização de ensaios de campo para se conhecer as peculiaridades das distintas cultivares (REZENDE et al., 2007).

Um estudo realizado por Bonato et al. (2001), comprovou que as cultivares de soja indicadas para cultivo no Rio Grande do Sul apresentam rendimento e qualidade inferiores quando semeadas no período adequado para a região do planalto.

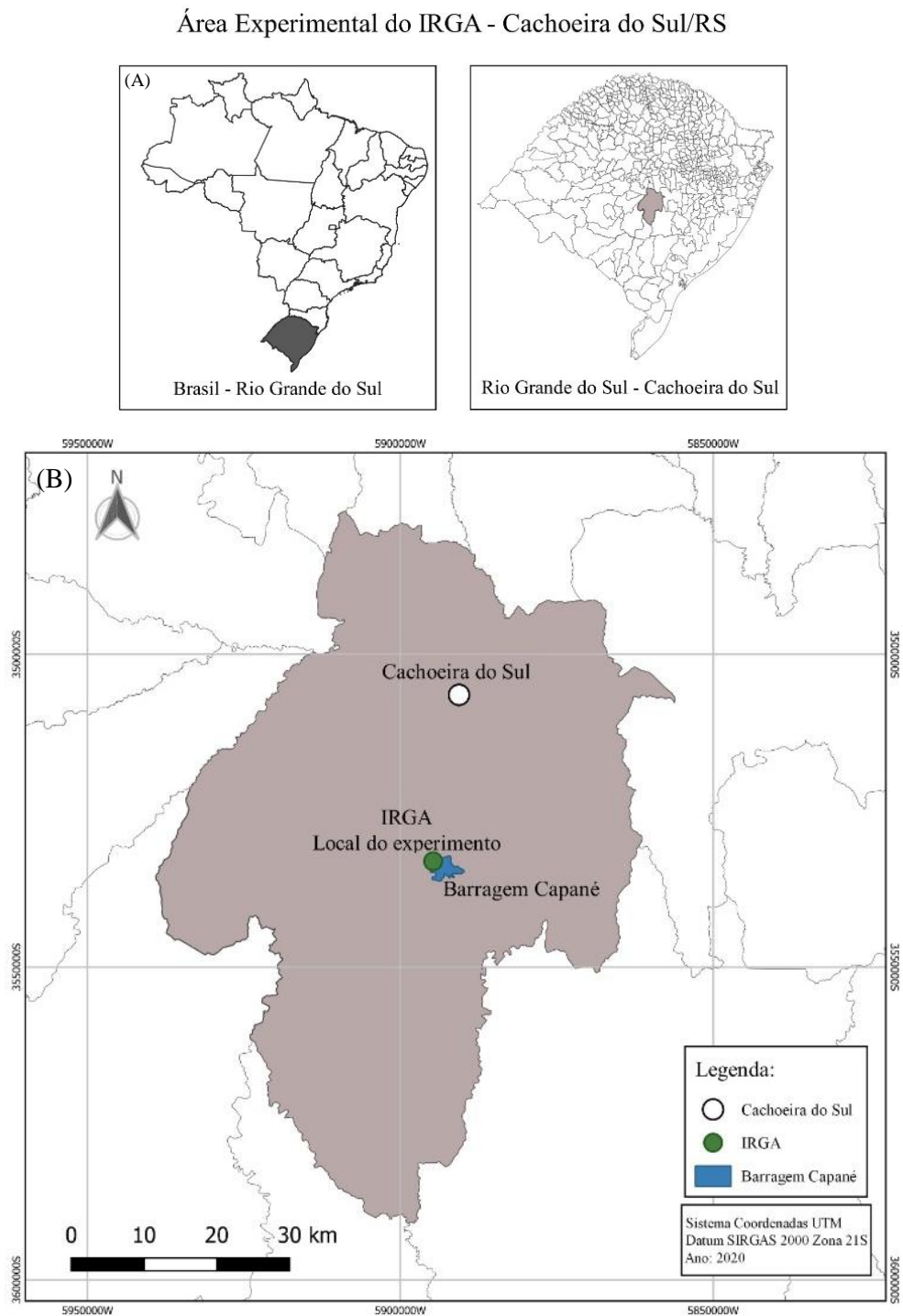
Diante disso, diversas empresas e instituições vêm realizando pesquisas com o intuito de avaliar a adaptabilidade de genótipos em diferentes ambientes. Diversas cultivares de soja adaptadas para solos arrojados já foram avaliadas em relação ao desempenho agronômico e produtivo, dentre elas a cultivar DM 61I59 IPRO. Esta cultivar foi lançada pela empresa DONMARIO na safra 2016/2017 e tem mostrado bons resultados de comportamento para regiões mais baixas (várzea). Apresenta como características agronômicas grupo de maturação 6.1, hábito de crescimento indeterminado, porte alto, potencial de ramificação classificado como médio e resistência a diversas doenças (NASCIMENTO, 2016).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

A Figura 13 ilustra a localização espacial da área experimental.

Figura 13 - (A) Localização da área do estudo e (B) Localização do experimento no IRGA.



Fonte: Autor.

O experimento foi conduzido na Estação Regional de pesquisa do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), em Cachoeira do Sul (RS), localizada na Barragem do Capané. A área está situada na região fisiográfica da Região Central do Estado do RS, cujas coordenadas geográficas aproximadas são: latitude 29° 43'23'' Sul e longitude 53° 43'15'' Oeste, com altitude próxima a 95 metros acima do nível do mar.

### 3.2 INFORMAÇÕES DO SOLO PARA CULTIVO DA SOJA EM TERRAS BAIXAS

Na área que foi utilizada para a condução do experimento a campo, na safra anterior havia sido semeada a cultura da soja no verão e mantida em pousio durante o período da entressafra, com dessecações durante o inverno para a vegetação espontânea. O solo da área é classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico, pertencente à Unidade de Mapeamento Vacacaí (EMBRAPA, 1999), e apresenta as características químicas descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Atributos químicos em solos cultivados com a cultura da soja na safra 2018/2019 na camada de 0-10 cm.

	Argila	M.O.	P	K	Al	Ca	Mg	pH H <sub>2</sub> O	Índice SMP
	%	%	--- mg.dm <sup>-3</sup> ---	---	----- cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> -----	-----	-----	-	-
Amostra - IRGA	24	1,8	5,4	51	0,02	5,7	3,8	6,0	6,2
Área coxilha	19	2,3	21,3	87	0,0	4,2	2,1	6,3	6,4

M.O: Matéria orgânica; SMP: Shoemaker, Mac lean e Pratt

Os tratamentos utilizados no estudo referiram-se à utilização ou não de mecanismos rompedores do solo (escarificação), a época de semeadura e diferentes níveis de adubação. O delineamento experimental para a instalação do experimento a campo, foi o de blocos ao acaso com três repetições.

Para o manejo do solo, no dia 01 de outubro de 2018, com um sulcador de seis hastes escarificou-se a área de cada parcela até 30 cm de profundidade. Cada unidade experimental foi constituída de seis linhas, espaçadas 0,5 m por quatro metros de comprimento, totalizando 12 m<sup>2</sup> de área útil. As épocas de semeadura foram realizadas em 07/11/2018 e 10/12/2018 utilizando uma semeadora de seis linhas, modelo KF, espaçadas 0,5 m. Foi utilizada a cultivar

DM 61I59 IPRO, na densidade de 17 sementes/m. A adubação de base foi realizada no momento da operação da semeadura.

Os níveis de adubação foram calculados conforme a análise da química do solo (Tabela 1). Para o cálculo das quantidades, foram utilizados os dados da Tabela 2, sugerida por Anghinoni (2017), para o sistema de produção de soja em terras baixas, considerando níveis de manejo para 3 ton/ha, 4,5 ton/ha e 6 ton/ha.

Tabela 2 - Recomendações de adubação fosfatada e potássica para soja em rotação com o arroz irrigado para diferentes níveis de manejo em terras baixas do RS.

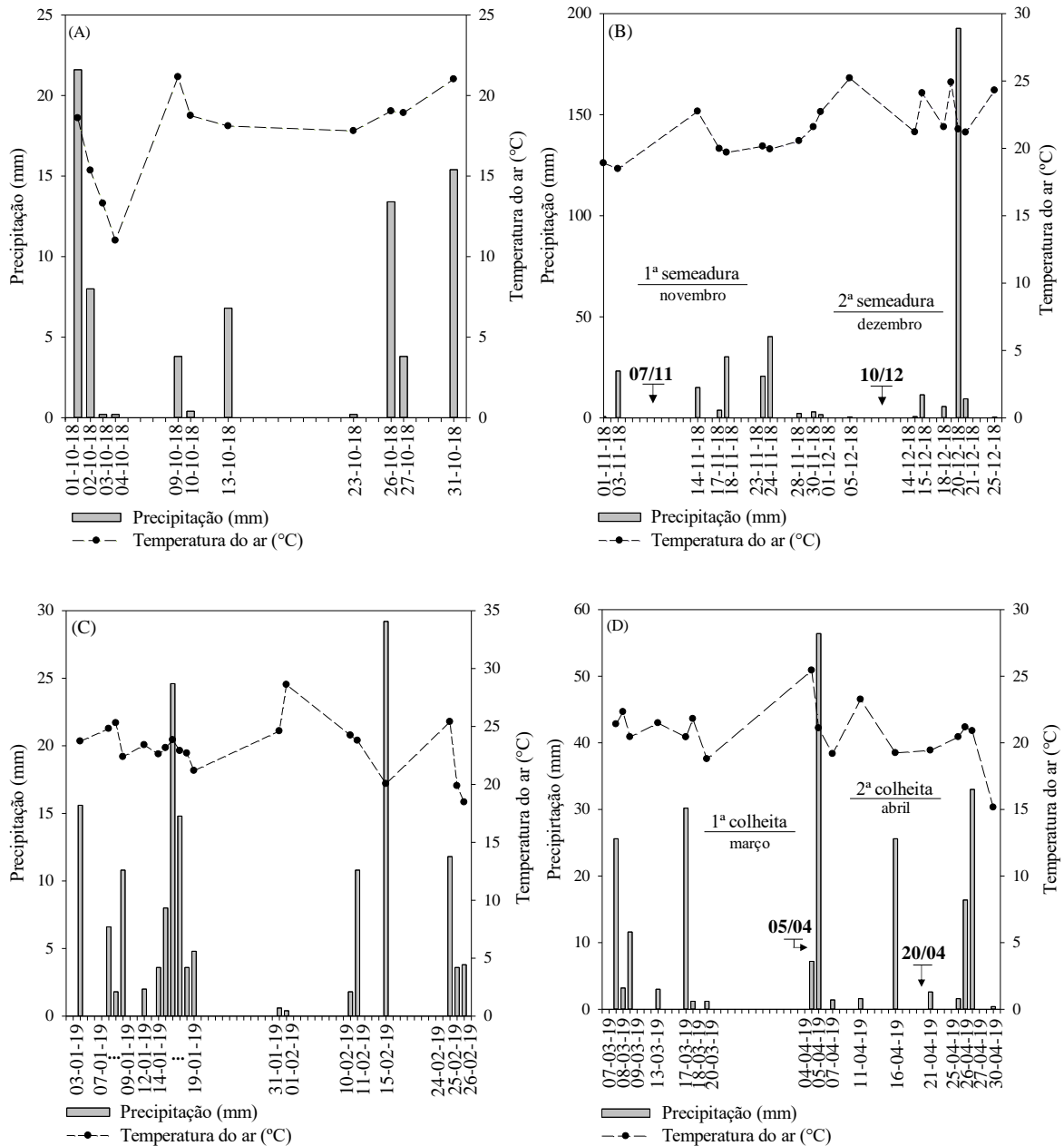
Classe de disponibilidade	Nutriente	Expressão comercial	Nível de manejo/ Produtividade (t/ha)		
			Médio (3,0)	Alto (4,5)	Muito alto (6,0)
----- kg ha <sup>-1</sup> -----					
Muito baixo	Fósforo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	60	90	120
	Potássio	K <sub>2</sub> O	80	120	160
Baixo	Fósforo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	50	80	110
	Potássio	K <sub>2</sub> O	70	110	150
Médio	Fósforo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	45	75	105
	Potássio	K <sub>2</sub> O	65	100	135
Alto	Fósforo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	40	65	90
	Potássio	K <sub>2</sub> O	60	90	120
Muito alto	Fósforo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	30	50	70
	Potássio	K <sub>2</sub> O	40	70	100

Fonte: Anghinoni (2017).

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE

Os dados meteorológicos de precipitação (mm) e temperatura média (°C) da safra 2018/2019 foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. O município de Cachoeira do Sul (RS) não possui estação meteorológica e, por isso, utilizaram-se os dados da estação automática (A813) do município de Rio Pardo/RS (Figura 14). Segundo Köppen e Geiger, a classificação climática de Cachoeira do Sul é Cfa (clima subtropical com verão quente).

Figura 14 - Dados climáticos de precipitação pluvial (mm) e temperatura do ar (°C) durante a implantação da cultura da soja em área de terras baixas na safra 2018-2019. (A) 1 mês antes da semeadura (outubro/2018); (B) semeadura da cultura (novembro-dezembro/2018); (C) cultivo da cultura (janeiro-fevereiro/2019); (D) colheita da cultura (março-abril/2019).



Fonte: Autor.

O período monitorado no estudo correspondeu aos meses de outubro/2018 a abril/2019. O cenário climatológico durante o período de implantação da cultura obteve as precipitações acumuladas (mm) e temperaturas médias (°C) da seguinte forma: 1 mês antes da semeadura (73,8 mm/17,5°C); durante as semeaduras - 07/11 e 10/12 no ano de 2018 (361,1

mm/21,27°C); no desenvolvimento da cultura (158,6 mm/23,1°C) e no decorrer das colheitas da soja - 05/04 e 20/04 do ano de 2019 (222,2 mm/20,74°C), conforme ilustra a Figura 14.

A safra 2018/2019 foi marcada por temperaturas que não sofreram variações acentuadas. Em relação à distribuição espacial de chuvas, foi marcada por contrastes, havendo excesso hídrico em alguns dias e em outros períodos, um déficit hídrico, não apresentando um padrão definido. Este padrão de irregularidades na precipitação se caracteriza como um meio hostil para as culturas de sequeiro, como no caso da cultura da soja em rotação com o arroz irrigado, visto que a cultura não tolera excessos hídrico (lâmina de água ou saturação prolongada) ou escassez de água por períodos extensos. Além disso, os fatores ambientais variam muito de safra para safra, mas, são variáveis que podem influenciar nas concentrações nutricionais e qualidade dos grãos de soja.

### 3.4 VARIÁVEIS DE CAMPO ANALISADAS

#### 3.4.1 Teor de nitrogênio da parte aérea

O teor de nitrogênio da parte aérea foi determinado através da coleta de duas amostras de planta de 0,25 m<sup>2</sup> (0,5 × 0,5 m), em cada unidade experimental, nos estádios V<sub>4</sub>, V<sub>6</sub>, R<sub>1</sub> e R<sub>5</sub>, conforme a escala de (Fehr & Caviness, 1977). As plantas de soja foram seccionadas rente ao solo com o auxílio de uma faca e armazenadas em sacos de papel. As amostras foram levadas a estufa de ventilação forçada de ar a uma temperatura de 65°C até atingirem massa constante. Posteriormente, foram pesadas em balança de precisão de 0,1 g e os dados obtidos transformados para kg/ha. Uma parte do material vegetal foi moído em moinho e uma fração de 0,2 g foi utilizada para a determinação da concentração de nitrogênio, no extrato obtido após a oxidação úmida do tecido vegetal seco e moído, conforme metodologia proposta por Tedesco et al. (1995), sendo convertido para kg de nitrogênio/ha.

#### 3.4.2 Número de nódulos/planta

A partir do estágio V<sub>6</sub>, nas plantas retiradas para a avaliação de nitrogênio foi determinado o número de nódulos/planta. Todas as plantas de um metro de linha semeada foram retiradas com monólitos de solo para a preservação das raízes, as quais foram separadas das plantas e lavadas em água corrente. Os nódulos foram contados e posteriormente dividiu-se o número total de nódulos pelo número de plantas coletadas no campo.

### 3.4.3 Rendimento de grãos

Foi realizada a colheita de uma área útil de 4,00 m<sup>2</sup> (4 × 1,0 m) em cada unidade experimental quando os grãos apresentaram umidade média abaixo de 15%. Após trilha, limpeza e pesagem dos grãos, os dados foram corrigidos para 13% de umidade e convertidos para kg/ha. A colheita das duas épocas de semeadura ocorreu entre os dias 16/04/2019 a 22/04/2019.

### 3.5 ANÁLISES DE QUALIDADE DOS GRÃOS

Os ensaios experimentais para análise de qualidade dos grãos foram conduzidos no Laboratório de Engenharia de Processos Agroindustriais - LAPE, da UFSM, localizado no município de Cachoeira do Sul (RS) e no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, do Departamento de Solos do Centro de Ciências Rurais (CCR) da UFSM, localizado no município de Santa Maria (RS). A Tabela 3 mostra o código de identificação e os tratamentos aplicados no cultivo de soja em terras baixas.

Tabela 3 - Tratamentos realizados na soja em terras baixas.

Código	Tratamento
N-SE-MA	semeadura (Novembro)-preparo do solo (Sem Escarificação)-adubação (Muito Alta)
N-SE-A	semeadura (Novembro)-preparo do solo (Sem Escarificação)-adubação (Alta)
N-SE-M	semeadura (Novembro)- preparo do solo (Sem Escarificação)-adubação (Média)
D-SE-MA	semeadura (Dezembro)- preparo do solo (Sem Escarificação)-adubação (Muita Alta)
D-SE-A	semeadura (Dezembro)- preparo do solo (Sem Escarificação)-adubação (Alta)
D-SE-M	semeadura (Dezembro)- preparo do solo (Sem Escarificação)-adubação (Média)
N-E-MA	semeadura (Novembro)- preparo do solo (Escarificado)-adubação (Muito Alta)
N-E-A	semeadura (Novembro)- preparo do solo (Escarificado)-adubação (Alta)
N-E-M	semeadura (Novembro)- preparo do solo (Escarificado)-adubação (Média)
D-E-MA	semeadura (Dezembro)- preparo do solo (Escarificado)-adubação (Muito Alta)
D-E-A	semeadura (Dezembro)- preparo do solo (Escarificado)-adubação (Alta)
D-E-M	semeadura (Dezembro)- preparo do solo (Escarificado)-adubação (Média)

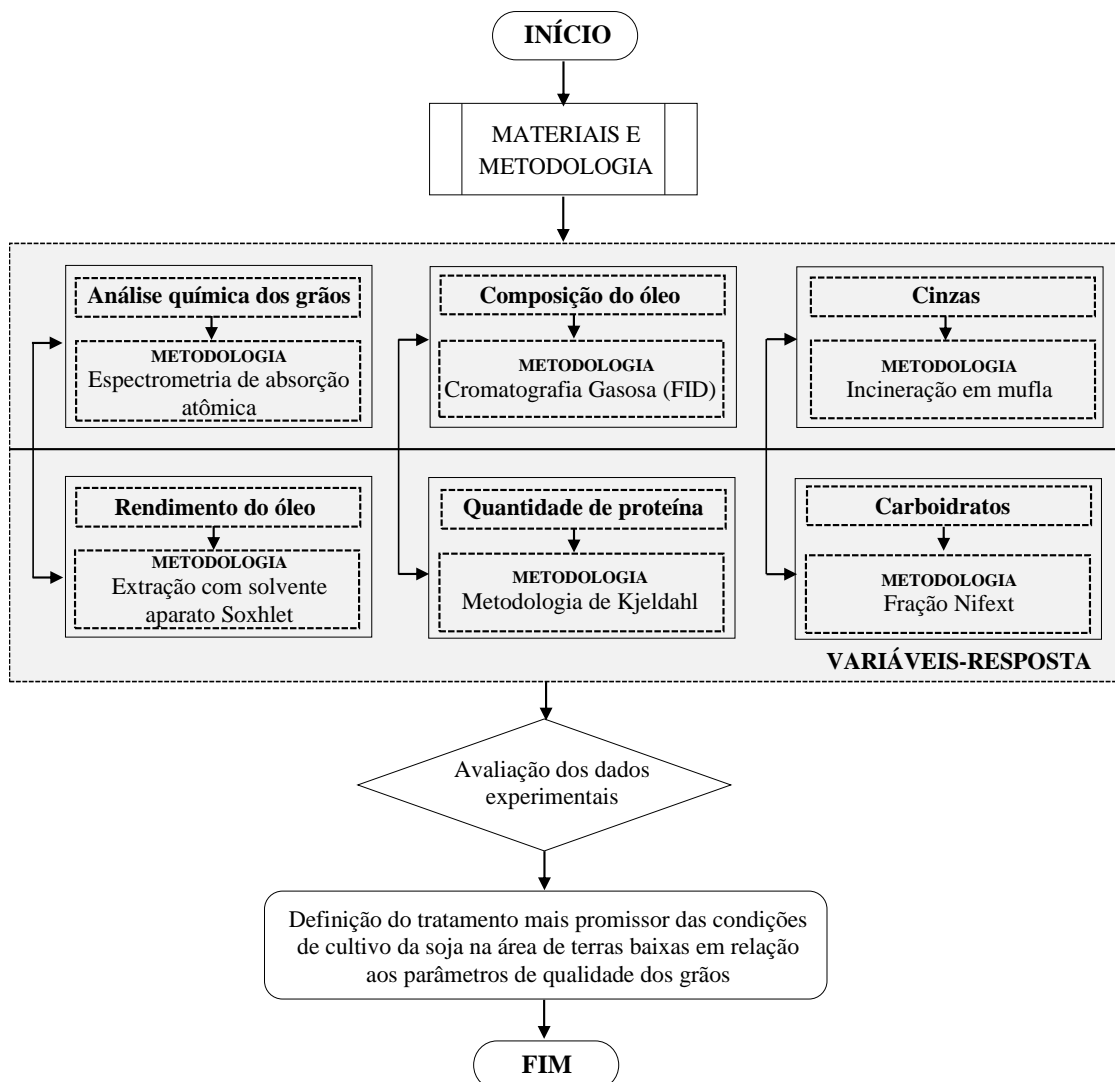
Fonte: Autor.



As amostras dos grãos de soja foram obtidas em diferentes condições de cultivo: A) Cultivar DM 61I59 IPRO; B) duas épocas de semeadura (novembro e dezembro); C) Safra (2018/1019); D) três níveis de adubação: 233,3 kg ha<sup>-1</sup>, sendo nível médio de adubo (5:30:15) para atingir 70 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo e 85 kg ha<sup>-1</sup> de potássio; 400 kg ha<sup>-1</sup>, sendo nível alto de adubo (5:30:15) para atingir 120 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo e 140 kg ha<sup>-1</sup> de potássio; e 483,3 kg ha<sup>-1</sup>, sendo nível muito alto de adubo (5:30:15) para atingir 145 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo e 180 kg ha<sup>-1</sup> de potássio; E) dois tipos de preparo de solo (escarificado e não escarificado). Para fins de comparação com a soja cultivada em terras baixas, foram avaliadas amostras de soja de coxilha com a mesma cultivar DM 61I59 IPRO.

Na Figura 15 são apresentados os métodos e suas respectivas metodologias selecionadas no estudo através de um fluxograma.

Figura 15 - Fluxograma simplificado das atividades executadas no estudo.



Na Figura 16 podem ser observados os equipamentos e materiais utilizados para execução das análises.

Figura 16 - (A) Preparação das amostras; (B) Método de Soxhlet; (C) Método de Kjeldahl; (D) Cinzas; (E) Fotômetro de chamas; (F) Espectrofotômetro de absorção; (G) Espectrômetro de absorção atômica; (H) Digestão das amostras e (I) Cromatógrafo a gás.



Fonte: Autor.

### 3.5.1 Rendimento do óleo: Método de Soxhlet

A extração de óleo foi realizada conforme a metodologia empregada por Confortin (2019). Duas gramas de cada amostra de grãos de soja foram adicionados a 200 mL de n-hexano (PA) e a operação foi realizada por 360 minutos em aparelho de Soxhlet (Marconi, Modelo MA491/6). As amostras foram acondicionadas em um cartucho de papel de filtro e colocadas na câmara principal do extrator Soxhlet. O n-hexano foi adicionado em um balão volumétrico de destilação aquecido por uma manta na parte inferior do aparelho. Durante o processo, evaporou-se o solvente e condensou-se na câmara principal, extraíndo o óleo. Ao final de cada execução a massa de óleo foi quantificada pelo método gravimétrico.

### 3.5.2 Composição do óleo

As amostras contendo os óleos foram submetidas à etapa de metilação. Foram adicionados 250  $\mu\text{L}$  do padrão interno de metil tricosanoato em uma solução de isooctano a 4  $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$  (Sigma-Aldrich, USA). Após essa etapa, a metilação foi realizada conforme o método descrito por Hartman e Lago (1973), onde 1 mL de solução metanólica de hidróxido de potássio ( $0,4 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) foi adicionado à solução lipídica, posteriormente, mantida em banho-maria a  $100^\circ\text{C}$  por 10 minutos. A seguir, foram adicionados 3 mL de solução de ácido sulfúrico metanólico ( $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) e mantidos a  $100^\circ\text{C}$  por mais 10 minutos em banho-maria. Logo após, os tubos foram conduzidos ao resfriamento e, por fim, foi adicionado 2 mL de isooctano nas amostras. Após a separação de fases, a camada superior contendo os ésteres metílicos de ácidos graxos (FAME) dissolvidos em isooctano foi removida e submetida à análise cromatográfica.

As amostras foram analisadas em um cromatógrafo a gás GC-2010 Plus acoplado a um Detector de Ionização de Chama (FID) com um injetor automático série AOC-20is, todos da Shimadzu (Kyoto, Japão). A coluna usada foi uma Rtx®-5 MS ( $30 \text{ m} \times 0,25 \text{ mm}$ , espessura de filme  $0,25 \mu\text{m}$ ) com 5% de difenil e 95% de dimetil polissiloxano da Restek Corporation (Bellefonte, EUA). O gás de arraste utilizado foi o Hélio a uma taxa de fluxo de  $1,21 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ . Um volume de  $1 \mu\text{L}$  de amostra foi injetado com uma proporção de divisão de 1:50. A temperatura do injetor foi mantida em  $250^\circ\text{C}$ , a temperatura do forno foi aumentada de  $50^\circ\text{C}$  para  $160^\circ\text{C}$  a uma taxa de  $8^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , aumentando a temperatura a uma taxa de  $5^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  a  $240^\circ\text{C}$  (realizada por 25 minutos) e a temperatura do detector foi mantida a  $240^\circ\text{C}$ .

A determinação dos ácidos graxos foi realizada por meio da metodologia de Visentainer (2012). Os picos de FAME foram identificados pela comparação do tempo de retenção dos padrões de referência (Supelco 37 Component FAME Mix, Sigma-Aldrich, St. Louis, EUA) na mesma condição. Posteriormente, os picos dos FAME foram quantificados com base no fator de correção do FID entre o pico do analito e o tricosenoato de metila (Sigma-Aldrich, St. Louis, EUA) utilizado como padrão interno e os resultados foram expressos em g de ácido graxo por 100 g de massa lipídica. Cada amostra foi analisada três vezes quanto à confiabilidade e os valores reportados no presente trabalho são a média das triplicatas.

### **3.5.3 Proteína: Método de Kjeldahl**

A concentração de nitrogênio (N) nas amostras foi medida através da metodologia desenvolvida por Tedesco et al. (1995) por meio de digestão ácida ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,025 mol L<sup>-1</sup> +  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% v/v), seguida de destilação pelo método Kjeldahl, utilizando um destilador de arraste de vapor - micro Kjeldahl (TECNAL, Modelo TE-0363). Para converter o N em proteína utilizou-se o fator de conversão de 6,25 para a soja.

### **3.5.4 Cinzas: Incineração em mufla**

A determinação de cinzas das amostras foi executada pela técnica de incineração em mufla, conforme descrito no Manual de Métodos Físico-químicos para Análise de Alimentos (IAL, 2008). As amostras foram incineradas em mufla (Jung, Modelo LF4213, Capacidade de 42 litros, USA) por 550°C durante 2 horas, sendo posteriormente resfriadas até temperatura ambiente. O material obtido foi pesado em balança analítica (Balança Semi-Analítica Bel, modelo S203H, Itália).

### **3.5.5 Análise química dos grãos**

A quantificação dos nutrientes minerais Cálcio (Ca), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Magnésio (Mg), Manganês (Mn), Potássio (K), Fósforo (P) e Enxofre (S) e Zinco (Zn) foram realizadas segundo a metodologia de Tedesco et al. (1995), através de digestão ácida utilizando uma mistura de ácido nítrico e ácido perclórico ( $\text{HNO}_3$  +  $\text{HClO}_4$ , na proporção de 3:1). A mistura foi analisada em espectrômetro de absorção atômica (Perkin Elmer, Modelo AAnalyst 200,

USA); para o K as leituras foram realizadas em fotômetro de chama (Digimed, Modelo DM62) e os elementos P e S foram determinados pelo método colorimétrico (Murphy & Riley, 1962) em espectrofotômetro de absorção atômica (Marca Tecnal, Modelo Espec-UV-5100). Para o P, as leituras ocorrem com absorbância na faixa de 882 nm e o S na margem de 460 nm.

### **3.5.6 Carboidratos**

A quantificação de carboidratos foi determinada por diferença segundo a resolução RDC nº 360 (ANVISA, 2003) através da fração “Nifext”, calculado pela diferença entre 100% e a soma do conteúdo de proteínas, óleo, umidade e cinzas.

## **3.6 PROCESSAMENTO DOS DADOS**

Os dados experimentais foram submetidos inicialmente à análise de variância (ANOVA) e, posteriormente, para os fatores significativos, as diferenças significativas entre as médias de cada tratamento foram avaliadas aplicando o Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. Todas as análises foram efetuadas pelo *software* Sisvar 4.3.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

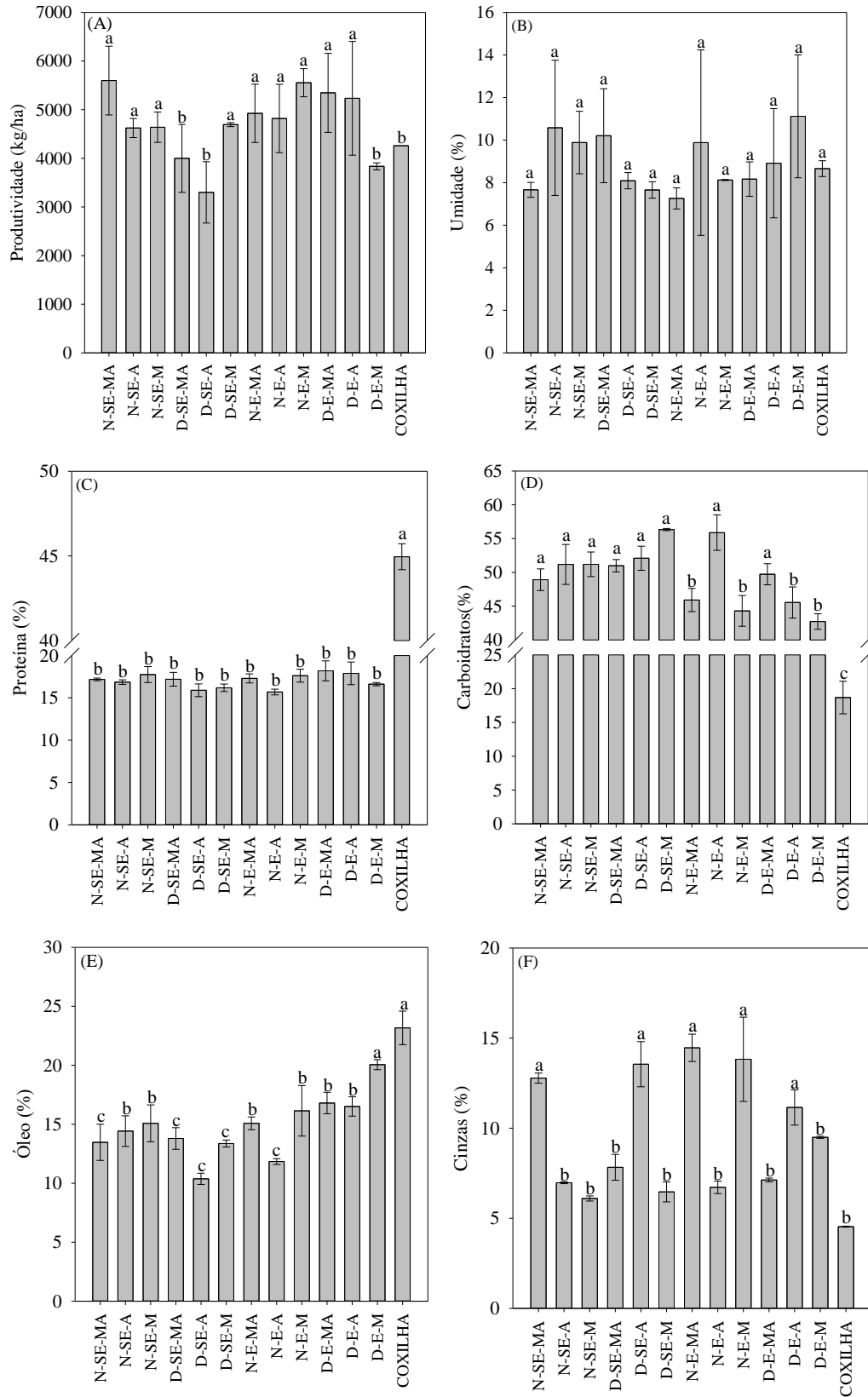
### 4.1 INDICADORES DE QUALIDADE

#### 4.1.1 Rendimento de grãos

A produtividade de grãos nos tratamentos da soja cultivada em terras baixas variou de 3300,47 kg/ha a 5598,66 kg/ha, com produtividade média de 4417,03 kg/ha (73,62 sc) (Figura 17). Em relação à soja cultivada em área de coxilha, a produtividade estimada foi em torno de 4260 kg/ha (71 sc). Destaca-se que os valores de produtividade estão em níveis satisfatórios. Segundo Pétrin (2020), a produtividade média nacional da soja está em torno de 55 sacas por hectares. As oscilações de valores de produtividade de grãos podem ter sido afetadas principalmente pela época de semeadura e pela precipitação.

Paralelamente, cabe evidenciar que as três menores produtividades ocorreram nos seguintes tratamentos: 3300,47 kg/ha em D-SE-A (Dezembro-Sem Escarificação-Adubação Alta), 3834,91 kg/ha em D-E-M (Dezembro-Escarificado-Adubação Média) e 3999,51 kg/ha em D-SE-MA (Dezembro-Sem Escarificação-Adubação Muita Alta). Desta forma, observa-se que os menores valores de produtividade ocorreram nos tratamentos que foram semeados em dezembro (semeadura tardia). No mês de dezembro houve alta intensidade de chuvas, com precipitação em torno de 222,3 mm/mês. Nesse período, é observado que somente em um dia choveu 192,7 mm (Figura 14B), sendo considerada chuva de intensidade forte. Devido às características físicas dos solos de terras baixas, essa alta intensidade de chuvas pode proporcionar o encharcamento do solo, prejudicando os estágios iniciais do desenvolvimento da cultura da soja. Em relação às maiores produtividades de grãos, estas foram obtidas nos tratamentos com semeadura no mês de novembro: 5598,66 kg/ha (N-SE-MA) e 5554,45 kg/ha (N-E-M), independente se o solo foi escarificado ou não, variando da dose média a muito alta. Ou seja, a época parece ser o fator decisivo na produtividade da soja, comparado aos demais manejos utilizados no estudo. Estes resultados são confirmados por pesquisas do IRGA que indicam que a época de semeadura preferencial para soja em terras baixas visando altas produtividades de grãos é entre os meses de outubro e novembro (IRGA, 2018).

Figura 17 - Indicadores de qualidade de grãos de soja cultivada em diferentes tratamentos em área de terras baixas em comparação com soja cultivada em área de coxilha; as porcentagens são apresentadas em base mássica. (A) Produtividade (kg/ha); (B) Umidade (%); (C) Proteína (%); (D) Carboidratos (%); (E) Óleo (%); (F) Cinzas (%).



Fonte: Autor.

### 4.1.2 Umidade

O parâmetro de umidade dos grãos não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, sendo que os teores de umidade estiveram na faixa de 7,26% a 11,12% (Figura 17B). Como todos os grãos após a colheita foram armazenados sob as mesmas condições, não houve diferenças perceptíveis nos dados. Essa faixa de valores permite boa armazenagem dos grãos ao longo prazo para serem usados posteriormente na indústria de processamento (GIRALDELI, 2020).

### 4.1.3 Proteínas

O teor de proteínas máximo aproximou-se de 18,19% (base úmida) para o tratamento D-E-MA (Dezembro-Escarificado-Adubação Muito Alta) e o mínimo obtido foi de 15,69% (base úmida) no tratamento N-E-A (Novembro-Escarificado-Adubação Alta). O teor médio de proteínas em área de terras baixas foi de 17,14% e na soja de coxilha foi de 44,95%.

Os maiores percentuais de proteína cultivados em terras baixas foram nos tratamentos em que o solo foi preparado com escarificação com 18,19% em D-E-MA (Dezembro-Escarificado-Adubação Muito Alta), 17,89% em D-E-A (Dezembro-Escarificado-Adubação Alta) e 17,61% em N-E-M (Novembro-Escarificado-Adubação Média). A escarificação pode ter contribuído para redução do encharcamento nos períodos de chuvas e aumento da difusão de oxigênio em prol da fixação biológica de nitrogênio (ASSEFA et al., 2019), que colabora para o incremento do teor de proteína bruta.

Quanto às épocas de semeadura e níveis de adubação, não houve diferença de comportamento dos percentuais de proteínas entre os tratamentos em terras baixas. Assim, quando não é possível explicar a diferença nos teores de proteínas observados em campo pelos tratamentos avaliados, os teores podem ser discutidos pela variação na disponibilidade de nitrogênio à planta (PÍPOLO, 2002; CALÇADO et al., 2019), pois esse elemento é a chave da síntese proteica. Portanto, em condição de campo, a variabilidade na concentração de proteína é devido à sensibilidade do suprimento de nitrogênio.

É visto que os teores de proteína dos grãos de soja cultivados em terras baixas apresentam porcentagens baixas, sendo que isso pode estar relacionado a alguns dilemas provenientes dessas áreas. Dentro desses impasses, estão presentes os fatores climáticos. A temperatura tem ação direta nas concentrações nutricionais, podendo contribuir com a queda no teor de proteína nas sementes. O maior nível de sintetização de corpos proteicos nos



cotilédones de soja ocorre em torno de 20 a 40 DAF (dias após floração). Neste período, a faixa de temperatura oscilou de temperaturas amenas (15°C) para mais quentes (25°C) (Figura 14B e 14C). O aumento de temperatura tende a decrescer a concentração de proteínas na semente, principalmente no período de cultivo da cultura (WOLF et al., 1982).

Durante esse período de sintetização proteica, o acumulado de chuvas foi intenso. Sendo assim, o estresse hídrico acaba encurtando a duração do enchimento do grão, resultando na redução do conteúdo de proteínas. Durante os períodos iniciais de desenvolvimento da cultura (Figura 14C), é observado um acúmulo de chuvas em períodos curtos que acarretam alagamentos temporários. No que se refere ao número de nódulos no sistema radicular na soja cultivada na área de terras baixas, este apresentou estabilidade nos estádios fenológicos finais da cultura, conforme demonstra a Tabela 4.

Tabela 4 - Número médio de nódulos por planta de soja em terras baixas e coxilha.

Número médio de nódulos (nº nod/planta)		
Estádios fenológicos*	Terras baixas	Coxilha
V6	48,30	36,67
R1	81,26	46,67
R5	170,70	37,33

\*escala conforme Fehr & Caviness (1977).

Fonte: Autor.

Segundo Hungria et al. (2001), no estágio de florescimento, uma planta de soja deve ter entre 15 e 30 nódulos quando a inoculação é executada com sucesso. Este fato foi satisfatório para as duas áreas de cultivos (terras baixas e coxilha). Observa-se que o número de nódulos no estágio R5 em terras baixas foi elevado. Porém, é viável ressaltar que, a partir desse resultado pode constatar-se discrepâncias, em virtude de que não ocorreu a abertura dos nódulos para verificação da coloração rósea no interior, que comprova a atividade plena da fixação biológica de nitrogênio.

É válido mencionar que o metabolismo das sementes de soja em terras baixas é pouco conhecido, assim como os processos que participam da deposição e acúmulo dos componentes nutricionais são raros e sucintos na literatura, resultando em grande dificuldade em explicar as variações das concentrações nutricionais de grãos nas lavouras comerciais. Assim, supõe-se que, além dos tratamentos estudados, as oscilações de temperatura e pluviosidade também são fatores que influenciam nos teores da composição centesimal dos grãos de soja da referida safra.

#### 4.1.4 Carboidratos

Os percentuais de carboidratos foram altos, constituindo maior conteúdo deste componente centesimal nos grãos de soja cultivados em terras baixas com média de 49,56% em comparação ao tratamento de coxilha com 18,69%, conforme demonstrado na Figura 17D. Os carboidratos totais são elevados nos grãos de soja de terras baixas porque a soma dos demais itens de composição centesimal (proteínas, lipídeos e cinzas) foram baixos quando comparados com a soja de coxilha. É importante destacar que a análise específica de fibras não foi realizada neste estudo e, por isso, o seu valor ficou englobado junto com os carboidratos totais, uma vez que as fibras são carboidratos complexos. Para fins de comparação, não foi possível encontrar nas principais bases de dados da literatura científica resultados reportados por outros autores para comparação direta. No entanto, em termos de carboidratos em amostras de soja cultivadas em coxilha, é possível identificar que eles ficam na faixa 30% (IGNACIO, 2017).

#### 4.1.5 Rendimento do óleo

O teor de óleo apresentou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) para os tratamentos da soja cultivada em terras baixas em comparação ao cultivo da soja em coxilha (Figura 17E). Em terras baixas, este teor variou de 10,37% no tratamento D-SE-A (Dezembro-Sem escarificação-Adubação Alta) a 20,05% no tratamento D-E-M (Dezembro-Escarificado-Adubação Média). O teor médio de óleo nas terras baixas foi de 14,74% e na soja de coxilha foi de 23,17%.

Os maiores percentuais de óleo de soja cultivada em terras baixas foram registrados nos tratamentos em que foi utilizada a escarificação no preparo do solo e na época de semeadura tardia (dezembro): 20,05% em D-E-M (Dezembro-Escarificado-Adubação Média), 16,80% em D-E-MA (Dezembro-Escarificado-Adubação Muito Alta) e 16,51% para D-E-A (Dezembro-Escarificado-Adubação Alta). Em resposta aos níveis de adubação, esses tratamentos não apresentaram comportamento diferenciado.

Assim como no teor de proteína, a sintetização do óleo é acumulada nas primeiras semanas, permanecendo posteriormente em nível estável (SAMADI et al., 1977). Em virtude de a deposição do óleo ocorrer em período específico, é esperado que as variações sazonais alterem a composição desse componente. Além disso, a distribuição de chuvas e a

temperatura do ar são fatores importantes para melhor entendimento das variações decorrentes. A temperatura do ar no período de sintetização dos corpos lipídicos (20 a 40 DAF) antes da maturação variou de 15°C a 25°C (Figura 14C) e esse aumento de temperatura pode provocar o decréscimo no teor de óleo em comparação ao valor referência da coxilha. Além disso, nos primeiros dias após a floração, o acúmulo de chuva (estresse hídrico) durante esse período pode ter contribuído com a redução da sintetização dos corpos lipídicos.

#### 4.1.6 Cinzas

Os teores de cinzas apresentaram diferença significativa entre os tratamentos em terras baixas (Figura 17F). Os percentuais para os tratamentos da soja em terras baixas foram encontrados na faixa de 6,10% no tratamento N-SE-M a 14,46% em N-E-MA. O teor médio de cinzas para soja de coxilha foi de 4,53% e da soja em terras baixas foi de 9,70%. Os tratamentos N-SE-A, N-SE-M, D-SE-MA, D-SE-M, N-E-A, D-E-MA e D-E-M apresentaram os valores mais próximos do teor da soja cultivada em coxilha. Os maiores percentuais de cinzas se encontram nos tratamentos que contém adubação alta ou muito alta com 11,15% em D-E-A, 13,55% em D-SE-A e 14,46% em N-E-MA. Quanto às épocas de semeadura e modo de preparo do solo, não houve comportamento diferenciado entre os tratamentos em terras baixas.

A presença de grandes quantidades de cinzas em grãos utilizados na indústria alimentícia não é desejável, podendo interferir na qualidade dos produtos derivados da soja (COSTA et al., 2008). As cinzas são resíduos inorgânicos constituídos por diversos elementos nutricionais fornecidos na adubação da cultura, incluindo o nutriente manganês (Mn), no qual resultou níveis elevados nos grãos de soja cultivados em terras baixas (Tabela 6), podendo ter contribuído com o aumento dos teores de cinzas.

## 4.2 COMPOSIÇÃO DE ÁCIDOS GRAXOS

A Tabela 5 apresenta a composição dos ácidos graxos do óleo de soja cultivada em distintos tratamentos em terras baixas em comparação aos índices da soja cultivada em área de coxilha.

Tabela 5 - Composição química dos ácidos graxos do óleo de soja cultivada em diferentes tratamentos em terras baixas em comparação com soja cultivada em área de coxilha.

Tratamento	Ácidos graxos*					
	C13:0	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1
N-SE-MA	12,16 ± 2,65 a	0,07 ± 0,01 a	11,36 ± 0,51 a	0,06 ± <0,01 a	3,45 ± 0,21 b	19,89 ± 0,80 b
N-SE-A	8,50 ± 1,38 a	0,07 ± 0,01 a	11,51 ± 1,02 a	0,06 ± <0,01 a	3,57 ± 0,08 b	21,70 ± 0,65 b
N-SE-M	9,08 ± 3,69 a	0,07 ± <0,01 a	11,44 ± 0,80 a	0,06 ± <0,01 a	3,91 ± 0,35 b	22,90 ± 1,81 a
D-SE-MA	8,52 ± 2,25 a	0,06 ± 0,01 a	11,57 ± 0,84 a	0,06 ± <0,01 a	3,59 ± 0,28 b	20,39 ± 1,79 b
D-SE-A	9,11 ± 0,39 a	0,06 ± 0,01 a	11,79 ± 0,01 a	0,07 ± 0,01 a	3,91 ± 0,15 b	21,65 ± 0,40 b
D-SE-M	10,24 ± 1,98 a	0,06 ± <0,01 a	11,15 ± 0,47 a	0,06 ± <0,01 a	3,44 ± 0,22 b	19,27 ± 1,07 b
N-E-MA	13,50 ± 6,27 a	0,07 ± <0,01 a	10,80 ± 0,35 a	0,06 ± 0,01 a	3,14 ± 0,72 b	20,02 ± 2,13 b
N-E-A	12,12 ± 3,59 a	0,08 ± 0,01 a	11,80 ± 2,03 a	0,07 ± <0,01 a	3,99 ± 0,69 b	25,13 ± 2,86 a
N-E-M	11,13 ± 3,04 a	0,07 ± 0,01 a	10,87 ± 0,12 a	0,07 ± <0,01 a	3,40 ± 0,04 b	21,28 ± 1,64 b
D-E-MA	12,14 ± 4,30 a	0,07 ± <0,01 a	11,41 ± 0,33 a	0,05 ± <0,01 a	3,68 ± 0,14 b	19,13 ± 0,43 b
D-E-A	15,15 ± 7,58 a	0,07 ± <0,01 a	10,45 ± 0,81 a	0,06 ± 0,01 a	3,14 ± 0,10 b	18,22 ± 1,49 b
D-E-M	19,59 ± 7,80 a	0,07 ± <0,01 a	10,33 ± 1,28 a	0,05 ± 0,01 a	3,25 ± 0,48 b	17,63 ± 2,54 b
COXILHA	8,88 ± 1,31 a	0,07 ± <0,01 a	10,41 ± 0,09 a	0,06 ± <0,01 a	5,66 ± 0,20 a	25,83 ± 0,16 a
Tratamento	C18:2	C18:3	C20:0	C20:1	C22:0	C24:0
N-SE-MA	47,03 ± 0,97 a	4,95 ± 0,17 a	0,32 ± 0,03 b	0,16 ± 0,01 b	0,38 ± 0,01 c	0,14 ± 0,01 a
N-SE-A	48,52 ± 1,17 a	5,03 ± 0,12 a	0,32 ± 0,02 b	0,17 ± 0,01 b	0,38 ± 0,02 c	0,13 ± 0,02 a
N-SE-M	46,79 ± 1,29 a	4,62 ± 0,23 a	0,35 ± 0,04 b	0,16 ± 0,02 b	0,41 ± 0,03 c	0,14 ± 0,03 a
D-SE-MA	49,28 ± 1,56 a	5,39 ± 0,54 a	0,37 ± 0,11 b	0,18 ± 0,03 a	0,38 ± 0,06 c	0,12 ± 0,04 a
D-SE-A	47,33 ± 0,50 a	4,92 ± 0,40 a	0,38 ± 0,05 b	0,18 ± 0,02 a	0,41 ± 0,04 c	0,15 ± 0,02 a
D-SE-M	49,13 ± 0,59 a	5,59 ± 0,13 a	0,33 ± 0,05 b	0,16 ± 0,01 b	0,38 ± 0,04 c	0,13 ± 0,01 a
N-E-MA	46,70 ± 5,64 a	4,88 ± 1,32 a	0,26 ± 0,10 b	0,14 ± 0,03 b	0,30 ± 0,11 c	0,08 ± 0,07 a
N-E-A	41,91 ± 5,03 a	3,66 ± 1,23 a	0,38 ± 0,05 b	0,18 ± <0,01 a	0,45 ± 0,07 b	0,17 ± <0,01 a
N-E-M	47,22 ± 1,21 a	4,91 ± 0,11 a	0,32 ± <0,01 b	0,17 ± <0,01 a	0,39 ± 0,01 c	0,13 ± 0,01 a
D-E-MA	47,37 ± 2,89 a	5,11 ± 0,55 a	0,32 ± 0,01 b	0,15 ± 0,01 b	0,40 ± 0,02 c	0,12 ± 0,01 a
D-E-A	46,81 ± 4,31 a	5,22 ± 0,86 a	0,27 ± <0,01 b	0,14 ± 0,01 b	0,34 ± <0,01 c	0,09 ± 0,04 a
D-E-M	43,51 ± 3,63 a	4,58 ± 0,37 a	0,29 ± 0,04 b	0,14 ± <0,01 b	0,35 ± 0,06 c	0,13 ± 0,01 a
COXILHA	43,56 ± 1,44 a	4,02 ± 0,32 a	0,53 ± 0,03 a	0,20 ± 0,01 a	0,54 ± 0,04 a	0,18 ± 0,01 a

\* Média ± desvio padrão (n=3). C13:0 - Ácido Tridecanoico; C14:0 - Ácido Mirístico; C16:0 - Ácido Palmítico; C16:1 - Ácido Palmitoleico; C18:0 - Ácido Esteárico; C18:1 - Ácido Oleico; C18:2 - Ácido Linoleico; C18:3 - Ácido Alfa-linolênico; C20:0 - Ácido Araquídico; C20:1 - Ácido Eicosenoico; C22:0 - Ácido Behênico; C24:0 - Ácido Lignocérico.

Fonte: Autor.

A composição de ácidos graxos apresentou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para os ácidos graxos esteárico (C18:0), oleico (C18:1), araquídico (C20:0), eicosenoico (C20:1) e behênico (C22:0). Em relação aos demais ácidos graxos, não houve comportamento variado e foram os menos sensíveis aos tratamentos impostos, conforme mostra a Tabela 5.

O ácido oleico (C18:1) apresentou nos tratamentos em terras baixas a variação de 17,63% a 25,13% em relação ao tratamento de coxilha, com o teor de 25,83%. Os tratamentos mais próximos ao valor da soja cultivada em coxilha foram no N-SE-M (Novembro-Sem Escarificação-Adubação Média) com 22,90% e N-E-A (Novembro-Escarificado-Adubação Alta) com 25,13%, ambos com semeadura no mês de novembro, respectivamente. No que tange aos ácidos esteárico (C18:0) e araquídico (C20:0), todos os tratamentos cultivados em terras baixas apresentaram percentuais baixos. Para o ácido esteárico, a variação ocorreu na faixa de 3,14 a 3,99%, ao passo que para o ácido araquídico, a variação está em torno de 0,26% a 0,38%, apresentando diferença significativa ( $p < 0,05$ ) em relação ao percentual da soja de coxilha.

Aos valores referentes ao ácido eicosenoico (C20:1), os tratamentos D-SE-MA (Dezembro-Sem Escarificação-Adubação Muita Alta), D-SE-A (Dezembro-Sem Escarificação-Adubação Alta), N-E-A (Novembro-Escarificado-Adubação Alta) e N-E-M (Novembro-Escarificado-Adubação Média) não diferiram estatisticamente em relação à soja de coxilha. No que se refere ao ácido behênico (C22:0), o tratamento mais próximo ao da soja de coxilha foi o Novembro-Escarificado-Adubação Alta (N-E-A) com 0,45%.

O ácido oleico (C18:1) é da classe dos monoinsaturados, também conhecido como ômega 9. Ele é o segundo composto mais concentrado no óleo de soja, ficando atrás do ácido linoleico (C18:2), o qual é conhecido como ômega 6. Neste estudo desenvolvido com óleo extraído em grãos de soja cultivada em terras baixas, a proporção de ômega 9/ômega 6 variou de 0,389 (tratamento D-E-A) a 0,600 (tratamento N-E-A). O óleo de soja cultivada em coxilha apresentou uma proporção de ômega 9/ômega 6 de 0,593. Para fins de comparação, para óleo de cultivares de soja dos EUA e da China, foi reportada uma proporção média de ômega 9/ômega 6 de 0,365 e 0,439, respectivamente (AZAM et al., 2021), enquanto para azeite de oliva esta proporção reportada por Lopez (2020) foi na faixa de 4,26 a 12,08.

De fato, em terras baixas, a semeadura em novembro tem-se mostrado indicada para maiores composições em ômega 9, especialmente quando o solo é escarificado. No entanto, em termos de reações de conversão de macro e micronutrientes em ácidos graxos, este comportamento deve ser avaliado por estudos específicos e aprofundados, especialmente correlacionando-se com estudos de melhoramento genético de sementes. Reduzir teores de

ácidos palmítico e esteárico e aumentar os teores de ômega 9, ômega 6 e ômega 3 (ácido linolênico) em proporções balanceadas têm sido temas de estudos em diversos centros de pesquisa internacionais.

Aumentar a proporção de ômega 9 em relação ao ômega 6 é preferível, pois o ômega 9 possui apenas uma insaturação, o que torna o óleo mais estável em termos de oxidação se comparado ao ômega 6 (duas insaturações). Além disso, têm sido atribuídas propriedades benéficas ao ômega 9, como capacidade de reduzir a quantidade de colesterol total no organismo (PENG et al., 2021), especialmente o colesterol ruim (LDL) (ZHANG et al., 2021), e agir como substância anti-inflamatória (DONG et al., 2021).

### 4.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS GRÃOS

A Tabela 6 apresenta a composição química dos grãos de soja cultivada em diferentes tratamentos em terras baixas, comparadas com soja cultivada em área de coxilha. No que se refere às quantidades exportadas de N, Ca, Cu, Fe e o Mn nos grãos de soja, houve diferença significativa dos tratamentos conduzidos em solos de terras baixas em relação à soja cultivada em coxilha. As quantidades exportadas de K, P, Mg, S e Zn não apresentaram comportamento diferenciado em relação aos valores da soja de coxilha, mas apresentaram quantidades nos grãos em níveis satisfatórios.

As quantidades exportadas de N nos grãos de soja nos tratamentos em terras baixas foram baixos, estando na faixa de 25,10 kg/ton a 29,10 kg/ton em relação ao tratamento de coxilha que exportou quantidades de 71,92 kg/ton. As maiores quantidades de nitrogênio exportadas foram nos tratamentos com solo escarificado, conforme a sequência a seguir: 29,10 kg/ton (D-E-MA), 28,79 kg/ton (D-E-M) e 28,62 kg/ton (D-E-A). Os tratamentos que exportaram as menores quantidades de N foram aqueles em que não se executou o preparo do solo com escarificação, tais como: 25,43 kg/ton (D-SE-A) e 25,90 kg/ton (D-SE-M). A cultura da soja necessita de aproximadamente 80 kg de N para produzir uma tonelada de grãos, com uma exportação média de 60 kg de N/ha (HUNGRIA et al., 2001). As quantidades observadas nos grãos de soja quando cultivada em terras baixas são bem menores que os valores encontrados na literatura. A drenagem deficiente nessas áreas geralmente causa deficiência em oxigênio, causando redução da respiração do sistema radicular, absorção de água, nutrientes e redução da fixação biológica de nitrogênio (Oliveira et al., 2003). Tem sido observada redução no número de nódulos em solos com excesso de umidade, além de maior senescência, em função do metabolismo hipóxico (Zenzen et al., 2007). A hipóxia reduz a

taxa de conversão de ATP/ADP, o que indica restrição da fosforilação oxidativa (Dennis et al., 2000), comprometendo a fixação biológica de nitrogênio, que é um processo altamente dependente de energia. As condições edafoclimáticas das terras baixas pode não estar favorecendo a simbiose rizóbio-soja.

No que se refere ao nutriente do cálcio (Ca), este apresentou diferença estatística somente no tratamento D-SE-MA (Dezembro-Sem escarificação-Adubação Muito Alta). Em relação ao cobre (Cu) os tratamentos que apresentaram diferença ( $p < 0,05$ ), o solo não escarificado é maioria entre os resultados.

Tabela 6 - Quantidade de nutrientes absorvidos em grãos de soja cultivada em diferentes tratamentos em terras baixas em comparação com soja cultivada em área de coxilha.

Tratamento	Nutrientes*									
	Macronutrientes						Micronutrientes			
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
----- kg/ton -----						----- g/ton-----				
N-SE-MA	27,48 ± 0,43 b	5,20 ± 0,19 a	16,4 ± 0,28 a	0,97 ± 0,10 a	1,13 ± 0,02 a	2,62 ± 0,14 a	8,23 ± 0,70 b	49,82 ± 9,34 b	102,55 ± 5,19 a	34,63 ± 0,17 a
N-SE-A	26,97 ± 0,74 b	5,20 ± 0,78 a	15,5 ± 1,11 a	1,01 ± 0,09 a	1,15 ± 0,13 a	2,55 ± 0,25 a	8,97 ± 0,93 b	75,75 ± 1,85 a	113,58 ± 13,05 a	34,63 ± 0,75 a
N-SE-M	28,40 ± 2,62 b	5,64 ± 0,19 a	16,8 ± 0,64 a	1,04 ± 0,02 a	1,19 ± 0,03 a	2,64 ± 0,05 a	9,80 ± 0,06 a	83,58 ± 4,93 a	124,84 ± 11,42 a	41,59 ± 1,45 a
D-SE-MA	27,50 ± 2,26 b	4,87 ± 0,66 a	14,6 ± 1,35 a	0,59 ± 0,17 b	1,11 ± 0,09 a	2,77 ± 0,12 a	8,81 ± 1,16 b	69,60 ± 2,32 a	72,23 ± 6,15 b	33,76 ± 5,22 a
D-SE-A	25,43 ± 2,09 b	5,43 ± 0,13 a	16,4 ± 0,61 a	0,91 ± 0,19 a	1,21 ± 0,08 a	2,69 ± 0,05 a	9,74 ± 0,81 a	72,79 ± 9,10 a	120,54 ± 7,25 a	35,15 ± 3,59 a
D-SE-M	25,90 ± 1,22 b	5,56 ± 0,75 a	15,2 ± 1,20 a	0,94 ± 0,14 a	1,05 ± 0,09 a	2,84 ± 0,28 a	9,93 ± 0,47 a	58,81 ± 6,26 b	71,01 ± 10,61 b	34,92 ± 6,43 a
N-E-MA	27,67 ± 1,48 b	5,12 ± 0,40 a	15,6 ± 1,09 a	0,93 ± 0,04 a	1,20 ± 0,05 a	2,52 ± 0,20 a	9,97 ± 1,22 a	71,03 ± 4,19 a	83,22 ± 11,05 b	36,46 ± 2,08 a
N-E-A	25,10 ± 0,94 b	5,22 ± 0,26 a	15,6 ± 0,74 a	0,92 ± 0,07 a	1,19 ± 0,04 a	2,62 ± 0,28 a	11,1 ± 1,16 a	71,03 ± 4,19 a	133,88 ± 23,60 a	38,05 ± 6,15 a
N-E-M	28,18 ± 2,10 b	5,04 ± 0,17 a	15,0 ± 0,61 a	0,96 ± 0,01 a	1,08 ± 0,06 a	2,74 ± 0,10 a	8,97 ± 0,64 b	62,21 ± 4,76 b	85,26 ± 7,23 b	33,76 ± 2,43 a
D-E-MA	29,10 ± 3,27 b	5,71 ± 0,50 a	16,5 ± 0,85 a	0,92 ± 0,08 a	1,13 ± 0,05 a	2,60 ± 0,10 a	10,5 ± 0,46 a	62,56 ± 4,09 b	114,80 ± 10,03 a	35,07 ± 3,71 a
D-E-A	28,62 ± 3,68 b	5,18 ± 0,50 a	15,9 ± 1,76 a	0,88 ± 0,07 a	1,37 ± 0,51 a	2,71 ± 0,08 a	7,07 ± 0,35 c	70,76 ± 7,77 a	76,70 ± 3,77 b	37,24 ± 9,44 a
D-E-M	28,79 ± 3,85 b	5,25 ± 0,41 a	15,9 ± 1,20 a	0,96 ± 0,05 a	1,12 ± 0,07 a	2,72 ± 0,21 a	10,2 ± 0,96 a	56,53 ± 7,37 b	75,36 ± 5,49 b	36,00 ± 4,42 a
COXILHA	71,92 ± 2,11 a	5,63 ± 0,06 a	15,2 ± 0,28 a	1,06 ± 0,05 a	1,10 ± 0,04 a	2,26 ± 0,36 a	10,1 ± 0,59 a	75,90 ± 3,09 a	32,09 ± 1,25 c	38,88 ± 4,09 a

\* Média ± desvio padrão (n=3). Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente (p>0,05) entre si pelo Teste de Scott-Knott.

Fonte: Autor.



As quantidades de ferro (Fe) exportadas na área de terras baixas variaram de 49,82 mg/kg a 83,58 mg/kg, e na soja quando cultivada em coxilha a exportação foi de 75,90 mg/kg. Os tratamentos da soja em terras baixas N-SE-MA (Novembro-Sem Escarificação-Adubação Muito Alta), D-SE-M (Dezembro-Sem Escarificação-Adubação Média), N-E-M (Novembro-Escarificado-Adubação Média), D-E-MA (Dezembro-Escarificado-Adubação Muita Alta) e D-E-M (Dezembro-Escarificado-Adubação Média) foram os que diferiram estatisticamente do tratamento em coxilha.

Em relação ao micronutriente manganês (Mn), os valores exportados pela cultura quando cultivada em terras baixas foram elevados, variando de 71,01 mg/kg a 120,54 mg/kg e a soja cultivada na coxilha apresentou teor de 32,09 mg/kg. Em relação à exportação desse nutriente, vale ressaltar que todos os tratamentos de terras baixas apresentaram diferença significativa em relação à coxilha. O Mn é absorvido pelas plantas como  $Mn^{2+}$ , e nos ambientes de solos alagados ou com excesso de umidade como são os solos de terras baixas, a redução do  $Mn^{4+}$  aumenta os teores de  $Mn^{2+}$  na solução do solo potencializando sua absorção. A provável causa do aumento desse elemento se deve às condições redutoras criadas pelo excesso de chuvas, o que pode manter os teores de umidade no solo altos durante o cultivo da cultura. As condições de solo mal drenados e com aeração deficiente podem influenciar nesses patamares altos de Mn disponíveis para as plantas, contribuindo de forma expressiva com a disponibilidade do Mn (PINTO, 2012).

#### 4.4 CORRELAÇÃO ENTRE OS INDICADORES DE QUALIDADE

Foi realizada a análise de correlação linear de Pearson entre os componentes centesimal presentes nos grãos de soja a fim de analisar o grau de dependência entre as variáveis, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 - Coeficientes de Correlação de Pearson (r) entre os componentes centesimal presentes nos grãos de soja.

	Coeficientes de Correlação de Pearson (r)				
	Proteína	Óleo	Carboidratos	Cinzas	Umidade
Produtividade	-0,087	0,023	0,009	0,129	0,105
Proteína		0,635	-0,904	-0,368	0,283
Óleo			-0,770	-0,291	-0,015
Carboidratos				0,035	-0,241
Cinzas					-0,046

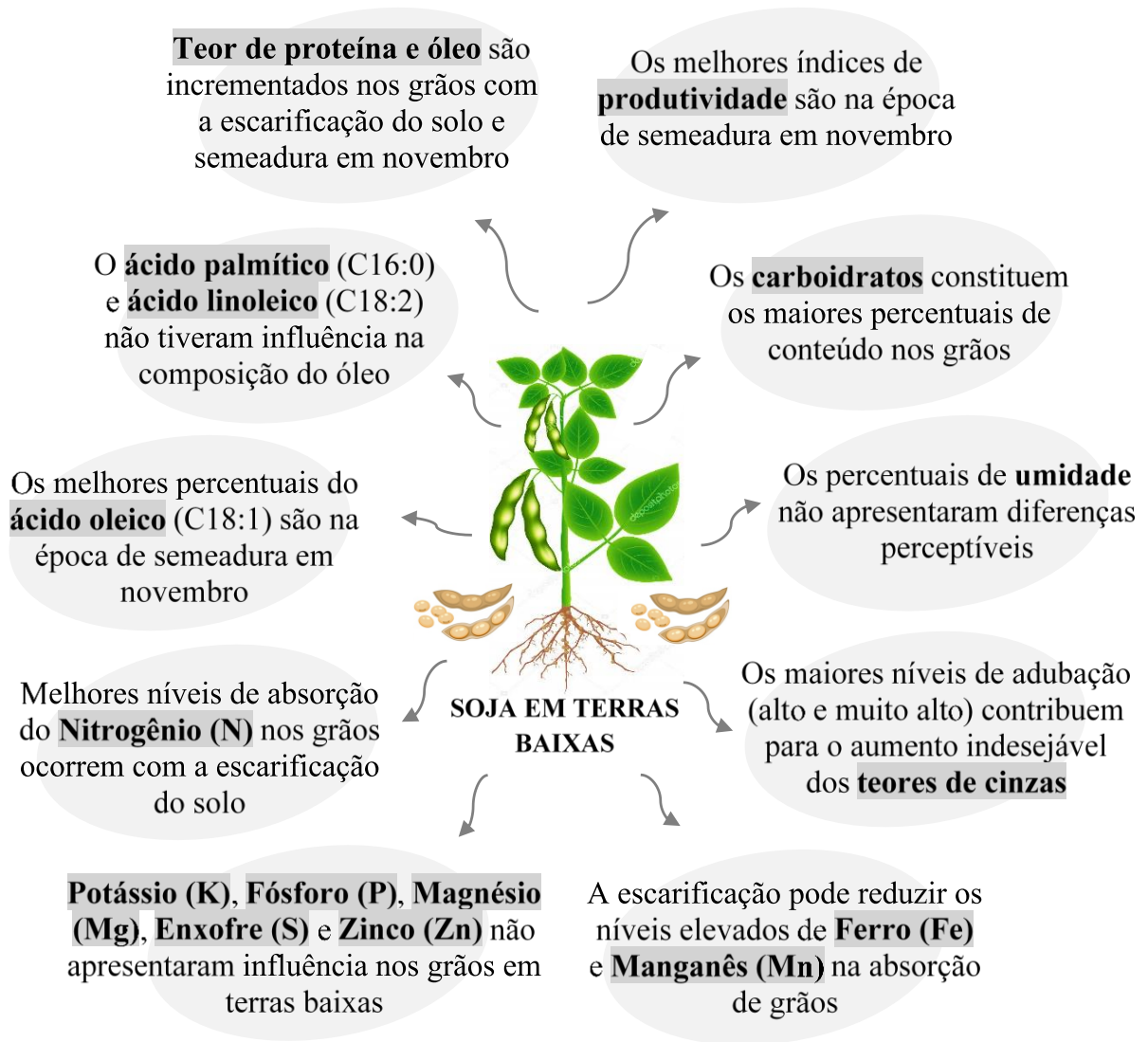
Fonte: Autor.

Entre os valores de proteínas e óleo, o coeficiente de Pearson demonstrou uma correlação positiva ( $r = 0,635$ ). Porém, alguns estudos na área do melhoramento genético (GREGGIO et al., 2014; PÍPOLO et al., 2015) reportaram correlação negativa entre esses fatores, pois à medida que o teor de proteína aumenta, o teor de óleo é reduzido. Em contrapartida, houve correlação negativa ( $r = -0,087$ ) entre as variáveis de produtividade e proteínas, evidenciando a relação inversamente proporcional desses fatores, quando um diminui o outro fator tende a aumentar. A grande maioria das cultivares brasileiras de soja apresentam teores de proteínas relativamente moderados. Isso ocorre porque os programas de melhoramento intensificam estudos em função da característica produtividade e deixam de lado o incremento aos componentes nutricionais do grão. Por sua vez, a relação entre o teor de óleo e produtividade é positiva ( $r = 0,023$ ), o que torna possível manter a produtividade quando se pratica a seleção para alto teor de óleo nessas áreas de terras baixas.

Paralelamente, foi observada correlação negativa significativa entre o teor de carboidratos em relação ao percentual de proteínas e óleo com coeficientes de  $r = -0,904$  e  $r = -0,770$ , respectivamente. Este fato explica que à medida que a cultura apresenta baixo percentual de proteínas e teor de óleo há maior incremento no conteúdo de carboidratos totais. Cabe ainda analisar que o mesmo ocorreu com o teor de cinzas, que apresentou correlação negativa para proteínas ( $r = -0,368$ ) e para o teor de óleo ( $r = -0,291$ ). Isto indica que o aumento de cinzas nos grãos de soja pode levar à diminuição de proteína e óleo.

Em resumo aos resultados do estudo, a Figura 18 apresenta os tratamentos mais promissores das condições de cultivo da soja em terras baixas em relação aos indicadores de qualidade dos grãos.

Figura 18 - Resumo dos tratamentos mais promissores das condições de cultivo da soja na área de terras baixas em relação aos parâmetros de qualidade dos grãos.



Fonte: Autor.

## 5. CONCLUSÕES

I) Os índices de produtividade de grãos se encontram em níveis acima do referencial da média nacional. A época de semeadura em novembro é fator decisivo na manutenção do potencial genético da cultivar utilizada;

II) A escarificação do solo pode contribuir para maiores teores de proteínas e óleo. No que se refere aos percentuais de umidade e carboidratos, estes não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Os carboidratos constituem os maiores percentuais de conteúdo nos grãos de soja cultivados em terras baixas. Em relação à composição do óleo, os principais ácidos graxos da soja como palmítico (C16:0) e linoleico (C18:2) não tiveram influência dos tratamentos. Porém, para o ácido oleico (C18:1) os melhores percentuais são na época de semeadura executada no mês de novembro;

III) Para o nitrogênio (N) e o cobre (Cu), a escarificação do solo permite maiores níveis de absorção pelos grãos de soja. Paralelamente, a época de semeadura e os diferentes níveis de adubação não influenciaram significativamente na composição química de nutrientes nos grãos. No que se refere aos nutrientes Ferro (Fe) e Manganês (Mn), os tratamentos não tiveram diferenças significativas.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstram que o cultivo da soja em terras baixas no Rio Grande do Sul apresenta bom rendimento de grãos, refletindo positivamente na produtividade. Porém, no que se refere à qualidade dos grãos, alguns indicadores como o teor de proteínas, óleo, carboidratos e cinzas ficaram diferentes dos obtidos em soja de coxilha. Isto é reflexo do sistema produtivo do Brasil, em que estudos são intensificados e desenvolvidos em função da característica de produtividade de grãos, deixando de lado seu melhoramento visando à produção de soja com altos parâmetros qualitativos e quantitativos.

É viável mencionar que houve grande dificuldade em explicar as variações das concentrações nutricionais de grãos de soja, pois os processos existentes durante o acúmulo dos componentes nutricionais são sucintos e poucos explorados na literatura até o momento. Foi visto que os principais indicadores de qualidade, como os teores de proteína e óleo, apresentaram níveis baixos em relação à soja de coxilha e são fortemente influenciados pelas condições de cultivo e fatores climáticos da referida safra.

Ainda, conclui-se que a melhor época de semeadura para a soja em terras baixas é no mês de novembro, resultando em melhores produtividade de grãos, como o teor de proteínas e óleo. Além disso, constatou-se que a escarificação contribui para a redução do encharcamento do solo e incremento na composição nutricional dos grãos, principalmente na absorção de nitrogênio (N), sendo que isto reflete em maiores teores de proteínas. Já em relação aos níveis de adubação, estes não apresentaram influência considerada no estudo, pois acredita-se que os teores de nutrientes já estejam em nível de suficiência no solo (teor crítico), mesmo no nível médio, não apresentando respostas de influências claras à adubação.

A partir dos resultados obtidos, observa-se que há grande potencial para a implantação da cultura da soja em terras baixas, especialmente para que isso possa atender à qualidade nutricional e exigências do mercado. Em função de sua importância comercial, é necessário superar esses impasses investindo em pesquisas científicas, melhoramento genético, uso de tecnologias adaptadas e aplicação de estratégias mitigadoras no processo de produção. Diante deste cenário, espera-se que este estudo, conjuntamente com outros, possam proporcionar importantes debates entre produtores e comunidade científica, e que estratégias sejam realizadas no que diz respeito à qualidade dos grãos de soja cultivada em terras baixas no Rio Grande do Sul.

## 7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A avaliação dos indicadores de qualidade de grãos de soja cultivada em terras baixas é rara nos meios acadêmicos e científico. Uma prova disso está na literatura, que carece de informações e resultados significativos em relação ao tema do estudo, especialmente ao considerarmos que o interesse do cultivo de soja em terras baixas tem aumentado. Assim, torna-se imprescindível inspirar futuras pesquisas que contemplem em seus trabalhos:

- Desenvolvimento de tecnologias de cultivo que minimizem os estresses da cultura da soja em ambientes de terras baixas;
- Avaliação do estado nutricional de outras cultivares de soja adaptadas a terras baixas;
- Levantamento bibliográfico sobre o desenvolvimento celular dos corpos proteicos e lipídicos dos cotilédones da soja;
- Averiguação da influência ambiental na composição dos grãos da soja cultivada em terras baixas;
- Investigação, através da biotecnologia, das características genéticas essenciais para cultivares adaptadas em terras baixas;
- Adaptação do melhoramento genético de cultivares de soja em prol de maiores teores de proteínas e óleo em terras baixas;
- Elaboração de recomendações de adubação para o cultivo da soja em terras baixas no Rio Grande do Sul.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRECHT, L. P.; BRACCINI, A. L.; ÁVILA, M. R.; SAYURISUZUKI, L. S.; SCAPIM, C. A.; BARBOSA, M. C. Teores de óleo, proteínas e produtividade de soja em função da antecipação da semeadura na região oeste do Paraná. **Revista Bragantia**, Campinas - SP, v.67, n.4, p. 865-873, 2008.

ALCARDE, J. C.; GUIDOLIN, J. A.; LOPES, A. S. **Os adubos e a eficiência das adubações**. 1998. 43p. ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos. (Boletim Técnico nº3). São Paulo - SP. 1998.

ALENCAR, E. R.; FARONI, L. R.; FILHO, A. F.; PETERNELLI, L. A.; COSTA, R. A. Qualidade dos grãos de soja armazenados em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Viçosa - MG, v.13, n.5, p.600-613, 2009.

ALMEIDA, R. D.; PELUZIO, J. M.; AFFÉRI, F. S. Divergência genética entre cultivares de soja, sob condições de várzea irrigada, no sul do Estado Tocantins. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza - CE, v. 42, n.1, p.108-115. ISSN: 1806-6690. 2011.

ANDRADE, P. J. **Qualidade de grãos de soja produzidos em Mato Grosso entre 2006 e 2016**. 2016. 84f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá - MT, 2016.

ANDRADE, C. A.; FAQUIN, V.; NETO, A. E.; CURI, N.; VEIGA, P. M.; ANDRADE, M. J. Fertilidade de solos de várzea do sul de Minas Gerais para o cultivo do feijoeiro. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília - DF, v.35, n.11, p.2287-2294, 2000.

ANDREOLI, C. V.; ANDREOLI, F. N.; JUNIOR, J. J. **Formação e características dos solos para o entendimento de sua importância agrícola e ambiental**. 20p. Coleção Agrinho. 2012.

ANEC. Associação Nacional dos Exportadores de Cereais. **ANEC 41 - Brazilian Soybeans FOB Parcels**. 2020. Disponível em: <https://anec.com.br/article/contracts-for-soybeans>. Acesso em: 6 jul. 2021.

ANEC. Associação Nacional dos Exportadores de Cereais. **ANEC 42 - Brazilian Soybeans FOB Full Cargo**. 2020. Disponível em: <https://anec.com.br/article/contracts-for-soybeans>. Acesso em: 6 jul. 2021.

ANGHINONI, I.; CARMONA, F. C.; BORIN, J. B. M.; DENARDIN, L. G. O.; MARTINS, A. P.; CARVALHO, P. C. F. Sistemas integrados de produção agropecuária no contexto da lavoura arrozeira. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO. Gramado - RS. **Anais**. 2017. p.164.

ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C.; COSTA, S. E. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. 2013. 56p. **Tópicos em Ciência do Solo**, ISSN: 325-380, 2013.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução - RDC nº360 de dezembro de 2003**. 12p. Ministério da Saúde. 2003.

APROSOJA. Associação Brasileira dos Produtores de Soja. **China será destino de 85% da soja exportada brasileira**. 2020. <https://www.comprerural.com/china-sera-destino-de-85-da-soja-exportada-brasileira/>. Acesso em: 16 jan. 2021.

ARAÚJO, M. A. **Revisão bibliográfica: Avaliação do método de Kjeldahl na determinação de nitrogênio e sua aplicação na análise foliar**. 2019. 39p. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, 2019.

ARGANDOÑA, E. J.; MALDONADE, I. R.; BRENDA, C. A.; JUSTI, P. A.; ALVES, A. V.; SILVA, T. G. **Disciplina de análise de alimentos**. 2017. 106p. ISSN: 978-85-8147-110-5. Universidade Federal de Grande Dourados. 2017.

ARSEGO, D. A.; FERRAZ, S. E.; STRECK, N. A.; CARDOSO, A. O.; ZANON, A. J. Indicadores climáticos e a produtividade de soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologista**, v.34, n.2, p.191-200, 2019.

ARTUZO, F. D.; FOGUESATTO, C. R.; SOUZA, A. R.; SILVA, L. X. Gestão de custos na produção de milho e soja. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, São Paulo - SP. v.20, n.2. ISSN: 1806-4892. p. 273-294. 2018.

ASSEFA, Y.; PURCELL, L. C.; SALMERON, M.; NAEVE, S.; CASTEEL, S. N.; KOVÁCS, P.; ARCHONTOULIS, S.; LICHT, M.; BELOW, F.; KANDEL, H.; LINDSEY, L. E.; GASKA, J.; CONLEY, S.; SHAPIRO, C.; ORLOWSKI, J. M.; GOLDEN, B. R.; KAUR, G.; SINGH, M.; THELEN, K.; LAURENZ, R.; DAVIDSON, D.; CIAMPITTI, I. A. Assessing variation in US soybean seed composition (protein and oil). **Frontiers in Plant Science**, original research, v.10, p.1-13. 2019.

AUGUSTO, F. Cromatografia a Gás: Curso em Diapositivos. **Chemkeys**. Universidade Estadual de Campinas.2000. Disponível em: <http://chemkeys.com/br/>. Acesso em: 18 nov. 2020.

AZAM, M.; ZHANG, S.; QI, J.; ABDELGHANY, A. M.; SHAIKU, A. S.; GHOSH, S.; FENG, Y.; HUAI, Y.; GEBREGZIABHER, B. S.; LI, J.; LI, B.; SUN, J. Profiling and associations of seed nutritional characteristics in Chinese and USA soybean cultivars. **Journal of Food Composition and Analysis**, ScienceDirect, v. 98, 103803, 2021.

BADINELLI, P. G. **Respostas Bioquímicas e Fisiológicas de Plantas Noduladas de Soja submetidas à Hipoxia**. 2008. 103p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - RS, 2008.

BEWLEY, J. D. BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. M.; NONOGAKI, H. Seeds: Physiology of development, germination and dormancy (3rd edition). **Seed Science Research**. ISBN 978-1-4614-4692-7. 2013.

BILS, R. F. HOWELL, R. W. Biochemical and cytological changes in developing soybean cotyledons. **Crop Science**, v. 3, ed.4, p. 304-308. 1963.



BONATO, E. R.; LANGE, C. E.; BERTAGNOLLI, P. F. Desempenho de cultivares de soja de diferentes ciclos em semeaduras de dezembro, na região do planalto médio do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.31, n.6, p.935-940, 2001.

BOSTO, J. H. **Rotação de arroz e soja é opção economicamente viável no Rio Grande do Sul.** Canal Rural. Camaquã - RS. 2014. Disponível em: <https://canalrural.uol.com.br/noticias/rotacao-arroz-soja-opcao-economicamente-viavel-rio-grande-sul-24189/>. Acesso em: 14 de out. de 2019.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 11 de 15 de maio de 2007.** Estabelece o Regulamento Técnico da Soja. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. 2007.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 15 de 09 de junho de 2004.** Condições higiênico-sanitária da soja em grão destinada à comercialização interna e exportação do grão. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. 2004.

BRASIL. **Portaria nº 795 de 15 de dezembro de 1993.** Norma de identidade, qualidade, embalagem, marcação e apresentação do farelo de soja. Brasília - DF, 1993.

BUCHANAN.; GUISSSEM.; JONES. Temas em Fisiologia Vegetal. **Biochemistry & Molecular Biology of Plants**, p. 696-705. 2000.

BUDZISZEWSKI, G. J.; CROFT, K. P.; HILDEBRAND, D. F. **Uses of biotechnology in Modifying plant lipids.** 1996.

CALÇADO, J. P.; PELUZIO, J. M.; SIQUEIRA, G. B.; AFERRI, F. S.; TAVARES, A. T. Épocas de semeadura e períodos de colheita de soja visando produção de óleo e proteínas. **Nativa (Sinop)**, v.7, n.4, p. 376-382, 2019.

CALONEGO, J. C.; GOMES, T. C.; SANTOS, C. H.; TIRITAN, C. S. Desenvolvimento de plantas de cobertura em solo compacto. **Revista Bioscience Journal**, Uberlândia - MG, v.27, n.2, p.289-296, 2011.

CAMARGO, F. A.; SANTOS G. A.; ZONTA, E. Alterações eletroquímicas em solos inundados. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria - RS, v. 29, n. 1, p. 171-180, 1999.

CARMONA, F. C.; DENARDIIN, L. G.; MARTINS, A. P.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. **Sistemas integrados de produção agropecuária em terras baixas.** Departamento de Solos. 164p. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS. 2018.

CARVALHO, C. O. **Comparação entre métodos de extração do óleo de *Mauritia flexuosa* L.f (ARECACEAE-buriti) para o uso sustentável na reserva de desenvolvimento tupé: Rendimento e atividade antimicrobiana.** 2011. 110p. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Amazonas, Manaus - AM, 2011.

CARVALHO, L. C. **Análise econômica da produção de soja RR2 PRO e soja RR1: Estudo de caso no estado de Mato Grosso.** 2015. 67p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu - SP, 2015.

CHEN, Y.; WANG, M.; OUWERKERK, P. B. Molecular and environmental factors determining grain quality in rice. **Food and Energy Security. Association of Applied Biologists**. 2012.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim da safra de grãos**. 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 6 jul. 2021.

CONFORTIN, C. C.; TODERO, I.; LUFT, L.; UGALDE, G. A.; MAZUTTI, M. A.; OLIVEIRA, Z. B.; BOTTEGA, E. L.; KNIES, A. E.; ZABOT, G. L.; TRES, M. V. Oil yields protein contents, and cost of manufacturing of oil obtained from diferente hybrids and sowing dates of canola. **Journal of Environmental Chemical Engineering**. v.7, p.1-12. 2019.

CORRÊA, M. L. **Soja em rotação com o arroz irrigado**. 2015. 31p. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 2015.

COSTA, M. G.; SOUZA, E. L.; STAMFORD, T. L.; ANDRADE, S. A. Qualidade tecnológica de grãos e farinha de trigo nacionais e importados. **Food Science and Technology**, Campinas - SP, v. 28, n.1, p.220-225. 2008.

COSTA, M. M.; MAURO, A. O.; TREVISOLI, S. H.; ARRIEL, N. H.; BÁRBARO, I. M.; MUNIZ, F. R. Ganho genético por diferentes critérios de seleção em populações segregantes de soja. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília - DF, v.39, n.11, p.1095-1102, 2004.

COSMO, B. M.; GALERIANI, T, M. **Determinação de cinzas em amostras de beterraba, capim elefante e farinha de peixe**. 2015. 19p. Universidade Federal do Paraná, 2015.

COSTA, N. P.; MESQUITA, C. M. Perdas e qualidade. **Revista Cultivar**. Embrapa Soja. 2001. Disponível em: <https://www.grupocultivar.com.br/>. Acesso em: 6 jun. 2021.

CUNHA, G. R.; BARNI, N. A.; HAAS, J. C.; MALUF, J. R.; MATZENAUER, R.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M. B.; PIRES, J. L. Zoneamento agrícola e época de semeadura para soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo - RS, v.9, n.3, p.446-459. ISSN: 0101-1347. 2001.

CUSTÓDIO, A. F. **Modelagem e simulação do processo de separação de óleo de soja-hexano por evaporação**. 2003. 247p. Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2003.

DAGOSTIN, J. A. **Estudo da extração etanólica de óleo de soja utilizando ésteres como co-solventes**. 2015. 140f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR, 2015.

DALL'AGNOL, A.; NOGUEIRA, M. A. **Entenda a importância do nitrogênio a nutrição da soja**. 2021. Disponível em: <https://www.paginarural.com.br/artigo/3124/entenda-a-importancia-do-nitrogenio-na-nutricao-da-soja>. Acesso em: 10 ago. 2021.

DALLA, A. R. **Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo - solo Santo Angelo (Latossolo Roxo Distrófico)**. 1981. 174p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS. 1981.

DENARDIM, L. G.; CARMONA, F. C.; FILIPPI, D.; SCHAIDHAUER W.; ANGHINONI, I. Adubação nitrogenada em soja após estresse por hipóxia em terras baixas. In: XI REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Frederico Westphalen - RS. **Anais**. 2016. p.4.

DENNIS, E. S.; DOLFERUS, R.; ELLIS, M.; RAHMAN, M.; WU, Y.; HOEREN, F. U.; GROVER, A.; ISMOND, K. P.; GOOD, A. G.; PEACOCK, W. J. Molecular strategies for improving waterlogging tolerance in plants. **Journal of Experimental Botany**, v.51, nº 342. P. 89-97. 2000.

DONG, X. J.; CHEN, J. Y.; CHEN, S. F.; LI, Y. Z.; JU, X. The composition and anti-inflammatory properties of pumpkin seeds. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v.15, p.1834-1842, 2021.

DOTTO, D. M.; COLPO, R. R.; IOP, S. C.; CIROLINI, A. Percepção dos consumidores de soja e derivados na cidade de Júlio de Castilhos (RS) - Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá - PR, v.8, n.3, p. 585-600. ISSN 1981-9951. 2015.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasília DF. 5.ed.1999. 356p.

EMBRAPA. **Solos Brasileiros**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasília DF. 2011.

EMBRAPA. **Brasil é o quarto maior produtor de grãos e o maior exportador de carne bovina do mundo, diz estudo**. Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/62619259/brasil-e-o-quarto-maior-produtor-de-graos-e-o-maior-exportador-de-carne-bovina-do-mundo-diz-estudo>. Acesso em: 3 jul. 2021.

ESTEVÃO, D. **Brasil pode ganhar mais com a soja se priorizar a qualidade dos grãos**. 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/42730069/brasil-pode-ganhar-mais-com-a-soja-se-priorizar-a-qualidade-do-grao?link=agencia>. Acesso em: 6 jun. de 2021.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. **Manejo da acidez dos solos de cerrado e de várzea do Brasil**. 1999. 45p. Embrapa Arroz e Feijão. Santo Antônio de Goiás - GO. 1999.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: State University of Science and Technology, 11p. (Special Report, 80), 1977.

FARIAS, J. R.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. 2007. 9p. Embrapa. INSS: 1516-7860. Londrina - PR. 2007.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology. 11p. 1977.

FELIZZOLA, J. F.; COSTA, C. F.; VASCONCELOS, S. S. **Passo a passo para uso do cromatógrafo gasoso modelo GC-CP3800**. Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. ISSN 1983-0513. (Circular Técnica). Belém - PA. 2014.

FERRERI, J. R.; MAGALHÃES, P. C.; ALVES, J. D. Efeito do cálcio em plantas de milho "Saracura" BRS-4154 sob condições de alagamento avaliado através da fluorescência da clorofila. In: XXIV CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 2002. Florianópolis - SC. **Anais**. 2002. p.6.

FIORESE, K. F. **Avaliação das características agronômicas e produtividade de cultivares de soja em diferentes sistemas de semeadura**. 2013. 32f. Monografia - Universidade de Brasília. Brasília - DF, 2013.

FORTES, A.; SOUZA, R. O.; SCHMIDT, F.; VAHL, L. C. Toxidez por ácido acético em arroz sob diferentes valores de pH da solução nutritiva. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.6, p.1581-1588. ISSN 0103-8478. Santa Maria - RS, 2008.

FREITAS, M. A.; GILIOLI, J. L.; MELO, M. A.; BORGES, M. M. **O que a indústria quer da soja?** Revista Cultivar. 2001. Disponível em: <https://www.grupocultivar.com.br/artigos/o-que-a-industria-quer-da-soja>. Acesso em: 6 jul. 2021.

FREITAS, M. C. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Revista Centro Científico Conhecer**, Goiânia - GO, v.7, n.12, 12p, 2011.

FUENTES, P. H. **Avaliação da qualidade de óleos de soja, canola, milho e girassol durante o armazenamento**. 2011. 109p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2011.

GABARDO, C. B. **Padrão de qualidade dos grãos de soja no mercado internacional**. 2018. 27f. Monografia - Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR, 2018.

GHISLENI, G.; BRAUWERS, L. P.; MARTINS, A. P.; VALER, J. Gesso em terras baixas: alterações químicas do solo e resposta do arroz irrigado e da soja. **Revista Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.26, n.1, p. 332-346, 2020.

GIRALDELI, A. L. **Qual o teor de umidade de armazenamento da soja?** Lavoura. 2020. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/umidade-de-armazenamento-da-soja/>. Acesso em: 3 jul. 2021.

GITTI, D. C.; ROSCOE, R. **Manejo e fertilidade do solo para a cultura da soja**. Manejo e fertilidade do solo. Fundação MS. Manejo e fertilidade do solo. 30p. 2017.

GOODING, M. J. The effects of growth environment and agronomy on grain quality. **Woodhead Publishing Limited**. 20p. 2010.

GOMES, A. S.; PORTO, M. P.; PARFITT, J. M.; SILVA, C. A.; SOUZA, R. O.; PAULETTO, E. A. **Rotação de culturas em áreas de várzea e plantio direto de arroz**. 2002. 65p. Embrapa Clima Temperado. ISSN: 1516-8840. Pelotas - RS. 2002.

GONZALEZ, S. L.; SYCHOSKI, M. M.; DÍAZ-NAVARRO, H. J.; CALLEJAS, N.; SAIBENE, M.; VIEITEZ, I.; JACHMANÍAN, I.; SILVA, C.; HENSE, H.; OLIVEIRA, J. V. Continuous Catalyst-Free Production of Biodiesel through Transesterification of Soybean Fried Oil in Supercritical Methanol and Ethanol. **Energy & Fuels**, v. 27, n.9, p. 5253-5259. 2013.

GREGGIO, H. A.; BONINI, E. A. Qualidade do grão de soja relacionada com o teor de acidez do óleo. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.7, n.3, p. 645-658. ISSN:1981-9951. 2014.

HARTMAN, L.; LAGO, R. A. **Rapid preparation of fatty acid methyl esters**. Laboratory Practice, v.22, p.475-476,1973.

HATTORI, R.; MATSUMURA, A.; YAMAWAKI, K.; TARUI, A.; DAIMON, H. Effects of flooding on arbuscular mycorrhizal colonization and root-nodule formation in different roots of soybean. **Journal Agricultural Sciences**, v.4, n.12, p.673-677. 2013.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. 2014. 37p. ISSN 2176-2937. Londrina - PR. 2014.

HU, M.; WIATRAC, P. Effect of planting date on soybean growth, yield and grain quality: review. **Agronomy Journal**, vol. 104, n.3, p.785-789. 2012.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I, C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. 48p. ISSN: 1516-7880. 2001.

IAL. Instituto Adolfo Lutz. **Manual de Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 2008. Edição Digital. São Paulo - SP. 2008. 1000 p.

IBSCH, R. B.; SOUZA, C. K. **Desafios para redução de ácidos graxos *trans* e saturados em gorduras vegetais**. 2017. Disponível em: <https://www.editorastilo.com.br/desafios-para-reducao-de-acidos-graxos-trans-e-saturados/>. Acesso em: 6 jun. 2021.

IGNACIO, A. H. **Caracterização e análise físico-química do extrato de soja e extrato de café visando a formulação de uma bebida mista**. 2017. 36p. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina - PR, 2017.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados histórico anuais**. 2021. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 18 maio. 2021.

IRGA. Instituto Rio Grandense do Arroz. Manejo para alta produtividade em terras baixas. Safra 2016/17. Soja 6000. **Revista Atual**. 2ª ed. Porto Alegre - RS. Editora RJR Ltda. 2018. 96p.

JUNIOR, F. V.; GOMES, A. S.; SCHUCH, L. O. Sustentabilidade de sistemas de rotação e sucessão de culturas em solos de várzea no Sul do Brasil. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria - RS, v.39, n.6, p.1708-1714, 2009.

JUNIOR, J. A. **Avaliação de cultivares de soja semeadas em solos de várzea com e sem sistema de camalhões.** 2013. 46p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados - MS, 2013.

JUNIOR, J. A. **Cultivares de soja e milho semeadas em solo de várzea com e sem camalhões.** 2017. 81f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados - MS, 2017.

JÚNIOR, J. A.; SOUZA, C. M.; ARCOVERDE, S. N.; CECCON, G.; SOARES, A. M. Desempenho agrônomico de cultivares de soja em épocas de semeadura, em solo glei húmico com sistema de camalhões. **Revista Scientia Agraria Paranaensis.** Marechal Cândido Rondon - PR, v.18, n.1, p. 9-14, 2018.

KIST, B. B. **O arroz não está mais só: ele casa bem com a soja.** 2020. Disponível em: <https://www.gaz.com.br/o-arroz-nao-esta-mais-so-ele-casa-bem-com-a-soja/>. Acesso em: 6 jun. 2021.

KLAMT, E.; KAMPF, N.; SCHNEIDER, P. **Solos de várzea no estado do Rio Grande do Sul.** Emater. 49p. Departamento de solos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS. 1985.

KRUG, F. J. **Espectrometria de absorção atômica.** Parte 1. Fundamentos e atomização com chama. 25p. 2006.

LANDGRAF, L. **Brasil pode ganhar mais com a soja se priorizar a qualidade do grão.** Embrapa. Produção Vegetal. 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/42730069/brasil-pode-ganhar-mais-com-a-soja-se-priorizar-a-qualidade-do-grao?link=agencia>. Acesso em: 6 jul. 2021.

LAZZAROTTO, J. J.; HIRAKURI, M. H. **Evolução e perspectivas de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro.** 47p. 2010. Embrapa Soja. ISSN: 2176-2937. Londrina - PR. 2010.

LEMES, M. R. **Extração do óleo de gergelim.** 2018. 37p. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, 2018.

LEMOS, M. L.; GUIMARÃES, D. D.; MAIA, G. B.; AMARAL, G. F. **Agregação de valor na cadeia da soja.** Agroindústria. BNDES Setorial, p. 167-217, 2017.

LIMA, A. C.; NASCIMENTO, R. F.; BARBOSA, P. G.; SILVA, V. P. **Princípios básicos. Cromatografia gasosa: Aspectos teóricos e práticos.** Imprensa Universitária. ISBN: 978-85-7485-326-0. 2018. 334p.

LIMA, L. A.; CHIQUETTO, N. C.; ALMEIDA, M. M. Oficina de análise de alimentos - Determinação de proteína. In: 15º CONEX. 2017. Ponta Grossa - PR. **Anais.** 2017. 6p.

LIU, K. **Chemistry and Nutritional Value of Soybean Components.** Soybeans. Ed: Chapman & Hall. 1997. 89p.

LIU, K. **Soybeans. Chemistry, Technology and Utilization.** ISBN 978-1-4613-5711-7. Springer Science+Business Media Dordrecht. 1997. 557p.

LONDERO, G. T. **Resposta da soja a adubação em solo de várzea e efeito residual em arroz irrigado.** 2012. 55p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2012.

LOPEZ, C. J.; CARPENA, M.; LOPES, L. C.; GOMEZ, M. G.; LORENZO, J. L. BARBA, F. J.; PRIETO, M. A.; GANDARA, J. S. Bioactive Compounds and Quality of Extra Virgin Olive Oil. *Foods*, 10.3390/foods9081014, 2020.

LOUZADA, J. A.; CAICEDO, N.; HEIFER, F. Condições de drenagem relacionadas ao trânsito de máquinas em solo de várzea (RS-Brasil). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v.12, n.1, p.98-106, 2008.

LUDWIG, M. P.; CORRÊA, M. F.; JUNIOR, L. O.; PAZZIN, D.; NUNES, T. L. **Produtividade de cultivares precoces de soja em várzea, sob alagamento durante o período vegetativo e reprodutivo.** Pesquisa de Soja na Embrapa Clima Temperado. Pelotas - RS. 2011.

LUDWIG, M. P.; OLIVEIRA, S.; SCHUCH, L. O.; JUNIOR, F. J.; SEUS, R.; CORRÊA, M. F.; NUNES, T. L. Produção de sementes de soja sobre solo de várzea alagada. **Revista de Agricultura**, v.90, n.1, p. 1-16, 2015.

LUIZ, M. C. **Efeito da época de semeadura e população de plantas sobre o potencial produtivo e caracteres agrônômicos em soja.** 2018. 72p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG. 2018.

MACHADO, R. L.; TURATTI, A. L.; MACHADO, A. L.; ALONÇO, A. S.; REIS, A. V. Estudo de parâmetros físicos em solo de várzea, antes e após escarificação. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas - RS, v.2, n.3, p. 175-178, 1996.

MAGNONI, D. **As diferenças entre os óleos usados no dia a dia da cozinha.** 2016. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/blog/letra-de-medico/as-diferencas-entre-os-oleos-usados-no-dia-a-dia-da-cozinha/>. Acesso em: 6 jul. 2021.

MAKUCH, E. I. **Influência de ambientes de produção e de cultivares nos teores de óleo e proteína em soja.** 2017. 68p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava - PR, 2017.

MALUF, R. S.; FLEXOR, G. **Questões agrárias, agrícolas e rurais.** E-papers Serviços Editoriais Ltda. ISBN 978-85-7650-561-7. Rio de Janeiro - RJ, 2017. 330p.

MANDARINO, J. M.; HIRAKURI, M. H.; ROESSING, A. C. **Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos.** 41p. Embrapa Soja. Londrina - PR. 2015.

MARCHESAN, E. Desenvolvimento de tecnologias para cultivo de soja em terras baixas. **Revista eletrônica competências digitais para agricultura familiar**, v.2, n.1, p. 4-19, 2016.

MARCHESAN, E.; ARAMBURU, B. B.; VIZZOTTO, V. R.; OLIVEIRA, M. L.; CASTRO, I. A.; TONETTO, F.; GIACOMELI, R. **Sistemas de implantação e seus efeitos na resistência mecânica do solo à penetração de raízes e na produtividade de soja em área de várzea.** 2013. 4p. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2013.

MARCHESAN, E.; SARTORI, G. M.; DAVID, R.; CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; DONATO, G.; FILHO, A. C.; SILVA, M. F. Rendimento de grãos de soja em função de sistemas de plantio e irrigação por superfície em Planossolos. **Revista Agropecuária Brasileira**, Brasília - DF, v.50, n.12, p.1139-1149. Universidade Federal de Santa Maria. 2015.

MARIN, R. **Diagnóstico das propriedades rurais que utilizam rotação arroz/soja em áreas de várzeas no município de São Gabriel, RS.** 2014. 31p. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Pampa, São Gabriel - RS, 2014.

MARTINS, G. **História da Soja no Brasil.** Nutrição de Safras. 2019. Disponível em: <https://www.nutricaoodesafras.com.br/historia-da-soja-no-brasil/>. Acesso em: 6 jul. 2021.

MARTINS, J. A. **Caracteres epidemiológicos e uso da análise de agrupamento para a resistência parcial à ferrugem da soja.** 2006. 66p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, 2006.

MATOS, S. R.; OLIVEIRA, S. P.; PEREIRA, E. Y. **Ciências agrárias: conhecimentos científicos e técnicos e difusão de tecnologias.** Ciências Agrárias e Multidisciplinar. ISBN 978-65-5706-186. ed. Atena. Ponta Grossa - PR. 2020. 41p.

MENEZES, E. W.; PURGATTO, E. **Determinação de cinzas em alimentos.** Departamento de alimentos e nutrição experimental. Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 2016.

MENTGES, M. I.; REICHERT, J. M.; GUBIANI, P. I.; REINERT, D. J.; XAVIER, A. Alterações estruturais e mecânicas de solo de várzea cultivado com arroz irrigado por inundação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.221-231, 2013.

MILHOME, A. L.; LIMA, A. C.; MARTINS, F. I.; GUDES, J. A.; NASCIMENTO, R. F.; SILVA, V. F.; BARBOSA, P. G. Detectores. **Cromatografia gasosa: Aspectos teóricos e práticos.** ISBN: 978-85-7485-326-0. (Imprensa Universitária). 2018. 334p.

MILLIGAN, E. D.; TANDY, D. C. Field evaluation of Extraction performance. **Journal of the American Oil Chemists' Society.** v.61, p.1383-1387, 1984.

MIRANDA, S. S. **Análise da dinâmica de regulação de genes associados à parede celular em diferentes estágios de desenvolvimento de soja.** 2018. 158p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, Campos dos Goytacazes - RJ, 2018.

MONMA, M.; SUGIMOTO, T.; HASHIZUME, K.; SAIO, K. Biogenesis of Protein Bodies in Embryonic Axes of Soybean Seeds (*Glycine max. cv. Enrei*). **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, p.1036-1040. 1992.



MÜLLER, E. A. Capacidade de preparos de solo reduzirem limitações físicas naturais de áreas de várzea para o cultivo de soja. 2015. 86p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS. 2015.

MÜLLER, F. M.; REINERT, D. J.; MUNHOZ, M. A.; RIES, A. L.; DIAS, J. F.; FLÔRES, J. R.; FONSECA, O.; PRADE, C. J.; HEY, H. L.; ESTIVALETE, V. F.; ROCHA, F. B. **Produção Agropecuária em Terras Planas**. 2008. 58p. E-book. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais. 2008.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja. Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. Departamento de plantas de lavoura. Porto Alegre - RS. 2005. 31p.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v.27, p. 31-36, 1962.

NASCIMENTO, K. R. Especial Expodireto: Donmario apresenta dois lançamentos na Expodireto Cotrijal 2016. **Revista Cultivar**. 2016. Disponível em: <https://www.grupocultivar.com.br/noticias/especial-expodireto-donmario-apresenta-dois-lancamentos-na-expodireto-cotrijal-2016>. Acesso em: 6 jul. 2021.

NETO, M. C. Manejo de solo para viabilizar o cultivo de milho em áreas de várzea. 2016. 49p. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Pampa, Alegrete - RS, 2016.

NUNES, J. L.; GIRACCA, E. M. **Cálcio**. 2016. Disponível em: [https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/calcio\\_361447.html](https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/calcio_361447.html). Acesso em: 13 de out. de 2019.

NUNES, J. L.; GIRACCA, E. M. **Nutrientes**. 2016. Disponível em: [https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/nutrientes\\_361443.html](https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/nutrientes_361443.html). Acesso em: 14 de out. de 2019.

OLIVEIRA, A. B.; LEITE, R. M.; JUNIOR, A. A.; SEIXAS, C. D.; KERN, H. S. **Soja. O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Embrapa. 280p. Brasília - DF. 2019.

OLIVEIRA, L. E. **Respiração em Plantas**. Temas em Fisiologia Vegetal. Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG. 2015.

ORMOND, A. T. **Sistemas de semeadura e manejo do solo no desenvolvimento da cultura da soja**. 2013. 72p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis - MT, 2013.

OSTER, V. V. **Influência do tempo de extração e da razão amostra: Solvente no processo de extração do óleo do caroço do pequi visando a produção de biodiesel**. 2013. 75p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas - TO, 2013.

PARFITT, J. M.; WINKLER, A. S.; SILVA, J. T.; PINTO, M. A.; TIMM, P. A.; TIMM, L. C.; BUENO, M. V. **Manejo da água no cultivo da soja em rotação com arroz irrigado em área não sistematizada**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. ISSN 1516-8840. Pelotas - RS. 2017.

PEIXOTO, C. P.; CÂMARA, G. M.; MARTINS, M. C.; MARCHIORI, L. F.; GUERZONI, R. A.; MATTIAZZI, P. Épocas de semeadura e densidade de plantas de soja: I. Componentes da produção e rendimento de grãos. **Revista Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n.1. ISSN: 1678-992. 2000.

PELÚZIO, J. M.; FIDELIS, R. R.; JÚNIOR, D. A.; SANTOS, G. R.; DIDONET, J. Comportamento de cultivares de soja sob condições de várzea irrigada no sul do estado do Tocantins, entressafra 2005. **Bioscience Journal**, Uberlandia - MG, v.24, n.1, p. 75-80, 2008.

PENG, B.; LUO, T.; CHEN, F.; WANG, M.; ZHENG, L. F.; LI, J.; DENG, Z. Y. Medium- and long-chain triglycerides attenuate lipid accumulation and regulate the expression of proteins related to lipid metabolism in oleic acid-induced lipid deposition in human hepatic LO2 cells. **Journal of Functional Foods**, v. 78, p.1-9. 2021.

PERINA, E. F.; CARVALHO, C. R.; CHIORATO, A. F.; LOPES, R. F.; GONÇALVES, J. G.; CARBONELL, S. A. Technological quality of common bean grains obtained in diferente growing seasons. **Bragantia**, v.73, n.1, p. 14-22, 2014.

PÉTRI, A. **Soja: recorde de 149 sacas por hectare será quebrado este ano?** Soja Brasil. 2020. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/projeto-soja-brasil/noticia/soja-recordecesb/>. Acesso em: 18 maio. 2021.

PINTO, A. S. **Adubação com Manganês em soja. Efeitos no solo e na planta.** 2012. 58p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita”, Jaboticabal – SP, 2012.

PINTO, M. O. **Regulação da biossíntese de ácidos graxos insaturados durante a ontogenia de sementes de soja.** 2008. 89p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2008.

PINTO, F. F.; BALARDIN, R.; DEBORTOLI, M.; MADALOSSO, M. **Desempenho de cultivares de soja em áreas de várzeas.** 2013. Disponível em: <https://www.grupocultivar.com.br/artigos/desempenho-de-cultivares-de-soja-em-areas-de-varzeas>. Acesso em: 14 de out. de 2019.

PÍPOLO, A. E. **Influência da temperatura sobre as concentrações de proteína e óleo em sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill).** 2002. 128f. Tese (Doutorado) - Estado de São Paulo, Piracicaba - SP, 2002.

PÍPOLO, A. E.; HUNGRIA, M.; JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; MANDARINO, J. M. **Teores de óleo e proteínas em soja: fatores envolvidos e qualidade para a indústria.** 2015. 16p. ISSN 2176-2889. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Londrina - PR. 2015.

PIRES, J. L.; SOPRANO, E.; CASSOL, B. Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília - DF, v.37, n.1, p.41-50, 2002.

PONTES, H. L. J.; CARMO, B. B. PORTO, A. J. Problemas logísticos na exportação brasileira da soja em grão. **Revista Sistemas & Gestão**, v.4, n. 2, p. 155-181, 2009.

PRADO, R. **Avaliação comparativa entre a extração do óleo de soja com hexano e álcool anidro e as diferenças físico-químicas no farelo**. 2014. 32p. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal de Paraná, Ponta Grossa, 2014.

RADMANN, V. **Desempenho de cultivares de arroz submetidos à calagem e manejos de água em campos naturais do sul do Amazonas**. 2017. 204f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - RS, 2017.

RAMOS, J. R. **Determinação de Molibdênio em amostras de fertilizantes por espectrometria de absorção atômica em chama**. 2006. 33f. Monografia - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2006.

RASSINI, J. B.; REIS, A. E.; MACEDO, J. **Caracterização de várzeas na região dos cerrados**. 1984. 15p. (Boletim de pesquisa. n.22). Embrapa. 1984.

REIS, I. R.; FILHO, B. G.; CASTRO, C. V.; LAMEIRA, C. N.; ROSSATO, V. Trocas gasosas e alocação de biomassa em plantas jovens de Curauá (*Ananas erectifolius* L. B Smith) submetidas ao alagamento. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre - RS, v.5, n.2, p. 507-509, 2007.

REZENDE, P. M.; CARVALHO, E. A. Avaliação de cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] para o sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n.6, p. 1616-1623, 2007.

RIBEIRO, B. S.; STRECK, N. A.; SILVA, M. R.; ALVES, A. F.; SILVA, S. D.; JUNIOR, A. J.; TARDETTI, F. A.; BRONDANI, I. H.; SANTOS, A. T.; FRIEDRICH, E. D.; RODRIGUES, L. B. Soja em várzea: Componentes secundários de produtividade para altos rendimentos. In: 42ª REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 2018. Três de Maio - RS. **Anais**. 2018.

RITCHIE, W. S.; HANWAY, J. J.; THOMPSON, E. H.; BENSON, O. G. **How a soybean plant develops**. nº 53. 24p. Editor ISU Service. University of Science and Technology Cooperative Extension Service. 1985.

ROCHA, M.; STRECK, T. S.; GIOVANA, G. R.; WEBER, P. S.; ZANON, A. L.; RICHTER, G. L.; DUARTE, A.; TAGLIAPIETRA, E. L.; SILVA, M. R.; BEXAIRA, K. P.; LANDSKRON, G. R.; MILANESI, R.; PULTEL, S.; ANDRADE, F.; SCHUTZ, R. P. **Época de semeadura para reduzir a lacuna de produtividade de soja em terras baixas no Rio Grande do Sul**. Portal Mais Soja. 2018.

RODRIGUES, J. I. S.; MIRANDA, F. D.; FERREIRA, A.; BORGES, L. L.; FERREIRA, M. F. S.; GOOD-GOD, P. I. V.; PIOVESAN, N. D.; BARROS, E. G.; CRUZ, C. D.; MOREIRA, M. A. Mapeamento de QLT para conteúdos de proteína e óleo em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 5, p. 472-480, 2010.

- ROSALINO, P. K. **Manejo do solo na entressafra do arroz e sua influência na emissão de gases de efeito estufa e na produtividade da cultura da soja.** 2014. 68p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2014.
- ROSSO, R. B.; PEITER, M. X.; ROBAINA, A. D.; TORRES, R. R.; KIRCHNER, J. H. Uso de camalhões de base para a viabilização do cultivo de soja em terras baixas. **Revista Irriga**, Botucatu - SP, v.23, n.4, p.679-696, 2018.
- SÁ, J. S.; CRUCIANI, D. E.; MINAMI, K. Efeitos de inundações temporárias do solo em plantas de ervilha. **Revista Horticultura Brasileira**, Brasília - DF, v.22, n.1, p.50-54, 2004.
- SAIO, K.; KONDO, K.; SUGIMOTO, T. Changes in Typical Organelles in Developing Cotyledons of Soybean. **Food Structure**, v. 4, n. 2. p. 191-198, 1985.
- SAMADI, B. Y.; RINNE, R. W.; SEIF, R. D. Components of Developing Soybean Seeds: Oil, Protein, Sugars, Starch, Organic Acids, and Amino Acids. **Agronomy Journal**, p.481-486. 1977.
- SANTOS, A. C.; OLIVEIRA, B. A.; GOMES, I. F.; GROFF, A. M. Fatores e técnicas de produção e sua influencia na produtividade e qualidade da soja. In: XI ENCONTRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL. **Anais**. 2017. p.8.
- SANTOS, L. M. **Estudos de diferentes técnicas da espectrometria de absorção atômica na determinação de elementos inorgânicos em matrizes de interesse sanitário.** 2009. 145f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 2009.
- SANTOS, P. E. **Marcos regulatórios, inovações biotecnológicas e a concentração da indústria de sementes de soja, milho e algodão no Brasil.** 2013. 175f. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília, Brasília - DF, 2013.
- SARTORI, G. M.; MARCHESAN, E.; DAVID, R.; DONATO, N. G.; COELHO, L. L.; AIRES, N. P.; ARAMBURU, B. B. Sistemas de preparo do solo e de semeadura no rendimento de grãos de soja em área de várzea. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria - RS, v.46, n.3, p.492-498, 2016.
- SCHMIDT, F.; FORTES, M. A.; WESZ, J.; BUSS, G. L.; SOUZA, R. O. Impacto do manejo da água na toxidez por ferro no arroz irrigado por alagamento. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.37, p.1226-1235, 2013.
- SCHOLLES, D.; VARGAS, L. K. Viabilidade da inoculação de soja com estirpes de *Bradyrhizobium* em solo inundado. Seção III - Biologia do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p.973-979, 2004.
- SCIVITTARO, W. B.; GOMES, A. S. **Adubação e calagem para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul.** Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (Circular Técnica). ISSN 1981-5999. Pelotas - RS. 2007.
- SECEX. Secretária de Comércio Exterior. **Legislação.** 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/acesso-a-informacao/legislacao>. Acesso em: 6 jul. 2021.

SEED GENE NETWORK. **Publications**. 2020. Disponível em: <http://seedgenenetwork.net/>. Acesso em: 6 jun. 2021.

SHIMAMURA, S.; MOCHIZUKI, T.; NADA, Y.; FUKUYAMA, M. Formation and function of secondary aerenchyma in hypocotyl, roots and nodules of soybean (*Glycine max*) under flooded conditions. **Plant and Soil**, p.351–359, 2002.

SILVA, C. A.; PARTITT, J. M. **Drenagem superficial para diversificação do uso dos solos de várzea do Rio Grande do Sul**. 10p. ISSN 1516-8832. (Circular Técnica n°40). Pelotas - RS. 2004.

SILVA, C. A.; THEISEN, G.; PARFITT, J. M.; SILVA, J. J.; POHIMANN, N. F.; CARVALHO, E. N.; SEGABINAZI, D. R. **Sistema sulco/camalhão para irrigação e drenagem em áreas de várzea**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. ISSN: 1806-9185. Pelotas - RS. 2007.

SILVA, C. B.; FALEIRO, F. G.; PEREIRA, J. E.; PEIXOTO, J. R.; MALAQUIAS, J. V.; PÁDUA, J. G.; CHAVES, L. J. **Melhoramento de plantas: variabilidade genética, ferramentas e mercado**. Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas. 108p. Brasília - DF. 2018.

SILVA, E. M. **Como ter sucesso no cultivo de arroz em rotação com soja**. 2019. Disponível em <https://blog.aegro.com.br/cultivo-de-arroz/>. Acesso em: 14 de outubro de 2019.

SILVA, F. D. **Melhoramento da soja visando produtividade e teores de óleo e proteína nos grãos**. 2019. 73f. Tese (Doutorado). Universidade de Lavras, Lavras - MG, 2019.

SILVA, J. L.; BERBERT, P. A.; AFONSO, A. D.; RUFATO, S. **Qualidade dos grãos. Secagem e Armazenamento de Produtos Agrícolas: Cap. 4**. Universidade Federal de Viçosa. 43p. Viçosa - MG. 2012.

SILVA, L. S.; RANNO, S. K. Calagem em solos de várzea e a disponibilidade de nutrientes na solução do solo após o alagamento. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria - RS, v.35, n.5, p.1054-1061. ISSN 0103-8478. 2005.

SMITH, L. H. **Seed development metabolism and composition**. Department of Agronomy and Plant Genetics. University of Minnesota. 1984. 40p.

SOUSA, D. M.; LOBATO, E. **Correção do solo e adubação da cultura da soja**. (Circular Técnica n° 33). ISSN 0102-0102. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Planaltina - DF. 1996.

SOUSA, J. R. **Indicadores de perda de qualidade em grãos de soja**. 2015. 101p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá - MT, 2015.

SOUZA, J. V. **Sustentabilidade ambiental: análise da degradação e perturbação ambiental na mata ciliar do rio Mandú, município de Pouso Alegre (MG)**. 2012. 168f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro - SP, 2012.

SOUZA, L. C.; ZANON, G. D.; PEDROSO, F. F.; ANDRADE, L. H. Teor de proteína e de óleo nos grãos de soja em função do tratamento de sementes e aplicação de micronutrientes. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras - MG, v.33, n.6, p.1585-1593, 2009.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 1995. 170p. Departamento de solos. (Boletim Técnico nº5). Universidade do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre - RS, 1995.

THOMAS, A. L. **Modificações morfológicas e assimilação de nitrogênio em plantas de soja (*Glycine max*) com sistemas radiculares sob deficiência de O<sub>2</sub>**. 2004. 87f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2004.

THOMAS, A. L. **Soja: Tipo de crescimento da planta**. Universidade Federal do Rio Grande - UFRGS. 2018. Porto Alegre - RS. ISBN 978-85-9489-131-0. 59p.

THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. **Soja: manejo para alta produtividade de grãos**. 2010. 248p. ISBN 978-85-7727-226-6. Evangraf. Porto Alegre - RS. 2010.

THOMAS, A. L.; GUERREIRO, S. M.; SODEK, L. Aerenchyma Formation and Recovery from Hypoxia of the Flooded Root System of Nodulated Soybean. **Annals of Botany**, v.96, p.1191-1198. 2005.

THOMAS, A. L.; LANGE, C. E. **Soja em solos de várzea do sul do Brasil**. Ed: Evangraf. ISBN 978-85-7727-638-7. Porto Alegre - RS. 2014. 128p.

THOMISON, P. R.; GEYER, A. B. Nitrogen fertility effects on grain yield, protein and oil of corn hybrids with enhanced grain quality traits. **Plant Management Network**. 2004.

TRZECIAK, M. B. **Formação de sementes de soja: aspectos físicos, fisiológicos e bioquímicos**. 2012. 131f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP, 2012.

VALENTE, A. A. **Análises de alimentos**. 2011. 41p. Universidade Federal de Goiás. Jataí - GO. 2011.

VASCONCELOS, A. A.; DANTAS, H. A.; DANTAS, K. G.; CUNHA, R. L.; CUNHA, E. F.; ARAÚJO, F. C.; LOPES, A. S.; CAMPOS, W. E.; TAUBE, P. S. Determinação dos teores de Cu, Fe, Mn e Zn por FAAS em raízes de mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) da Amazônia Oriental. **Revista Virtual de Química**, v.9, n.6. ISSN: 1984-6835. 2017.

VEDELAGO, A. **Adubação para a soja em terras baixas drenadas no Rio Grande do Sul**. 2014. 83p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande, Porto Alegre - RS, 2014.

VISENTAINER, J. V. Aspectos analíticos da resposta do detector de ionização em chama para ésteres metílicos de Ácidos graxos em biodiesel e alimentos, **Química Nova**, v.35, n.2, p.274-279. 2012.

WEBSTER, B. D.; LEOPOLD, A. C. The ultrastructure of dry and imbibed cotyledons of soybean. **American Journal of Botany**, v.64, n. 10, p. 1286-1293, 1977.

WEI, J.; LIU, X.; LI, L.; ZHAO, H.; LIU, S.; YU, X.; SHEN, Y.; ZHOU, Y.; ZHU, Y.; SHU, Y.; MA, H. Quantitative proteomic, physiological and biochemical analysis of cotyledon, embryo, leaf and pod reveals the effects of high temperature and humidity stress on seed vigor formation in soybean. **BMC Plant Biology**, p. 1-15, 2020.

WOLF, R. B.; CAVINS, L. F.; KLEIMAN, R.; BLACK, L.T. Effect of temperature on soybean seed constituents: oil, protein, moisture, fatty acids, amino acids and sugars. **Journal of the American Oil Chemists' Society (JAOCS)**, v.59, n.5, 1982.

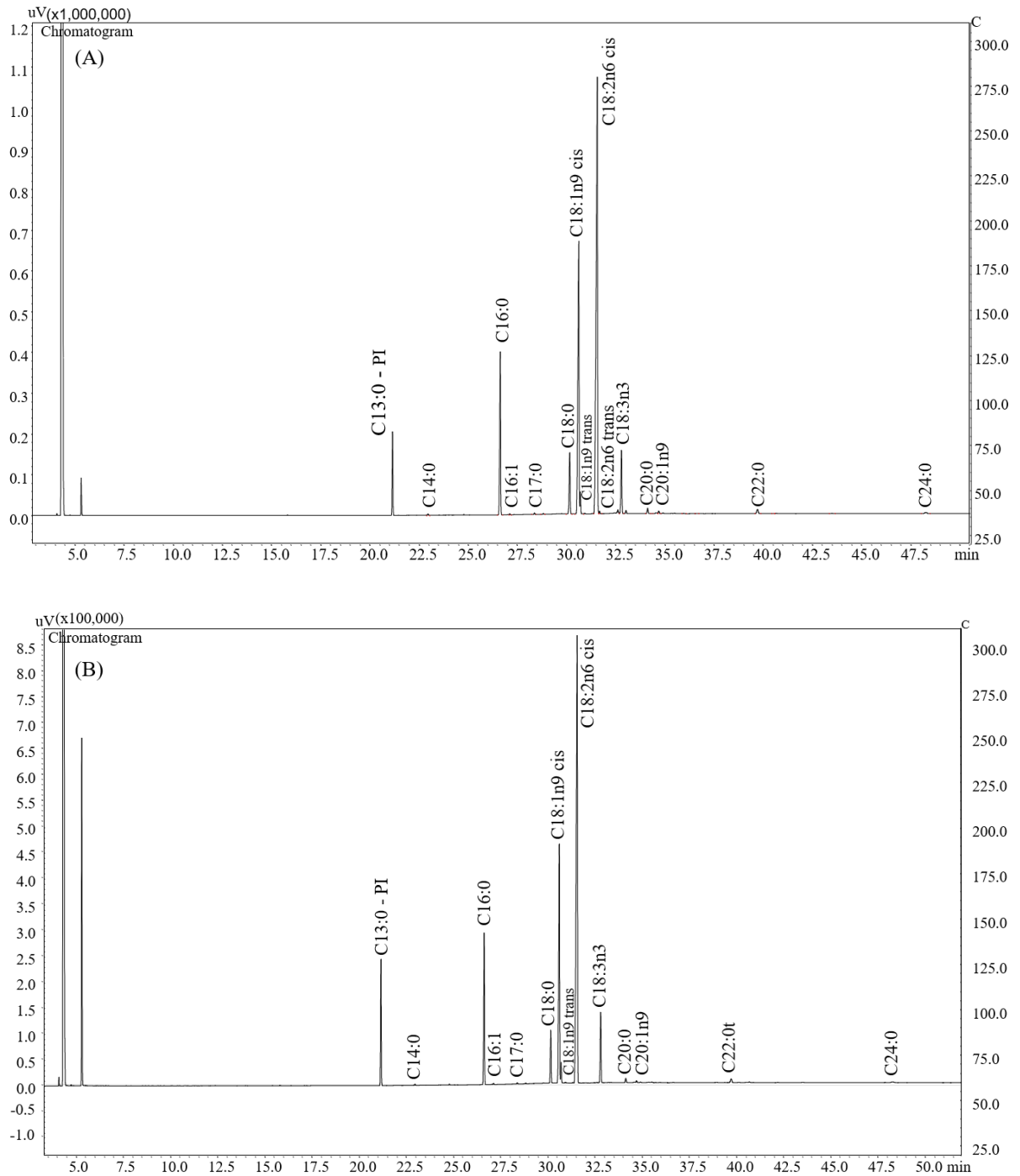
YAZDI-SAMADI, B.; RINNE, R. W; SEIF, R. D. Components of developing soybean seeds: Oil, protein, sugars, starch, organic acids and amino acids. **Agronomy Journal Abstract**, v.69, n.3, p.481-486, 1977.

ZENZEN, I. L; AMARANTE, L.; COLARES, D. S; OLIVEIRA, M. L; BERNARDI, E. GUIMARÃES, E. L; NASCIEMNTO, J. S. Área Foliar e Volume do Sistema Radicular em Plantas de Soja Inoculadas com Estirpes de Bradyrhizobium e Submetidas ao Alagamento. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.5, n. 2, p. 1092- 1094, 2007.

ZHANG, Z.; WEN, H.; PENG, B.; WENG, J.; ZENG, F. HFD-induced TRAF6 upregulation promotes liver cholesterol accumulation and fatty liver development via EZH2-mediated miR-429/PPAR $\alpha$  axis. **Molecular Therapy**, Nucleic Acids, v.24, p.711-727, 2021.

## APÊNDICE A - CROMATOGRAMAS DO ÓLEO DE SOJA

Figura A1 - Cromatogramas de análises por cromatografia em fase gasosa de ácidos graxos do óleo de soja. (A) Cromatograma do óleo de soja comercial; (B) Cromatograma do óleo de soja em terras baixas do tratamento Dezembro-Sem Escarificação- Adubação Muito Alta (D-SE-MA).



Fonte: Autor.